

## **Reconocimiento de suelos y estudio de su contaminación por metales pesados en el valle del Guadiamar**

Luis Clemente, Francisco Cabrera, Luis V. García y Juan S. Cara  
Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (CSIC). Sevilla

**Resumen:** Se estudian suelos del valle del Guadiamar distribuidos entre la superficie aluvial (afectada por el vertido minero) y los primeros niveles de terrazas. Los suelos se representan en una cartografía a escala 1/20.000 y se muestrean los diferentes perfiles representativos de la diversidad edáfica existente. A partir de dichos perfiles se hace un estudio comparativo entre la contaminación que haya podido aportar tradicionalmente el Guadiamar en los suelos más antiguos (terrazas) y la producida más recientemente en los suelos aluviales y, sobre todo, después del accidente ocurrido por la rotura de la balsa que contenían los residuos de la explotación minera de Aznalcóllar.

### **INTRODUCCION**

El río Guadiamar presenta una orientación N-S, desembocando en el Guadalquivir a través del Brazo de la Torre. En la zona de estudio, el río circula al pie del macizo mio-plioceno del Aljarafe. Su margen izquierda no presenta, por tanto, desarrollo de terrazas y conecta suavemente con dichos materiales mio-pliocenos mediante una superficie aluvial inundable. La margen derecha presenta, por el contrario, un gran desarrollo de terrazas

Con motivo de la contaminación producida en el valle del Guadiamar por los residuos de las minas de Aznalcóllar, se han realizado diversos estudios de suelos afectados y otros no afectados, situados en cotas superiores, en varias zonas a lo largo de la cuenca.

En esta comunicación se presenta un área de aproximadamente 800 Ha que comprende el aluvial del río inundado por los lodos tóxicos en ambos márgenes y las primeras terrazas de la margen derecha, no afectadas. En dicha área se ha realizado una cartografía edáfica a escala 1/20.000, estudiándose los suelos que componen las diferentes unidades cartográficas. Así mismo, se han determinado los contenidos en metales pesados de todos ellos, con objeto de establecer el grado de contaminación de los suelos afectados frente a

los no afectados, desarrollados a partir de los sedimentos aportados por el río durante el Cuaternario medio y reciente.

## **LOCALIZACION Y CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO**

El estudio se realiza en un tramo de la cuenca del río Guadiamar, cuyos límites son la autopista Sevilla-Huelva por el norte, la Hacienda La Juncosa por el sur, el pie del Aljarafe por el este y la cañada de Villamanrique por el oeste (Clemente et al., 1999).

Aproximadamente, el 40% del área corresponde a la superficie aluvial, sujeta a inundaciones periódicas. El 60% restante comprende los primeros niveles de terrazas, actualmente fuera de la dinámica de inundación del río.

La composición granulométrica de los sedimentos aluviales varían apreciablemente entre puntos próximos, encontrando en la misma superficie perfiles con un 70% de arenas y 30% de limos y arcillas y otros con valores inversos, esto es, 70% de materiales finos y 30% de materiales gruesos. Por el contrario, los suelos desarrollados a partir de sedimentos de terrazas presentan texturas más similares entre ellos y un aumento de materiales finos en profundidad, lo cual está de acuerdo con el mayor tiempo de evolución edáfica.

En ambas superficies (aluvial y diluvial) se registran pH próximos a la neutralidad o ligeramente superiores, con unos contenidos en carbonatos que disminuyen hacia las cotas más altas.

xxxxxx

## **MATERIALES Y METODOS**

Los perfiles han sido seleccionados a partir de una red de sondeos establecida en las unidades morfológicas fotointerpretadas a escala 1/10.000. Sus descripciones se hacen de acuerdo con FAO, 1977.

Los horizontes edáficos han sido muestreados y analizados de acuerdo con MAPA, 1986 y los perfiles clasificados según la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975,90). La toma de muestra se llevó a cabo en marzo de 1999, después de la remoción de los lodos de la superficie de los suelos. Una vez reconocida la diversidad edáfica existente en el área de estudio, se han delimitado las diferentes unidades cartográficas de suelos, procediéndose

posteriormente a una reducción a escala 1/20.000. En el [mapa](#) definitivo se recoge toda la información de campo (sondeos y perfiles).

Los valores de materia orgánica de los suelos contaminados están afectados por un error por exceso debido a la presencia de sulfuros metálicos y a su determinación por oxidación con dicromato. La magnitud máxima del error es igual a 1,7 veces el valor del contenido de S total en la muestras, que en la mayoría de los casos fue <0,3%.

Para la determinación de As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn y S, las muestras de suelo secas y tamizadas a 2 mm se molieron a <60 m m y se atacaron con agua regia en horno microondas. En los extractos se midieron sus concentraciones mediante Espectrometría de Emisión Atómica por Plasma Aclopadado por Inducción (ICP-AES) en equipo Thermo Jarrel Ash Iris Advantage ER/S. Para determinar la exactitud y la precisión del método se usó una muestra de referencia BCR (CRM 277). La recuperación del método para los elementos analizados osciló entre el 70 y el 103%, con una desviación standard relativa de 1,6-15%.

## CLASIFICACIÓN MORFOLÓGICA Y GENÉTICA

**Perfiles 1, 2 y 7.** Pertenecen a las terrazas medias del Guadiamar y, por tanto, no han sido contaminados por la inundación de lodos provocada por la rotura de la balsa de las minas de Aznalcóllar. El perfil es de tipo AB<sub>t</sub>C donde se reconoce un horizonte de acumulación de arcilla que se define como argílico. La presencia de este horizonte de diagnóstico clasifica los suelos en el orden Alfisols, Suborden Xeralfs por el régimen de humedad. Al no existir otras características de diagnóstico, se corresponden con el Gran Grupo Haploxeralfs.

El perfil 1 presenta cierta acumulación de carbonatos a partir de 45 cm (8 a 10%). Sin embargo, este contenido, al ser inferior al 15%, no es suficiente para definir un horizonte cálcico en suelos de texturas francas o más finas. Esta circunstancia obliga a clasificar el perfil en el Subgrupo Typic Haploxeralfs.

El perfil 2 se encuentra alternando con el anterior. En general, ocupa las áreas más deprimidas donde se sobreimpone un proceso secundario de hidromorfía que provoca el lavado de carbonatos (0%), la aparición de nódulos y concreciones ferruginosas y la consiguiente decoloración de los horizontes (colores 10YR). Esta hidromorfía, aunque no demasiado pronunciada, clasifica el suelo en el Subgrupo Aquic Haploxeralfs.

