

## La restauración ecológica de zonas contaminadas por la minería: el ejemplo del corredor verde del Guadiamar.

María T. Domínguez

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, Av. Reina Mercedes 10, 41012 Sevilla.

[maited@irnase.csic.es](mailto:maited@irnase.csic.es)

### RESUMEN

*Recientemente se cumplió el 14º aniversario del accidente de la mina de Aznalcóllar (Sevilla), uno de los principales desastres ambientales ocurridos en España en las últimas décadas. Durante la última década hemos analizado algunos de los procesos clave para la restauración ecológica de la zona, como la evolución de la contaminación en el suelo, la dinámica de los contaminantes en el sistema suelo-planta-herbívoro y el éxito de las repoblaciones forestales realizadas en la zona tras el accidente. Estos estudios indican que los suelos de la zona afectada, hoy conocida como Corredor Verde del Guadiamar, siguen presentando altas concentraciones de elementos traza (metales pesados y otros elementos potencialmente tóxicos, como el arsénico) procedentes del vertido, si bien éstos se encuentran bastante inmovilizados en el suelo, en condiciones de baja biodisponibilidad. El riesgo de transferencia de estos contaminantes a las plantas reforestadas puede ser bajo si se seleccionan las especies adecuadas, potenciando aquellas que presentan una alta retención de elementos en el sistema radical y evitando las que muestren un alto transporte de contaminantes desde el suelo hasta las hojas (como álamos y sauces). Las especies de matorral deberían potenciarse en el diseño de sucesivas reforestaciones, ya que presentan mayores tasas de supervivencia y crecimiento durante los años posteriores a la plantación y crean una heterogeneidad espacial en las condiciones de luz, humedad y fertilidad del suelo más propicia para la colonización de otras especies de plantas.*

**Palabras clave:** restauración ecológica; contaminación; metales pesados; monte mediterráneo; Aznalcóllar, Guadiamar.

### INTRODUCCIÓN

La intensificación de las actividades humanas durante el último siglo está provocando importantes alteraciones en los ciclos naturales de los nutrientes y otros elementos químicos en los ecosistemas. Estas alteraciones constituyen uno de los más importantes componentes del cambio global, y centran una buena parte de la atención de la comunidad científica en la actualidad. La contaminación del aire, el suelo o el agua es uno de los principales factores responsables de estas alteraciones biogeoquímicas, y se ha relacionado con importantes problemas ambientales de las últimas décadas, como el decaimiento forestal y la pérdida de biodiversidad.

Los elementos traza (metales pesados y algunos metaloides, como el arsénico) constituyen un importante grupo de contaminantes. Estos elementos son constituyentes minoritarios

## Artículos

de los seres vivos, y en condiciones normales sus concentraciones son relativamente bajas; por ejemplo, en las plantas sus concentraciones son inferiores a  $1 \text{ g kg}^{-1}$  (Bargagli, 1998). Sin embargo, distintas actividades humanas han alterado los ciclos biogeoquímicos de estos elementos, de manera que las entradas de elementos traza (ET) a los ecosistemas a través de la atmósfera, el agua o el suelo han aumentado sustancialmente a escala global durante el último siglo (Nriagu, 1996).

Actividades como la industria, la agricultura, el transporte o el tratamiento de residuos urbanos son fuentes de contaminación por ET. Sin embargo, la minería es la responsable en mayor medida de la movilización de los ET de la litosfera, hacia condiciones de mayor disponibilidad para los seres vivos. Por ejemplo, hacia el año 2000, las estimas de producción anual de residuos contaminados con ET derivados de la minería oscilaban entre las 10.000 y las 600.000 toneladas a nivel mundial (Warhurst y Noronha, 2000). El alcance económico de estas cifras es bastante elevado, ya que el coste de la recuperación de suelos contaminados se sitúa entre los 101.000 y los  $1.25 \cdot 10^6 \text{ € ha}^{-1}$  (Berti y Cunningham, 2000). En España, zonas como las cuencas de los ríos Tinto y Odiel, en Huelva, el distrito minero de Cartagena-La Unión y Mar Menor, en Murcia, o la cuenca del río Guadiamar en Sevilla tienen suelos muy enriquecidos en ET, como consecuencia de la actividad minera.

