

El vertido minero al río Guadiamar ha supuesto un aumento en la accesibilidad de muchos elementos minerales, parte de los cuales persisten en el suelo en cantidades significativas, a pesar de las labores de limpieza. Debido a su relativamente baja especificidad en la absorción, las especies vegetales representan una de las principales vías potenciales de entrada de estos elementos en la cadena trófica, así como un mecanismo potencial de recirculación. Desde otro punto de vista, las concentraciones elevadas de algunos de estos elementos afectan al rendimiento de los individuos vegetales, lo que puede traducirse en alteraciones de la estructura, funcionamiento y capacidad de regeneración de la comunidad vegetal y en disfunciones a nivel del ecosistema.

## Subproyecto 4.3

# EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL VERTIDO DE LAS MINAS DE AZNALCÓLLAR SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN LAS ESPECIES MÁS SIGNIFICATIVAS DESDE EL PUNTO DE VISTA TRÓFICO

### Investigadores Responsables

**Dr. José A. Merino.** Catedrático de Ecología.  
Departamento de Ciencias Ambientales.  
Universidad Pablo de Olavide.  
Carretera de Utrera, Km 1 41013 Sevilla  
Tfno: 954 34 93 37 Fax: 954 34 92 04  
Correo-e: jamerort@dex.upo.es

**Dr. José M. Murillo.** Investigador Científico.  
Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla. CSIC.  
Apartado 1052 Estafeta Puerto. 41080 Sevilla  
Tfno: 954 62 47 11 Fax: 954 62 40 02  
Correo-e: murillo@irnase.csic.es

### Equipo Investigador

**Dr. Francisco Cabrera.** Investigador Científico.  
Correo-e: fcabrera@irnase.csic.es  
**Dr. Teodoro Marañón.** Científico Titular.  
Correo-e: teodoro@irnase.csic.es  
**Dr. Rafael López.**  
Correo-e: rlnunez@irnase.csic.es  
**Paula Madejón.** Becaria del Proyecto  
Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología. CSIC. Sevilla.

**Dr. Feliciano Martínez.** Profesor Asociado.  
**Osmín Lazo.** Becario del Proyecto (UPO)  
Departamento de Ciencias Ambientales  
Universidad Pablo de Olavide. Sevilla

### Introducción

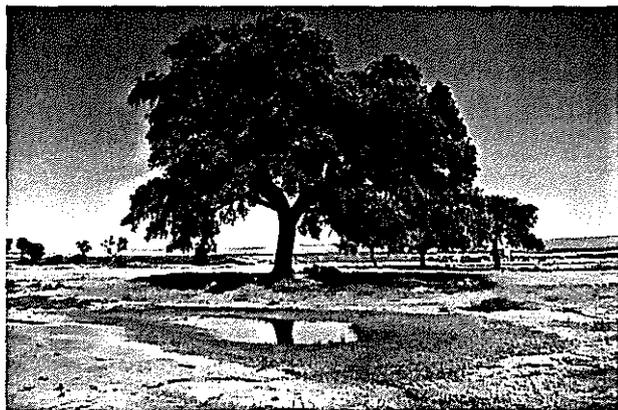
Las comunidades vegetales naturales y agrícolas localizadas en el área de influencia del vertido de Aznalcóllar representan acumuladores potenciales de los metales presentes en los lodos.

A pesar de la rapidez que ha caracterizado las operaciones de limpieza, la extrema lentitud que caracteriza a los procesos edáficos y a los procesos fisiológicos de

organismos con baja tasa de renovación (típicamente los árboles), posibilita que los restos de los lodos aún presentes en el perfil del suelo (o en el cuerpo de los individuos) pueden afectar a corto, medio y largo plazo, tanto a los propios individuos vegetales, como a los restantes miembros de la red trófica que dependen de ellos.

Hasta ahora, y debido a la urgencia requerida por el caso, el objetivo principal del subproyecto se ha centrado en la prospección del estado de las especies vegeta-

les, en lo que atañe a la concentración de metales de los tejidos más accesibles (fundamentalmente hojas y frutos). Se pretende así conocer hasta qué punto los metales presentes en el perfil del suelo (o en el cuerpo de los individuos) están disponibles para los herbívoros, y cómo esta disponibilidad podría evolucionar en el tiempo. Paralelamente, se están iniciando actividades encaminadas a elucidar el efecto potencial de estos metales sobre la comunidad de productores primarios.



Los metales aún presentes en el suelo (incluso en las zonas ya limpiadas, como en el caso de la foto), se movilizan con facilidad por efecto de las lluvias. La foto fue tomada el 22 de marzo del 2000.

