

Evaluación de metales pesados en suelos de los oasis irrigados de la Provincia de Mendoza: I. Concentraciones totales de Zn, Pb, Cd y Cu

Heavy metals evaluation in soils of irrigated oasis of Mendoza Province: I. Total concentrations of Zn, Pb, Cd and Cu

Luis Martí¹
María Flavia Filippini¹

Carlos Salcedo¹
Alejandro Drovandi^{1,2}

Silvia Troilo¹
Analía Valdés¹

Originales: Recepción: 07/04/2011- Aceptación: 05/09/2011

RESUMEN

En Mendoza, Argentina, no existen antecedentes respecto de la presencia de elementos trazas, totales y disponibles, relacionados con el uso de los suelos en los oasis irrigados. El objetivo del trabajo, en esta etapa, fue determinar los contenidos totales de plomo (Pb), cadmio (Cd), cinc (Zn) y cobre (Cu) en la capa superficial de suelos (0-25 cm), diferenciados en siete tipos según una clasificación utilitaria: suelos vírgenes (SV); suelos de banquina (SB); suelos vecinos a banquina (SVB); suelos de agricultura intensiva (SAI); suelos de agricultura protegidos por lucha antigranizo (SLAG); suelos afectados por actividad industrial (SI) y suelos urbanos (SU). Sobre un total de 200 muestras se efectuó una digestión ácida en caliente y en los extractos se determinaron los metales en su fracción total, mediante espectrofotometría de absorción atómica (AAS). El análisis estadístico de los datos muestra que los niveles más elevados de Cu y Cd se detectan en SAI, con medias de 39,3 y 2,5 mg kg⁻¹ respectivamente. En SI se observan los mayores valores de Pb, con una media de 80,6 mg kg⁻¹ y en SU los mayores tenores de Zn, con un valor medio de 740 mg kg⁻¹. La Ciudad de Mendoza, con mayor densidad poblacional, presentó los

ABSTRACT

There is no information regarding the presence of trace elements, total and available, related to the use of soils in irrigated oasis in Mendoza, Argentina. The main objective of this work, was to measure total content of lead (Pb), cadmium (Cd), zinc (Zn) and copper (Cu) in the surface soil layer (0- 25cm) of different soils. They were grouped in in seven types, according to utilitarian classification: (acronyms in Spanish): virgin soils (SV); shoulder soils (SB); soils in the vicinity of shoulders (SVB); soils of intensive agriculture (SAI); agricultural areas with anti-hail rocket system (SLAG); soils affected by Industrial activity (SI); and urban soils (Su). On a total of 200 superficial samples, a hot acid digestion was performed; on the extracts, total content of Pb, Cd, Zn and Cu was measured by atomic absorption spectrometry (AAS). A statistical analysis of the results was performed, showing that the highest levels of Cu and Cd were detected in SAI, with mean values of 39.3 and 2.5 mg kg⁻¹ respectively. The highest values of Pb were present in the SI, with a mean value of 80.6 mg kg⁻¹, while the highest values of Zn were present in the SU soils, with a mean value of 740 mg kg⁻¹. Mendoza city, with higher population density had the highest Zn, Pb y Cd content. The concentrations are below the argentinian legislation and most soils can

- 1 Cát. de Química Agrícola. Dpto. de Ingeniería Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCUYO. Alte. Brown 500. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina. M5528AHB. lmarti@fca.uncu.edu.ar
- 2 Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Andino (INA-CRA). Belgrano 210 (Oeste). Mendoza. Argentina. M5500FIF.

mayores contenidos de Zn, Pb y Cd. Las concentraciones encontradas se ubican por debajo de las exigencias de la legislación argentina y la mayoría de los suelos pueden clasificarse como no contaminados (SNC) o ligeramente contaminados (SLC). Se prevé completar este estudio con la determinación de las fracciones disponibles de los elementos estudiados, correlacionándolos con variables edáficas físico-químicas como textura, pH y materia orgánica.

be classified uncontaminated (SNC) or slightly contaminated (SLC). It expects to complete this study with the determination of the available fractions of these elements, correlating the results with physical-chemical soil properties, such as texture, pH and organic matter.

Palabras clave

contaminación • uso del suelo • metales pesados

Keywords

soils pollution • land use • heavy metals

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados, debido a su toxicidad y tendencia a acumularse en los sistemas biológicos, representan un riesgo para la salud del hombre y los ecosistemas. Estos elementos provienen de diferentes fuentes como consecuencia de la actividad antropogénica: combustibles, aerosoles urbano-industriales, desechos líquidos y sólidos de origen animal y humano, industria minera, química, textil, productos químicos empleados en el sector agropecuario. Además, está comprobado que son fuentes de contaminación de suelos agrícolas los agroquímicos en general, los fertilizantes fosfatados en particular, los cohetes utilizados en la lucha antigranizo y los abonos orgánicos (2, 6, 10).

Estos productos junto con las aguas residuales usadas para el riego y la deposición atmosférica, aportan mercurio (Hg), cinc (Zn), cadmio (Cd), cobre (Cu) y plomo (Pb) a los suelos de cultivo, pudiendo ser absorbidos por las plantas. La biodisponibilidad de los mismos depende no sólo del tipo de suelo (textura), sino también de ciertas características físico-químicas del suelo (pH, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico) y de las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa, precipitaciones) tal como lo destacan diversos autores (2, 6, 8, 10).

Si bien algunos de los metales son esenciales para la vida animal y vegetal (cobre, cinc, hierro, manganeso), cuando están presentes en cantidades excesivas provocan daños en la salud y el ambiente (2, 6, 10).

La acción tóxica de estos contaminantes se manifiesta de forma diversa. En general, participan en procesos metabólicos vitales, provocando daños en cualquier eslabón de la cadena alimenticia. El metal pesado puede sustituir componentes de enzimas específicas y otros metales catalizadores, produciéndose alteraciones bioquímicas que afectan en mayor o en menor grado el sistema biológico, debido a la

inestabilidad estructural y funcional del mismo. Dichos metales, al pasar a lo largo de la cadena de consumo, la que está asociada con la vida animal y vegetal, lo hacen en concentraciones no dañinas, pero al incrementarse su tenor, afectarían a los miembros superiores de una cadena alimenticia. El daño causado es subclínico más que clínico, siendo provocado por concentraciones tóxicas crónicas más que agudas (12, 24, 26).

La contaminación de los suelos dedicados a la agricultura y a otras actividades es un hecho comprobado aun en los más bajos niveles de desarrollo. Cuando esta contaminación es con metales pesados, la gran mayoría de la carga se encuentra en las capas superficiales de donde es trasladada a las aguas subterráneas, superficiales y puede ser absorbida por las plantas. La posibilidad que poseen los metales pesados peligrosos de reemplazar a otros en procesos catalíticos y la de formar compuestos de estabilidad extraordinaria, hace que sea realmente necesario obtener datos sobre la magnitud de su presencia y su potencial peligrosidad para la salud de la población (8, 12, 24).

En la Provincia de Mendoza la información sobre la presencia de metales pesados en suelos es muy escasa, si bien se han realizado evaluaciones de los mismos sobre tomate en fresco, tomate industrializado, y en diferentes plaguicidas y fertilizantes (15, 16, 17, 18, 19) de distintos orígenes.

A nivel nacional se han realizado trabajos similares sobre el área metropolitana y suburbana de Buenos Aires (8, 14); internacionalmente los trabajos relacionados con la temática son numerosos (4, 11, 20, 21, 25, 27).

