



IX Congresso Ibérico das Ciências do Solo

**“O solo, recurso estratégico
para uma sociedade sustentável”**

22 a 24 de junho de 2022
Oeiras - Lisboa

Comunicações

Ficha Técnica

Edição

Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo

Título

Comunicações do IX Congresso Ibérico das Ciências do Solo
O solo, recurso estratégico para uma sociedade sustentável

Capa e paginação

Rui Tomás Monteiro

©

Comissão Organizadora

Adélia Varela (INIAV); Ana Marta Paz (SPCS, INIAV); Carlos Alexandre (SPCS, UÉvora); Clara Pinto (INIAV); Erika Santos (ISA - ULisboa); Jorge Mataix Solera (SECS, UMH); Jorge Nunes (ISA - ULisboa); Maria do Carmo Horta (SPCS, IPCastelo Branco); Maria Madalena Fonseca (ISA - ULisboa); Nádía Castanheira (INIAV); Nuno Cortez (SPCS, ISA - ULisboa); Paula Alvarenga (SPCS, ISA - ULisboa)

Comissão Científica

Amaia Nogales (ISA- ULisboa); Ana Marta Paz (INIAV); Carlos Alexandre (UÉvora); David Badía Villas (SECS - UZaragoza); David Fanguero (ISA - ULisboa); Engracia Madejón Rodríguez (SECS, IRNAS-CSIC, Sevilla); Erika Santos (ISA - ULisboa); Ernesto Vasconcelos (ISA - ULisboa); Gael Bárcenas Moreno (SECS, USevilla); Gonçalo Rodrigues (ISA - ULisboa); Henrique Ribeiro (ISA - ULisboa); Irene Ortiz Bernad (SECS, UGranada); Isabel Maria Oliveira Brito (UÉvora); João Coutinho Mendes (UTAD); Jorge Mataix-Solera (SECS, UMiguel Hernández); Jorge Pinheiro (UAçores); José Alexandre Andrade (UÉvora); José Casimiro Martins (INIAV); José Manuel Rato Nunes (IP Portalegre); Manuel Jordán Vidal (UMiguel Hernández); Manuel Madeira (ISA - ULisboa); Maria da Conceição Gonçalves (INIAV); Maria do Carmo Horta (IP Castelo Branco); Maria Madalena Fonseca (ISA - ULisboa); Maria Manuela Abreu (ISA - ULisboa); Miguel Brito (IP Viana do Castelo); Minerva García-Carmona (UMiguel Hernández); Nuno Cortez (ISA - ULisboa); Oriol Ortiz Perpiñá (SECS, UZaragoza); Paula Alvarenga (ISA - ULisboa); Ruth Pereira (UPorto); Sara Ibáñez Asensio (SECS, UPValència); Selma B. Pena (ISA - ULisboa); Tiago Ramos (MARETEC, IST - ULisboa); Tomás Figueiredo (IP Bragança)

Concentración y reservorio de Hg en el sistema suelo-planta en el bosque caducifolio Mediterráneo nativo del NE de Portugal

Concentration and pool of Hg in the soil-plant system of the Mediterranean native deciduous forest from NE Portugal

Parente-Sendín, Andrea^{1,2}, Méndez-López, Melissa^{1,2*}, Calvo-Portela, Noemi^{1,2}, Fonseca, Felicia³, de Figueiredo, Tomás³, Nunes, Luís³, Pontevedra-Pombal, Xabier⁴; Alonso-Vega, Flora^{1,2}, Nóvoa-Muñoz, Juan Carlos^{1,2}

¹ Universidade de Vigo, Departamento de Bioloxía Vexetal e Ciencia do Solo, Área de Edafoloxía e Química Agrícola, Facultade de Ciencias. As Lagoas s/n, 32004 Ourense, España

² Campus da Auga, Universidade de Vigo, Laboratorio de Tecnoloxía e Diagnose Ambiental. Rúa Canella da Costa da Vela 12, 32004, Ourense, España.

³ Centro de Investigación de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Sta Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal.

⁴ Departamento de Edafoloxía e Química Agrícola, Facultade de Bioloxía, Universidade de Santiago de Compostela. Rúa Lope Gómez de Marzoa s/n, 15786 Santiago de Compostela, España.

*memendez@uvigo.es.

