

## INFLUENCIA DEL MANEJO AGRÍCOLA INTENSIVO EN LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO

Por *María Luisa Andrade, Emma Fernández Covelo y María Flora Alonso Vega*

Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo - Vigo - España

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto del manejo agrícola intensivo en la contaminación del suelo. Se determinó la concentración de pesticidas organoclorados y organofosforados y de metales pesados en suelos del sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina) utilizados para producción agrícola intensiva. Se han seleccionado catorce sectores, siete dedicados a la producción hortícola y siete con trigo, girasol y soja. El contenido de pesticidas es mayor en los suelos hortícolas que en los que se producen cereales y oleaginosas. Sin embargo, el contenido de metales pesado mayor en estos últimos. Esto indica la diferencia de manejo y tratamientos en los diferentes cultivos. Los suelos estudiados contienen DDT y sus metabolitos (DDD y el DDE), Heptaclor- epóxido, Dieldrin, Endrin, Lindano, Malatión y Paratión. La acumulación de pesticidas en los suelos se debe principalmente a la antigüedad de y a la persistencia en el uso de estos productos. Por el contrario, los Argiustoles típicos, dedicados a la producción intensiva de oleaginosas y cereales, contiene cantidades mayores y mayor variedad de metales pesados. En suelos hortícolas solamente se han detectado Cu y Zn. El contenido de metales pesados en estos suelos depende más de los manejos agrícolas que de la naturaleza del material de partida. Las concentraciones de metales en todos los suelos sobrepasan a las indicadas en la bibliografía para suelos desarrollados sobre iguales materiales de partida. Los contenidos de Cd y Zn en los Argiustoles típicos, y el de Zn en todos los suelos superan los límites internacionalmente recomendados como valores de referencia en suelos no contaminados. Es necesario cambiar la las prácticas de manejo y reducir, o evitar durante algún tiempo, los aportes de agroquímicos, para evitar más acumulación en suelos y la transferencia a las aguas.

**Palabras clave:** suelos, agricultura intensiva, contaminación, pesticidas, metales pesados.

## INFLUENCE OF THE INTENSIVE AGRICULTURAL HANDLING IN SOIL POLLUTION

### ABSTRACT

The objective of this work was to study the effect of the intensive agricultural handling in soil pollution. Concentrations of organochlorine and organophosphorus pesticides and heavy metal contents in soils from the South of Buenos Aires Province (Argentina) which have been used in intensive agricultural production has been determined. Fourteen areas, seven dedicated to horticultural production and seven to wheat, sunflower and soybean have been selected. The horticultural soils contain higher pesticide levels than dedicated ones to wheat, soybean and sunflower culture, due to the different treatments used. Nevertheless heavy metal content is higher in last ones. This fact indicates the difference of intensive handling for the different developed crops in soils. The studied soils contain DDT and their metabolites (DDD and the DDE), Heptachlor-epoxide, Dieldrin, Endrin, Lindane, Malathion y Parathion. Soil pesticide accumulation is principally due to the age and persistence in the application of these products. On the contrary, Typic Argiustolls with intensive oleaginous and cereal production, contain higher amounts and variety of heavy metals. In horticultural soils only Cu and Zn have been detected. Heavy metal content in these soils depends more on the agricultural handlings than on the parent matter. Concentrations of metals in all soils surpass to those indicated in bibliographical sources for soils developed over the same parent matter. Cd, Pb contents in Typic Argiustolls, and Zn content in all soils, surpass the limits internationally recommended as reference values in not contaminated soils. It is necessary to change handling practices, and to reduce, or to avoid, agrochemicals addition to soils, to avoid more accumulation in soils and transference to waters.

**Key words:** soils, intensive agriculture, pollution, pesticides, heavy metals.

## INTRODUCCIÓN

La intensificación agrícola de la República Argentina ha llevado a la introducción creciente de fertilizantes y plaguicidas en los sistemas de cultivo. Cuando exceden los límites de los fines para los que fueron destinados, constituyen tanto una pérdida para el agrosistema como una fuente de contaminación. El nivel de riesgo de contaminación de suelos y aguas resulta de la combinación de la carga contaminante y de la vulnerabilidad a dicha contaminación. La agricultura intensiva, además de ser una fuerte importante de contaminantes, altera las propiedades y componentes del suelo que le confieren su capacidad autodepuradora. Ésta es limitada, por lo que, una vez superada el suelo deja de actuar como barrera protectora convirtiéndose en una fuente de sustancias peligrosas, y actuando como fuente de contaminantes.

