

# Distribución de metales traza en perfiles de suelos urbanos

## Depth distribution of trace elements in urban soil profiles

María Roo, Cecília Herbón, María Teresa Barral, Xabier Pontevedra-Pombal, Eduardo García-Rodeja & Remigio Paradelo\*

*Departamento de Edafología e Química Agrícola, Universidade de Santiago de Compostela, 15782 Santiago de Compostela, España  
(\*E-mail: remigio.paradelo.nunez@usc.es)*

<https://doi.org/10.19084/rca.28724>

### RESUMEN

Los suelos son un componente importante de los ecosistemas urbanos, pero sus funciones pueden verse afectadas negativamente por el aumento de la población urbana previsto para las próximas décadas. Entre los problemas que sufren los suelos urbanos, se destaca la acumulación de contaminantes inorgánicos. Este trabajo analiza las concentraciones de Pb, Cu, Zn, Ni y Cr en seis suelos de la ciudad de Santiago de Compostela (noroeste de España), tres de ellos desarrollados en condiciones naturales y tres formados sobre materiales transportados/alterados por actividades humanas. En dos de los suelos naturales las concentraciones de los metales traza muestran una tendencia clara a descender en profundidad, lo que sugiere que el aporte procede de la contaminación del entorno. En el otro suelo natural, formado sobre anfíbolitas, esta tendencia solo se cumple para el Pb, mientras que el Cu, Ni y Cr aumentan en profundidad, lo que puede explicarse por la naturaleza del material de partida. Por el contrario, en ninguno de los tres suelos artificiales se observa una tendencia clara en la distribución de los metales en profundidad.

**Palabras clave:** suelos urbanos, metales, contaminación.

### ABSTRACT

Soils are an important component of urban ecosystems, but their ecosystemic functions may be negatively affected by the growth in urban population projected for the next decades. Among the problems that affect urban soils, the accumulation of inorganic contaminants such as heavy metals is one of the most challenging. In this study we analyzed the concentrations of Pb, Cu, Zn, Ni and Cr in six soil profiles of the city of Santiago de Compostela (northwestern Spain). Three of them are developed under natural conditions, and the other three are developed over human altered and transported materials. In two of the natural soils, trace metal concentrations show a clear trend to decrease with depth, suggesting that metals come from the environmental pollution. In the other natural soil, developed from amphiboles, this trend is only true for Pb, while Cu, Zn, Ni and Cr increase in depth, which can be explained by the particular lithology of this soil. On the contrary, in none of the three artificial soils a clear trend in the distribution of trace element concentrations with depth is observed.

**Keywords:** urban soils, metals, pollution.

## INTRODUCCIÓN

En el año 1950 el 30 % de la población mundial residía en zonas urbanas. En 2018, el porcentaje de población urbana ascendió hasta el 55 %, y está previsto que se alcance el 68 % en el año 2050 (United Nations, 2019). Este aumento de la población en áreas urbanas implica una mayor industrialización y una expansión de las ciudades que tiene impactos negativos sobre el ecosistema urbano.

El suelo es un componente esencial en los entornos urbanos, ya que proporciona un amplio rango de servicios ecosistémicos. Sin embargo, uno de los mayores desafíos en el desarrollo urbano es la presencia de contaminantes derivados del tráfico, la industria, o el tratamiento de residuos, y el depósito y acumulación de muchos de estos contaminantes en el suelo. Entre los que se acumulan en los suelos urbanos se pueden encontrar tanto compuestos orgánicos como inorgánicos, siendo elementos como Pb o Cu los que representan más habitualmente un problema en estos casos (Ajmone-Marsan & Biasioli, 2010).

Este trabajo se enfocó en el estudio de cinco elementos potencialmente tóxicos que suelen aparecer en concentraciones elevadas en zonas urbanas y potencialmente peligrosos para la salud: plomo, cobre, zinc, níquel y cromo. Se estudió la distribución de estos metales en profundidad en seis perfiles de suelos de la ciudad de Santiago de Compostela (España). Los suelos se eligieron atendiendo a la diversidad edáfica presente en la ciudad, seleccionando tres suelos formados sobre materiales in situ y tres formados a partir de materiales transportados por el hombre.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Zona de estudio

La ciudad de Santiago de Compostela es la capital de la comunidad autónoma de Galicia, localizada en el noroeste de la península ibérica. El municipio tiene una superficie de 222 km<sup>2</sup> y 97.000 habitantes permanentes, a los que se unen algo más de 20.000 estudiantes universitarios y más de un millón de turistas que visitan la ciudad cada año.

La ciudad muestra un clima oceánico que se corresponde a la zona Cfb en la clasificación climática de Köppen-Geiger (Kotter *et al.*, 2006), con una temperatura media anual de 13°C y precipitación media anual de 1787 mm.