Resumen

Este estudio se desarrolló en parcelas de bosque nativo mediterráneo, dominado por *Quercus pyrenaica*, situadas al noreste de Portugal. Se determina la concentración y reservorio de mercurio (Hg) en la biomasa aérea (hojas, ramas y tronco) y en horizontes orgánicos (OL, OF y OH) y minerales (hasta 30 cm) del suelo. La acumulación de Hg en la biomasa aérea es 0,22, 0,10 y 0,5 g ha⁻¹ en hojas, ramas y madera de tronco, respectivamente. El rango de concentración de Hg total (THg) en los horizontes orgánicos fue de 75-122 µg kg⁻¹ y 78-112 µg kg⁻¹ en el suelo mineral. El Hg almacenado (RHg) en los horizontes O (OL+OF+OH) y suelo mineral (hasta 30 cm) es 1,9 y 255 g ha⁻¹, respectivamente. Las correlaciones de THg y RHg con C orgánico total, N total y la relación C/N, apuntan a la dinámica de la materia orgánica como principal factor de influencia en la presencia y almacenamiento de Hg en el suelo. La alteración del ciclo del C afectaría al papel del suelo como sumidero de Hg, promoviendo un mayor riesgo de movilización de Hg hacia componentes más sensibles de los ecosistemas terrestres como la biota y aguas superficiales y freáticas.

Palabras clave: mercurio, horizonte, reservorio, biomasa aérea, materia orgánica.

Abstract

The present study was carried out in native forest plots, dominated by *Quercus pyrenaica*, located in northeastern Portugal. The concentrations and reservoirs of mercury (Hg) in different plant compartments (leaves, branches, and bole wood), organic horizons (OL, OF, and OH sub horizons) and mineral soil (up to 30 cm depth) were determined. The accumulation of Hg in aboveground biomass is 0.22, 0.10, and 0.50 g ha⁻¹ in leaves, branches and bole wood, respectively. Ranges of total Hg concentration (THg) were 75-122 µg kg⁻¹ and 78-112 µg kg⁻¹ for organic horizons and mineral soil respectively. Mercury stored in soil (RHg) is 1.9 g ha⁻¹ for O horizons (OL+OF+OH) and 255 g ha⁻¹ for mineral soil (up to 30 cm depth). The correlations between THg and RHg with total organic C, total N and the C/N ratio suggest that soil organic matter dynamic is the main responsible for the occurrence and storage of Hg in soil. Changes in the C cycle would affect the role of soils as Hg sink, promoting a greater risk of Hg mobilization to more sensitive components of the terrestrial ecosystems such as wildlife, surface waters and groundwater.

Keywords: mercury, horizon, pool, aboveground biomass, organic matter.

Introducción

El mercurio está considerado como un contaminante global, altamente tóxico y circula a través de la atmósfera hasta llegar a zonas muy alejadas de sus fuentes de emisión (Gong et al., 2014).

Los ecosistemas terrestres son un componente importante en el ciclo global del Hg. Los suelos reciben anualmente el equivalente a la mitad de todas las emisiones de Hg de fuentes naturales y antrópicas (Zhou & Obrist, 2021). El Hg llega a los suelos por deposición húmeda y/o seca, siendo este último el mecanismo dominante en los ecosistemas terrestres ya que una importante fracción del Hg atmosférico es absorbida por la vegetación y luego transferido al suelo mediante la caída de la biomasa senescente. Esto convierte al suelo en el principal reservorio de Hg en los ecosistemas terrestres a nivel global (Wang et al., 2019), facilitado por la afinidad del Hg por la materia orgánica del suelo (Du et al., 2019).

No obstante, estudios recientes indican que la biomasa aérea también acumula una fracción considerable de Hg atmosférico, convirtiendo a la vegetación en el segundo reservorio de Hg en los medios terrestres (Zhou et al., 2021).

El objetivo de este trabajo es determinar el contenido y acumulación de Hg en el sistema suelo-planta de un bosque caducifolio mediterráneo nativo situado al NE de Portugal.

Material y métodos

El área de estudio se localiza en Serra da Nogueira (NE Portugal) a unos 1300 de altitud. Se trata de una zona mediterránea (temperatura media anual de 12°C y precipitación total anual de 1100 mm). *Quercus pyrenaica* es la especie arbórea (caducifolia) nativa dominante. La litología de la zona está dominada por esquistos.