La agricultura intensiva tiene una gran influencia en la contaminación del suelo por metales pesados y pesticidas, debido al uso continuado de fertilizantes y plaguicidas. Los fertilizantes fosforados pueden contener Zn, As, Cd y Pb debido a su presencia en la roca fosfórica. El uso de ciertos plaguicidas han contribuido a aumentar los niveles de As, Pb, Hg y Cu; algunos poseen concentraciones de Zn que pueden superar el 25 %. También son utilizados con frecuencia fungicidas a base de Cu o de Zn, como el CuSO<sub>4</sub>. Los metales pesados también pueden estar presentes en estiércoles de animales (Zn y Cu) debido al uso de ciertos compuestos, que los contienen, en la dieta del animal para evitar ciertas enfermedades. También se encuentran presentes en productos desinfectantes utilizados en las instalaciones, y pueden proceder de la maquinaria agrícola utilizada.

El nombre de Argentina se ha asociado en otras partes de mundo a extensas llanuras de suelos profundos, oscuros capaces de producir grandes cosechas de cereales y ganado de gran calidad (Moscatelli y Pazos, 2000), pero dos tercios de la superficie están dominados por clima árido y, en estas zonas, es necesario el riego e importantes aportes para la producción vegetal.

Los suelos más importantes desde el punto de vista agrícola se desarrollaron sobre sedimentos cuaternarios eólicos, el loess pampeano (Frenguelli, 1955; Teruggi, 1957). En las zonas dominadas por clima árido, o semiárido los suelos están caracterizados por un material de partida poco evolucionado.

La zona semiárida del sur de la provincia de Buenos Aires es un territorio adecuado para la agricultura y la ganadería. El hombre ha alterado casi totalmente esta zona. Los cereales y el forraje para el ganado modificaron la vegetación natural. El relieve, a excepción de las áreas montañosas de Tandil y Ventana es ondulado o plano, las pendientes en general no exceden del 2 %. En esta zona prevalecen los suelos del orden de los Mollisoles (Moscatelli, 1991) y, dentro de ellos, los Argiustoles. Los Argiustoles típicos se asocian a suelos desarrollados sobre caliche (carbonato cálcico) y tienen limitaciones para el desarrollo vegetal relacionadas con la profundidad (García et al. 2000). A las características naturales hay que añadir el uso constante de maquinaria agrícola agresiva que causa impedimentos a la circulación del aire y del agua, lo cual hace necesario el uso permanente de cantidades importantes de enmiendas orgánicas de diverso origen para acondicionar el suelo. Por otra parte, los híbridos y las variedades cultivadas actualmente requieren altas contribuciones de fertilizantes.

Una de las fuentes más importantes de degradación de estos suelos son los fertilizantes inorgánicos y el uso de pesticidas persistentes. Los fertilizantes usados comúnmente en la Argentina incluyen metales pesados: las rocas fosfatadas contienen altos niveles de Cd y Zn. El superfosfato y el cloruro potásico contienen Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn y el Cr está presente en el fosfato diamónico (Camelo et al. 1997). Muchos pesticidas utilizados en agricultura intensiva poseen alto contenido de Cu y Zn y de otros metales pesados (Reyzábal et al. 2000). Por otra parte, en los suelos agrícolas, otras fuentes de metales pesados son abonos animales y aguas residuales (Cala et al. 1985, Soon y Abboud 1991, Paz-González et al., 2000). Algunos suelos contienen niveles naturales altos de metales potencialmente tóxicos, resultado de la meteorización de los minerales. Sin embargo, gran parte de la contaminación del suelo es debida a la actividad humana (Freedman y Hutchinson 1981). Los metales pesados son persistentes, y sus efectos negativos son duraderos. Por esta razón, sus niveles en suelos deben ser controlados (Webber y Singh 1995).

Unos 1000 diversos herbicidas, fungicidas e insecticidas se utilizan en agricultura y horticultura modernas. Sin embargo, se ha estimado que menos del 1% de 2,5 millones de toneladas aplicadas anualmente es absorbido por los organismos objetivos; el resto pasa a los organismos del suelo, al agua, aire y organismos no objetivo. Los compuestos que no se degradan fácilmente se acumulan en estos medios y constituyen un riesgo de para la salud (Pimentel y Edwards 1982; Pimentel y Levi-

tan 1986; Pimentel 1992; Melnikov 1996). Aunque se han realizado muchos trabajos sobre el contenido de pesticidas en suelos (Singh et al. 1991; Thao et al. 1993; Boul et al. 1994; Fomsgaard y Albaigés 1995; Baveye et al. 1999; Harner et al. 1999; Tomlin 2000), pocos estudios (Miglioranza et al., 1999, Andrade et al., 2004 y 2005) han tratado específicamente su persistencia en suelos de zonas semiáridas.

En el entorno hortícola de Bahía Blanca se utilizan máquinas fumigadoras convencionales por lo que más del 20 % de la cantidad de pesticidas aplicada se distribuye en el suelo. Las escasas lluvias, la poca pendiente de las áreas cultivadas y el diseño de la red de riego, hacen que el transporte de los pesticidas por escorrentía superficial sea despreciable y posibilite la acumulación en el suelo.