Cortando los niveles de terrazas, existen arroyos de funcionamiento estacional que recogen las aguas de lluvia. Este drenaje intensifica el proceso de lavado que favorece la formación de suelos más profundos afectados por fenómenos de hidromorfía, que se

manifiestan en forma de manchas y nódulos ferruginosos (perfil 7). Igual que en los perfiles anteriores, se reconoce un horizonte argílico, más potente ( $B_{t1}$  y  $B_{t2}$ ) y con un contenido mayor en arcilla (44%). El contenido en carbonatos es bajo (inferior al 8%) por lo que no puede, dada la textura, definirse un horizonte cálcico. Todas estas características clasifican este suelo como Aquic Haploxeralfs.

**Perfil 8.** Las terrazas más altas, escasamente representadas en la zona de estudio, presentan suelos antiguos con fuerte proceso de rubefacción que da al perfil una coloración rojiza muy típica. Los suelos tienen una textura francoarcillosa en superficie (40 cm) que pasa a franco arenosa en profundidad. Esta textura más gruesa, comparada con la de los perfiles de terrazas inferiores, se explica por su mayor antigüedad e intensidad de los procesos de lavado.

Igual que en los casos anteriores, puede definirse un horizonte de diagnóstico argílico ( $B_t$ ) que, unido al régimen de humedad xérico, clasifica el suelo como Alfisol, Suborden Xeralfs. El color rojo, que llega a ser 2,5YR en los dos primeros horizontes, conviene al Gran Grupo Rhodoxeralfs. Finalmente, las propiedades morfológicas y físico-químicas clasifican al suelo en el Subgrupo Typic Rhodoxeralfs.

**Perfil 9.** Este perfil se sitúa en la actual llanura aluvial del río Guadiamar en su margen izquierda, próximo al cauce fluvial. Corresponde a un suelo de textura francoarenosa que pasa a arenosa a los 50 cm de profundidad, pudiéndose definir en este nivel una discontinuidad granulométrica como parece demostrarlo el porcentaje total de arenas y, sobre todo, el de arena gruesa (85,8%).

El suelo no muestra ningún horizonte de diagnóstico ni epipedón por lo que se clasifica en el orden Entisols. Aunque en este caso el descenso del C orgánico no es irregular, el claro régimen de sedimentación fluvial, que se aprecia en la micromorfología del suelo, lo clasifica en el Suborden Fluvents, Gran Grupo Xerofluvents, debido al régimen de humedad xérico. Finalmente, la presencia del nivel freático a escasa profundidad (1 metro) provoca algunos signos de hidromorfía (presencia de manchas) que obligan a clasificar el suelo en el Subgrupo Aquic Xerofluvents.

**Perfiles 10 y 13.** Estos perfiles se sitúan, así mismo, en el aluvial de la margen izquierda del río. Los sondeos realizados en este área presentan una buena uniformidad en la distribución espacial de los suelos y muestran una textura que oscila entre franca a francoarcillosa (perfil 10) y francoarenosa (perfil 13).

La presencia de carbonatos en todo el perfil hace que el pH se mantenga por encima de 7 en todos los horizontes, si bien no se observan procesos de lavados. La ausencia de

características de diagnóstico clasifican estos suelos en el Orden Entisols. Por otro lado, los contenidos en C presentan una distribución irregular en profundidad, lo que conviene al Suborden Fluvents. El régimen de humedad del suelo puede definirse como xérico y, por tanto, el Gran Grupo corresponderá al Xerofluvents.

Finalmente, al no presentar fenómenos de hidromorfía, grietas ni durinodos, el Subgrupo donde se clasifican es el Typic Xerofluvents.

**Perfil 20.** Este suelo se ubica en el aluvial de la margen derecha del Guadiamar. En esta margen, la llanura aluvial tiene escaso desarrollo si bien se extiende relativamente aprovechando la desembocadura de los diferentes arroyos en el cauce principal.

El perfil 20 representa estos suelos aluviales y muestra características similares a los anteriores, esto es, escaso desarrollo en la morfología del perfil (Entisols), reparto irregular del C en profundidad (Fluvents) y régimen de humedad xérico (Xerofluvents).

Finalmente, la profundidad del nivel freático permite su clasificación en el Subgrupo Typic Xerofluvents.

**Perfil 21.** Este perfil se ubica en un área de transición entre la llanura aluvial y el primer nivel de terraza. Se trata de un suelo carbonatado desde la superficie, como los Xerofluvents, y un color más rojizo (7,5YR) que indica una mayor alteración y, por tanto, la presencia de un horizonte de diagnóstico cámbico.

El proceso de lavado es más intenso que en los suelos aluviales, reflejándose en la formación de un horizonte cálcico (15% de carbonatos) aunque sin llegar a generar un horizonte argílico, como en los suelos de terraza. Probablemente corresponde a un suelo de borde de terraza erosionado con un depósito aluvial subactual.

La presencia del horizonte cámbico clasifica a este suelo en el Orden Inceptisols, Suborden Ochrepts. El régimen de humedad xérico conviene al Gran Grupo Xerochrepts y la presencia de un horizonte cálcico lo clasifica en el Subgrupo Calcixerollic Xerochrepts.

[Tabla 1.](#) [Tabla 2.](#)

## UNIDADES CARTOGRAFICAS

Como se ha indicado, el río Guadiamar discurre adosado al macizo mio-plioceno del Aljarafe. En consecuencia, existe un gran desarrollo de terrazas en la margen derecha y ausencia total de éstas en la margen izquierda. Esta dinámica geomorfológica se refleja en la distribución geográfica de los suelos, existiendo una mayor diversidad en la margen derecha.

La escala cartográfica (1/20.000) no permite separar unidades puras en las dos grandes superficies reconocidas, definiéndose la primera (aluvial) por la asociación Typic Xerofluent/Aquic Xerofluent y la segunda (terrazas) por la Typic Haploxeralf/Aquic Haploxeralf. En el contacto entre ellas se puede definir una pequeña superficie de erosión constituida por un suelo de evolución intermedia clasificado como Calcixerollic Xerochrept. Finalmente, en las cotas más altas aparecen suelos más desarrollados (fundamentalmente Typic Rhodoxeralf) pertenecientes a un nivel de terraza más antiguo que tiene muy poca extensión en la zona de estudio.

**Asociación Typic Xerofluents/Aquic Xerofluents.** Esta Asociación corresponde a la llanura aluvial del Guadiamar, extendiéndose entre el primer nivel de terrazas, en la margen derecha, y el pie de monte del macizo del Aljarafe, en la margen izquierda.

Los sedimentos aluviales son de naturaleza caliza y textura que varía desde francoarenosa a francoarcillosa, en función de la dinámica meándrica del río. Los suelos reciben periódicamente nuevos depósitos con motivo de las crecidas del río, que se refleja, fundamentalmente, en su morfología (discontinuidades) y en la distribución de la materia orgánica en el perfil.

