

Elementos traza en el sistema planta-suelo: implicaciones para la ecología de especies leñosas mediterráneas y la restauración de zonas contaminadas

M.T. Domínguez ¹

(1) Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC), Avenida de Reina Mercedes, nº 10, 41012 Sevilla. España.

➤ Recibido el 2 de febrero de 2010, aceptado el 9 de febrero de 2010.

Dominguez, M.T. (2010). Elementos traza en el sistema planta-suelo: implicaciones para la ecología de especies leñosas mediterráneas y la restauración de zonas contaminadas. *Ecosistemas* 19(1):92-96.

La intensificación de las actividades humanas durante el último siglo está provocando importantes alteraciones biogeoquímicas en los ecosistemas. Los elementos traza (metales pesados y algunos metaloides, como el arsénico) constituyen un importante grupo de contaminantes. Algunos de estos elementos son constituyentes minoritarios de los seres vivos, sin embargo distintas actividades han alterado los ciclos biogeoquímicos de estos elementos, de manera que las entradas antropogénicas de elementos traza (ET) a los ecosistemas han aumentado sustancialmente a escala global. La contaminación del suelo por este tipo de elementos puede tener distintos efectos sobre el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, y dificultar el establecimiento de la cubierta vegetal en las zonas contaminadas. El conocimiento de estos efectos en ecosistemas terrestres mediterráneos es aún escaso, a pesar de que las zonas contaminadas por ET son bastante frecuentes, particularmente en el Sur de España. Esta tesis doctoral pretende contribuir al conocimiento de la dinámica de los ET y sus efectos en especies forestales mediterráneas, incidiendo en algunos de los aspectos más relevantes para la restauración de la cubierta vegetal en zonas degradadas. Hemos estudiado la influencia de estos elementos en algunos procesos como la adquisición de nutrientes, las tasas de crecimiento y asimilación de carbono, y el establecimiento y crecimiento de plántulas de especies leñosas. También hemos abordado el posible riesgo de transferencia de ET por herbivoría de los pastizales que se desarrollan en zonas contaminadas reforestadas. Un esquema de los objetivos abordados en la tesis se recoge en la **Figura 1**. Se han combinado estudios en condiciones de campo y experimentos bajo condiciones controladas en invernadero. Los estudios de campo se desarrollaron en el Corredor Verde del Guadiamar (Sevilla), zona contaminada por un vertido minero en 1998, tras el cual se implementó un proyecto de restauración a gran escala.