La realización de trabajos previos en los que se han comprobado la existencia de suelos contaminados por pesticidas (Andrade et al., 2004 y 2005) en suelos hortícolas del sur de la provincia de Buenos Aires y de contaminación por metales pesados en suelos bajo agricultura intensiva para producción de cereales y oleaginosas (Andrade et al., 2005) en otros sectores de esta región, hace necesario evaluar si la diferencia de manejos y aportes en ambos tipos de cultivos y suelos influyen en la calidad de los suelos, y más concretamente en los niveles de pesticidas y de metales pesados.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Zonas de estudio**

#### ***Entorno hortícola de Bahía Blanca***

El entorno hortícola de Bahía Blanca está localizado en la Argentina, en las colinas de la Sierra de la Ventana y en las llanuras adyacentes (Figura 1). En las colinas, el suelo es una capa delgada de los loess que cubre una capa calcárea discontinua. La cubierta de loess es más gruesa en el llano que en las pendientes. En conjunto forman una llanura marino-continental transitoria procedente de depósitos fluvio-eólicos. La precipitación anual media es 600 milímetros y la temperatura anual media es 15°C. Las principales limitaciones geomorfológicas y climáticas son sequías estacionales, erosión hídrica y eólica e inundación de varios sectores, donde los suelos no están muy desarrollados, o donde las capas de suelos son muy delgadas. El riego de las fincas se ha realizado durante muchos años con agua del río Sauce Chico. Sin embargo, el inadecuado uso del agua y del suelo ha dado lugar a la desertificación de algunas zonas. Grandes cantidades de pesticidas fueron aplicadas a las fincas durante muchos años, utilizando sprays de sople de aire (Reyzábal et al., 2000).

La zona estudiada fue dividida en siete sectores (H) (figura 1). En cada sector existe distinto número de fincas respectivamente, de alrededor de 4 hectáreas cada una, y cada finca está dividida en varias parcelas con diversos cultivos. Se recogieron muestras de suelo que pretendieron ser representativas de la antigüedad en el uso hortícola, y la persistencia en el uso de productos agroquímicos y fertilizantes. Los suelos fueron clasificados (Soil Survey Staff 1999) como Haplustoles Fluventicos en los sectores H-1, H-3, H-4 y H-5, y Paleustoles Petrocálcicos en los sectores H-2 y H-6.

#### ***Zona semiárida de la provincia de Buenos Aires dedicada al cultivo de cereales y oleaginosas***

La zona de muestreo está representada en la figura 1. Se han seleccionado también siete sectores (A) en una zona en la que las pendientes son, en general, menores del 2%. En esta zona prevalecen los suelos del orden de los Mollisoles y dentro de ellos, el gran grupo de los Argiustoles. Los Mollisoles de esta zona están desarrollados sobre depósitos loésicos y limos. Muchos de ellos son Argiustoles típicos, con un horizonte superficial franco-limoso de espesor medio de, aproximadamente, 25 cm, ácido con subsuelo arcilloso o franco-arcilloso y moderada permeabilidad. Los Argiustoles típicos, como ya se ha indicado, se asocian a suelos desarrollados sobre caliche (carbonato cálcico) y tienen limitaciones para el desarrollo vegetal relacionadas con la profundidad (García et al. 2000). A las limitaciones naturales de estos suelos hay que añadir el uso constante de maquinaria agrícola agresiva que causa impedimentos a la circulación del aire y del agua, lo cual hace necesario el uso permanente de cantidades importantes de enmiendas orgánicas de diverso origen

para acondicionar el suelo. Por otra parte, los híbridos y las variedades cultivadas actualmente requieren altas contribuciones de fertilizantes. Así las limitaciones naturales y las prácticas de manejo son los mayores factores de riesgo de degradación de estos suelos. En muchas zonas, el agua utilizada para el riego presenta un contenido de sales que puede ser peligroso, puesto que las capas freáticas están contaminadas por los aportes continuos de fertilizantes, pesticidas y abonos orgánicos en estos suelos (Galindo et al. 1999, Andrade et al., 2005).

Se han elegido, pues, siete sectores en los que los suelos estudiados son Argiustoles Típicos, que se están utilizando desde hace ya muchos años para producción agrícola intensiva, con dos cosechas por ciclo: trigo-soja, o trigo-girasol.

Las muestras utilizadas para este estudio forman parte de un enorme volumen de muestras. El objetivo de la elección de determinadas muestras, en los distintos lugares estudiados, fue incluir toda la gama de concentraciones de pesticidas y metales pesados que podrían existir en las dos zonas en un volumen manejable de muestras. Los criterios de selección se basaron en la antigüedad y persistencia en uso de agroquímicos y fertilizantes, cultivos desarrollados, tipos de suelo y características de los suelos (principalmente contenido de materia orgánica y de arcilla). Las localizaciones de los sectores estudiados se muestran, como ya se ha indicado, en la Figura 1. El procedimiento de muestreo, basado en investigaciones previas sobre el uso de pesticidas y fertilizantes en ambas zonas y las prácticas culturales utilizadas, fue diseñado para permitir, con un número relativamente pequeño de muestras, una evaluación del efecto de la persistencia en el uso de pesticidas y fertilizantes. El muestreo fue realizado en estas zonas en la capa arable del suelo (0-30 cm). Se tomaron seis muestras de suelo en cada sector, por triplicado cada una de ellas. Las muestras fueron recogidas con un muestreador Eijkkamp (MOD 04.20.SA). La mitad de la cantidad recogida de cada muestra se guardó en bolsas de polietileno y se almacenaron en ausencia de luz y a 4°C para realizar la caracterización de los suelos y el análisis de metales pesados. La otra mitad se guardó en frascos de vidrio, también en ausencia de luz y congeladas (-18°C) hasta que fueron preparadas para los análisis de pesticidas.