La reforestación de estas zonas degradadas por la minería es particularmente importante en la cuenca mediterránea, ya que los distintos escenarios de cambio global prevén un aumento de los riesgos de erosión y desertificación (Moreno, 2005), lo cual aumentaría la probabilidad de exportar la contaminación a zonas colindantes, mediante escorrentía superficial y transporte del suelo contaminado. Sin embargo, la presencia de la contaminación por elementos traza puede ser un factor añadido a la dificultad de reforestar estas áreas, ya que éstos pueden influir en múltiples procesos importantes para la reforestación, por ejemplo, dificultar el establecimiento de la raíz y crecimiento de las plantas, o interferir en el ciclado de nutrientes y provocar la acumulación de los contaminantes en distintos componentes de la cadena alimenticia del ecosistema.

El accidente minero de Aznalcóllar (Sevilla) de 1998 es un ejemplo de la magnitud y el alcance económico y ecológico de la gestión de los residuos derivados de la minería. Considerado como uno de los mayores desastres ambientales en Europa en las últimas décadas, supuso un reto de gestión ambiental a nivel regional y nacional. Recientemente (abril 2012) se cumplió el 14º aniversario del accidente, que produjo el vertido de lodos y aguas ácidas de la balsa de decantación de la mina, afectando a unos  $55 \text{ km}^2$  de la cuenca del río Guadiamar. La necesidad de intervenir para frenar el avance de tal cantidad de lodo contaminado hacia el Espacio Natural de Doñana, y de estabilizar la contaminación de los suelos requirió un amplio despliegue técnico y económico (más detalles en Arenas *et al.*, 2008). Durante los años posteriores se llevó a cabo un proyecto de restauración a gran escala (el proyecto del Corredor Verde del Guadiamar), que incluyó la adquisición de los terrenos afectados por la Junta de Andalucía, la remediación de la contaminación (mediante retirada de la capa superficial del suelo, más afectada por la presencia de lodos, y adición de enmiendas) y la revegetación de los terrenos con diferentes especies leñosas mediterráneas. Desde los momentos posteriores al accidente, investigadores del Instituto de Recurso Naturales y Agrobiología de Sevilla (CSIC) hemos venido realizando distintos trabajos en la zona, en los que hemos analizado algunos de los procesos clave para la restauración ecológica de la zona, como: 1) la evolución de la contaminación en el suelo y la dinámica de los elementos traza en el sistema suelo-planta, 2) el posible riesgo de transferencia de los elementos traza a los herbívoros, mediante pastoreo y 3) las tasas de supervivencia y crecimiento de los especies reforestadas, así como las posibles técnicas de facilitación del establecimiento de la vegetación leñosa. En este trabajo presentamos un resumen de los resultados obtenidos, y extraemos algunas conclusiones útiles para la gestión y restauración ecológica de las zonas afectadas por la minería.

La cuenca del río Guadamar, último afluente del río Guadalquivir y corredor natural que une Sierra Morena con el Espacio Natural de Doñana (Fig. 1), presenta un clima mediterráneo semiárido, con inviernos suaves y veranos cálidos y secos (precipitación anual media de 484 mm y evapotranspiración potencial de 1.139 mm). Nuestros estudios se centraron en las zonas de la cuenca que fueron reforestadas durante los años 1999 y 2000, tras el accidente minero y una vez completada la adición de enmiendas a los suelos. En los marcos de plantación diseñados, la encina (*Quercus ilex subsp. ballota*), el acebuche (*Olea europaea var. sylvestris*) y el algarrobo (*Ceratonia siliqua*) fueron las especies más abundantes en las zonas más alejadas del río, mientras el álamo blanco (*Populus alba*), el sauce (*Salix atrocinerea*) y el fresno (*Fraxinus angustifolia*) dominaron en las riberas del Guadamar.

Figura 1. Situación del Corredor Verde del Guadamar, en el contexto de la Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía (RENPA).