En el área de estudio se seleccionaron tres parcelas circulares (314 m²) representativas del bosque de *Q. pyrenaica*, tomando datos de altura y diámetro de los árboles. En cada parcela se dispusieron 5 subparcelas, recogiendo

en ellas muestras de los horizontes orgánicos (OL, OF y OH) y del suelo mineral (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 y 20-30 cm). La densidad aparente en los horizontes orgánicos se estimó a partir de su espesor y masa por unidad de superficie, y mediante camisas de densidad en el suelo mineral. En cada una de las tres parcelas se recogieron 15 muestras de hojas y de ramas (2-7 cm de grosor). En total se obtuvieron 45 muestras de hojas, 45 de ramas y 120 de suelo.

Tras su secado, las muestras de vegetación y horizontes orgánicos se trituraron (4 mm) y se obtuvo la fracción < 2mm del suelo mineral. En los horizontes orgánicos y suelo minerales se midieron pH en agua (pHw), C orgánico y N total y capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe) (Méndez-López et al., 2022). El contenido de Hg total (THg) se determinó, por duplicado, en submuestras molidas de suelo y vegetación mediante un Analizador Directo de Mercurio (DMA-80).

Los reservorios de Hg (RHg) del suelo se calcularon a partir del THg, espesor y densidad aparente de cada horizonte. En la biomasa aérea, el RHg en hojas, ramas y tronco se utilizaron ecuaciones alométricas definidas para *Q. pyrenaica* (Ruíz-Peinado et al., 2012; Mendes et al., 2013), asumiendo el mismo valor de THg en madera de ramas para la estimación en tronco.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando SPSS v. 25.

Resultados y discusión

Características generales de los suelos

Los valores de algunas propiedades de los suelos se presentan en la Tabla 1. Son suelos ligeramente ácidos (pHw 5,0-5,6), ricos en C orgánico total (47 g kg⁻¹ a 30 cm de profundidad) y una relación C/N y CICe que disminuyen con la profundidad.

Niveles de Hg total y reservorios de Hg en la biomasa aérea y en suelos

Los valores de Hg total (THg) y su reservorio (RHg) en la biomasa aérea se presentan en la Tabla 2. El promedio de

THg en hojas fue de 23 $\mu\text{g kg}^{-1}$, considerablemente mayor que en la madera de ramas (2,0-7,9 $\mu\text{g kg}^{-1}$).

Tabla 1 – Promedio de diferentes características de los horizontes orgánicos y minerales de los suelos de bosque de *Q. pyrenaica*.

Horizonte	ρ_b^*	pHw	C**	N	C/N	CICe***
OL	0,01	5,1	450	14,7	32	37,2
OF	0,01	5,3	476	15,9	30	41,5
OH	0,02	5,6	345	14,1	24	37,8
0-5 cm	0,84	5,2	88	6,1	14	13,3
5-10 cm	0,84	5,0	64	4,6	13	10,1
10-15 cm	0,94	5,3	63	4,6	14	9,0
15-20 cm	1,03	5,3	54	4,0	14	7,8
20-30 cm	1,08	5,3	47	3,5	13	6,2

* ρ_b , densidad aparente (g cm^{-3}). ** valores de C y N en g kg^{-1} . *** CICe: capacidad de intercambio catiónico efectiva (incluye Al intercambiable en el suelo mineral).

El promedio para el reservorio de Hg (RHg) en la biomasa foliar fue de 0,22 g ha^{-1} , doble del acumulado en la madera de las ramas (0,10 g ha^{-1}) y la mitad del estimado para la madera del tronco de *Q. pyrenaica* (0,50 g ha^{-1}). Valores semejantes de RHg en la biomasa foliar (0,20 g ha^{-1}) fueron obtenidos en *Quercus liaotungensis* (Zhou et al., 2017), aunque los valores de RHg en ramas y tronco en ese estudio (0,7 y 0,1 g ha^{-1}) difieren de nuestros resultados.

Tabla 2 – Promedios, desviación estándar, máximos y mínimos de Hg total (THg, $\mu\text{g kg}^{-1}$) y del reservorio de Hg (RHg, g ha^{-1}) en la biomasa de hojas, ramas y tronco de parcelas de bosque de *Q. pyrenaica*.