Todas estas circunstancias definen suelos jóvenes calizos con influencia fluvial y régimen de humedad xérico (Xerofluents). Aunque no es posible hacer separaciones geográficas dentro de este Gran Grupo de Xerofluents, los suelos más próximos al cauce del río, que tienen el nivel freático más superficial, presentan fenómenos ligeros de hidromorfía que los clasifican en el Subgrupo Aquic Xerofluents. La mayor parte corresponde a suelos con el nivel freático suficientemente profundo para que puedan clasificarse como Typic Xerofluents. Los dos Subgrupos constituyen esta asociación edáfica.

**Asociación Typic Haploxeralfs/Aquic Haploxeralfs.** En la margen derecha existe un gran desarrollo de terrazas con suelos más evolucionados como resultado de un proceso de lavado (formación de horizonte argílico) y otro de alteración, que se manifiesta en la coloración más rojiza de los suelos. Las terrazas se encuentran erosionadas por una red de arroyos modificada a lo largo del tiempo. El resultado es un paisaje en pequeñas lomas.

En este paisaje los suelos presentan horizonte argílico (B<sub>t</sub>), lavado de carbonatos en profundidad (sólo se detectan en algún punto a partir de 1,5 m) y texturas con cierto

empobrecimiento en materiales finos. Estas características clasifican los suelos como Haploxeralfs, debido al régimen de humedad xérico de todo el área.

El modelado en pequeñas lomas influye en la evolución edáfica, afectando los niveles más bajos de clasificación. En efecto, en las partes más deprimidas, la influencia del agua tiene una mayor duración y aparece un fenómeno de hidromorfía que decolora el suelo (por reducción y lavado del Fe) y origina la aparición de manchas y nódulos ferruginosos. En las proximidades de los arroyos este proceso se intensifica, aumentando la hidromorfía y la profundidad del suelo. Por el contrario, en las partes más elevadas los fenómenos de hidromorfía son poco acusados y los suelos mantienen una coloración rojiza (5YR).

El resultado es una unidad cartográfica constituida por una asociación de suelos, difícilmente separables, compuesta por Typic Haploxeralfs, en las partes altas, y Aquic Haploxeralfs en las bajas.

**Calcixerollic Xerochrepts.** En el contacto del aluvial (margen derecha) con el primer nivel de terraza, aparece una banda con diferente amplitud que corresponde a la erosión de dicho nivel y que coincide con un frente de descalcificación de los suelos superiores. El resultado es la remodelación de un suelo con una coloración rojiza similar a los de terraza pero carbonatados desde de la superficie, como los aluviales. El perfil presenta una textura uniforme en toda la profundidad (ausencia de horizonte argílico) y un lavado importante de carbonatos con acumulación en forma de nódulos (más de 15% de carbonato).

Al ser un material más antiguo que el aluvial, presenta un grado de alteración suficiente para definir un horizonte cámbico, lo que, unido a la presencia de otro cálcico, permite clasificar el suelo representativo de esta unidad como Calcixerollic Xerochrept.

Esta banda no es continua a lo largo de la cuenca del río, desapareciendo en algunos enclaves por erosión de los arroyos.

**Typic Rhodoxeralfs.** Los niveles más altos de terraza tienen escasa representación en el área de estudio. Solo aparece una pequeña superficie antigua en el extremo suroccidental. Dicha superficie está representada por un suelo antiguo muy lavado (0%  $\text{CO}_3\text{Ca}$  y con horizonte argílico empobrecido) que presenta una coloración rojiza intensa (color 2,5 YR). Este color permite clasificar el suelo como Rhodoxeralf, subgrupo típico.

Asociado a este suelo, pero fácilmente separable, aparecen pequeños enclaves muy arenosos (40-50 cm de profundidad) sobre un horizonte argílico. Esta diferente granulometría provoca una hidromorfía de tipo pseudogley que decolora totalmente el suelo.

## CONCENTRACION DE METALES PESADOS Y DE ELEMENTOS TRAZA EN LOS SUELOS

En la [Tabla 3](#) se observa que las concentraciones de Co, Cr, Fe, Mn y Ni son del mismo orden en los suelos de terraza y en los aluviales y no presentan una tendencia clara a lo largo del perfil. Sin embargo, las concentraciones de As, Cu, Pb y Zn en los suelos aluviales son generalmente más altas que en los suelos de terraza. En estos últimos, las concentraciones de As, Cu, Pb y Zn tampoco presentan una tendencia definida en el perfil, mientras que en los suelos aluviales las concentraciones son generalmente más altas en los horizontes superficiales y tienden a disminuir con la profundidad.

Estos elementos son cuatro de los principales contaminantes introducidos en los suelos por el vertido. Por otra parte, es interesante observar que las concentraciones de S son también, en general, más bajas en los suelos de terraza. El S acompaña a los elementos pesados contaminantes ya que el origen de dichos elementos son los sulfuros metálicos de las minas existentes aguas arriba, que pueden oxidarse formando sulfatos. De hecho, se ha encontrado que las concentraciones de As, Cu, Pb y Zn están correlacionadas con los valores de S en los suelos aluviales, pero no en los de terraza.

Si se comparan los valores de As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en los perfiles estudiados con los de fondo en los suelos aluviales del valle del Guadiamar ([Tabla 3](#)) (Cabrera et al., 1999; López Pamo et al., 1999), se observa que generalmente las concentraciones de Co, Cr y Ni en los suelos de terraza son del mismo orden o incluso algo más bajas.

En éstos, las concentraciones de As, Cu, Pb y Zn son, en general, sensiblemente más bajas que los correspondientes valores de fondo del aluvial. Estos hechos refuerzan la teoría de que las concentraciones de algunos elementos traza en los suelos aluviales del valle del Guadiamar, no afectados por el vertido, tienen valores más altos que las de los suelos normales no contaminados (Bowen, 1979), debido a la influencia histórica de las minas de Aznalcóllar. Estos suelos, desde que en tiempos inmemoriales se inició la explotación de las minas, han estado sujetos a inundaciones periódicas con aguas que frecuentemente tienen concentraciones elevadas de elementos traza disueltos y en suspensión (Arambarri et al., 1996; Cabrera et al., 1999).

A pesar de las labores de limpieza a que se sometieron los suelos afectados por el vertido, en los perfiles 9, 10 y 13, del aluvial, se observa contaminación con As, Cu, Pb y Zn en los horizontes superficiales (0-15 cm) ([Tabla 3](#)). Esto se debe, sin duda, a la existencia de lodos remanentes enterrados en los horizontes superiores de los suelos (ITGE, 1999), que puede llegar a 0,5 - 3% en peso en la capa arable (0-30 cm) (Cabrera, 2000). Refuerza esta hipótesis las altas concentraciones de S en la capa superficial, que están relacionadas con el contenido en lodo pirítico remanente.