Para el estudio de los flujos de elementos traza en el sistema suelo-planta, realizamos distintos muestreos extensivos a lo largo de la cuenca (incluyendo tanto zonas contaminadas como zonas no afectadas por el vertido) entre 2003 y 2005. Se muestrearon hojas de las especies leñosas más abundantes en la zona y de los correspondientes suelos donde crecían los individuos, para el análisis de los principales elementos traza del vertido (arsénico, cadmio, cobre, plomo, talio y cinc). Asimismo se analizaron las concentraciones de elementos traza en los suelos y una serie de propiedades del suelo (pH, contenido en materia orgánica y nutrientes, capacidad de intercambio catiónico, textura) que pueden afectar a la disponibilidad de los contaminantes para las plantas. En el invernadero, se desarrollaron ensayos en los que se testó la capacidad de dos de las especies más empleadas en la reforestación (encina y lentisco, *Pistacia lentiscus*) para tolerar y retener en el sistema radical altas concentraciones de dos elementos con una alta toxicidad potencial (cadmio y talio).

Para evaluar el posible riesgo de ingesta de ET para los herbívoros mediante pastoreo, se seleccionaron ocho puntos de muestreo a lo largo del Corredor Verde del Guadamar, uno de ellos en una zona no afectada por el vertido. En cada punto se delimitó un área de 0.5 o 1 hectárea donde se recolectó el pasto (10 o 20 muestras por punto), comprendido en un cuadrado de 25 cm de lado, durante la primavera y el otoño de 2007 y 2008. También se analizaron las heces de liebres y caballos que se alimentan en la zona, así como las crines, para detectar posibles niveles elevados de ingesta de estos contaminantes.

El seguimiento de la supervivencia y el crecimiento de los plantones empleados para la reforestación de la zona se realizó en distintos fragmentos a lo largo de diferentes zonas con distintos tipos de vegetación (plantaciones con especies de ribera, especies de monte

## Artículos

mediterráneo y marisma), durante los años 2003, 2004 y 2005 (Fotos 1 y 2). Asimismo, realizamos una serie de plantaciones experimentales de bellotas de encina en distintos micrositios: zonas abiertas (desprovista de protección por el matorral) o zonas protegidas bajo retama (*Retama sphaerocarpa*) o labiérnago (*Phillyrea angustifolia*), durante el otoño de 2005. Con ello pretendíamos comparar la supervivencia de las plantas siguiendo el método tradicional de siembra (en zonas abiertas, sin ningún tipo de cubierta arbustiva protectora) frente a la técnica alternativa de la siembra bajo matorral, que puede llegar a facilitar el establecimiento de las plántulas mediante el amortiguamiento de las condiciones extremas de radiación y temperatura bajo el matorral, así como mediante el aporte de materia orgánica y nutrientes.



Fotos 1 y 2. Zonas reforestadas dentro del Corredor Verde, empleando distintas mezclas de especies: arriba, reforestación en las terrazas aluviales con especies de monte mediterráneo; abajo, reforestación del bosque de ribera, con predominio de álamo blanco y taraje.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nuestros análisis de suelos, realizados entre los años 2005 y 2008, muestran que las concentraciones totales de elementos traza en los suelos de la zona son aun relativamente altas, bastante superiores a los niveles de fondo de la zona. Por ejemplo, en el muestreo de 2005, los niveles medios de arsénico en la zonas afectadas estuvieron en torno a 130 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que la media en los suelos no contaminados de la cuenca es de 17 mg kg<sup>-1</sup>. Las concentraciones totales de plomo, cobre y zinc en las zonas afectadas mostraron aumentos similares (Tabla 1). Sin embargo, la concentración total de un elemento en el suelo no siempre representa la cantidad de este elemento que es fácilmente absorbible por los seres vivos; hay multitud de factores edáficos (pH, contenido en materia orgánica, textura del suelo) que determinan que una gran parte de la cantidad total de estos elementos traza se encuentre inmovilizada, en formas poco biodisponibles. Así, las concentraciones disponibles fueron muy bajas: para el cadmio, uno de los elementos potencialmente más tóxicos, sólo el 15% de la cantidad total se presentó en formas biodisponibles, mientras que las fracciones biodisponibles de cinc, cobre y plomo representaron solo un 5.6, 2.6 y 0.0035 % de las cantidades totales, respectivamente (Tabla 1). El nivel de disponibilidad estuvo determinado principalmente por el pH del suelo: en los suelos ácidos, con pH inferior a 4, las cantidades biodisponibles aumentaron exponencialmente. La acidificación del suelo es un problema bastante común en las zonas afectadas por la minería, debido a la oxidación de los sulfuros de la pirita. Debido a la relación entre acidez y biodisponibilidad, es muy importante monitorizar a largo plazo el pH del suelo en las zonas restauradas tras actividades mineras, ya que en los suelos acidificados el riesgo de toxicidad y de deficiencias nutricionales para las plantas es mucho mayor (Domínguez *et al.*, 2010a).