## Plan de trabajo

El estudio se está realizando en una serie de 6 estaciones localizadas en el curso del río Guadiamar. Las estaciones incluyen tramos excavados por el río en las formaciones de margas, areniscas calizas y sedimentos aluviales de arcilla; todos ellos bajo los efectos del vertido. El estudio incluye, además, dos estaciones control ("blanco") localizadas fuera de la zona de influencia del vertido, una en el cauce del río, aguas arriba de la presa de Aznalcóllar y otra, más lejana, localizada a barlovento del cauce, en la Reserva Biológica de Doñana.

Hasta el momento, se han muestreado 15 especies en el entorno del cauce, incluyendo herbáceas, matorrales y árboles. Además, en el área de Doñana se están muestreando *Scirpus maritimus*, *Rosmarinus officinalis*, *Juniperus oophora*, *Quercus suber* y *Erica scoparia*; especies que se consideran representativas de las formaciones de marismas, matorral xérico y matorral higrofitico, respectivamente.

Así mismo, se han considerado dos plantaciones de *Helianthus annuus* (girasol) y de *Sorghum bicolor* (sorgo).

En las distintas muestras se ha determinado la concentración de los metales presentes que podrían tener interés, bien por su toxicidad o bien por su elevada concentración absoluta, así como otros elementos con carácter de nutriente (por ejemplo N y P). Así mismo, cuando fue posible, se prestó interés especial a los órganos que constituyen alimento potencial de un amplio número de especies (hojas y frutos). Los análisis se realizaron en extractos vegetales mediante ICP-MS y ICP-OES. No se descarta la ampliación del número de especies, del número de metales a analizar, o del número de muestreos, en función de la evolución de los resultados del presente, o de otros proyectos.

## Resultados

### Especies cultivadas.

La respuesta de los cultivos de sorgo y girasol difiere según la especie, el elemento químico y el tejido considerado.

Así, la concentración de N, P y K aumentó en todos los tejidos (además del Ca y del Mg en el girasol). Estos aumentos están correlacionados con el aumento de la tasa de crecimiento, sugiriendo que, en cierto sentido, el

Tabla 1. Concentraciones medias de metales en hojas y semillas de dos especies herbáceas cultivadas de la cuenca del río Guadiamar. Cu y Zn en ppm; resto en ppb.

	Cu	As	Cd	Sb	Tl	Pb	Zn
<b><i>Helianthus annuus</i></b>							
Hojas	63.0	5815	367	208	104	7551	140
Blanco	32.9	4781	149	233	48.8	7739	60.0
Semillás	27.2	30.9	241	16	1.7	423	73.6
Blanco	17.8	10.6	80.7	28	0.45	274	43
<b><i>Sorghum bicolor</i></b>							
Hojas	7.5	1915	50.8	69	18.5	3007	32.7
Blanco	5.7	750	26.2	54	7.3	1434	19.8

vertido actuó como un fertilizante.

En lo que se refiere a los metales, su concentración aumentó, sobre todo, en las hojas; aunque en los tallos del sorgo los valores se multiplicaron por 5 (Sb) e, incluso, por 15 (Tl). El aumento fue significativo en el caso de As, Cd, Zn, Mn y Tl (y menos en el caso de Cu y Pb). En las raíces, el aumento fue generalizado para todos los metales; aunque la forma en como se prepararon las muestras (sin lavado previo) sugiere que parte de los niveles observados se debe a los restos de suelo adheridos a la raíz. Algunos de los resultados obtenidos para las hojas (por ejemplo: 400 veces más As en las hojas que en las semillas) sugieren que parte de las concentraciones observadas pueden ser resultado de la deposición seca.

La tabla 1 presenta los valores observados de estas dos especies de interés agrícola dos meses después del vertido. Nótese que, en algunos casos, las concentraciones de los blancos son superiores a las de las muestras, lo que obliga a ser cauteloso en la interpretación de los datos.

### Especies silvestres.

En la mayoría de las especies silvestres, las concentraciones observadas son sensiblemente superiores a las observadas en las especies cultivadas, aunque los valores varían ampliamente en función del metal, el tejido y la especie considerada.