Mendoza, como precursora en temas ambientales, debe contar con estudios serios que permitan definir una política de conservación de los recursos suelo y agua. El conocimiento del estado actual de los suelos en cuanto a carga contaminante es la base para estudios posteriores sobre la presencia de metales pesados en aguas superficiales, aguas subterráneas y los niveles de captación por parte de las plantas cultivadas utilizadas para alimentación humana y animal.

Con la información obtenida se podrán individualizar las zonas contaminadas en las cuales se deberá restringir la actividad agrícola a explotaciones forestales o cultivos industriales no relacionados con la alimentación.

La investigación en el marco de la cual se presenta este trabajo se ha dividido en dos etapas: en esta primera se están estudiando los contenidos totales de algunos metales contaminantes (Cu, Cd, Pb, Zn) con el objeto de determinar los niveles máximos y mínimos presentes en diferentes suelos provenientes de los tres oasis irrigados de la Provincia de Mendoza. Éstos han sido categorizados de acuerdo con el uso en: suelos urbanos (SU), de banquina (SB), vecinos a banquina (SVB), de agricultura intensiva (SAI), de industria (SI), protegidos por lucha antigranizo (SLAG) y vírgenes (SV). En una segunda etapa se determinará, sobre las mismas muestras, la biodisponibilidad de dichos elementos a fin de evaluar el grado de contaminación que pudieren provocar al hombre y a su ambiente, correlacionándolo con parámetros edáficos físico-químicos, como textura, pH y materia orgánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El ensayo se realizó en la provincia de Mendoza (33° 00' S y 68° 38' W), Argentina. En general la provincia presenta clima árido con temperaturas muy elevadas en verano y muy bajas en invierno y un promedio de precipitaciones de 250 mm anuales. El suelo está clasificado como Torrifuente típico, mixto, térmico, calcáreo-yesoso, con escaso contenido de materia orgánica representativo de la zona (9). La vegetación corresponde a la región fitogeográfica del monte y está constituida por un arbustal xerófito con dominancia del género *Larrea* acompañado por *Acacia caven*, *Atriplex* spp., *Portieria microphylla* y algunas cactáceas (5). Sólo el 2% de la superficie total de la provincia se encuentra poblada y cultivada, concentrándose las actividades agrícolas e industriales en los llamados oasis irrigados (figura 1).



Figura 1. Ubicación de los oasis irrigados en la Provincia de Mendoza.

Figure 1. Location of the irrigated oasis of Mendoza Province.

Una etapa fundamental previa a la cuantificación de los metales es la extracción de los mismos; existen procedimientos secuenciales que separan fracciones de diferentes grados de disponibilidad y métodos de extracción total que emplean ácidos concentrados a través de una digestión (3, 13, 23).

En una etapa previa, se utilizaron dos tipos de extractantes: agua regia (mezcla de ácido clorhídrico (δ : 1,18) y ácido nítrico concentrado (δ : 1,38) en relación 3:1, en un grupo de muestras de suelos, a fin de utilizar el más adecuado. La digestión con

el primero permitió una recuperación de aproximadamente el 80% de los elementos en estudio, mientras que el ácido nítrico extrajo aproximadamente un 60% de los mismos, razón por la cual se utilizó en esta investigación el agua regia.

Se seleccionaron 200 muestras superficiales (0-25 cm) en suelos pertenecientes a los oasis irrigados de la Provincia de Mendoza, de acuerdo con un criterio de uso de los mismos, considerándose 7 tipos diferentes:

- (SV) Suelos Vírgenes (sin presencia de componente cultural)
- (SB) Suelos de Banquina (área comprendida entre 0 y 10 m de rutas y carriles)
- (SVB) Suelos Vecinos a Banquina (área comprendida entre 30 y 50 m de rutas y carriles)
- (SAI) Suelos de Agricultura Intensiva (montes frutales, viñedos y chacras)
- (SLAG) Suelos Agrícolas pertenecientes al área de Lucha Antigranizo
- (SI) Suelos afectados por actividad Industrial
- (SU) Suelos Urbanos de las principales ciudades provinciales

Las muestras se acondicionaron mediante secado al aire, molienda y tamizado con un tamiz plástico de 1 mm de malla. La extracción total se efectuó con agua regia en una relación suelo:extractante 1:10. En erlenmeyer acoplado a tubo refrigerante de reflujo se colocaron 2 g de suelo y 20 mL de agua regia. Las muestras se dispusieron en plancha térmica a 200°C durante 2 horas. Transcurrido este tiempo, las digestiones se llevaron a un volumen final de 100 mL.

En los extractos obtenidos se cuantificaron los contenidos de plomo (Pb), cadmio (Cd), cinc (Zn) y cobre (Cu) por espectrofotometría de absorción atómica (AAS), llama/aire/acetileno, con un equipo Perkin - Ellmer 2380, comparando las lecturas con patrones comerciales. Se determinó también el pH hidrolítico (relación suelo-agua 1:10) y la textura por la metodología del volumen de sedimentación en la totalidad de las muestras estudiadas.

Los valores de Pb, Cd, Zn y Cu totales se analizaron aplicando estadística descriptiva (distribución de frecuencias, estadígrafos), análisis de la varianza y comparación de medias mediante intervalos de confianza para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Para tal fin, los suelos se agruparon según: uso de suelo, distribución geográfica por departamentos (Ciudad de Mendoza, Guaymallén, Las Heras, Luján, Maipú, Rivadavia, San Martín, Junín, Santa Rosa, La Paz, San Carlos, Tupungato, Tunuyán, San Rafael, General Alvear, Malargüe, y región geográfica (Centro Sur, Este, Gran Mendoza, Sur).

Los contenidos de Zn, Cd, Pb y Cu totales fueron comparados e interpretados utilizando la clasificación de suelos propuesta por Kelley citada por Acevedo *et al.* (1), la cual tiene en cuenta el grado de contaminación con metales pesados y establece cinco categorías: suelo no contaminado (SNC), contaminación ligera (SCL), contaminación (SC), contaminación alta (SCA) y contaminación inusualmente alta (SCIA), como se observa en la tabla 1 (pág. 208).

Tabla 1. Clasificación del suelo según grado de contaminación por metales pesados según Kelley. Concentraciones de Cd, Pb, Cu y Zn (mg kg^{-1}).

Table 1. Soil classification according to heavy metals pollution by Kelley. Cd, Pb, Cu and Zn concentration (mg kg^{-1})

Categoría y grado de contaminación del suelo	Cd mg kg^{-1}	Pb mg kg^{-1}	Cu mg kg^{-1}	Zn mg kg^{-1}
1 SNC	0 - 1	0 - 500	0 - 100	0 - 250
2 SCL	1 - 3	500 - 1000	100 - 200	250 - 500
3 SC	3 - 10	1000 - 2000	200 - 500	500 - 1000
4 SCA	10 - 50	2000 - 10000	500 - 2500	1000 - 5000
5 SCIA	+ 50	+ 10000	+ 2500	+ 5000

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cinc

En la figura 2 y figuras 3 y 4 (pág. 209) se presentan las concentraciones de Zn (mg kg^{-1}) según uso de suelo, distribución por departamento y región geográfica.