Tabla 1. Niveles medios de contaminación en los suelos del Corredor Verde del Guadiamar, en muestras recogidas hacia 2005, 7 años después del accidente. Se indica el porcentaje de la concentración total que se encuentra en formas biodisponibles (n.a.: no analizado).

	CONCENTRACIONES TOTALES (MG KG <sup>-1</sup> DE SUELO)		NIVELES DE BIODISPONIBILIDAD (% CONCENTRACIÓN TOTAL)
	SUELOS AFECTADOS	SUELOS NO AFECTADOS	
<b>Arsénico</b>	129	17	n.a.
<b>Cadmio</b>	1.44	0.23	15
<b>Cobre</b>	115	32	5.6
<b>Plomo</b>	210	47	0.003
<b>Talio</b>	1.17	0.29	n.a.
<b>Cinc</b>	457	109	2.6

Las concentraciones en las hojas de las especies leñosas parecen reflejar que, en términos generales, la contaminación del suelo está bastante estabilizada. De manera general, estas concentraciones fueron bajas, dentro de los límites normales para plantas superiores (Fig. 2). La excepción fueron los álamos blancos y sauces, que acumularon cadmio y cinc en sus hojas a niveles que se consideran tóxicos para los herbívoros según algunos autores (Domínguez *et al.*, 2008). La capacidad de acumular cadmio y cinc es una característica de las especies de *Populus* y otras salicáceas. Así, las especies de álamos y sauces son actualmente objeto de múltiples estudios para optimizar su uso en la extracción de cadmio y cinc de los suelos, mediante la acumulación en la biomasa de hojas (técnicas conocidas como de fitoextracción). Sin embargo, este enfoque de fitoextracción no parece adecuado de una zona extensa, como el Corredor Verde del Guadiamar, donde la producción

Artículos

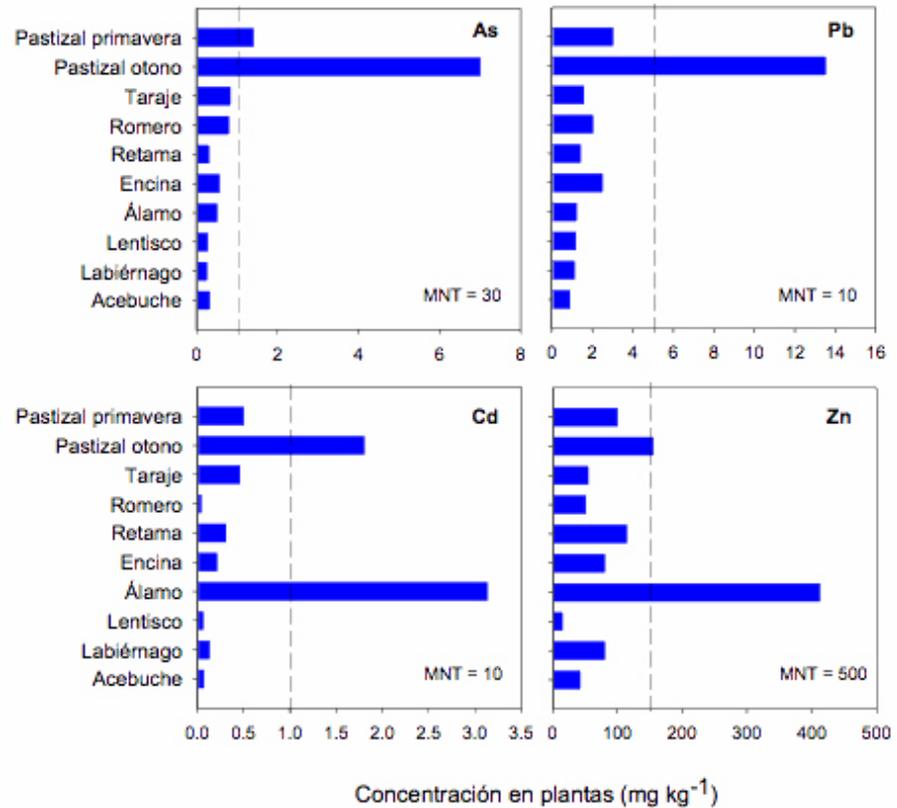


Figura 2. Niveles de elementos traza en distintos tipos de plantas en el Corredor Verde. Para los pastizales, se indican los niveles máximos detectados durante los muestreos de otoño y primavera realizados en los años 2007 y 2008. Para las especies de árboles y arbustos, se indican los valores medios a lo largo del Corredor, en muestreos realizados durante 2005 y 2006. La línea punteada indica el rango de niveles normales en plantas superiores (Chaney, 1989). MNT = máximo nivel tolerable para el ganado equino (NRC, 2005).