En el laboratorio, cada grupo de tres muestras de los punto de muestreo de cada sector fueron secadas al aire, pasadas a través de un tamiz de 2mm de malla, se juntaron, y homogeneizaron en un homogeneizador vibratorio para muestras sólidas (Fritsch rotary sampler divider. Laborette 27). Se formaron así dos muestras compuestas de cada punto de muestreo sector (una para la caracterización de los suelos y el análisis de metales pesados y la otra para la determinación de pesticidas). Se tomaron tres submuestras de cada muestra compuestas para realizar los análisis.

Como características generales se analizaron la distribución de las partículas según tamaño, el pH, contenido de materia orgánica y nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico y cationes de cambio. La distribución de tamaño de partícula se determinó, previa oxidación de la materia orgánica con peróxido de hidrógeno, separando la fracción superior a 50 milímetros por medio de tamices, y la fracción inferior mediante el procedimiento internacional (Day 1965). El pH se determinó utilizando una relación suelo:agua 1:10 y un período de equilibrio de 10 minutos (Gutián, y Carballas 1976). El contenido total de N se determinó según el método Kjeldahl (Guitian y Carballas 1976). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el contenido de cationes intercambiables se determinó según el método propuesto por Hendershot y Duquette (1986). La determinación de cationes intercambiables se realizó por ICP-OES (Perkin Elmer Optima 4300 DV).

Los contenidos totales de metales pesados se extrajeron por digestión ácida en un horno de microondas, utilizando una mezcla de ácidos nítrico, clorhídrico y fluorhídrico concentrados (1:3: 3 v/v) en reactores de Teflón (Marcet et al., 1997). El análisis de metales pesados se realizó por ICP-OES (Perkin Elmer Optima 4300 DV).

Se analizó el contenido de pesticidas organoclorados: DDT y sus metabolitos (DDE y DDD), BHC (Lindano), Heptaclor epoxido, Dieldrin y Endrin, determinándolos según el método EPA 8081A (EPA 1996). Las muestras de suelo (20 g) se trataron con 3x50 ml de 1:1 hexano:acetona y se extrajeron por ultrasonidos (método EPA 3550). Los extractos fueron concentrados, lavados y purificados, usando el método EPA 3640 A (lavado por gel Permeation) para separar los pesticidas organoclorados de algunos compuestos que interfieren (DFG Pesticide Commission 1987), y eluidos con tolueno. La determinación se realizó en un cromatógrafo de gases con detector de captura electrónica TRACE 2000/POLARIS-Q con un inyector (splitless 275°C 1 min) y un detector (ITD-MS). Los análisis fueron repetidos en columnas capilares DB-35 y DB-5 (BPX-35mm, 30 mm, 0.25mm, 0.25µm) utilizando helio como gas portador (1.5 mL min<sup>-1</sup>).

El contenido de malatión y paratión se analizó y determinó según se indica en el método EPA-8141A (1992) por extracción y fraccionamiento con diferentes disolventes. 30 g de suelo se extrajeron con cloruro de metileno. El extracto fue secado y llevado a un volumen de 5 ml o menos e intercambiado en hexano como disolvente final. El extracto se concentró a un volumen final de 5-10 ml y se analizó con un cromatógrafo gas-líquido de partición provisto de un detector de  $^{63}\text{Ni}$ . La cuantificación se realizó mediante el programa Star Chromatography Workstation (Version 3) para Varian.

Todos los resultados obtenidos son la media de tres réplicas y fueron analizados estadísticamente usando el programa SPSS (Norussis 1986). Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y test de mínima distancia significativa (LSD) (Neter et al. 1996).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de los suelos

La caracterización de los suelos de ambos sectores (Tabla 1) indica diferencias significativas, sobre todo en el pH y contenido de C orgánico de los suelos hortícolas y los dedicados a cereales y oleaginosas, lo que les confiere distinto poder de absorción y fijación de los aportes que reciben.