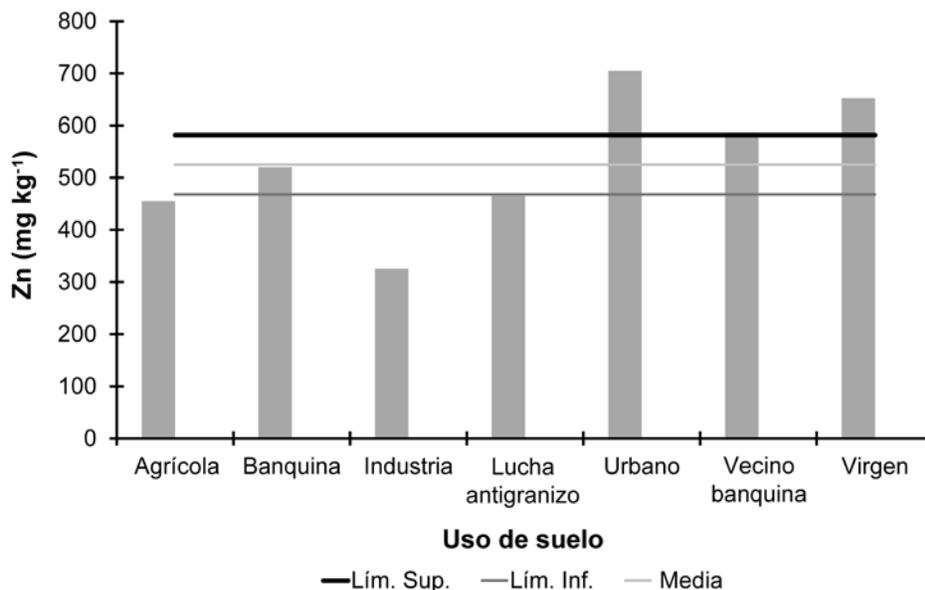


Figura 2. Niveles de Zn (mg kg^{-1}) por tipo de suelo.

Figure 2. Zn content (mg kg^{-1}) by kind of soil.

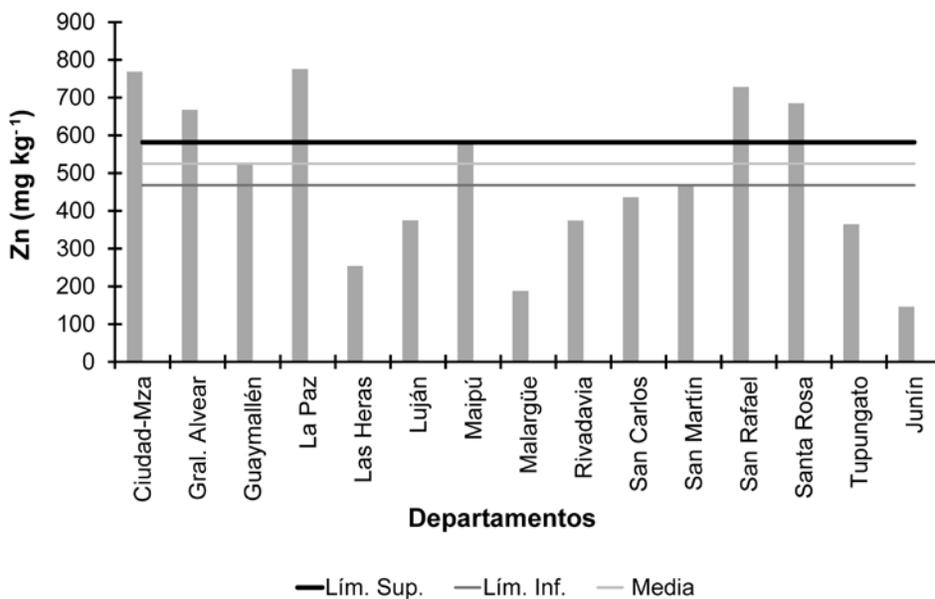


Figura 3. Niveles de Zn (mg kg⁻¹) por Departamento.
Figure 3. Zn content (mg kg⁻¹) by Department.

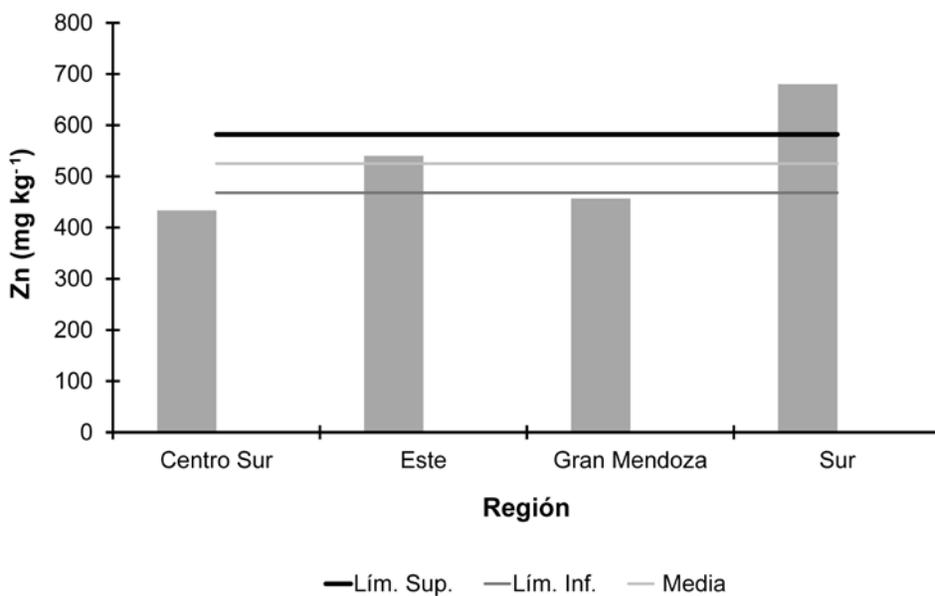


Figura 4. Niveles de Zn (mg kg⁻¹) por región geográfica.
Figure 4. Zn content (mg kg⁻¹) by geographical location.

La media general para Zn es de 524,9 mg kg⁻¹ en los distintos tipos de suelos (figura 2, pág. 208). En los SU y SV se observan valores significativamente superiores a la media poblacional (704,6 y 652,6 mg kg⁻¹, respectivamente), mientras los SI presentan un valor inferior (325,5 mg kg⁻¹) a dicha media.

En la distribución por departamentos (figura 3, pág. 209) se destacan: Ciudad de Mendoza, General Alvear, La Paz, San Rafael y Santa Rosa con valores significativamente superiores a la media poblacional (768,5 - 667,5 - 775,2 - 728,1 y 685,0 mg kg⁻¹, respectivamente). Las concentraciones menores corresponden a los suelos de Malargüe, Junín, Las Heras, Luján, Rivadavia, San Carlos y Tupungato.

En la distribución por región geográfica (figura 4, pág. 209), la zona Sur presenta los valores más elevados (679,9 mg kg⁻¹); las zonas Centro Sur y Gran Mendoza presentaron niveles de Zn significativamente menores a la media poblacional (433,2 y 456,5 mg kg⁻¹).

La variación observada en las concentraciones de Zn se debería a la gran heterogeneidad y variabilidad existente en los minerales y rocas predominantes en las cuencas cordilleranas de proveniencia, que por efecto del arrastre del agua, el principal agente de depositación de los materiales parentales, han dado origen a estos suelos aluviales (9). Según la escala propuesta por Kelley en lo que respecta al Zn, las medias de todos los suelos analizados se ubican en las categorías: 2 SCS y 3 SC, cuyos máximos valores son 500 mg kg⁻¹ y 1000 mg kg⁻¹ de Zn.

Plomo

En la figura 5 y figuras 6 y 7 (pág. 211) se presentan las concentraciones de Pb (mg kg⁻¹) según uso de suelo, distribución por departamento y región geográfica.