de biomasa no se gestiona, de manera que la hojarasca enriquecida en cadmio y cinc procedente de los álamos y sauces se acumula en las capas más superficiales del suelo, donde la liberación de cadmio y cinc durante la descomposición de la hojarasca podría tener un mayor impacto. Por lo tanto, la plantación de estas especies de árboles no estaría recomendada en zonas contaminadas por cadmio y cinc, si el objetivo es estabilizar la contaminación en el suelo. Más bien, deberían potenciarse aquellas especies con una alta capacidad para retener la contaminación en su sistema radical, y unas bajas tasas de transporte a la biomasa aérea. En condiciones controladas de invernadero, comprobamos que la encina presenta un patrón de acumulación de cadmio en sus órganos bastante adecuado para estabilizar la contaminación, es decir, es capaz de tolerar y acumular altas concentraciones de Cd en sus raíces, mientras que el transporte de cadmio hacia las hojas es muy reducido (Domínguez *et al.*, 2011).

Las especies de pastizal pueden mostrar una menor capacidad de retención de los contaminantes en el sistema radical que las especies leñosas, y un mayor transporte a la biomasa aérea, desde donde los ET podrían transferirse a otros niveles de la red trófica mediante herbivoría. La potencial ingesta de ET por los herbívoros en una zona contaminada puede condicionar el manejo de dicha zona, en particular en lo referente al uso ganadero. En el caso del Corredor Verde, desde los primeros momentos posteriores al accidente el pastoreo en este espacio fue restringido, aunque paulatinamente se ha ido introduciendo ganado, sobre todo equino, de manera no controlada. Actualmente, en

## Artículos

la zona se desarrollan amplios pastizales que suponen un alto riesgo de incendio, y su control mecánico es costoso. Estos pastizales compiten con los plantones por el agua y los nutrientes; algunos estudios han demostrado que en plantaciones jóvenes de *Quercus*, la competencia con las herbáceas influye de manera importante en la supervivencia y crecimiento de los plantones (Rey-Benayas *et al.*, 2005). Para evaluar la viabilidad del pastoreo selectivo como medida de control de los pastizales en el Corredor Verde, estudiamos los patrones de acumulación de ET en los pastizales del Corredor Verde y la ingesta potencial de estos elementos por parte del ganado. La composición florística influyó en las concentraciones de ET del pastizal; pastizales con predominio de gramíneas mostraron menores concentraciones de ET debido a la mayor biomasa de estos pastizales, que produce un efecto de dilución de los ET, y que hace disminuir la cantidad de suelo adherido, bastante contaminado, en el material vegetal. Las ingestas potenciales de contaminantes por parte del ganado fueron diferentes según la estación del año: en otoño el riesgo de ingestión de ET es mayor debido a que en los pastos aun poco desarrollados las concentraciones de ET son mayores, así como la cantidad de suelo adherido (Fig. 2). A pesar de ello, la ingesta potencial de ET por el ganado fue tolerable en términos generales, siendo los ET no esenciales preferentemente excretados. El pastoreo en la zona sería tolerable, si se controlan las situaciones de mayor riesgo de ingesta directa de suelo contaminado por parte del ganado, es decir, en pastizales de otoño poco desarrollados. En cualquier caso, serían necesarios otros estudios para evaluar el posible riesgo de la ingestión crónica de ET.