En el perfil 10, correspondiente a un suelo de textura franco-arcillosa, con un contenido medio de 25% de arcilla, no se observa contaminación con As, Cu, Pb y Cu por debajo de los 15 cm. Tampoco en el perfil 20, de textura franca, la contaminación penetró por debajo del primer horizonte. En cambio, tanto en el perfil 9 como en el 13, correspondientes a suelos franco-arenosos, se observa que la contaminación penetró por debajo del segundo horizonte (30 y 40 cm, respectivamente). Este comportamiento está de acuerdo con lo observado por Cabrera et al. (1999), que ponen de manifiesto que en el vertido de Aznalcóllar, por lo general, la contaminación con metales pesados no penetró por debajo de los 20 cm superficiales de los suelos cuando el contenido en arcilla de los mismos era >25%.

[Tabla 4.](#)

## CONCLUSIONES

Los suelos correspondientes a la superficie aluvial (afectada por el vertido minero) se clasifican como *Xerofluvents* típicos y ácuicos, presentando diferencias en la textura que se reflejan en la profundidad alcanzada por los metales pesados.

En las terrazas se desarrollan suelos clasificados en el orden *Alfisols*. Los niveles más bajos se corresponden con *Haploxeralfs* típicos y ácuicos, mientras que en los más altos aparecen *Rhodoxeralfs* típicos asociados con suelos arenosos con pseudogley. Esta última unidad tiene escasa representación en el área de estudio. Finalmente, en el contacto entre el aluvial y el primer nivel de terraza, se reconoce un suelo de erosión carbonatado que se clasifica como *Calcixerollic Xerochrept*.

Los resultados de las concentraciones de As, Cu, Pb, Zn y S, principales contaminantes producidos en la actividad minera, ponen de manifiesto la influencia de la mina en los suelos del valle del Guadiamar. En las concentraciones de estos elementos se distinguen tres niveles: 1) niveles bajos en los suelos de terraza, formados antes del inicio de dicha actividad; 2) niveles intermedios en los suelos aluviales no afectados por el vertido de abril de 1998 (valores de fondo del aluvial), pero sujetos durante cientos de años a inundaciones con agua con concentraciones de estos elementos superiores a las normales; 3) niveles altos, especialmente en los horizontes superficiales, en los suelos aluviales afectados por el vertido.

## BIBLIOGRAFIA

Arambarri, P., Cabrera, F. González, R. 1996. Quality evaluation of surface waters entering the Doñana National Park (SW Spain). *The Science of the Total Environment* 191, 185-196.

Bowen H J M. 1979. Environmental chemistry of the elements. Academic Press, Londres.

Cabrera, F., Clemente, L., Díaz B., E., López R., Murillo, J.M. 1999. Heavy metal pollution of soils affected by Guadiamar toxic flood. *The Science of the Total Environment* 242, 117-129.

Cabrera, F. 2000. La contaminación por metales pesados en el valle del Guadiamar tras el vetido de Aznacóllar. *Revista Técnica de Medio Ambiente* 74; 37-48.

Clemente, L., Fiorilo, E. y Martínez, D. 1999. Estudio y cartografía de los suelos de un tramo del río Guadiamar afectado por lodos tóxicos. Monografía IRNAS (Sevilla), 78 pp.

ITGE, 1999. Contribución del ITGE a la valoración de los efectos del accidente de Aznalcóllar y la recuperación de la cuenca del río Guadiamar. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid.

FAO, 1977. Guía para la descripción de perfiles de suelos. Dir. Fom. Tierras y Aguas. Roma.

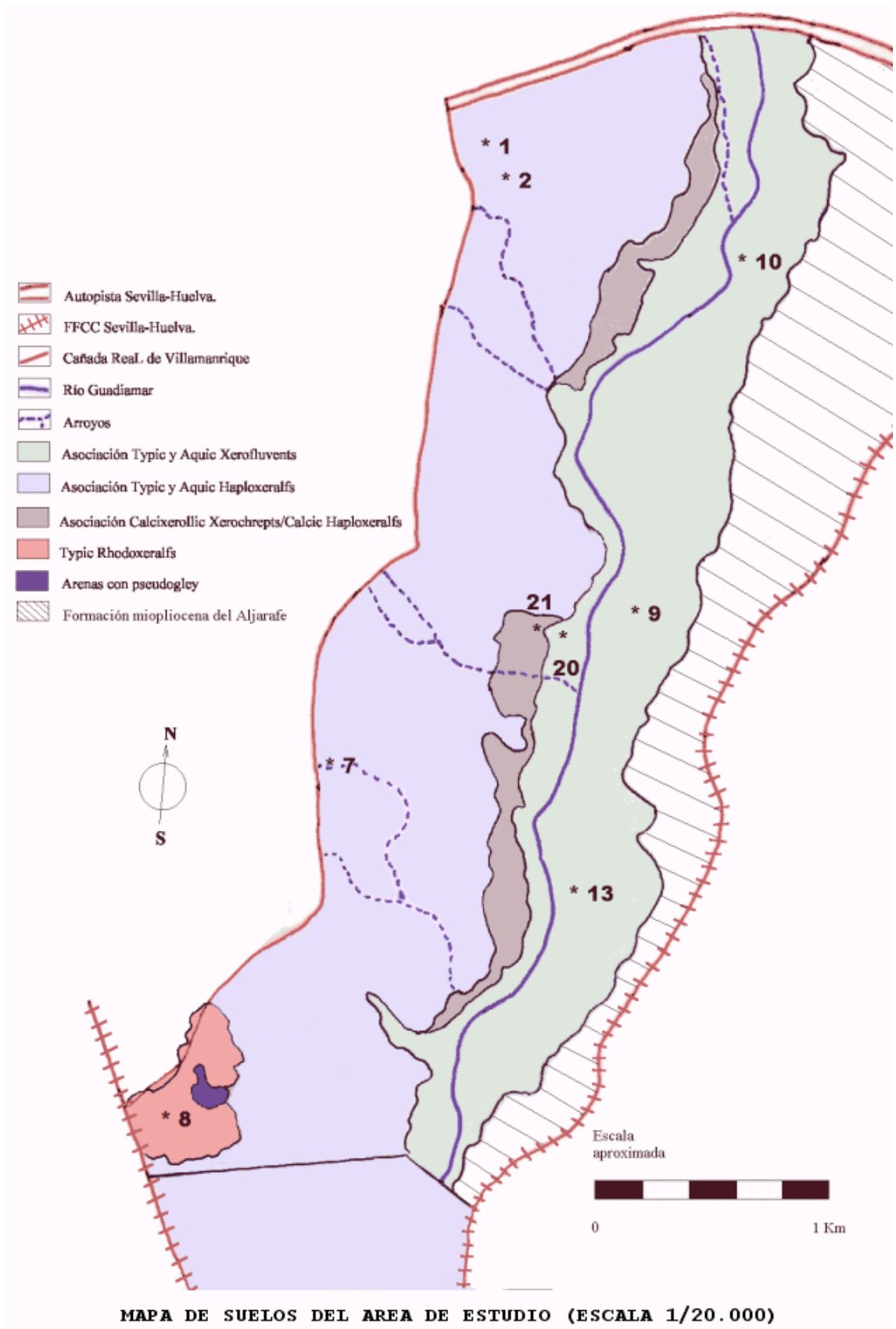
López Pamo, E., Barretino, D., Antón P., C., Ortiz, G., Arránz, J.C., Gumiel, J.C., Martínez P., B., Aparicio, M., Montouto, O. 1999. The extend of the Aznalcóllar pyrite sludge spill and its effects on soils. *The Science of the Total Environment* 242, 57-88.