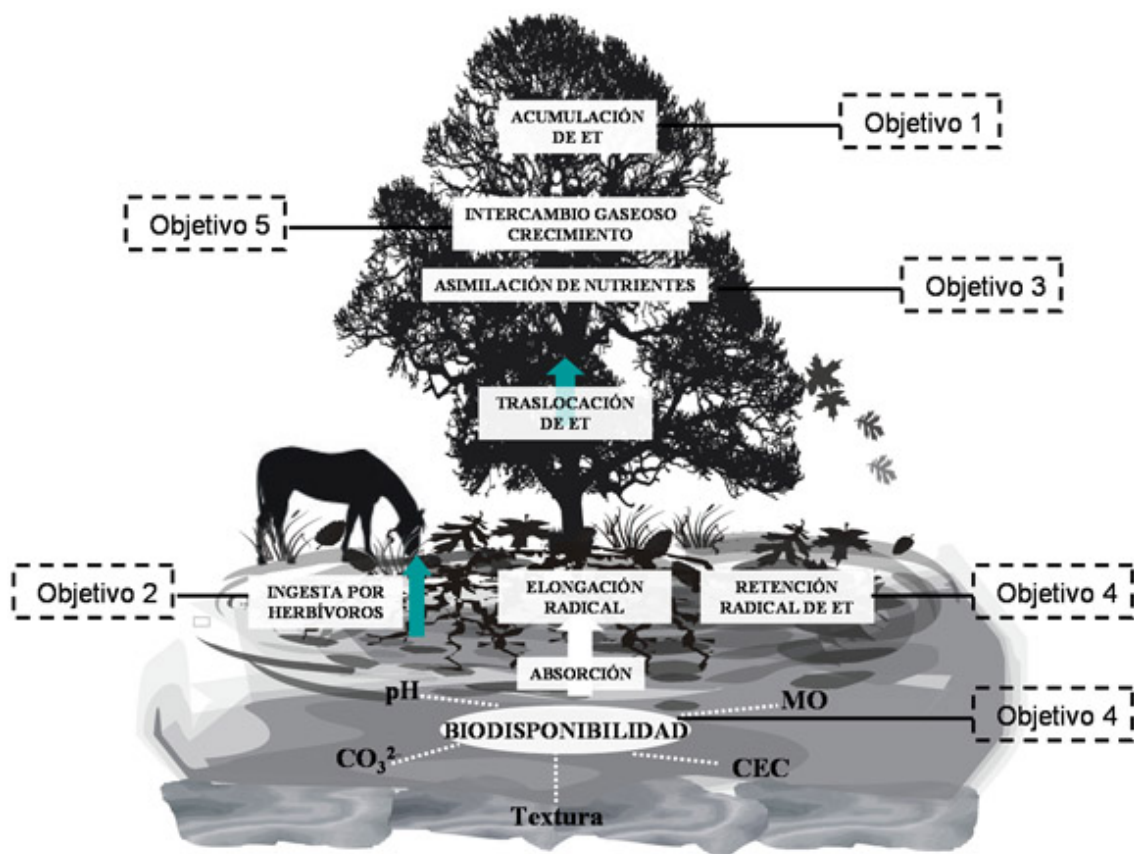


Figura 1. Esquema de los procesos implicados en la dinámica de los elementos traza (ET) en el sistema suelo-planta que han sido estudiados en la tesis, englobados en cinco objetivos.

Los patrones de acumulación de elementos traza en especies leñosas mediterráneas

Los flujos de ET en el sistema suelo-planta dependen, por un lado, de las condiciones del suelo (nivel de contaminación, textura, acidez, contenido en materia orgánica, entre otros factores) que determinan la biodisponibilidad de estos elementos. Por otro, distintas especies tienen distintos patrones de absorción en la raíz y de traslocación y acumulación de ET en la biomasa aérea.

En condiciones de campo, la acidez del suelo (pH) fue el factor de mayor influencia en la biodisponibilidad de cadmio, cobre, y cinc, mientras que otros factores como el contenido en materia orgánica, la textura o la capacidad de intercambio catiónico tuvieron escasa influencia. El Cadmio fue el elemento potencialmente más lábil: por término medio, un 15 % de la cantidad total del cadmio del suelo se presentó en formas fácilmente absorbibles por las plantas (Domínguez et al., 2009). A pesar de las altas concentraciones de ET en el suelo, la transferencia de ET del suelo a las hojas de las especies leñosas empleadas en la reforestación de la zona fue baja, y estuvo escasamente influenciada por los factores edáficos. La excepción fue el álamo blanco (*Populus alba*), para el cual las concentraciones foliares de cadmio (Cd) y cinc (Zn) alcanzaron los 3 y 410 mg kg⁻¹, respectivamente (Domínguez et al., 2008). Estos niveles están por encima del rango normal de concentraciones en plantas superiores y, en el caso del Cd, podrían llegar a ser tóxicos para los herbívoros. Debido a este patrón, esta especie acumuladora no sería recomendable para la reforestación de extensas zonas contaminadas por estos elementos, si se pretende la estabilización de la contaminación del suelo (Fig. 2). Además del posible riesgo de transferencia de ET a los herbívoros y otros componentes de la cadena trófica, el desfronde podría provocar la redistribución de Cd y Zn desde las capas más profundas del suelo a los horizontes superficiales, donde podrían provocar un mayor impacto en el ecosistema.