La competencia con las herbáceas es uno de los factores que condicionan las bajas tasas de supervivencia de los plantones empleados en las reforestaciones de zonas degradadas, aunque la principal causa de mortalidad de los plantones es la sequía estival. En zonas tan degradadas como las afectadas por la minería, las condiciones ambientales pueden ser muy distintas de aquellas en las que tiene lugar la regeneración natural de las especies que se pretende reintroducir en el sistema, y por tanto la colonización y el establecimiento de la cubierta vegetal son especialmente lentos. En el Corredor Verde el éxito de las reforestaciones ha sido irregular, dependiendo de la zona y de la especie utilizada. Durante los cinco primeros años posteriores a las plantaciones en las zonas en las cercanías de la mina, la supervivencia de los plantones de árboles fue muy baja. En estas terrazas aluviales, más alejadas de río y como menor disponibilidad de agua, las especies de árboles han tenido una menor supervivencia en comparación con las especies de matorral. La encina y el algarrobo presentaron las menores tasas de supervivencia, en torno al 20 y el 30 %, respectivamente (Domínguez *et al.*, 2010b). Durante el año 2004, que fue especialmente seco, se produjeron grandes mortandades de estas dos especies. A los 10 años de su plantación, las especies arbustivas son las que presentan mayor porte en las terrazas aluviales, especialmente la retama, el romero, el lentisco y el acebuche. Estos datos parecen indicar que la plantación de especies de árboles de estadios avanzados en la sucesión ecológica, como la encina, siguiendo el método tradicional de plantación (en línea y sin protección frente a la alta radiación), tiene un éxito reducido en zonas tan degradadas.

En algunos de nuestros experimentos en el Corredor Verde hemos comprobado que las condiciones ambientales bajo especies de matorral como la retama (*Retama sphaerocarpa*) y el labiérnago (*Phillyrea angustifolia*) son mucho más favorables para el establecimiento de plántulas de encina que en las zonas abiertas, desprovistas de vegetación leñosa, donde la competencia con las herbáceas es mucho mayor. El efecto protector o *facilitador* del matorral consistió principalmente en la atenuación de la cantidad de radiación a nivel del suelo, con el consiguiente amortiguamiento de las temperaturas extremas. Al sembrar las bellotas bajo el matorral, la supervivencia de las plantas emergidas aumentó notablemente: mientras bajo la protección por el matorral la supervivencia fue superior al 85%, en las zonas abiertas no alcanzó el 30 %, a los tres años de la siembra de las bellotas

## Artículos

(Foto y Figura 3). La presencia del matorral facilitador tuvo mucha más influencia en la emergencia y el establecimiento de las plántulas que la contaminación residual del suelo. Los resultados sugieren que la plantación de especies de matorral debe ser potenciada en la restauración de zonas degradadas por la minería. La presencia del matorral crea una heterogeneidad espacial en las condiciones de luz, humedad y fertilidad del suelo que es más propicia para el establecimiento de otras especies de árboles. Considerar las relaciones positivas planta-planta (efecto facilitador) en el diseño de las plantaciones podría aumentar las tasas de supervivencia de especies de estadíos avanzados, como la encina. Además, en estudios complementarios hemos podido comprobar que la colonización y uso de la zona restaurada por la fauna es también muy dependiente de la cobertura arbustiva (Rodríguez *et al.*, 2009). Un diseño de plantación en mosaico, con abundancia de parches arbustivos de distinta densidad, podría favorecer la presencia de un mayor número de taxones animales, y una mayor conectividad de la zona restaurada con su matriz ecológica.