En cuanto a su geología, la ciudad se encuentra en la zona de contacto entre un área granítica y el macizo metamórfico conocido como Complejo de Ordes, por lo que presenta una gran diversidad geológica que se pueden dividir en cuatro tipos de materiales de partida para los suelos: esquistos, ortogneises, anfibolitas y rocas graníticas (IGME, 1981).

### Suelos

Se muestrearon perfiles de seis suelos de la ciudad de Santiago de Compostela. Los suelos 1, 2 y 3 son suelos formados sobre materiales in situ, mientras que los suelos 4, 5 y 6 se formaron sobre materiales transportados y/o alterados (Tabla 1).

**Tabla 1** - Caracterización general de los suelos estudiados

	Clasificación (WRB, 2015)	Litología	Vegetación
1	Haplic Umbrisol	Gneis	Arbórea
2	Haplic Umbrisol	Gneis	Herbáceas
3	Endocambic Umbrisol	Anfibolita	Herbáceas
4	Skeletal Regosol	Esquisto/granito	Herbáceas
5	Ekranic Technosol	Esquisto	Ninguna
6	Ekranic Technosol	Esquisto	Ninguna

### Métodos de análisis

Las muestras de suelo secas al aire y tamizadas (<2 mm) se molieron en un mortero de ágata hasta <250 µm. Para el análisis de metales totales se realizó una digestión ácida de 0,5 g de suelo con 3 ml de HF y 9 ml de HNO<sub>3</sub> a 180°C en micro-ondas, siguiendo el método EPA 3052 (USEPA, 1996). El contenido de Pb, Cu, Zn, Ni y Cr en los extractos se determinó mediante espectrometría de absorción atómica de llama (Varian SpectraAA 220FS). En estos análisis se utilizaron ácidos hiperpuros y agua milli-Q. Como control de calidad se utilizaron materiales de referencia del BCR CRM143R (suelo enmendado con lodos de depuradora) y 320R (sedimento de canal). Todos los análisis se realizaron por triplicado.

## Estadística

Se analizaron las correlaciones entre las concentraciones de los diferentes metales traza utilizando la correlación de Pearson en el software estadístico R para Windows, versión 4.1.3, y el paquete R Commander versión 2.7-2.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los contenidos en metales traza en los diferentes horizontes de los seis suelos analizados se muestran en la Tabla 2.

La concentración de Pb se encuentra en un rango entre 40-175 mg kg<sup>-1</sup>. En los suelos de evolución natural (suelos 1, 2 y 3), las concentraciones son más altas en los horizontes superficiales que en los más profundos, mientras que en los suelos artificiales (suelos 4, 5 y 6) no se aprecia claramente esta tendencia. Esto sugiere que el Pb procede de la contaminación del entorno, al ser mayor en los horizontes en contacto con la superficie. Las principales fuentes actuales de Pb son el tráfico y la soldadura en industria, pero ha sido utilizado desde 1920 como aditivo en la gasolina, siendo esta la principal fuente de contaminación histórica (Ajmone-Marsan & Biasioli, 2010).

Las concentraciones de Cu son muy variables (en la mayoría de los casos entre 1-70 mg kg<sup>-1</sup>, con un extremo de 270 mg kg<sup>-1</sup> en uno de los suelos artificiales). En los suelos 1 a 4 se aprecia un descenso de la concentración de este metal en horizontes profundos, mientras que en los suelos 5 y 6 no se observa ninguna tendencia. El mayor contenido de Cu observado en el suelo 3 se relaciona con la litología del material de partida, ya que las anfibolitas contienen mayores niveles de este elemento que otras rocas.

El contenido de Zn varía entre 30-140 mg kg<sup>-1</sup> en los seis suelos. No sigue ninguna tendencia clara en su distribución vertical, excepto en los suelos 2 y 3, donde tiende a descender en profundidad.

Las concentraciones de Ni varían entre 12-120 mg kg<sup>-1</sup>. Solo el suelo 3 muestra una tendencia definida en su distribución en profundidad, aumentando en horizontes más profundos, lo que sugiere que el origen de este elemento son las anfibolitas sobre

**Tabla 2** - Contenido total de metales traza en los perfiles de los suelos analizados (mg kg<sup>-1</sup>). MTD: material técnico duro