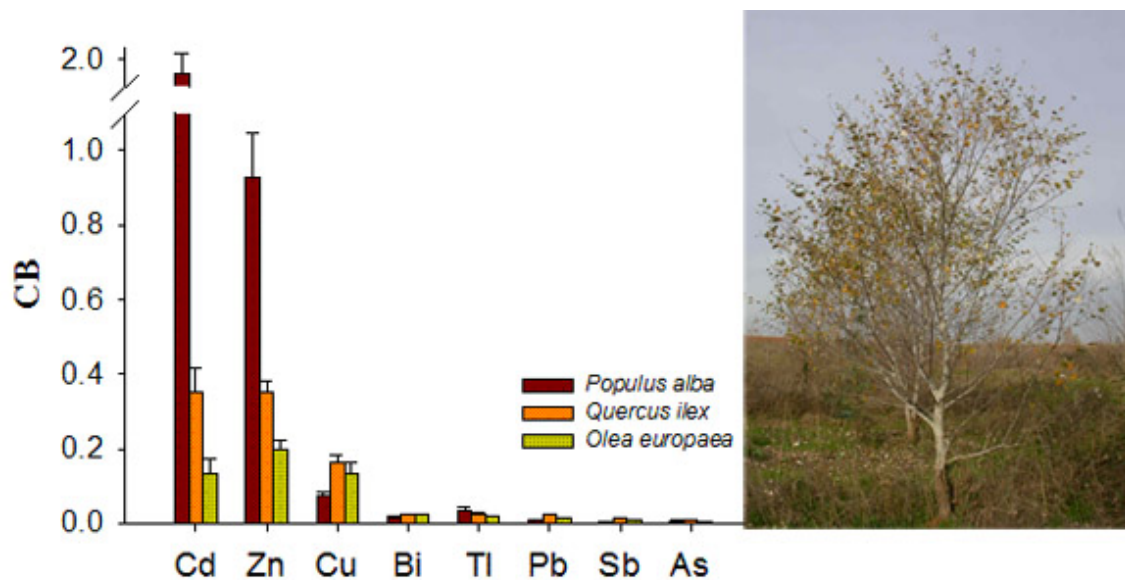


Figura 2. Acumulación de elementos traza en tres de las especies leñosas estudiadas. Se indica el Coeficiente de Bioacumulación (CB) de cada especie, definido como el cociente entre las concentraciones en hojas y las concentraciones totales en los suelos correspondientes. El álamo blanco (*Populus alba*, en la imagen) es una especie acumuladora de Cd y Zn en sus hojas, con valores de CB cercanos o superiores a 1 para estos elementos. Otras especies estudiadas fueron *Phillyrea angustifolia*, *Pistacia lentiscus*, *Retama sphaerocarpa*, *Rosmarinus officinalis* y *Tamarix africana* [Modificado de Domínguez et al., 2008].

Riesgos para la herbivoría y control de pastizales en zonas contaminadas

Los pastizales que se desarrollan sobre suelos contaminados pueden suponer un riesgo para los herbívoros y el ganado que pastorea en la zona, limitando sus posibles usos y aprovechamientos en las zonas contaminadas. En ausencia de ganado, los herbazales pueden alcanzar gran desarrollo y competir por los recursos con los plantones, lo que requiere un control mecánico que es, por lo general, bastante costoso. En esta tesis se han estudiado los patrones de acumulación de ET en los pastizales del Corredor Verde y la ingesta potencial de estos elementos por parte del ganado. Hubo diferencias estacionales en la ingesta potencial de ET por parte del ganado, con un aumento de las cantidades potencialmente ingeridas en otoño, debido a la mayor concentración de ET en los pastos poco desarrollados (Madejón et al., 2009). A pesar de ello, la ingesta potencial de ET por el ganado fue tolerable en términos generales, circunstancia corroborada por el análisis de la crin de algunos caballos del Corredor. Se comprobó además (mediante análisis de las heces), que se produce una excreta preferencial de elementos no esenciales, como As, Cd, Pb y Tl, respecto de los esenciales para el ganado (Cu y Zn). El pastoreo en la zona sería pues posible, siempre que se controlen las situaciones de mayor riesgo de ingesta directa de suelo contaminado por parte del ganado, en pastizales de otoño poco desarrollados. En cualquier caso serían necesarias monitorizaciones a más largo plazo con el fin de detectar la posible aparición de efectos crónicos debido a una ingestión continuada de ET.

Influencia de la contaminación en el estado nutricional de los árboles

Aunque la translocación de ET a las partes aéreas de las plantas sea baja, la presencia de altas concentraciones de ET en la rizosfera puede afectar a ciertos procesos a nivel de raíz, como la absorción de nutrientes. Se analizó la influencia de la contaminación del suelo en el estado nutricional de las principales especies de árboles del Corredor Verde (*Olea europaea*, *Populus alba* y *Quercus ilex*), en un amplio rango de condiciones de suelo. Se observaron algunas deficiencias nutricionales, sobre todo de fósforo, que fueron más evidentes para el acebuché (*O. europaea*), y estuvieron acentuadas bajo condiciones de acidez (Fig. 3). En estos suelos ácidos, la asimilación de otros nutrientes como Mg y S por parte del álamo blanco (*P. alba*) aumentó, posiblemente como respuesta a la liberación de cationes del complejo de cambio en estos suelos ácidos y a la alta disponibilidad de sulfatos debido a la oxidación de los restos de polisulfuros metálicos del suelo (Domínguez et al., 2010a). *Populus alba*, al ser una especie caducifolia de crecimiento rápido, podría responder más rápidamente a esta liberación de nutrientes que *O. europaea* o *Q. ilex*.