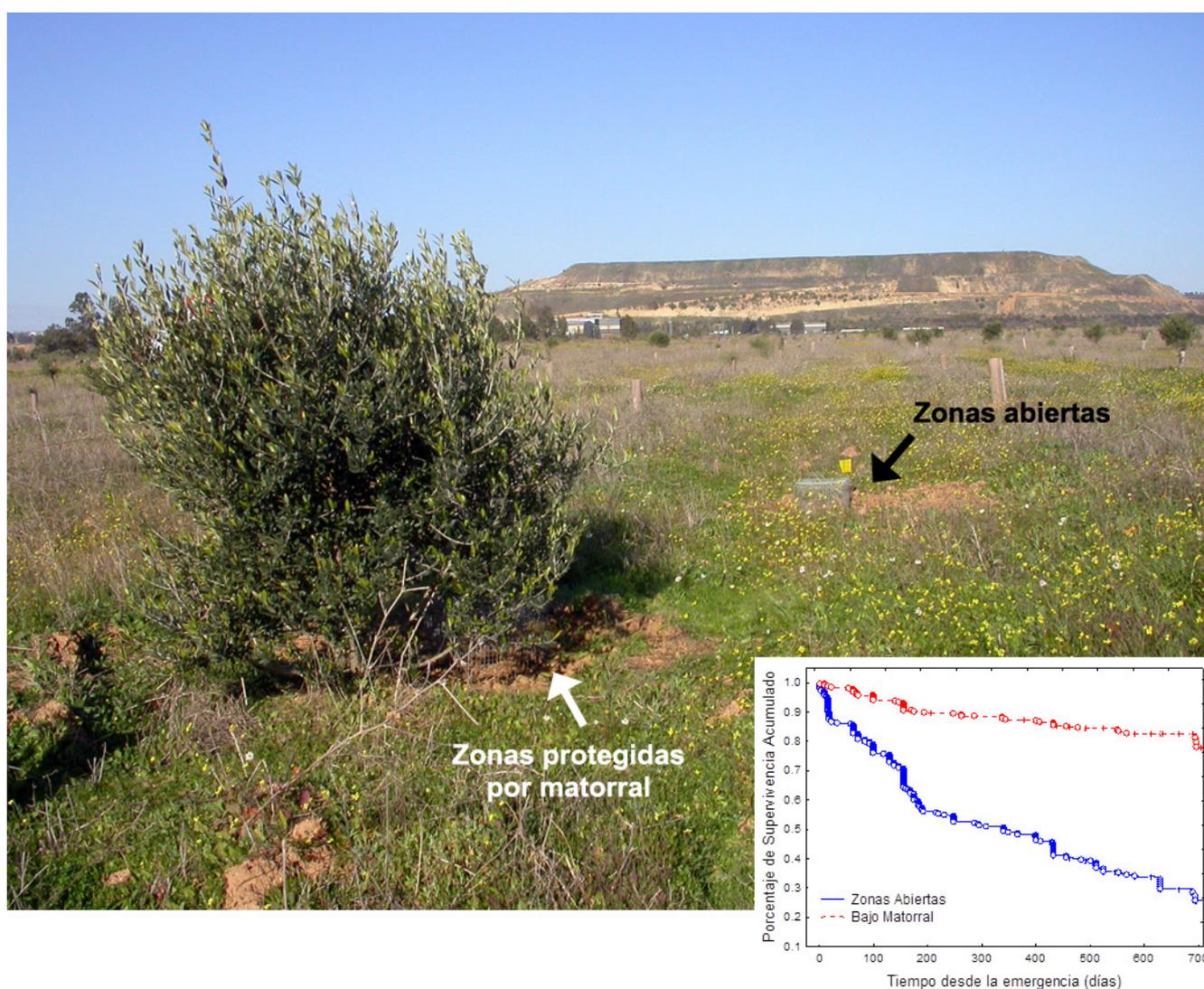


Foto y figura 3. Siembras experimentales de bellotas de encina realizadas en el Corredor Verde del Guadiamar (al fondo, vertedero de la mina de Aznalcóllar). Las plántulas emergidas debajo de matorral presentaron tasas de supervivencia mucho mayores a las plántulas emergidas en zonas abiertas (efecto facilitador del matorral).

## CONCLUSIONES

El accidente de la mina de Aznalcóllar de 1998 supuso uno de los mayores desastres ambientales recientes en España, y un reto de gestión ambiental para los técnicos y la comunidad científica, pero también una oportunidad para investigar sobre las interacciones de los elementos traza en los ecosistemas y para aprender sobre la restauración ecológica de zonas degradadas por la minería. Distintos estudios realizados en la zona, hoy conocida como Corredor Verde del Guadiamar, a lo largo de los últimos diez años muestran que, a pesar de la retirada de los lodos tras el accidente, los suelos siguen teniendo altas concentraciones de los elementos traza presentes en el lodo, si bien éstos se encuentran bastante inmovilizados en el suelo, en condiciones de baja biodisponibilidad. El riesgo de transferencia de estos contaminantes a las plantas reforestadas puede ser bajo si se seleccionan las especies adecuadas, potenciando aquellas que presentan una alta retención de elementos en el sistema radical y evitando las que muestren un alto transporte de contaminantes desde el suelo hasta las hojas (como álamos y sauces). Asimismo, el pastoreo sería viable como medida de control de los pastizales, si se evitan los pastos poco desarrollados, donde aumenta la posibilidad de ingerir suelo contaminado adherido al pasto. De entre las especies con una alta capacidad de retención radical, deberían potenciarse las especies de matorral, ya que presentan mayores tasas de supervivencia y crecimiento durante los años posteriores a la plantación, creando una heterogeneidad espacial en las condiciones de luz, humedad y fertilidad del suelo que es más propicia para la colonización de otras especies de plantas.