La CIC es alta en todos los suelos, con un valor medio de alrededor de 25 cmolc/kg. Todos los suelos están próximos a la saturación con unos valores de  $V > 70\%$ . Los datos del tamaño de partícula demuestran que predominan el limo y la arcilla en los Argiustoles, mientras que en los suelos hortícolas, en general la textura es más gruesa. El análisis estadístico demostró la existencia de diferencias significativas en el pH, el contenido de carbono orgánico, la capacidad de intercambio catiónico y la distribución de tamaño de partículas. Las diferencias en la textura son, junto con las de contenido de carbono orgánico y pH, las que más pueden afectar a la movilidad de los pesticidas y metales pesados, a su retención por el complejo adsorbente de los suelos y a su posible pérdida por drenaje.

### Pesticidas organoclorados

Los suelos hortícolas contienen cantidades mucho más elevadas de pesticidas organoclorados, con valores indicativos de elevada contaminación, que los dedicados al cultivo de trigo, soja y girasol (Figura 2). Ello es debido a los diferentes tratamientos que reciben los cultivos en ambos.

Los suelos contienen DDT y sus metabolitos (DDD y el DDE), Heptaclor epoxido, Dieldrin, Endrin y Lindano. Estos pesticidas corresponden a organoclorados que están total o parcialmente, prohibidos en Europa, E.E.U.U. y Argentina desde hace varias décadas: Dieldrin, Endrin y DDT desde 1990, 1968 y 1968, respectivamente. El Heptaclor epoxido para la salud vegetal desde 1990 y, dependiendo del cultivo, desde 1968, otros dependiendo de su formulación (sólida o líquida), como el lindano, está prohibido para la salud animal desde 1968 y para la salud vegetal desde 1971.

Los pesticidas organoclorados se acumulan en el suelo especialmente cuando los tratamientos se repiten año tras año. Además, su persistencia es alta y se ha verificado su presencia en los suelos años después del tratamiento con los pesticidas (Khan, 1980). Analizando los resultados se aprecia (Figura 2) que en los suelos con mayor antigüedad en el uso hortícola (Tabla 1) es donde aparece el contenido más alto de los la mayoría de estos pesticidas. Estos datos concuerdan con los de diversos trabajos que han demostrado el efecto de la antigüedad de las prácticas culturales en el contenido de pesticidas de los suelos (Szeto y Price 1991; Martijn et al. 1993; Kathpal et al. 1997, Andrade et al., 2005). En los sectores con menor antigüedad de uso hortícola, y en los Argiustoles dedicados a la producción de cereales y oleaginosas, la concentración es menor (Figura 2).

Para todas las muestras de suelos hortícolas, se ha establecido una correlación positiva, altamente significativa, entre los contenidos de la mayoría de los pesticidas organoclorados, y entre el contenido de cada uno de ellos y la antigüedad de uso hortícola, y también entre el contenido de la mayoría de los pesticidas organoclorados y el de materia orgánica del suelo, lo cual ha sido indi-

cado también por varios autores (Miglioranza et al. 1999), mientras que otros (Harner et al. 1999) no encuentran ninguna relación entre estos contenidos.

El contenido del lindano de los suelos suelo está correlacionado negativamente con la antigüedad de uso hortícola. Este hecho parece indicar que el lindano se ha utilizado recientemente, a pesar de la prohibición, cuando los suelos de menor antigüedad de uso hortícola fueron preparados para este uso, debido al efecto de este pesticida como insecticida del suelo. Además, debido a la menor persistencia del lindano (Khan, 1980), éste se ha encontrado en cantidades mayores que otros pesticidas en los suelos de uso más reciente (Figura 2), mientras que en los más antiguos se ha degradado parcialmente.

No se ha establecido correlación alguna entre el contenido de los metabolitos del DDT (DDD y DDE) y la antigüedad de uso hortícola. Esto es debido a que la dehidrogenación, la decloración y, en definitiva, los procesos de degradación del DDT, dependen de diversos factores que dependen, a su vez, de las condiciones ambientales y de los tratamientos que se han aplicado a los suelos y a los cultivos. Estos factores son la presencia de los insectos resistentes al DDT, que provocan la deshidrohalogenación a través de la enzima DDT-dehidrogenasa, y la existencia de porfirinas que degradan el DDT a DDD (Barberá, 1989). Son destacables los altos contenidos de DDT y de DDE+DDD en muchos de los suelos de las fincas estudiadas, lo cual confirma la persistencia del DDT y de sus metabolitos en ambientes alcalinos, y su lenta degradación.

### **Pesticidas organofosforados**

Al igual que los clorados, y por idénticas razones, el contenido de pesticidas organofosforados es mucho mayor en los suelos dedicados a la producción hortícola intensiva (Figura 3). Solamente se han detectado malatión y paratión en todos los sectores. Los resultados obtenidos demostraron que los contenidos más elevados se presentan en los suelos con mayor antigüedad de uso hortícola intensivo y, de entre ellos, en general, en los que contienen niveles más altos de carbono orgánico, lo cual coincide con los resultados de Bollag et al. (1992). Se ha establecido correlación positiva y significativa entre el contenido de malatión y paratión, y entre cada uno de ellos y la antigüedad del uso hortícola, así como entre la concentración de estos pesticidas y el contenido de carbono orgánico. En todos los sectores los suelos tienen un contenido residual significativo de malatión y paratión, probablemente debido a su bajo nivel de solubilidad y de volatilidad según indican Wauchope et al. (1992). Las escasas lluvias en estas zonas contribuyen a este contenido residual, pues el agua no está en contacto con el suelo el tiempo suficiente para saturar la solución y, por lo tanto, los pesticidas no se mueven a través del perfil del suelo. La retención es relativamente alta en los suelos utilizados para la horticultura intensiva desde hace 50-60 años (Figura 3 y Tabla 1).