	Hor.	Pb	Cu	Zn	Ni	Cr
1	Ah	43,7	4,1	31,0	16,4	14,1
	Bw	39,4	2,2	33,0	16,9	9,2
	C	32,2	1,0	29,3	16,2	4,5
2	Ap1	173,7	32,5	142,2	25,3	22,5
	Ap2	105,1	28,6	90,8	24,7	22,6
	Ap3	103,0	26,8	77,1	23,2	21,5
	2A	57,0	18,8	59,3	22,5	20,2
3	Ap1	70,9	71,3	108,1	82,2	89,3
	Ap2	71,3	73,4	104,3	82,8	95,3
	2Ah	52,0	65,4	106,6	84,1	93,6
	2Bw	41,3	69,3	84,8	93,2	151,9
	3Bw	38,3	66,4	73,8	118,4	137,2
	3C	40,9	46,0	78,6	102,2	126,2
4	A	58,7	16,0	64,7	26,2	19,4
	C	47,2	15,9	56,4	26,3	24,5
	2C1	61,2	16,2	57,4	26,4	22,9
	2C2	52,3	13,4	45,1	23,1	23,4
	2C3	43,1	12,6	49,1	25,3	21,7
	3Ab	47,5	14,3	56,1	25,8	17,4
5	MTD	-	-	-	-	-
	C1	110,9	55,1	68,6	33,8	30,3
	C2	165,8	269,7	72,5	34,1	31,5
	C3	81,0	52,9	73,0	21,7	10,1
	C4	67,2	20,6	76,8	18,6	5,2
	Cu	62,1	21,7	72,6	20,8	9,3
6	C5	55,3	17,6	73,8	17,0	5,8
	MTD	-	-	-	-	-
	C1	58,0	36,9	114,1	39,5	44,2
	C2	44,3	8,0	46,9	28,2	36,4
	Cu	50,6	4,3	70,6	12,8	8,2
	2BC	52,1	30,3	87,0	48,4	52,7

las que se formó el suelo. Este origen se confirma también por el hecho de ser este suelo el que presenta concentraciones más altas de este elemento.

El contenido de Cr en los seis suelos se encuentra en un rango de 4-130 mg kg<sup>-1</sup>. Tan solo dos suelos presentan una tendencia definida en profundidad: en el suelo 1 tiende a descender, mientras que en el suelo 3 tiende a aumentar. Al igual que en el caso

del Cu y del Ni, el aumento en profundidad de la concentración de Cr en el suelo 3 parece estar relacionado con el material de partida, anfibolitas más ricas en metales.

Estas concentraciones se hallan en todos los casos por debajo de los niveles genéricos de referencia establecidos en la legislación relativa a suelos contaminados (Xunta de Galicia, 2009) por lo que el riesgo asociado sería bajo y ningún suelo se considera contaminado.

Por último, en la Tabla 3 se muestran las correlaciones entre las concentraciones de los metales analizados. El Pb está correlacionado significativamente con el Cu y el Zn ( $p < 0,01$ ), sugiriendo un origen común para los tres elementos ligado posiblemente a fuentes de contaminación antrópica. Por su parte, la correlación más significativa ocurre entre Ni y Cr ( $p < 0,001$ ) y se debe a un origen preferentemente litogénico de estos elementos, asociado a los suelos desarrollados sobre anfibolitas.

**Tabla 3** - Correlaciones entre las concentraciones de los metales traza: \* significativo a  $p < 0,05$ ; \*\* significativo a  $p < 0,01$ ; \*\*\* significativo a  $p < 0,001$

	Pb	Cu	Zn	Ni	Cr
<b>Pb</b>	1				
<b>Cu</b>	0,57**	1			
<b>Zn</b>	0,51**	0,30	1		
<b>Ni</b>	-0,17	0,35	0,42*	1	
<b>Cr</b>	-0,19	0,32	0,40*	0,98***	1

## CONCLUSIONES

Los suelos urbanos estudiados presentan concentraciones variables de los cinco metales traza analizados y diferentes patrones de distribución en profundidad. Para el Pb, las mayores concentraciones aparecen en los suelos 2 y 5, siguiendo un patrón asociado a una fuente de contaminación externa. Además, el suelo 3 destaca por sus altas concentraciones de Cu, Ni y Cr, determinadas por la litología del material de partida. En los suelos artificiales no se observa ninguna tendencia en la distribución de los metales en profundidad. En dos de los suelos naturales las concentraciones de los metales descienden en profundidad, indicando que su origen es la contaminación del entorno. En el tercer suelo natural, formado sobre anfibolitas, esta tendencia solo se cumple para el Pb, mientras que el Cu, Ni y Cr aumentan en profundidad, ya que su origen se encuentra principalmente en el material de partida.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Concello de Santiago de Compostela. R. Paradelo agradece al Ministerio de Economía y Competitividad de España su ayuda Ramón y Cajal (RYC-2016-19286). Esta investigación ha sido financiada por la Xunta de Galicia (Subvención nº ED431F 2018/04).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ajmone-Marsan, F. & Biasioli, M. (2010) - Trace elements in soils of urban areas. *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 213, p. 121-143. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0372-6>
- IGME (1981) - *Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja 94*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolph, B. & Rubel, F. (2006) - World map of Köppen-Geiger Climate Classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 15, n. 3, p. 259-263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- United Nations (2019) - *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. New York.
- USEPA (1996) - *Method 3052: Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices*. Washington, DC.
- Xunta de Galicia (2009) - Decreto 60/2009 de 26 de febreiro. *DOGA*, 57, 5920-5936.