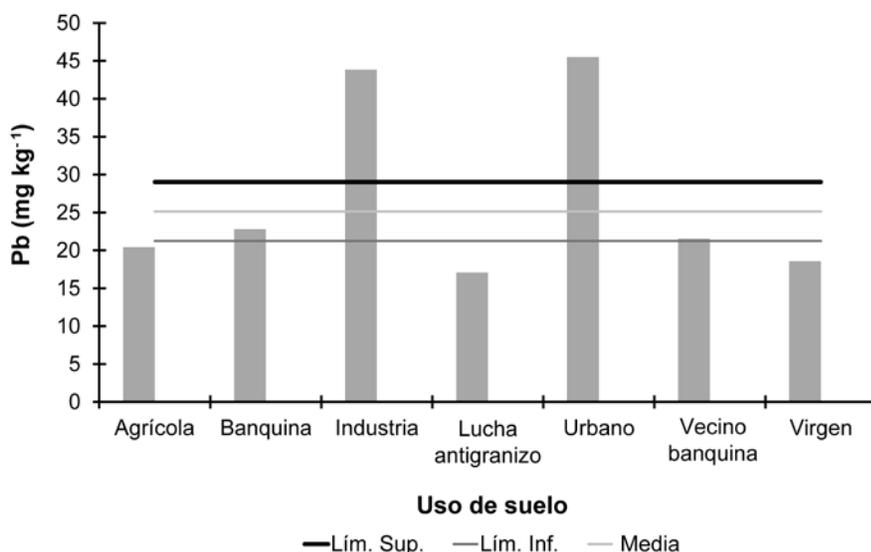


Figura 5. Niveles de Pb (mg kg⁻¹) por tipo de suelo.
Figure 5. Pb content (mg kg⁻¹) by kind of soil.

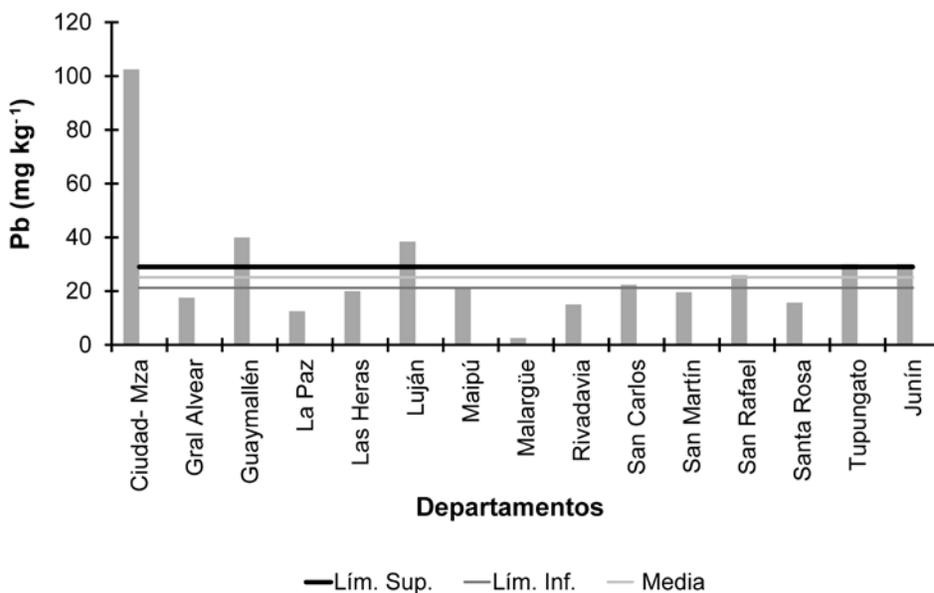


Figura 6. Niveles de Pb (mg kg⁻¹) por Departamento.
Figure 6. Pb content (mg kg⁻¹) by Department.

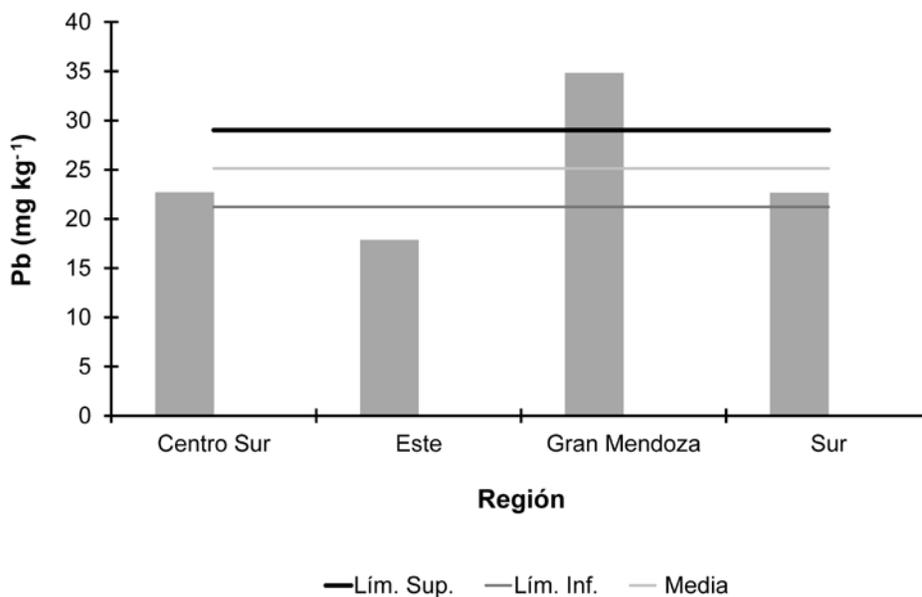


Figura 7. Niveles de Pb (mg kg⁻¹) por región geográfica.
Figure 7. Pb content (mg kg⁻¹) by geographical location.

La media general para Pb es de 25,1 mg kg⁻¹ en los distintos tipos de suelo (figura 5, pág. 210), valor que se encuentra en un nivel muy bajo, comparando con la clasificación de Kelley en la categoría 1 SNC.

Los niveles encontrados en los SI y SU son significativamente superiores a la media poblacional (43,8 y 45,5 mg kg⁻¹, respectivamente). Los SLAG, SAI y SV poseen los valores más bajos.

En la distribución por departamentos (figura 6, pág. 211) se destaca el elevado valor encontrado en la Ciudad de Mendoza (102,5 mg kg⁻¹), seguido por Guaymallén y Luján (40,0 y 38,3 mg kg⁻¹). El resto de los departamentos se ubica mayoritariamente por debajo del intervalo de confianza o dentro del mismo.

El nivel de Pb en el Gran Mendoza (34,8 mg kg⁻¹) es el más elevado, mientras que el menor corresponde a la región Este (17,8 mg kg⁻¹).

Según la escala propuesta por Kelley las medias de Pb (mg kg⁻¹) de los suelos seleccionados se ubican en la categoría 1 SNC, cuyo máximo valor es 500 mg kg⁻¹ de Pb.

Cadmio

En la figura 8 y figuras 9 y 10 (pág. 213) se presentan las concentraciones de Cd (mg kg⁻¹) según uso de suelo, distribución por departamento y región geográfica.