Se ha establecido correlación positiva entre el contenido de malatión y paratión y el de arcilla y C orgánico en estos suelos (Andrade et al., 2004). Este hecho permite deducir que las arcillas y la materia orgánica adsorben ambos pesticidas. En los suelos que han estado utilizando la horticultura intensiva desde hace 15 y 40 años, los resultados de los contenidos de malatión y paratión son irregulares. No se ha encontrado correlación entre los niveles de ambos pesticidas, o entre el contenido de cada uno de ellos y las características de los suelos. Esto podría ser debido a la aparición en el mercado, durante este período, de otros insecticidas que redujeron el uso de éstos, o también a un período más corto de uso o a ambos factores. El pH alcalino de los suelos hortícolas (Tabla 1) y la foto-oxidación entre otras causas, favorece la degradación de ambos pesticidas, aunque no son suficientes, o no compensan, las repetidas aplicaciones durante alrededor de cinco décadas. Los datos indican que el malatión se comporta de modo similar al paratión, aunque su contenido es menor en todos los suelos estudiados.

### **Contenido de metales pesados**

Al contrario que los pesticidas organoclorados y organofosforados, los Argiustoles dedicados a la producción intensiva de cereales y oleaginosas contienen cantidades más elevadas y mayor variedad de metales pesados. Ello es debido a que el uso de pesticidas en estos cultivos es menor que en los productos hortícolas, sin embargo es mayor el aporte de fertilización mineral, que como ya se ha indicado, contiene metales pesados. Por otra parte en los suelos hortícolas solamente se han

detectado cantidades elevadas de Cu y Zn que son metales presentes en muchas de las formulaciones de pesticidas de uso habitual en estos suelos.

### **Cadmio**

El contenido de Cadmio es relativamente alto en todos los Argiustoles ( $> 45 \text{ g kg}^{-1}$ ) (Figura 4) comparado con los niveles esperables en ausencia de influencia antrópica (Miguez et al 1998; Lavado et al 1999), estos niveles sobrepasan los límites de intervención indicados en diversas guías de referencia (ICRLC 1987; NMHPPE 1999). Esto muestra claramente la acción humana principalmente el aporte de estiércoles, fertilizantes y pesticidas que contienen este elemento, ya que la roca madre contiene muy pequeñas cantidades de Cd (Lavado et al. 1999; Torra et al. 1999) como constituyente de los piroxenos y anfíboles de las fracciones psamíticas del loess.

### **Cobalto**

El contenido total de Co es del orden de  $49 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 4), es menor que el límite de intervención de  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  (NMHPPE 1991). Sin embargo es mayor que el normal es suelos desarrollados sobre materiales similares (Miguez et al. 1998; Lavado et al. 1999; Torra et al. 1999) lo cual muestra la influencia humana en los niveles de Co de estos suelos.

### **Cromo**

El contenido de Cr es del orden de Total  $84 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 4), valor por debajo de los límites establecidos en diversas guías, pero mayores que los niveles medios en suelos desarrollados sobre materiales loésicos o calizos (Miguez et al., 1998; Torra et al., 1999) ya que su presencia en estos suelos, en ausencia de influencia antrópica, debería únicamente ser debida a su existencia como componente de piroxenos, anfíboles y biotitas de las fracciones psamíticas que se liberan durante la meteorización, pero que darían lugar a muy bajos contenidos en estos suelos.

Se ha establecido la existencia de estrecha correlación entre los contenidos de Cr y Ni lo cual parece indicar la adición conjunta de ambos a través del uso de superfosfato y cloruro potásico, utilizados como fertilizantes de estos suelos (Webber y Singh 1995).

### **Cobre**

Comparando el contenido medio en el material de partida (Galindo et al. 1999; Torra et al. 1999; Paz González et al. 2000) así como el presente en suelos similares (Miguez et al. 1998; Lavado et al. 1999) los contenidos totales de Cu en los Argiustoles son más elevados, y mucho mayores en los suelos hortícolas (Figura 4). Aunque en los primeros no alcanzan los límites máximos establecidos para suelos cultivados en algunas guías de referencia, en los segundos llegan a superarlos (ICRLC 1987; NMHPPE 1991). Ello vuelve a demostrar la diferencia en el manejo intensivo para los cultivos desarrollados en ambos y los distintos aportes utilizados.