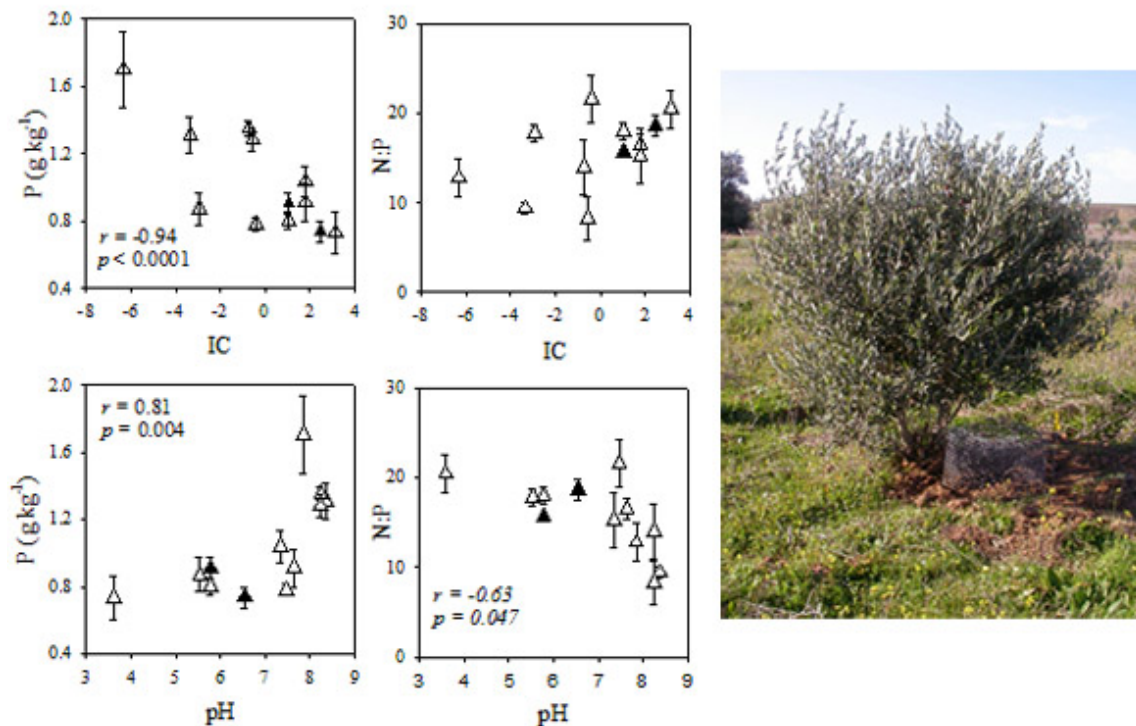


Figura 3. Contenido en fósforo en las hojas de acebuche (*Olea europaea* var. *sylvestris*, en la imagen) a lo largo de un gradiente de contaminación de suelo (indicado por el parámetro IC, Índice de Contaminación). Para esta especie, en las zonas más contaminadas (mayor IC) hubo importantes deficiencias de fósforo (indicadas por una relación N:P superior a 19) [Modificado de Domínguez et al., 2010a].

Respuesta de la encina a altas concentraciones de Cd y TI: potencial para la fitoestabilización

Si con la reforestación de una zona degradada se persigue la estabilización de la contaminación del suelo, las plantas empleadas han de ser capaces de tolerar la contaminación y, preferentemente, retener los ET en sus órganos subterráneos. Bajo condiciones de invernadero, estudiamos la respuesta ecofisiológica de plántulas de encina (*Quercus ilex*) a exposiciones altas de cadmio (Cd) y talio (TI), dos elementos traza no esenciales, potencialmente muy móviles en el sistema suelo-planta y constituyentes importantes del vertido minero. Aunque a altas dosis ambos elementos provocaron efectos adversos sobre las plantas, los mecanismos responsables de estos efectos fueron distintos. Para el Cd, la tolerancia de las plántulas de encina fue relativamente buena. El TI, sin embargo, provocó efectos más severos, incluso letales en las plántulas, con una fuerte inhibición del fotosistema II, disminución de las tasas de asimilación y conductancia estomática. Los patrones de transporte y acumulación de los dos elementos en la planta fueron bastante distintos: para el Cd existen mecanismos efectivos de retención a nivel de raíz, mientras que el TI es retenido en menor medida en la raíz y ampliamente transportado a las hojas (**Fig. 4**). Por suerte, la biodisponibilidad del TI en los suelos afectados es baja, en relación con la de otros elementos traza, como el Cd. La tolerancia de las plántulas de encina a dosis moderadas de Cd y su alta capacidad para retener este metal en el sistema radical le confieren un alto potencial para la estabilización de suelos contaminados con Cd (Domínguez et al., 2009). Sin embargo, la supervivencia de los plantones de *Q. ilex* durante los primeros años posteriores a su plantación en el Corredor Verde fue muy baja, inferior a la de otras especies esclerófilas como *O. europaea*, probablemente debido a una mayor sensibilidad a la sequía estival (Domínguez et al., 2010b). El potencial de *Q. ilex* para la fitoestabilización de suelos contaminados con Cd y otros ET podría aumentar si durante el diseño de las plantaciones se tuvieran en cuenta medidas encaminadas a aumentar la supervivencia de los plantones durante los primeros veranos posteriores a la plantación.