MAPA, 1986. Métodos oficiales de análisis de suelos, vol. III. Madrid.

Soil Survey Staff, 1975. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. USDA-SCS. Agric. Hanbook nº 436.

Soil Survey Staff, 1990. Keys to Soil Taxonomy, fourth edition. SMSS Technical Monograph, nº 6. Blackburg, Virginia.

## **Tablas y Figuras.**



**Tabla 2. Determinaciones analíticas**

Nºdel perfilHoriz.	cm Prof.	%	%	pH	%				meq/100g			meq/100g		
					Ar. G.	Ar. F.	Limo	Arcilla	CIC	Na	K	Ca	Mg	
1	Ap	0-15	1.24	0.0	6.9	5.1	26.5	38.0	30.4	25.8	0.10	0.38	16.6	1.5
	Bt	15-45	0.88	0.0	7.1	3.2	21.4	37.0	38.4	30.4	0.14	0.24	21.3	1.7
	Bk1	45-65	0.94	8.1	7.9	3.9	21.7	41.1	33.2	30.2	0.06	0.37	26.8	3.0
	Bk2	65-115	0.88	9.9	8.0	9.4	21.9	41.7	27.0	24.3	0.06	0.29	22.2	1.7
2	Ap	0-15	1.04	0.0	7.6	21.6	22.7	38.0	17.8	12.0	0.06	0.53	9.6	1.4
	AB	15-35	0.80	0.0	6.2	17.9	23.5	35.3	23.3	15.6	0.08	0.43	10.6	1.7
	Btg	35-55	0.42	0.0	6.1	21.9	18.0	30.5	29.6	22.5	0.14	0.35	11.3	2.8
	Cg1	55-85	0.23	0.0	6.1	28.0	20.3	31.7	20.1	15.1	0.14	0.20	8.4	2.1
7	Ap	0-25	0.58	0.7	8.6	4.9	54.5	27.4	13.2	4.5	0.75	0.27	2.9	0.5
	AB	25-45	0.40	0.2	8.1	3.6	35.9	22.5	38.0	21.2	1.23	0.37	14.1	5.5
	Bt1	45-70	0.27	0.1	8.3	2.7	30.0	23.3	44.0	24.2	1.81	0.42	15.4	6.1
	Bt2	70-80	0.20	7.0	8.6	5.9	26.5	25.1	42.4	23.0	1.51	0.42	14.7	6.4
	Bk	80-115	0.16	7.7	8.6	6.4	28.8	29.7	35.1	19.4	1.11	0.42	11.5	6.3
	Cg1	115-160	0.09	3.8	8.4	11.0	29.5	25.1	34.4	17.9	1.95	0.38	9.2	6.3
	Cg2	160-200	0.10	0.8	8.4	13.3	23.8	28.4	34.5	16.3	1.47	0.39	8.2	6.2
8	Ap	0-15	0.73	0.3	7.8	1.2	45.1	24.4	29.2	16.2	0.46	1.15	12.0	2.6
	Bt	15-40	0.51	0.4	7.7	0.0	37.7	26.9	35.4	21.9	0.83	0.42	17.1	2.7
	BC	40-60	0.51	0.2	7.9	0.0	54.4	27.5	18.1	7.6	0.49	0.18	6.1	0.8
	C1	60-95	0.51	0.2	7.9	3.3	50.9	34.6	11.3	3.9	0.41	0.13	3.0	0.4
	C2	95-130	0.29	0.2	8.0	7.9	46.6	29.2	16.3	6.4	0.42	0.21	5.1	0.7
	C3	130-155	0.25	0.2	8.4	11.2	45.7	26.6	16.4	4.7	0.24	0.15	3.5	0.8
9	Ap	1.62	0.94	1.1	8.0	32.1	35.4	18.6	13.9	5.7	0.19	0.16	3.1	2.3
	AC	1.47	0.85	4.6	8.2	21.8	37.9	23.9	16.4	8.6	0.36	0.18	5.9	2.2
	C	0.77	0.45	4.6	8.4	39.9	33.6	14.3	12.3	5.6	0.34	0.15	3.7	1.4
	IIC1	0.83	0.54	1.1	8.7	85.8	9.1	4.4	0.7	5.4	0.35	0.15	3.5	1.4
	IIC2	0.74	0.43	1.2	8.1	59.5	27.4	7.1	6.0	5.6	0.32	0.16	3.8	1.4
10	Ap	1.84	1.07	15.2	7.3	5.1	24.8	40.8	29.4	21.2	0.13	0.94	16.9	3.2
	AC	1.79	1.04	16.0	7.3	2.2	37.7	37.5	22.6	21.5	0.13	0.00	18.4	2.4
	C1	1.83	1.06	10.5	7.3	1.6	27.3	45.5	25.3	19.2	0.13	0.40	16.3	2.3
	C2	1.31	0.76	8.5	7.5	1.4	36.6	39.0	22.9	20.2	0.16	0.32	16.9	2.8
	C3	1.09	0.63	6.1	7.4	2.9	38.4	33.6	25.1	17.0	0.21	0.31	13.4	3.1
13	Ap	1.28	0.74	6.0	7.4	13.0	53.6	23.5	10.0	6.5	0.09	0.20	3.9	2.3
	AC	1.43	0.83	4.9	7.5	24.9	42.1	19.2	13.8	9.5	0.11	0.23	7.8	1.4
	C1	1.69	0.98	3.4	7.6	29.0	40.5	19.1	11.5	9.0	0.12	0.15	7.7	1.0
	C2	1.52	0.88	3.5	7.6	23.3	42.5	19.9	14.3	10.3	0.12	0.21	8.3	1.7
	C3	1.48	0.86	7.4	7.5	22.2	31.8	27.1	19.0	14.2	0.07	0.35	12.1	1.7
20	Ap	1.79	1.04	5.4	7.6	15.3	29.7	33.3	21.8	13.7	0.13	0.73	10.6	2.2
	AC	1.64	0.95	6.0	7.6	11.7	33.7	34.8	19.8	14.7	0.11	0.68	12.8	1.2
	C1	0.81	0.47	5.4	7.5	12.7	33.6	30.9	22.8	14.6	0.13	0.59	11.8	2.1
	C2	1.52	0.88	6.0	7.6	8.3	29.5	36.5	25.7	18.2	0.21	0.38	15.6	2.0
21	Ap	0-15	0.88	6.0	7.6	14.5	34.8	28.1	22.7	17.3	0.38	0.80	14.2	2.0
	AB	15-40	0.78	7.6	7.6	14.1	36.4	26.6	22.9	14.9	0.48	0.59	11.3	2.6
	Bk	40-80	0.86	15.5	7.6	15.7	33.7	27.2	23.4	13.9	0.67	0.39	11.5	1.4
	Ck	80-115	0.42	15.9	7.6	20.1	34.2	25.3	20.4	14.2	0.35	0.16	12.9	0.8