Se ha establecido correlación positiva entre los contenidos totales de Cu y Zn lo cual demuestra la probable aplicación conjunta de ambos metales a través de pesticidas que los contienen (Reyzabal et al., 2000).

### **Molibdeno**

El nivel de Mo en los Argiustoles es alto (Figura 4) lo que indica su origen antrópico, ya que el material de partida de estos suelos únicamente contiene este elemento en los materiales piroclásticos de los sedimentos y en cantidades muy pequeñas (Galindo et al. 1999; Torra et al. 1999). Elevados contenidos de Mo pueden inducir a deficiencias de cobre (molibdenosis) en ganado que consume el forraje desarrollado en estos suelos. Ninguno de los suelos estudiados presenta contenidos de Mo próximos al límite de intervención de  $200 \text{ mg kg}^{-1}$  (NMHPPE 1991).

### **Níquel**

Los niveles de Níquel en los suelos son bajos (Figura 4), inferiores a los niveles de intervención establecidos por el NMHPPE, pero mayores que los esperables según su material de (Torra et al. 1999), lo cual muestra la influencia antrópica en los contenidos de este metal en estos suelos (Lavado et al. 1999). La estrecha correlación establecida entre los niveles de Ni y Pb ( $R^2 = 0.95$ ) muestra que probablemente hayan sido aportados conjuntamente a través del superfosfato y del cloruro potásico utilizados como fertilizantes (Weber y Sing 1995) y del estiércol añadido (Soon y Abboud 1991).

### **Plomo**

El contenido de Pb en los Argiustoles típicos es mayor que el encontrado por diferentes autores en suelos similares (Míguez et al. 1998; Lavado et al. 1999). En el material de partida, este elemento ha sido detectado en muy pequeñas cantidades, en las plagioclasas presentes en los sedimentos psamíticos (Galindo et al. 1999; Torra et al. 1999). El nivel en estos suelos es del orden de 84 mg kg<sup>-1</sup> (Table 4), valor próximo al límite de referencia de 85 mg kg<sup>-1</sup> (NMHPPE 1991), pero por debajo del límite de intervención (530 mg kg<sup>-1</sup>) de la misma guía y al umbral indicado por el ICRCCL (500 mg kg<sup>-1</sup>). El contenido excede el nivel de 20 mg kg<sup>-1</sup> esperado en zonas no afectadas por deposición lo cual indica un ligero nivel de contaminación.

### **Zinc**

El Zn es el elemento, de entre los estudiados, que se presenta en más elevados niveles en estos suelos, mucho mayor en dedicados a cultivo hortícola (Figura 4). Los sedimentos loésicos contienen, entre otros minerales, piroxenos y anfíboles con pequeñas cantidades de Zn. Por ello los contenidos en los suelos de todos los sectores son mayores que los esperables debido a la liberación de los presentes en los minerales y también mayores que los indicados por diferentes autores en suelos similares (Míguez et al. 1998; Lavado et al. 1999). Todos los suelos sobrepasan el nivel de referencia de 140 mg kg<sup>-1</sup> del NHMPPE (1991), lo cual muestra sobre todo en los suelos hortícolas la aplicación a través de pesticidas que lo contienen, como Zineb, y de otros fertilizantes o aportes.

## **CONCLUSIONES**

Los contenidos de pesticidas organoclorados y organofosforados son mayores en los suelos dedicados a la horticultura intensiva que en los que se cultiva trigo, soja y girasol. Sin embargo, el contenido de metales pesados es mayor en éstos, lo cual indica las diferencias de manejo para los distintos cultivos desarrollados.

Los suelos estudiados contienen DDT y sus metabolitos (DDD y el DDE), Heptaclor epoxido, Dieldrin, Endrin, Lindano, Malatión y Paratión. Los suelos hortícolas contienen cantidades mucho más elevadas de pesticidas que los dedicados al cultivo de trigo, soja y girasol, debido a los diferentes tratamientos que reciben los cultivos en ambos. La acumulación de pesticidas y en los suelos es depende más de la antigüedad de uso hortícola que de las propiedades y componentes de los suelos.

Al contrario que los pesticidas, los Argiustoles dedicados a la producción intensiva de cereales y oleaginosas contienen cantidades más elevadas y mayor variedad de metales pesados, debido a que el uso de pesticidas en estos cultivos es menor que en los productos hortícolas. Sin embargo, es mayor la dosis de fertilización que aporta metales pesados. En los suelos hortícolas solamente se han detectado Cu y Zn, metales presentes en muchas de las formulaciones de pesticidas de uso habitual en estos suelos. El contenido de metales pesados en los suelos de los distintos sectores depende más de los manejos agrícolas que de la naturaleza del material de partida.

La concentración de metales pesados en todos los suelos supera los niveles indicados en la bibliografía para suelos desarrollados sobre similares materiales de partida y en los casos de Cd y Pb en los Argiustoles típicos dedicados al cultivo de cereales y oleaginosas, y del Zn en todos los



suelos, sobrepasan los niveles internacionalmente recomendados como valores de referencia en suelos no contaminados.