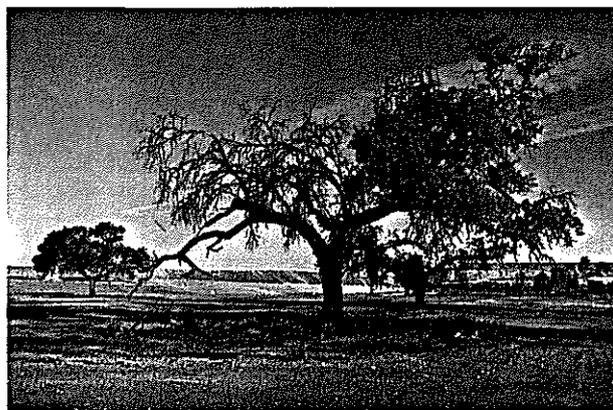
En general, las concentraciones en los tejidos de las plantas localizadas en el área de influencia del vertido fueron superiores a las de los individuos de la misma especie creciendo en zonas libres de contaminación. No obstante, en algunos casos, la concentración en los blancos fue superior, lo que puede ser debido a la sensibilidad del método empleado y/o a la idoneidad de algunos de los individuos considerados como blanco. Ello obliga a ser cauteloso en la interpretación de los resultados, hasta tanto no se disponga de más información.

El Zn es el metal que generalmente registra las concentraciones más altas (entre 2 y 10 veces la concentración del blanco), aunque existen indicios de que las concentraciones de Fe y de Mn pueden ser también muy altas. Por su parte, las concentraciones de Pb y As tienden a ser de 2 a 6 veces más altas que en el blanco, en tanto que la del Cu está entre 2 y 3 veces.

La concentración en los tejidos de las plantas localizadas en Doñana es muy baja y se ha mantenido invariable desde el comienzo de los análisis, sugiriendo que la con-

taminación no ha alcanzado los cotos arenosos.

En términos globales, durante los últimos 18 meses se observa un descenso generalizado de las concentraciones de los diversos metales; lo que, dado el relativamente alto contenido de metales presentes aún en el suelo, sugiere que una parte significativa de los altos niveles observados inmediatamente después del vertido estaba localizada en el exterior de los órganos, teniendo, por tanto, su origen, no en la absorción, sino en la deposi-



Ejemplar de encina afectado por el vertido. Una proporción elevada de los individuos de esta especie, así como los de una plantación próxima de *Pinus* y de *Eucalyptus*, están sufriendo fuertes defoliaciones, que, en algunos casos, ha llevado a la muerte de los individuos.

ción húmeda (*Potamogeton*, *Salicornia*) o en la seca. Las fuertes diferencias observadas entre las especies silvestres y las cultivadas (estas últimas lavadas antes de los análisis), apunta en esta dirección.

No obstante, en contra de la tendencia general, la concentración de Cu tiende a aumentar en los tejidos de algunas de las especies (por ejemplo, en la encina), lo que sugiere que su accesibilidad en el suelo puede estar aumentando.

La tabla 2 da una idea de los valores observados seis meses después del episodio del vertido y un año y medio después. Nótese que en algunos casos, las concentraciones de los blancos son superiores a las de las muestras.

### Niveles de Toxicidad

Aunque en términos absolutos las concentraciones en las plantas cultivadas localizadas en la zona del vertido pueden catalogarse como elevadas, éstas estuvieron siempre por debajo de los niveles que podrían considerarse tóxicos para las plantas y muy por debajo de lo que podría considerarse inadecuado para la consumición por el ganado. No obstante, el Cu alcanzó en algunos tejidos

Tabla 2. Concentraciones medias (ppm) de metales en las hojas y frutos de dos especies arbóreas de la cuenca del río Guadiamar en noviembre de 1998 y 1999.

	Cu	As	Cd	Sb	Tl	Pb	Zn
<b><i>Olea europaea</i></b>							
Hojas 1998	199.2	59.3	--	7.4	0.22	169.1	82.7
1999	36.0	15.0	--	3.5	1.0	48.1	59.1
Blanco	35.4	4.2	--	1.4	--	22.3	42.1
Frutos 1998	23.9	1.3	--	1.7	--	2.4	25.3
1999	1.0	1.1	1.1	--	--	3.0	21.2
Blanco	9.0	0.3	0.1	--	1.3	0.7	13.7
<b><i>Quercus ilex</i></b>							
Hojas 1998	143.7	203.7	1.2	18.3	1.8	597.5	293.5
1999	185.5	29.5	1.0	6.5	1.2	160.5	124.0
Blanco	22.0	10.2	1.1	4.2	1.1	38.3	45.0
Frutos 1998	16.7	0.5	--	0.8	--	1.9	16.9
1999	1.0	--	--	--	--	1.2	15.3
Blanco	10.8	0.1	--	1.2	--	0.6	13.5

niveles que podrían calificarse de fitotóxicos (hojas de girasol) y de poco adecuados para el ganado (hojas y semillas de girasol).

La concentración de metales pesados en frutos, semillas, rizomas y flores estudiados hasta ahora ha sido sorprendentemente baja; sobre todo, si se la compara con otros tejidos, sugiriendo que, al menos a corto plazo, esos órganos no deberían tener efectos negativos significativos para los herbívoros. Posiblemente, la fisiología propia de éstos órganos, así como la abundancia de tejidos de reserva (lípidos, azúcares), con la consecuente dilución de los metales absorbidos por el órgano, son responsables de los bajos valores registrados.