		Arena %	Limo G %	Limo F %	Arcilla %	M.O.	pH	CaCO <sub>3</sub>	Mn	Cu	Ni	Pb	Zn	Cd
Arena %	Correlación de Pearson Significación N													
Limo G %	Correlación de Pearson Significación N	-.380* .010 37												
Limo F %	Correlación de Pearson Significación N	-.816* .000 37	.062 .359 37											
Arcilla %	Correlación de Pearson Significación N	-.719* .000 37	.064 .354 37	.311* .030 37										
M.O.	Correlación de Pearson Significación N	-.167 .161 37	-.151 .186 37	.097 .284 37	.303* .034 37									
pH	Correlación de Pearson Significación N	.172 .154 37	-.155 .180 37	-.242 .075 37	.061 .359 37	.252 .066 37								
CaCO <sub>3</sub>	Correlación de Pearson Significación N	-.644* .000 37	.219 .096 37	.676* .000 37	.286* .043 37	.174 .152 37	-.046 .393 37							
Mn	Correlación de Pearson Significación N	.142 .201 37	-.053 .377 37	-.314* .029 37	.152 .184 37	-.057 .368 37	.090 .297 37	-.539* .000 37						
Cu	Correlación de Pearson Significación N	.431* .004 37	.000 .499 37	-.462* .002 37	-.270 .053 37	-.017 .460 37	.318* .028 37	-.232 .084 37	.199 .119 37					
Ni	Correlación de Pearson Significación N	.300* .036 37	-.377* .011 37	-.219 .096 37	-.086 .307 37	-.105 .268 37	.176 .149 37	-.272 .052 37	.157 .177 37	.032 .425 37				
Pb	Correlación de Pearson Significación N	.264 .057 37	-.143 .200 37	-.251 .067 37	-.118 .244 37	.020 .454 37	-.045 .395 37	-.469* .002 37	-.472* .002 37	.285* .044 37	.237 .079 37			
Zn	Correlación de Pearson Significación N	.131 .220 37	-.221 .094 37	-.172 .155 37	.096 .287 37	-.154 .182 37	.136 .210 37	-.543* .000 37	-.785* .000 37	.166 .163 37	.280* .047 37	.719* .000 37		
Cd	Correlación de Pearson Significación N	.402* .021 26	-.326 .052 26	-.188 .179 26	-.336* .047 26	-.037 .429 26	-.235 .124 26	-.331* .049 26	-.163 .213 26	-.021 .459 26	.278 .084 26	.271 .090 26	.153 .228 26	

\*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (unilateral).  
 \*\*. La correlación es significativa al nivel 0,01 (unilateral).

**Tabla 1. Descripción morfológica**

Perf	Horiz.	Prof. cm	Color	Textura	Estructura	Límite
1	Ap	0-15	7.5 YR 5/6(s), 4/4(h)	Franco-arcillosa	Grumosa	Gradual
	Bt	15-45	5YR 4/6 (s), 4/4 (h)	Franco-arcillosa	Poliéd. a Prismáti.	Gradual
	Bk <sub>1</sub>	45-65	7.5 YR 4/6 (h)	Franco-arcillosa	Poliédrica	Gradual
	Bk <sub>2</sub>	65-115	7.5 YR 5/6 (h)	Franca	Poliédrica	Gradual
2	Ap	0-15	10YR 5/4 (s), 4/3 (h)	Franca	Grumosa	Neto
	AB	15-35	10YR 4/4 (h)	Franca	Grumosa	Gradual
	Btg	35-55	10YR 4/4 (h)	Franco-arcillosa	Poliédrica	Gradual
	Cg <sub>1</sub>	55-85	10YR 5/4 (h)*	Franca	Grumosa	
	Cg <sub>2</sub>	85-				
7	Ap	0-25	10YR 5/4 (s) 5YR 5/8 (s)	Franco-arenosa	Poliédrica media	Neto
	AB	25-45	10YR 5/6 (s)*	Franco-arcillosa	Prismática	Gradual

	Bt <sub>1</sub>	45-70	10YR 4/4 (h)  10YR 5/6 (h)	Arcillosa	Prismática	Gradual
	Bt <sub>2</sub>	70-80	10YR 4/4 (h)  10YR 5/6 (h)	Arcillosa	Prismática	Gradual
	Bk	80-115	10YR 5/6 (h)  7.5YR 5/8 (h)	Arcillosa	Poliédrica	Gradual
	Cg <sub>1</sub>	115-160	10YR 5/4 (h)  7.5YR 5/8 (h)	Franco-arcillosa	Poliédrica	Gradual
	Cg <sub>2</sub>	160-200	10YR 5/4 (h)  7.5YR 5/8 (h)	Franco-arcillosa	Poliédrica	
<b>8</b>	Ap	0-15	2.5YR 4/8 (s)	Franco-arcillo-arenoso	Poliédrica	Neto
	Bt	15-40	2.5YR 3/6(h), 3/4 (s)	Franco-arcillosa	Prismática	Neto
	BC	40-60	5YR 4/6 (s)	Franco-arenosa	Poliédrica	Neto
	C <sub>1</sub>	60-95	7.5YR 4/6 (s)	Franco-arenosa	Poliédrica	Gradual
	C <sub>2</sub>	95-130	5YR 5/6 (s)  2.5YR 4/6 (s)	Franco-arenosa	Poliédrica	Gradual
	C <sub>3</sub>	130-155	5YR 5/8 (s)  7.5YR 5/6	Franco-arenosa	Poliédrica	Gradual
<b>9</b>	Ap	0-15	7.5YR 3/4 (h)	Franco-arenosa	Migajosa	Gradual
	AC	15-30	7.5YR 3/4 (h)	Franco-arenosa	Migajosa	Gradual
	C	30-50	10YR 4/4 (h)	Franco-arenosa	Migajosa	Neto
	II C <sub>1</sub>	50-95	10YR 4/4 (h)	Arenosa	Suelta	Gradual
	II C <sub>2</sub>	95-130	10YR 4/4 (m)	Arenosa	Suelta	Gradual
<b>10</b>	Ap	0-15	10YR 5/3 (s), 4/3 (h)	Franco-arcillosa	Migajosa	Gradual
	AC	15-35	10YR 5/4 (s), 4/4 (h)	Franca	Migajosa	Gradual
	C <sub>1</sub>	35-60	10YR 4/3 (h)	Franca	Migajosa	Gradual
	C <sub>2</sub>	60-85	10YR 4/4 (h)	Franca	Migajosa	Gradual