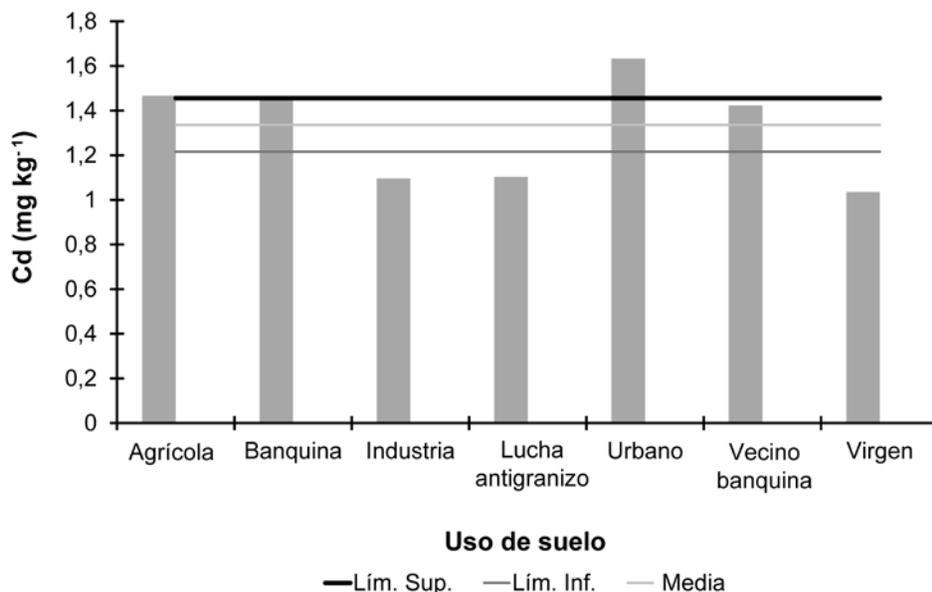


Figura 8. Niveles de Cd (mg kg⁻¹) por tipo de suelo.

Figure 8. Cd content (mg kg⁻¹) by kind of soil.

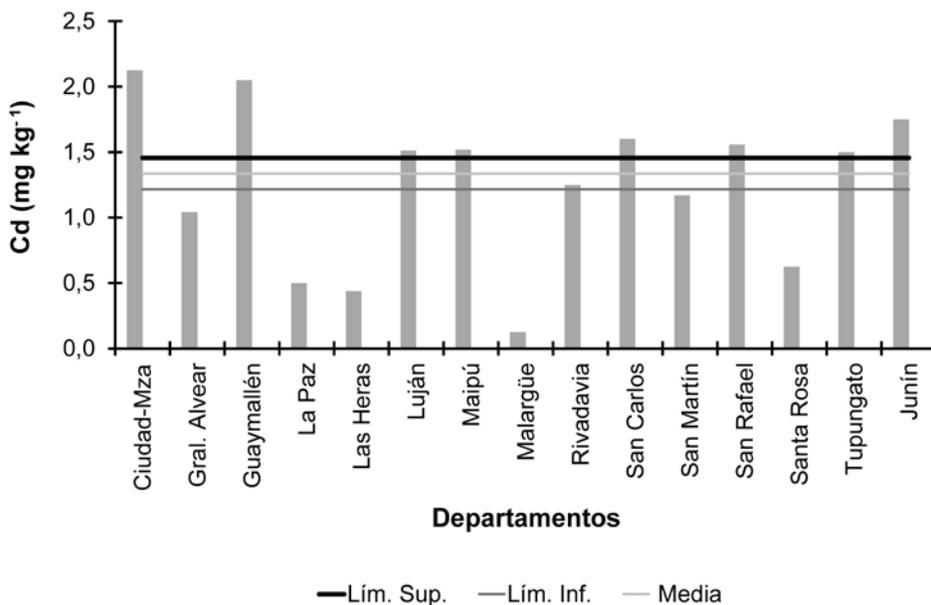


Figura 9. Niveles de Cd (mg kg⁻¹) por Departamento.
Figure 9. Cd content (mg kg⁻¹) by Department.

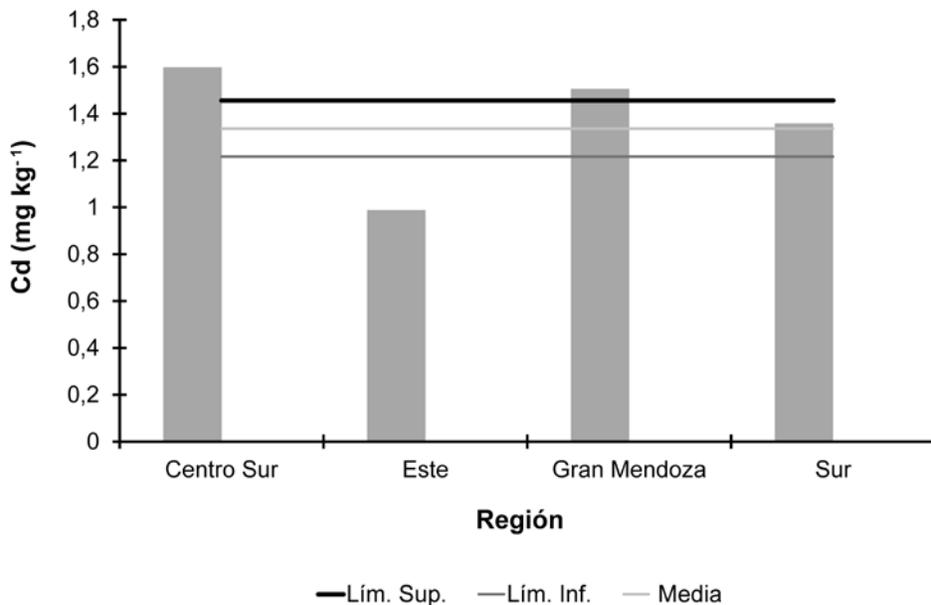


Figura 10. Niveles de Cd (mg kg⁻¹) por región geográfica.
Figure 10. Cd content (mg kg⁻¹) by geographical location.

El Cd presenta, en el total de las muestras analizadas, una media de $1,33 \text{ mg kg}^{-1}$. Considerando los distintos tipos de suelo (figura 8, pág. 212) se observa que los SU presentan valores significativamente superiores a la media poblacional, mientras que en los SI, SLAG y SV alcanzan concentraciones significativas menores.

En la distribución por departamento (figura 9, pág. 213) se destacan como significativamente superiores Ciudad de Mendoza, Guaymallén y Junín con valores de 2,1; 2,0 y $1,75 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente; La Paz, Las Heras, Malargüe y Santa Rosa presentaron los tenores más bajos (0,4 a $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$).

Si se analiza la concentración de metales pesados por región geográfica (figura 10, pág. 213), en la zona Centro Sur se encuentran los mayores valores ($1,60 \text{ mg kg}^{-1}$), en contraste con la zona Este donde se observan los menores contenidos ($0,99 \text{ mg kg}^{-1}$).

Según la escala de Kelley las medias de todos los suelos ensayados se ubican en las categorías: 1 SNC y 2 SCL, cuyos valores de referencia oscilan entre 0 mg kg^{-1} a 3 mg kg^{-1} .

Cobre

En la figuras 11 y en las figuras 12 y 13 (pág. 215) se presentan las concentraciones de Cu (mg kg^{-1}) según uso de suelo, distribución por departamento y región geográfica.