	Hojas		Ramas		Tronco	
	THg	RHg	THg	RHg	THg	RHg
promedio	23,0	0,22	4,8	0,10	n,d.	0,50
des. est.	3,1	0,03	1,4	0,03	n,d.	0,25
máximo	30,0	0,31	7,9	0,15	n,d.	1,14
mínimo	17,9	0,17	2,0	0,05	n,d.	0,12

n.d. no determinado

Los niveles de THg en los horizontes orgánicos siguieron la secuencia OL<OF<OH, con promedios de 75, 106 y 122 $\mu\text{g kg}^{-1}$, respectivamente (Fig. 1). El promedio de RHg fue de 0,45, 0,40 y 1,0 g ha^{-1}

para OL, OF y OH, respectivamente. Los valores más elevados de THg y RHg se encontraron en la capa orgánica más humificada (OH), justificable por la correlación negativa entre THg y C/N ($r=-0,587$; $p=0,000$; $n=45$) y entre RHg y C/N ($r=-0,567$; $p=0,000$; $n=45$). Estudios previos confirman la influencia de la relación C/N en los niveles de Hg en horizontes O de suelos de bosque (Méndez-López et al., 2022).

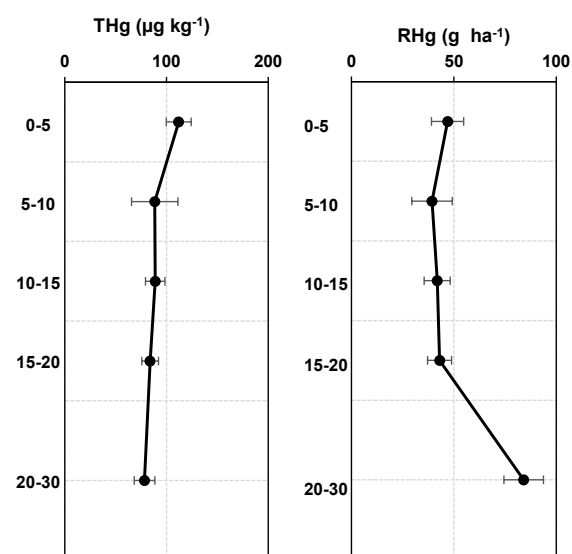


Fig 1: Distribución en profundidad de la concentración de Hg (THg) y reservorio de Hg (RHg).

Los valores de THg en el suelo mineral disminuyen con la profundidad (Fig. 1), desde 112 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (a 0-5 cm) hasta 78 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (a 20-30 cm). Al contrario, los valores medios de RHg en el suelo mineral aumentan con la profundidad hasta un máximo de 84 g ha^{-1} a 20-30 cm (Fig. 1). El promedio de RHg para todo el suelo mineral (0-30 cm) en las diferentes subparcelas es de 257 g ha^{-1} . Los valores de THg son ligeramente más altos que los publicados por Gómez-Armesto et al. (2020) en suelos de *Q. robur* en Galicia (rango 32-74 $\mu\text{g kg}^{-1}$), pero los valores de RHg casi duplican los niveles obtenidos en ese estudio para los 33 cm superficiales del suelo. El THg en el suelo mineral se correlaciona con el C orgánico y con la relación C/N ($r=0,736$; $p=0,000$ y $r=0,584$; $p=0,000$; $n=49$). Esto indica que el grado de humificación de la materia orgánica influye distintamente en el THg dependiendo del tipo de horizonte. De hecho, el RHg en el

suelo mineral no se correlaciona positivamente con el C orgánico, sino que este que viene determinado en mayor medida por la relación Hg/C ($r=0,419$; $p=0,003$; $n=49$), indicativa de la capacidad de la materia orgánica para complejar el Hg y contribuir a su almacenamiento en el suelo. No obstante, otros componentes del suelo como los oxihidróxidos de Fe y Al también estarían contribuyendo a la acumulación de Hg.

Conclusiones

El suelo mineral almacena el 99% del Hg de los bosques de *Q. pyrenaica* y su dinámica está influenciada, a medio y largo plazo, por procesos biogeoquímicos asociados al ciclo del C en el suelo. El RHg en los horizontes O, dos órdenes de magnitud menor que en el suelo mineral, sugiere un mayor dinamismo del Hg a través de su incorporación al suelo mineral, revolatilización o pérdida por escorrentía o lixiviado.