## AGRADECIMIENTOS

Muchas gracias a todo el personal del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC) implicado en los estudios desarrollados en el Corredor Verde del Guadiamar, en especial a Teodoro Marañón y José Manuel Murillo. Estos estudios pudieron llevarse a cabo mediante distintos convenios con la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (Proyecto SECOVER) y mediante una beca FPU del Ministerio de Educación.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARENAS, J.M., CARRASCAL, F., GIL, A., MONTES, C., 2008. Breve historia de la construcción del Corredor Verde del Guadiamar. En: CMA (Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía). *La restauración ecológica del río Guadiamar y el proyecto del corredor verde. La historia de un paisaje emergente*, Sevilla, España, pp 29-64.
- BARGAGLI, R., 1998. *Trace elements in terrestrial plants: an ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery*. Springer-Verlag, Berlin.
- BERTI, W.W. R., CUNNINGHAM, S.D., 2000 Phytostabilization of metals. En: Raskin, I., Ensley, B.D. (Ed.) *Phytoremediation of toxic metals – using plants to clean up the environment*, pp 71–78, John Wiley & Sons Inc, New York.
- CHANEY, R.L., 1989. Toxic element accumulation in soils and crops: protecting soil fertility and agricultural food chains. En: Bar-Yosef, B., Barrow, N.J., Goldshmid, J. (Eds.), *Inorganic Contaminants in the Vadose Zone*. Springer- 517 Verlag, Berlin, pp 140-158.

## Artículos

- DOMÍNGUEZ M., MARAÑÓN, T., MURILLO, J.M., SCHULIN, R., ROBINSON, B.H., 2008. Trace element accumulation in woody plants of the Guadamar valley, SW Spain: a large scale phytomanagement case study. *Environmental Pollution* 152, 50-59.
- DOMÍNGUEZ, M., MARAÑÓN, T., MURILLO, J., SCHULIN, R., ROBINSON, B., 2010a. Nutritional Status of Mediterranean Trees Growing in a Contaminated and Remediated Area. *Water, Air, & Soil Pollution* 205, 305-321.
- DOMÍNGUEZ M.T., MADEJÓN, P. MARAÑÓN, T., MURILLO, J.M., 2010b. Afforestation of a trace-element polluted area in SW Spain: woody plant performance and trace element accumulation. *European Journal of Forest Research* 129, 47-59.
- DOMÍNGUEZ M. T., MARAÑÓN, T., MURILLO, J.M., REDONDO-GÓMEZ, S., 2011 Response of Holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) and mastic shrub (*Pistacia lentiscus* L.) seedlings to high concentrations of Cd and Tl in the rhizosphere. *Chemosphere* 83, 1166-1174.
- MORENO, J.M., 2005. *Principales conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Secretaría General Técnica, M.M.A. (Ed.), Madrid.
- NRIAGU, J.O., 1996. A history of global metal pollution. *Science* 272, 223–224.
- NRC (National Research Council), 2005. Mineral Tolerance of Animals. National Academies Press, Washington DC.
- REY-BENAYAS, J.M, NAVARRO, J., ESPIGARES, T., NICOLAU, J.M., ZAVALA, M.A. 2005. Effects of artificial shading and weed mowing in reforestation of Mediterranean abandoned cropland with contrasting *Quercus* species. *Forest Ecology and Management* 212, 305-314.
- RODRÍGUEZ, A., MARAÑÓN, T., DOMÍNGUEZ. M.T., MURILLO, J.M., JORDANO, D., FERNÁNDEZ HAEGER, J., CARRASCAL, F. 2009. Reforestación con arbustos para favorecer la conectividad ecológica en el Corredor Verde del Guadamar. En: *Montes y Sociedad: saber qué hacer. Actas del 5 Congreso Forestal Español*, Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- WARHUST, A., NORONHA, L., 2000. *Environmental policy in mining: coporate strategy and plannig for closure*. CRC Press, Boca Raton.