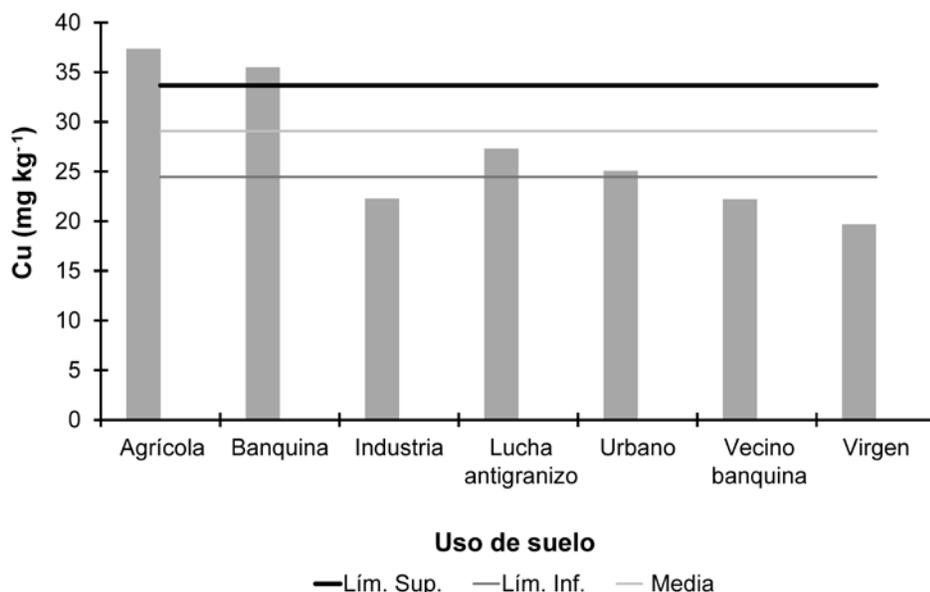


Figura 11. Niveles de Cu (mg kg^{-1}) por tipo de suelo.

Figure 11. Cu content (mg kg^{-1}) by kind of soil.

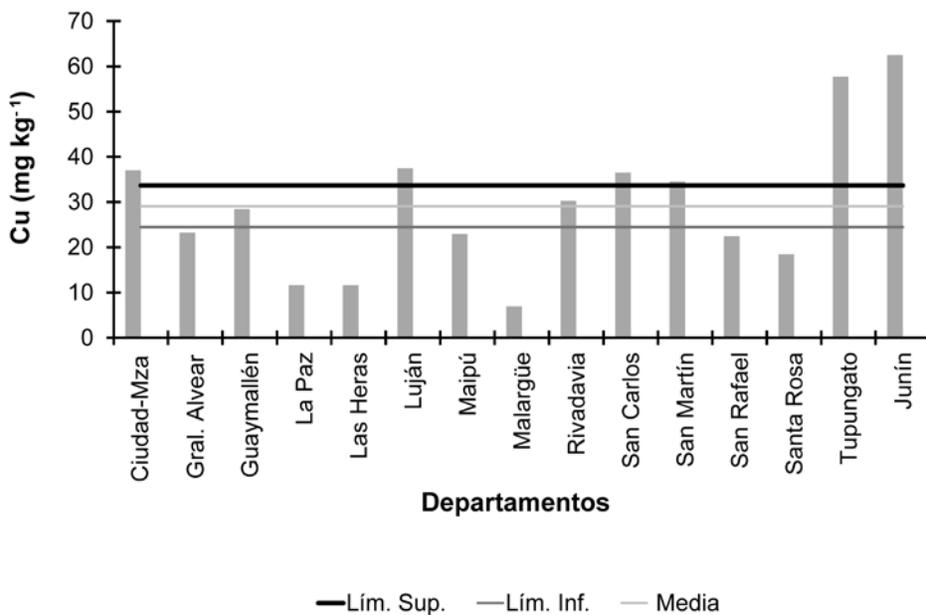


Figura 12. Niveles de Cu (mg kg⁻¹) por Departamento.

Figure 12. Cu content (mg kg⁻¹) by Departament.

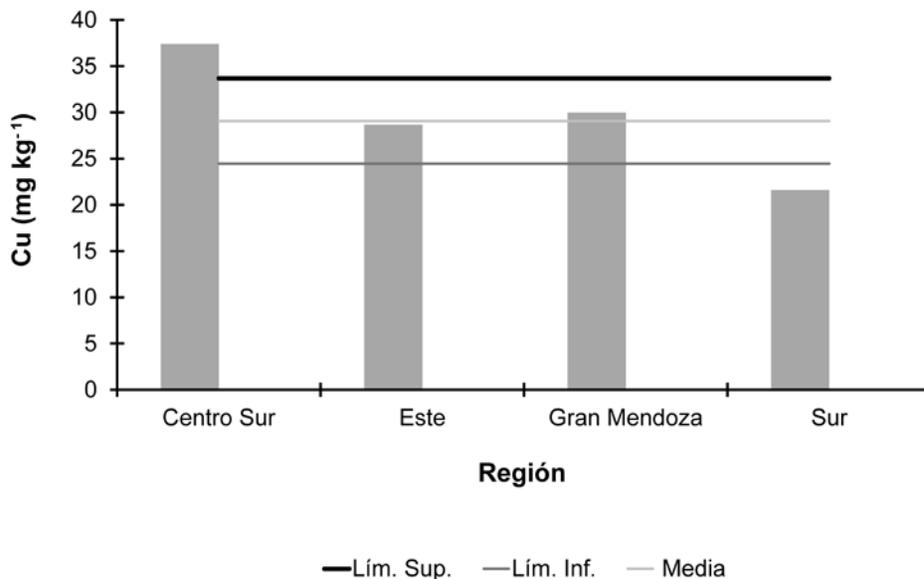


Figura 13. Niveles de Cu (mg kg⁻¹) por región geográfica.

Figure 13. Cu content (mg kg⁻¹) by geographical location.

En el total del muestreo el contenido de Cu arrojó una media de 29,0 mg kg⁻¹. Según los distintos tipos de suelo (figura 11, pág. 214) los SAI alcanzan los mayores tenores (37,3 mg kg⁻¹), seguidos por los SB con 35,5 mg kg⁻¹. Las concentraciones menores las presentan los SV (19,6 mg kg⁻¹), con valores similares a los SVB y SI (aprox. 22 mg kg⁻¹). El hecho de que suelos de agricultura intensiva presenten los mayores valores de Cu, podría atribuirse al uso generalizado de los fungicidas cúpricos que en condiciones climáticas normales llegarían a aportar cantidades importantes de Cu metálico por ha y por año (16), los cuales podrían superar el límite establecido, a partir de 2006, por la Comisión de la Unión Europea de 6 kg por ha y año (23).

En lo que respecta a los distintos departamentos (figura 12, pág. 215), se observa que en Junín y Tupungato se detectaron concentraciones de 62,5 y 57,7 mg kg⁻¹, respectivamente, valores muy superiores a la media de 29 mg kg⁻¹.

Según las regiones geográficas (figura 13, pág. 215), la zona Centro Sur presenta los mayores niveles (37,3 mg kg⁻¹), mientras que la zona Sur alcanza el valor más bajo (21,6 mg kg⁻¹).

De acuerdo con la escala de Kelley las medias de todos los suelos ensayados se ubican en la categoría 1 SNC, cuyo máximo valor es 100 mg kg⁻¹ de Cu.

pH y textura

La figura 14 y la figura 15 (pág. 217) presentan la distribución de los suelos analizados por pH hidrolítico y por texturas.

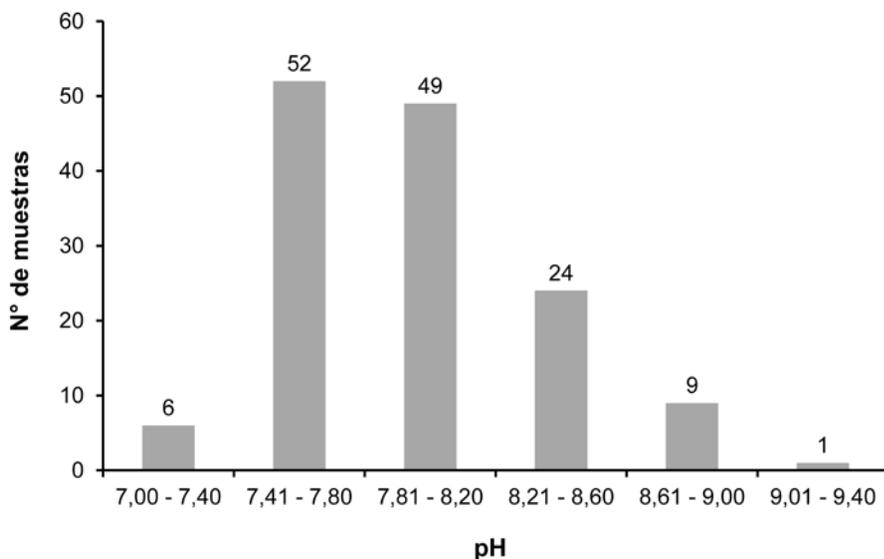


Figura 14. Distribución de las muestras de suelo por pH hidrolítico.