La madera de los troncos de *Q. pyrenaica* es el principal reservorio de Hg en la biomasa aérea, pero su contribución al ciclo del Hg en el suelo se espera más lenta que el RHg de las hojas. Teniendo en cuenta que el Hg almacenado en las hojas de *Q. pyrenaica* llega al suelo anualmente, si se excluyen pérdidas, bastarían 6 años para justificar el RHg de los horizontes O.

El estrecho nexo de unión entre los ciclos de Hg y C llevaría a que una alteración de la dinámica del C en el suelo, como el cambio climático o el cambio de uso del suelo, podrían afectar al papel del suelo como sumidero de Hg, incrementando los riesgos de toxicidad a través de su movilización hacia otros compartimentos de los ecosistemas terrestres más sensibles como la biota y los ecosistemas acuáticos de agua dulce.

Agradecimientos

M. Méndez-López agradece al Ministerio de Educación y Formación Profesional el contrato FPU17/05484. A la Consellería de Cultura, Educación e Universidade (Xunta de Galicia) por la financiación a través de

los contratos ED431C 2021/46-GRC y ED431F2018/06-EXCELENCIA.

Referencias bibliográficas

- Du, B., Zhou, J., Zhou, L., Fan, X., & Zhou, J. (2019). Mercury distribution in the foliage and soil profiles of a subtropical forest: Process for mercury retention in soils. *Journal of Geochemical Exploration*, 205, 106337. doi: 10.1016/j.gexplo.2019.106337.
- Gómez-Armesto, A., Méndez-López, M., Pérez-Rodríguez, P., Fernández-Calvino, D., Arias-Estévez, M., & Nóvoa-Muñoz, J. C. (2020). Litterfall Hg deposition to an oak forest soil from southwestern Europe. *Journal of Environmental Management*, 269, 110858. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110858.
- Gong, P., Wang, X.P., Xue, Y.G., Xu, B.Q., & Yao, T.D. (2014). Mercury distribution in the foliage and soil profiles of the Tibetan forest: Processes and implications for regional cycling. *Environmental Pollution*, 188, 94-101. doi: 10.1016/j.envpol.2014.01.020.
- Mendes, A., Nunes, L., Lopez, D., & Soares, P. (2013). Ajuste de equações de biomassa total e por componentes para Carvalho-negral e pinheiro-bravo no distrito de Vila Real. 7º Congresso Florestal Nacional. En: *Florestas-Conhecimento e Inovação* (pp 326-339).
- Méndez-López, M., Gómez-Armesto, A., Alonso-Vega, F., Pontevedra-Pombal, X., Fonseca, L., de Figueiredo, T., & Nóvoa-Muñoz, J. C. (2022). The role of afforestation species as a driver of Hg accumulation in organic horizons of forest soils from a Mediterranean mountain area in SW Europe. *Science of The Total Environment*, 827, 154345. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154345.
- Ruiz-Peinado, R., Montero, G., & del Rio, M. (2012). Biomass models to estimate carbon stocks for hardwood tree species. *Forest Systems*, 21, 42-52. doi: /10.5424/fs/2112211-02193.
- Wang, X., Yuan, W., Lin, C.J., Zhang, L., Zhang, H., & Feng, X. (2019). Climate and vegetation as primary drivers for global mercury storage in surface soil. *Environmental Science & Technology*, 53, 10665-10675. doi: 10.1021/acs.est.9b02386.
- Zhou, J., Wang, Z., Zhang, X., & Gao, Y. (2017). Mercury concentrations and pools in four adjacent coniferous and deciduous upland forests in Beijing, China. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 122, 1260-1274. doi: 10.1002/2017JG003776.
- Zhou, J., Obrist, D., Dastoor, A., Jiskra, M. & Ryjkov, A. (2021). Vegetation uptake of mercury and impacts on global cycling. *Nature Reviews Earth and Environment*, 24:269-284. doi: 10.1038/s43017-021-00146-y.
- Zhou, Z. & Obrist, D. (2021). Global mercury assimilation by vegetation. *Environmental Science & Technology*, 55, 14245-14257. doi: 10.1021/acs.est.1c03530.