	C <sub>3</sub>	85-115	10YR 4/4 (h)	Franca	Migajosa	Gradual
<b>13</b>	Ap	0-15	10YR 5/3 (s), 4/4 (h)	Franco-arenosa	Migajosa	Neto
	AC	15-40	10YR 4/4 (h)	Franco-arenosa	Migajosa	Gradual
	C <sub>1</sub>	40-70	10YR 4/3 (h)	Franco-arenosa	Migajosa	Gradual
	C <sub>2</sub>	70-105	10YR 4/3 (h)	Franco-arenosa	Migajosa	Gradual
	C <sub>3</sub>	105-130	10YR 4/3 (h)	Franco-arenosa	Migajosa	Gradual
<b>20</b>	Ap	0-15	10YR 5/3 (s), 4/3 (h)	Franca	Grumosa	Neto
	AC	15-40	10YR 4/3 (h)	Franca	Grumosa	Gradual
	C <sub>1</sub>	40-65	10YR 4/4 (h)	Franca	Grumosa	Gradual
	C <sub>2</sub>	65-110	10YR 5/4 (h)	Franca	Grumosa	Gradual
<b>21</b>	Ap	0-15	10YR 4/3 (m)	Franco-arcillo-arenosa	Grumosa	Neto
	AB	15-40	10YR 4/4 (h)	Franco-arcillo-arenosa	Grumosa	Neto
	Bk	40-80	7.5YR 4/6 (h)	Franco-arcillo-arenosa	Grumosa	Neto
	Ck	80-115	7.5YR 6/6 (s)	Franco-arcillo-arenosa	Grumosa	Neto



**Tabla 3. Datos de As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn y S (mg kg-1)**

	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	S
<b>Suelos de terraza no afectados por el vertido</b>										
PERFIL										
1										
0-15	9.39	9.08	47.1	14.8	24100	471	19.9	<2	45.3	60.7
15-45	10.2	9.27	47.9	14.5	24200	441	22.3	<2	48.5	66.7
45-65	10.7	9.34	47.9	17.2	25100	456	22.5	<2	56.8	11.8
65-115	8.3	8.13	37.8	14.5	21100	410	18	<2	46.4	39.4
PERFIL										
2										
0-15	5.63	8.21	27.9	8.71	13700	520	12.2	<2	30.9	12.5
15-35	5.74	7.51	33.6	9.77	15500	453	14.4	<2	35.2	19.2
35-55	6.08	9.07	29.9	8.11	16100	632	13.9	<2	32.8	6.53
55-85	7.59	10.5	31.3	8.86	18100	548	14.7	<2	36.2	17
PERFIL										
7										
0-25	3.53	4.14	53.9	5.31	20100	101	22.7	<2	27.13	120
25-45	1.99	2.75	15.9	5.04	16770	142	16.21	<2	13.5	62.7
45-70	2.48	4.81	38.1	4.99	16200	107	17.4	<2	22.3	11
70-80	3.17	5.77	45.6	5	17700	243	24.4	<2	32.2	11.5
80-110	3.8	7.04	49.8	8.86	21300	277	24	<2	31.7	12.2
PERFIL										
8										
0-15	3.7	4.38	34.8	49.8	16100	117	13.2	<2	25.5	90.1
15-40	4.36	5.04	51.4	14.8	20700	140	21.2	<2	34.5	87.3
40-60	2.87	4.18	24.3	19.5	11300	156	9.91	<2	18.6	59.6
60-95	2.78	5.68	18.8	40.1	7730	354	8.88	<2	0	16.1
95-130	2.67	6.02	21.3	8.47	10500	296	10.2	<2	20	
PERFIL 21										
0-15	8.82	6.73	35.5	15.6	15400	318	15.3	2.78	44.5	222
15-40	8.23	7.05	39.6	16.5	16200	333	17.2	<2	45.7	160
80-115	5.9	5.84	3.15	10	13700	240	13.8	<2	35.4	82.3
<b>Suelos aluviales afectados por el vertido</b>										
PERFIL										
9										
0-15	36.2	12.2	31.8	189	24300	595	15.4	75.3	737	952
15-30	80.8	8.88	36.4	191	30500	382	16	105	320	670
30-50	17.1	7.81	27.7	34.7	18700	363	14.4	23.7	82.2	135
50-95	7.06	5.29	22.9	14.5	13800	278	11.3	13.4	36.1	233
PERFIL 10										
0-15	32.2	7.45	39.2	89	18000	283	16.1	55.9	281	2090
15-35	12.8	6.09	33.4	47.7	14500	267	13.5	28.6	99.7	367
35-60	12.8	6.63	35.4	45.9	15800	303	14.8	26.6	82.1	239
60-85	11.8	7.73	37.5	29.4	16800	358	16	18.4	55.3	151
85-115	12.1	6.44	31.5	28.5	14200	304	13.8	33	51.4	397
PERFIL 13										
0-15	25.4	7.33	31.3	64.4	14900	322	12.9	42.5	228	1250
15-40	17.9	9	31.7	60.5	16100	354	15.9	35.1	198	441

40-70	15.6	8.11	34.7	38.3	16000	330	15.8	27.7	108	415
70-105	10.1	7.91	38.2	22.3	16600	368	16.9	24.1	49.9	520
105-	12.3	7.05	35.1	38.8	15400	314	15.7	24.7	67.1	203
130										
PERFIL	20									
0-15	13.8	6.6	33.1	41.2	15100	308	14.1	23.2	90.3	187
15-40	14.3	6.89	35.3	42.5	15700	321	15.1	24.5	94.2	181
40-65	12.4	7.83	37.05	31.1	16700	359	17.5	16.9	68.2	123
65-100	11.1	9.23	44.1	26.7	20800	442	20.4	12	59.7	101