Figure 14. Distribution of soil samples by hydrolytic pH.

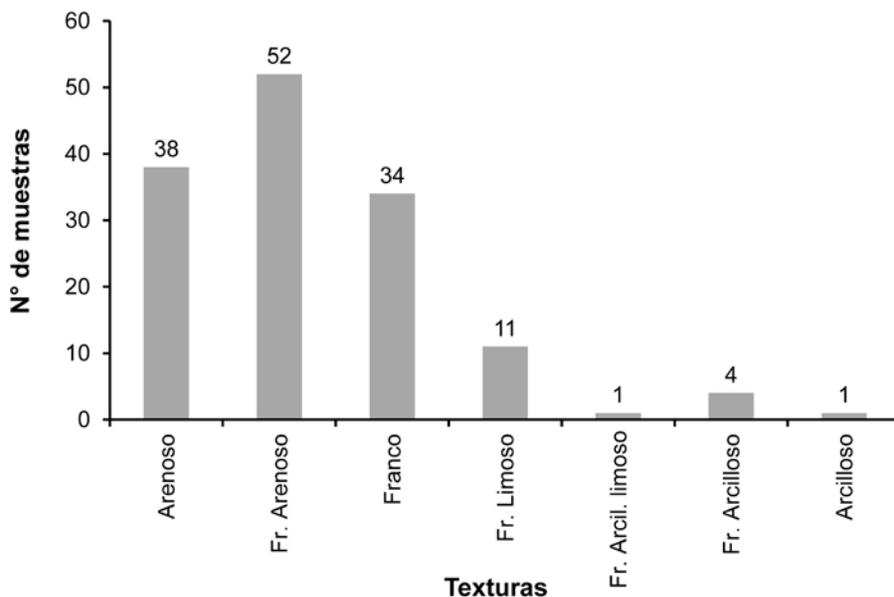


Figura 15. Distribución de las muestras de suelo por texturas.
Figure 15. Distribution of soil samples by texture.

Si se considera la distribución de las muestras edáficas según los rangos de pH hidrolítico (figura 14, pág. 216), se observa que el 72% de los suelos relevados están comprendidos en el intervalo 7,41-8,20. La alcalinidad de estos suelos dificultaría los procesos de solubilidad y biodisponibilidad de la mayoría de los metales estudiados; como consecuencia, los riesgos de toxicidad en los organismos vivos, también serían menores (2, 6).

En cuanto a la textura, un 88% de los suelos se clasifica como arenosos, franco - arenosos y francos y un 64% de los mismos pertenece a las dos primeras clases texturales. La textura es una propiedad determinante para la presencia de elementos trazas. El porcentaje de arcillas y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) están íntimamente relacionados con la granulometría del suelo, incidiendo en los niveles de metales contaminantes presentes (2, 6).

A modo de resumen general, las tablas 2, 3 y 4 muestran si las distintas agrupaciones que se han realizado: uso de suelo, distribución por departamento y distribución por región geográfica, difieren significativamente de los parámetros poblacionales estimados con el total de muestras relevadas.

Esas diferencias se comprobaron con la construcción de los intervalos de confianza para un nivel de significancia de 0,05. El signo (+) indica que el promedio es significativamente mayor, el signo (-) que es menor y el signo (=) que no difiere significativamente de la media poblacional.

Tabla 2. Comparación de los metales estudiados agrupados por Departamento.
Table 2. Comparisson heavy metals studied by Department.

Departamentos	Cinc	Plomo	Cadmio	Cobre
Ciudad de Mendoza	+	+	+	+
General Alvear	+	-	-	=
Guaymallén	=	+	+	=
La Paz	+	-	-	-
Las Heras	-	=	-	-
Luján	-	+	+	+
Maipú	=	=	+	=
Malargüe	-	-	-	-
Rivadavia	-	-	=	=
San Carlos	-	=	+	+
San Martín	=	=	=	=
San Rafael	+	=	+	-
Santa Rosa	+	-	-	-
Tupungato	-	=	=	+
Junín	-	=	+	+

Tabla 3. Comparación de los metales estudiados, agrupados por tipo de suelo.
Table 3. Comparisson heavy metals studied by kind of soil.

Tipos de suelos	Cinc	Plomo	Cadmio	Cobre
SAI	=	=	=	+
SB	=	=	=	+
SI	-	+	-	-
SLAG	=	-	-	=
SU	+	+	+	=
SVB	=	=	=	-
SV	+	-	-	-

Tabla 4. Comparación de los metales estudiados agrupados por región geográfica.
Table 4. Comparisson heavy metals studied by geographical location.

Región geográfica	Cinc	Plomo	Cadmio	Cobre
Centro Sur	-	=	+	+
Este	=	-	-	=
Gran Mendoza	=	+	=	=
Sur	+	=	=	-

Los contenidos totales de Zn, Cd y Cu en SB y SVB hallados en Mendoza, fueron similares a los encontrados en suelos urbanos y suburbanos de la Provincia de Buenos Aires, mientras que los de Pb fueron inferiores a los valores medio (125 mg kg^{-1}) y máximo (676 mg kg^{-1}) citados en ese estudio (14). En SI el Cd presenta niveles similares a los de referencia (7, 14) mientras los contenidos del resto de los metales resultaron ser muy inferiores. En SV, las concentraciones fueron muy superiores a los de la referencia

citada, probablemente debido a la composición mineralógica y a la formación natural de los suelos, características del clima árido predominante en la provincia (9).

Por otra parte la Ciudad de Mendoza ha mostrado los mayores niveles de Zn, Pb, Cd y Cu. Según el censo del INDEC en 2011, la capital de la provincia tiene 114.822 habitantes, con una densidad poblacional de 2126,3 hab/km². Esta alta concentración de población, sumada a equipamientos, infraestructura y actividades varias contribuirían a la acumulación de metales, destacándose la contaminación difusa provocada por el tránsito vehicular y la contaminación puntual debida la producción de residuos sólidos urbanos.

La Legislación Argentina en el Decreto Reglamentario 831/93 - Ley Nacional 24.051 de residuos peligrosos, actualmente vigente, establece niveles guía de calidad de suelos para diferentes usos: agrícola, residencial e industrial (tabla 5).

Tabla 5. Valores máximos de metales pesados (mg kg⁻¹) admitidos en Argentina (ley 24.051).

Table 5. Maximum values for heavy metals (mg kg⁻¹) admesed in Argentina (law 24.051).

Metal	Usos		
	Agrícola	Residencial	Industrial
Zn	600	500	1500
Pb	375	500	1000
Cd	3	5	20
Cu	150	100	500

Las concentraciones relevadas de Zn, Pb, Cd y Cu para SAI, SU y SI están muy por debajo de los límites establecidos en la ley argentina.

Si se considera una de las normativas más exigentes de la UE, Holanda (8), se observa que los 200 suelos relevados presentan menores concentraciones de Pb y Cu y superan los límites establecidos para Zn (140 mg kg⁻¹) y Cd (0,8 mg kg⁻¹).