Por el contrario, los contenidos de Cd, As, Cu, y, sobre todo Pb, de los tejidos foliares, están, en la mayoría de los casos, por encima de los valores recomendados para el pienso del ganado, sugiriendo que pueden afectar a los herbívoros a corto plazo (sobre todo a las especies estenófagas). El Zn, a pesar de su alta concentración en los tejidos, no llega a alcanzar los niveles de peligrosidad.

Finalmente, hay que señalar que si se consideran los resultados del último muestreo, los resultados sugieren que en las hojas de la mayoría de las especies estudiadas, el Cu, As, y Pb, alcanzan concentraciones que pueden considerarse fitotóxicas, lo que ayuda a entender la mortalidad observada en las poblaciones de *Quercus ilex*, y *Pinus sp* y *Eucaliptus sp*, todas ellas con hojas (o filodios) de larga duración.

## Conclusiones

1. Prácticamente la totalidad de las especies estudiadas, localizadas en el cauce del río Guadiamar, experimentó aumentos notables en la concentración de casi todos los metales considerados.
2. El aumento de concentración no fue uniforme, dependiendo de la especie, tejido y metal considerados. En general, la concentración aumentó más en las hojas, debido, posiblemente, a la deposición seca y a la alta actividad metabólica de estos órganos. Los frutos, semillas y otros órganos con papel de reserva, presentan hasta el momento concentraciones bajas.
3. La sensibilidad de las especies vegetales estudiadas ha sido muy variable. Las dos especies de cultivo experimentaron aumentos significativos en la tasa de crecimiento, en los dos meses en que estuvieron expuestas. Por el contrario, los individuos de algunas especies arbóreas muestran en la actualidad claros síntomas de senescencia, que, en algunos casos, ha llevado a la muerte de la planta.
4. Después del tiempo transcurrido, se observa una tendencia casi general a la disminución de la concentración de metales en los tejidos. Algunos metales podrían seguir la tendencia contraria, aunque el bajo número de datos dificulta la precisión.

## Perspectivas para los años

### 2000-2001

1. Seguimiento extensivo de la concentración de metales en tejidos de 15 especies silvestres en el cauce del río Guadiamar y de 4 especies de la Reserva Biológica de Doñana, extendiendo los análisis a nuevas poblaciones herbáceas y leñosas del área de Doñana, que podrían estar recibiendo indirectamente los efectos del vertido.
2. Seguimiento de la concentración de metales en los tejidos de la vegetación restaurada.
3. Seguimiento intensivo (estratificación en base a tejidos, períodos fenológicos, localización precisa en el área del vertido) de la concentración de metales en plantas silvestres y de interés agrícola (*Populus alba*, *Quercus ilex*, *Olea europaea*, *Scirpus maritimus*, *Sorghum bicolor*, *Helianthus annuus* y *Cynodon dactylon*), así como de sus suelos asociados.
4. Análisis de las respuestas morfológica, fisiológica integral de los individuos de especies leñosas seleccionadas y su relación con la concentración de metales en los tejidos de los individuos cultivados en condiciones controladas (con lodos/sin lodos), así como su valor como bioindicadores. En principio, se considerarán las mismas especies que en el estudio intensivo, aunque excluyendo las especies herbáceas.

## Publicaciones

**Murillo J. M., Marañón T., Cabrera F., Lopez R.** (1999). Accumulation of heavy metals in sunflower and sorghum plants affected by the Guadiamar spill. *The Science of the Total Environment*, 242:281-292.

**Cabrera F.** (2000). Contaminación por metales pesados en el Valle del Guadiamar tras el vertido de Aznalcóllar. *Retema*, 37-47

## Congresos

**Murillo, J. M., T. Marañón, F. Cabrera, R. López.** Accumulation of heavy metals in crop plants affected by the Guadiamar toxic spill. 10<sup>th</sup> Int. Symposium of the Environmental Pollution and its impact on Life in the Mediterranean Region (MESAEP). Alicante 1999.

**Cabrera, F., L. Clemente, E. Díaz Barrientos, R. López, J. M. Murillo.** Heavy metal pollution of soils affected by the Guadiamar toxic flood. 10<sup>th</sup> Int. Symposium on Environmental Impact on Life in the Mediterranean Region (MESAEP). Alicante. 1999.

**Nagel, I., V. Schimidt, L. Clemente, F. Cabrera, M. Kaupenjohann.** Risk assesment for heavy metal contamination after dam failure in the Valle of Guadiamar. 10<sup>th</sup> Int. Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region (MESAEP). Alicante. 1999.