**Tabla 2. Determinaciones analíticas**

Nºdel perfilHoriz.	cm Prof.	X Corg	X CaCO3	pH	X					meq/ 100g			meq/ 100g	
					Ar. G.	Ar. F.	Limo	Arcilla	CIC	Na	K	Ca	Mg	
1	Ap	0-15	1.24	0.0	6.9	5.1	26.5	38.0	30.4	25.8	0.10	0.38	16.6	1.5
	Bt	15-45	0.88	0.0	7.1	3.2	21.4	37.0	38.4	30.4	0.14	0.24	21.3	1.7
	Bk1	45-65	0.94	8.1	7.9	3.9	21.7	41.1	33.2	30.2	0.06	0.37	26.8	3.0
	Bk2	65-115	0.88	9.9	8.0	9.4	21.9	41.7	27.0	24.3	0.06	0.29	22.2	1.7
2	Ap	0-15	1.04	0.0	7.6	21.6	22.7	38.0	17.8	12.0	0.06	0.53	9.6	1.4
	AB	15-35	0.80	0.0	6.2	17.9	23.5	35.3	23.3	15.6	0.08	0.43	10.6	1.7
	Btg	35-55	0.42	0.0	6.1	21.9	18.0	30.5	29.6	22.5	0.14	0.35	11.3	2.8
	Cg1	55-85	0.23	0.0	6.1	28.0	20.3	31.7	20.1	15.1	0.14	0.20	8.4	2.1
7	Ap	0-25	0.58	0.7	8.6	4.9	54.5	27.4	13.2	4.5	0.75	0.27	2.9	0.5
	AB	25-45	0.40	0.2	8.1	3.6	35.9	22.5	38.0	21.2	1.23	0.37	14.1	5.5
	Bt1	45-70	0.27	0.1	8.3	2.7	30.0	23.3	44.0	24.2	1.81	0.42	15.4	6.1
	Bt2	70-80	0.20	7.0	8.6	5.9	26.5	25.1	42.4	23.0	1.51	0.42	14.7	6.4
	Bk	80-115	0.16	7.7	8.6	6.4	28.8	29.7	35.1	19.4	1.11	0.42	11.5	6.3
	Cg1	115-160	0.09	3.8	8.4	11.0	29.5	25.1	34.4	17.9	1.95	0.38	9.2	6.3
	Cg2	160-200	0.10	0.8	8.4	13.3	23.8	28.4	34.5	16.3	1.47	0.39	8.2	6.2
8	Ap	0-15	0.73	0.3	7.8	1.2	45.1	24.4	29.2	16.2	0.46	1.15	12.0	2.6
	Bt	15-40	0.51	0.4	7.7	0.0	37.7	26.9	35.4	21.9	0.83	0.42	17.1	2.7
	BC	40-60	0.51	0.2	7.9	0.0	54.4	27.5	18.1	7.6	0.49	0.18	6.1	0.8
	C1	60-95	0.51	0.2	7.9	3.3	50.9	34.6	11.3	3.9	0.41	0.13	3.0	0.4
	C2	95-130	0.29	0.2	8.0	7.9	46.6	29.2	16.3	6.4	0.42	0.21	5.1	0.7
	C3	130-155	0.25	0.2	8.4	11.2	45.7	26.6	16.4	4.7	0.24	0.15	3.5	0.8
9	Ap	1.62	0.94	1.1	8.0	32.1	35.4	18.6	13.9	5.7	0.19	0.16	3.1	2.3
	AC	1.47	0.85	4.6	8.2	21.8	37.9	23.9	16.4	8.6	0.36	0.18	5.9	2.2
	C	0.77	0.45	4.6	8.4	39.9	33.6	14.3	12.3	5.6	0.34	0.15	3.7	1.4
	IIC1	0.83	0.54	1.1	8.7	85.8	9.1	4.4	0.7	5.4	0.35	0.15	3.5	1.4
	IIC2	0.74	0.43	1.2	8.1	59.5	27.4	7.1	6.0	5.6	0.32	0.16	3.8	1.4
10	Ap	1.84	1.07	15.2	7.3	5.1	24.8	40.8	29.4	21.2	0.13	0.94	16.9	3.2
	AC	1.79	1.04	16.0	7.3	2.2	37.7	37.5	22.6	21.5	0.13	0.00	18.4	2.4
	C1	1.83	1.06	10.5	7.3	1.6	27.3	45.5	25.3	19.2	0.13	0.40	16.3	2.3
	C2	1.31	0.76	8.5	7.5	1.4	36.6	39.0	22.9	20.2	0.16	0.32	16.9	2.8
	C3	1.09	0.63	6.1	7.4	2.9	38.4	33.6	25.1	17.0	0.21	0.31	13.4	3.1
13	Ap	1.28	0.74	6.0	7.4	13.0	53.6	23.5	10.0	6.5	0.09	0.20	3.9	2.3
	AC	1.43	0.83	4.9	7.5	24.9	42.1	19.2	13.8	9.5	0.11	0.23	7.8	1.4
	C1	1.69	0.98	3.4	7.6	29.0	40.5	19.1	11.5	9.0	0.12	0.15	7.7	1.0
	C2	1.52	0.88	3.5	7.6	23.3	42.5	19.9	14.3	10.3	0.12	0.21	8.3	1.7
	C3	1.48	0.86	7.4	7.5	22.2	31.8	27.1	19.0	14.2	0.07	0.35	12.1	1.7
20	Ap	1.79	1.04	5.4	7.6	15.3	29.7	33.3	21.8	13.7	0.13	0.73	10.6	2.2
	AC	1.64	0.95	6.0	7.6	11.7	33.7	34.8	19.8	14.7	0.11	0.68	12.8	1.2
	C1	0.81	0.47	5.4	7.5	12.7	33.6	30.9	22.8	14.6	0.13	0.59	11.8	2.1
	C2	1.52	0.88	6.0	7.6	8.3	29.5	36.5	25.7	18.2	0.21	0.38	15.6	2.0
21	Ap	0-15	0.88	6.0	7.6	14.5	34.8	28.1	22.7	17.3	0.38	0.80	14.2	2.0
	AB	15-40	0.78	7.6	7.6	14.1	36.4	26.6	22.9	14.9	0.48	0.59	11.3	2.6
	Bk	40-80	0.86	15.5	7.6	15.7	33.7	27.2	23.4	13.9	0.67	0.39	11.5	1.4
	Ck	80-115	0.42	15.9	7.6	20.1	34.2	25.3	20.4	14.2	0.35	0.16	12.9	0.8

**Tabla 4. Concentraciones medias de fondo en suelos del Guadamar y valores de las medianas (mg kg<sup>-1</sup>) en suelos no contaminados del mundo**

	Aluvial y Marismas (1)	Aluvial (2)	Marismas (2)	Suelos no contaminados (3)
Profundidad	0-50 cm	0-30 cm	0-30 cm	-
As	18,9	30	33	6
Co	12,4	10	13	8
Cr	68,6	71	82	70
Cu	30,9	32	51	30
Ni	26,9	20	27	50
Pb	38,2	-	-	90
Zn	109	70	235	90

1. Cabrera et al., 1999; 2. López Pamo et al., 1999; 3. Bowen, 1979