Según las directivas de Kelley, la gran mayoría de los suelos analizados en el presente trabajo se ubican en las categorías 1 SNC y 2 SCL.

CONCLUSIONES

Los suelos relevados en los oasis irrigados de la Provincia de Mendoza, clasificados como no contaminados o ligeramente contaminados, presentan contenidos totales de Zn, Pb, Cd y Cu muy por debajo de los establecidos por la legislación vigente en Argentina. Las mayores concentraciones de Zn, Pb, Cd y Cu totales se presentaron en los Suelos Urbanos (SU), mientras que los valores más bajos se hallaron en los Suelos Vírgenes (SV), con excepción del Zn. En Suelos de Agricultura Intensiva (SAI) se destacan los contenidos elevados de Cu, debido a los tratamientos fitosanitarios

tradicionales utilizados en los principales cultivos de la región. Los contenidos más altos de metales pesados se encuentran en la Ciudad de Mendoza, donde la densidad poblacional es la más elevada de la provincia. La región Centro Sur, donde se ubican las principales actividades agrícolas de importancia económica para la provincia, presenta los mayores niveles de Cd y Cu, metales relacionados con el uso de insumos agrarios. Las texturas arenosas y franco-arenosas predominantes y los pH alcalinos relevados no influirían en los riesgos toxicológico y ambiental.

En el caso de esta investigación, surge la necesidad de ampliar y/o completar la información obtenida a través de la determinación de los niveles de biodisponibilidad de los contaminantes. Esto permitiría evaluar la posibilidad de que los elementos considerados afecten significativamente la salud del hombre, los animales y el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acevedo, E.; Carrasco, M.; León, O.; Silva, P.; Castillo, G.; Ahumada, I.; Borie, G.; González, S. 2005. Informe de criterios de calidad de suelo agrícola. Servicio Agrícola y Ganadero, Chile. 205 p.
2. Alloway, B. J. 1995. Heavy Metals in Soils. 2nd ed. Blackie, Glasgow. England. 368 p.
3. AOAC. 1996. Official methods of Analysis of Association of Official Agricultural Chemists (AOAC) International. 16th ed. Publ. International Suite AOAC 481 North Frederick Avenue Gaithersburg, Maryland. USA. p. 2027-2417.
4. Begum, A.; Ramaiah. M.; Harikrishna, S.; Khan, I.; Veena, K. 2009. Analysis of heavy metals concentration in soil and lichens from various localities of Hosur Road, Bangalore, India. E-Journal of Chemistry 6(1): 13-22. Disponible en: <http://www.e-journals.net>. Consultado: 22/10/2011.
5. Cabrera, A. L. 1994. Regiones fitogeográficas argentinas. En: Kugler, W. F. (Ed.) Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo 2. 2^{da} ed. Acme. Buenos Aires. Argentina. Fascículo 1. p. 1-85.
6. Ferguson, J. 1990. The heavy elements. Chemistry, environmental impact and health effects. Oxford. Pergamon Press. p. 175-182.
7. Giuffrè, L.; Ratto, S.; Marban, L.; Schonwald, J.; Romaniuk, R. 2005. Riesgo por metales pesados en horticultura urbana. Ciencia del Suelo. 23(1): 101-106.
8. Gonzalez, M. J. 1985. Contaminación de alimentos por hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH), bifenilos policlorados (PCBs) y metales pesados. Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment., 25(4):507-521.
9. Hudson, R. A.; Aleksa, A.; Masotta, H.; Muro, E. 1990. Mapa de suelos de la provincia de Mendoza, escala 1:1000000. En: Atlas de suelos de la República Argentina. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. INTA, Centro de Investigaciones de Recursos Naturales. Buenos Aires, Argentina. Tomo II: 75-106.
10. Lagerweff, J. V. 1983. Plomo, mercurio y cadmio como contaminantes ambientales. En: Mortvedt, J. J.; Gordiano, P. M.; Lindsay, W. L. (eds.). Micronutrientes en Agricultura. México. Ed. AGT Editor S. A. p. 89-123.
11. Liao, G.; Liao, D.; Li, Q. 2008. Heavy metals contamination characteristics in soil of different mining activity zones. Trans. Nonferrous Met. Soc. China 18: 207-211.
12. Lindner, E. 1995. Toxicología de los alimentos. 2^a ed. Zaragoza. Ed. Acribia. 262 p.
13. Lindsay, W.; Norwell, W. 1978. Development of DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J., 42: 421-428.

14. Llosa, R.; Noriega, G.; Negro de Aguirre, E.; Keasten, E. 1990. Niveles de plomo, cadmio, zinc y cobre en suelos del área metropolitana y suburbana de Buenos Aires. *Ciencia del Suelo* 8(1): 3-8.
15. Martí, L.; Salcedo, C.; Troilo, S.; Rey, E.; Valdés, A. 1999. Tenores de elementos metálicos en tomate para industria cultivado en distintos suelos y períodos agrícolas. Libro del Congreso Nacional Ambiental 99. Programa de Estudios Ambientales (PRODEA). Tomo I, p. 146-150.
16. Martí, L.; Filippini, M. F.; Salcedo, C.; Drovandi, A.; Bermejillo, A.; Troilo, S.; Rey, E.; Campos, S.; Valdés, A. 2000. Metales pesados en suelos: contaminantes potenciales del agua en los oasis irrigados de Mendoza. En: *Memorias del XVIII Congreso Nacional del Agua, Santiago del Estero*. Libro y CD Rom. p. 129-130.
17. Martí, L.; Salcedo, C.; Troilo, S.; Rey, E.; Valdés, A. 2001. Metales en productos elaborados con tomate. *Rev. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*. 33 (1): 9-14.
18. Martí, L.; Burba, J. N.; Cavagnaro, M. 2002. Metales pesados en fertilizantes fosfatados, nitrogenados y mixtos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 34(2): 43-48.
19. Martí, L.; Filippini, M. F.; Bermejillo, A.; Troilo, S.; Salcedo, C.; Valdés, A. 2009. Monitoreo de cadmio y plomo en los principales fungicidas cúpricos comercializados en Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 41 (2): 109-116.
20. Nicholson, F. A.; Smith, S. R.; Alloway, B. J.; Carlton-Smith, C.; Chambers, B. J. 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Science of the Total Environment* 311: 205-219.
21. Nicholson, F. A.; Smith, S. R.; Alloway, B. J.; Carlton-Smith, C.; Chambers, B. J. 2006. Quantifying heavy metal inputs to agricultural soils in England and Wales. *Water and Environment Journal* 18: 207-211.
22. Reglamento (CE) N° 473/2002 del 15 de marzo de 2002 modificatorio de los anexos del R. 2092/91 sobre la utilización de compuestos del cobre.
23. Reglamento (CEE) N° 333/2007 del 28 de marzo de 2007 (DOL 173 de 3/7/08) sobre métodos de muestreo y análisis.
24. Tapia Zúñiga, Q. 1997. *Toxicología de los metales*. Chile. Ed. Universidad de Chile. 265 p.
25. Wei, B.; Yang, L. 2010. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical Journal* 94: 99-107.
26. World Health Organization. 1998. Copper. International Programme on Chemical Safety (IPCS) Environmental Health Criteria 200. Published under the joint sponsorship of the United Nations Environmental Programme, the International Labour Organization and OMS. Finland. 361 p.
27. Yun, S. T.; Choi, B. Y.; Lee, P. K. 2000. Distribution of heavy metals (Cr, Cu, Zn, Pb, Cd, As) in road-side sediments. Seoul Metropolitan City. Korea. *Environmental Technology* 21: 989-1000.