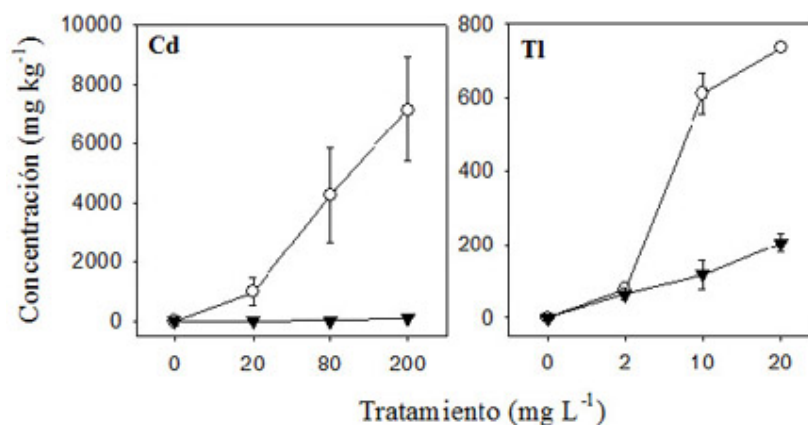


Figura 4. Acumulación de Cadmio y Talio en distintos órganos (círculos: raíces finas; triángulos: hojas) de las plántulas de encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*), sometidas a altas concentraciones de estos dos elementos traza no esenciales y potencialmente tóxicos, bajo condiciones de invernadero. Las plántulas mostraron una alta capacidad de retener Cd en las raíces finas, con unas bajas tasas de traslocación a las hojas, y una relativa buena tolerancia a este elemento. Estas propiedades le confieren un alto potencial para la fitoestabilización de suelos contaminados con Cd [Modificado de Domínguez et al., 2009]

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Junta de Andalucía (Consejería de Medio Ambiente), mediante el proyecto SECOVER (Seguimiento Ecorregional del Corredor Verde del Guadiamar) y el convenio de colaboración con el CSIC para el estudio de la viabilidad del pastoreo selectivo en el Corredor Verde, así como mediante el proyecto P06-RNM-1903 (Consejería de Innovación). Igualmente, el trabajo ha podido realizarse gracias a una beca FPU del Ministerio de Ciencia e Innovación, al que también agradecemos por el proyecto INTERBOS (CGL2008-04503-C03-01). Gracias al apoyo del Grupo EVOCA, la red GLOBIMED y el personal de la Oficina Técnica del Corredor Verde del Guadiamar.

MARÍA TERESA DOMÍNGUEZ

Elementos traza en el sistema planta-suelo: implicaciones para la ecología de especies leñosas mediterráneas y la restauración de zonas contaminadas.

Tesis doctoral.

Departamento de Biología Vegetal y Ecología (Universidad de Sevilla) e Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (IRNAS-CSIC), Sevilla.

Septiembre de 2009.

Dirección: Teodoro Marañón y José Manuel Murillo

Publicaciones resultantes de la tesis:

Domínguez, M.T., Marañón, T., Murillo, J.M., Schulin, R., Robinson, B.H. 2010a. Leaf chlorophyll and nutrient content in Mediterranean trees: relation with soil conditions during afforestation. *Water, Air and 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., Madrid, F., Marañón, T., Murillo, J.M. 2009. Cadmium availability in soils and retention in oak roots: potential for phytostabilisation. *Chemosphere* 76:480-486.

Madejón, P., Domínguez, M.T., Murillo, J.M. 2009. Risk assessment for horses grazing on regenerating pastures that have developed over trace element polluted soils. *Ecotoxicology* 18:417-428.

Domínguez, M.T., Marañón, T., Murillo, J.M., Schulin, R., Robinson, B.H. 2008. Trace element accumulation in woody plants of the Guadiamar Valley, SW Spain: a large-scale phytomanagement case study. *Environmental Pollution* 152:50-59.