Los resultados obtenidos permiten concluir que es necesario cambiar las prácticas de manejo, reduciendo, e incluso evitando durante algún tiempo, los aportes de agroquímicos, para evitar mayor acumulación en los suelos y evitar la transferencia a las aguas.

Recibido: 21/04/05

---

**Agradecimiento:** *A la Dra. María Luisa Reyzábal (q.e.p.d.) sin cuya ayuda en la realización de trabajos previos, en la localización de los distintos sectores, en los muestreos y en las determinaciones previas de pesticidas en parte de las muestras, hubiera sido imposible la realización de este y otros trabajos.*

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrade L., Alonso F., Marcet P. y Fernández Covelo E. 2005. "Heavy metal contents of soils from semiarid Pampa, Buenos Aires Province (Argentina)", en Faz Cano A., Ortiz R. y Mermut A.R., *Sustainable Use and Management of Soils. Arid and Semiarid Regions*. Advances in Geocology 36, A Cooperating Series of the International Union of Soil Science (IUSS), Catena Verlag, Germany, 477-492.
- Andrade M.L., Marcet P., Covelo E.F. y Reyzábal M.L., 2004, "Persistence of Malathion and Parathion at different depth in cultivated semiarid soils". *Acta Horticulturae*. 664. 29-38.
- Barberá, C. 1989. *Pesticidas agrícolas*. Omega. Barcelona. España. 602 pp.
- Baveye P.H., Block J.C. y Goncharuk V.V. (eds.). 1999. *Bioavailability of organic xenobiotics in the environment. Practical consequences for the environment*, NATO ASI SERIES, 2 (64); Kluwer Academic Publishers, U.K. 503 pp.
- Bollag J.M., Myers C.J. y Minard R.D. 1992, "Biological and chemical interactions of pesticides with soil organic matter". *Sci. Total Environ.* 123-124: 205-217.
- Boul H.L., Garnham M.L., Hucker D., Baird D. y Aislabie J., 1994, "Influence of agricultural practices on the levels of DDT and its residues in the soil". *Environm. Sci. Technol.* 28 (8): 1397-1402.
- Cala V., Rodríguez J. y Guerra A. 1985. "Contaminación por metales pesados en los Suelos de la Vega de Aranjuez (I) Pb, Cd, Cu, Zn, Ni y Cr". *Anales de Edafología y Agrobiología*. 14 (11-12). 1595-1608.
- Camelo L.G., Miguez S.R. y Marban L., 1997, "Heavy Metals Input with Phosphate Fertilizers used in Argentina". *The Science of Total Environment*. 204(3). 245-250.
- Day P.R. 1965. "Particle size analysis", en Black C.A., *Methods of soil analysis*. American Society of Agronomy, Madison, WI. USA. 545-567.
- EPA (Environmental Protection Agency). 1996. *Methods 8081A, 5550 and 3640 A. Organochlorine Pesticides By Gas Chromatography, 1.0 Scope And Application*. Cd-Rom 8081a, Revision 1, Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA
- EPA-8141A. Environmental Protection Agency. 1992. *Organophosphorus compounds by gas chromatography*. SW-546. Method 8141A. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, USA.
- Fomsgaard I. y Albaigés J., 1995, "Degradation of pesticides in subsurface soils, unsaturated zone: a review of methods and results". *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 58 (1-4). 231-245.
- Freedman B. y Hutchinson T.C. 1981. "Sources of Metal Elemental Contamination of Terrestrial Environments" en Lepp N.W. *Effect of Heavy Metal Pollution on Plants, Metals in the Environment* Vol 2, Applied Science Publishers, London, 35-94.
- Frenguelli J. 1955. *Loess y limos pampeanos*. Univ. Nac. de la Plata, Fac. de Cs. Nat. y Museo, Serie Técnica y Didáctica N° 7. La Plata.
- Galindo G, Herrero M.A., Flores M., Fernández Turiel J.L. 1999. *Correlación de Metales Trazas en Aguas Subterráneas Someras en la Cuenca del Río Salado, Provincia de Buenos Aires, Argentina*. In "Hidrología Subterránea". Serie Correlacion Geológica 13. Actas del II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. (Ed A Tineo) pp. 276-290.
- García F.O., Ambroggio M. y Trucco V. 2000. "No-Tillage in the Pampas of Argentina: A Success Story". *Better Crops Internacional*. 14(1). 1-4.
- Gutián, Francisco y Carballas, Tarsy. 1976. *Técnicas de análisis de suelos*. Pico Sacro Santiago de Harner T., Wideman J.L., Jantunen L.M.M., Bidleman T.F. y Parkhurst W.J. 1999. "Residues of organochlorine pesticides in Alabama soils". *Environm. Pollut.* 106 (3). 323-332.
- Hendershot W.H. y Duquette M. 1986. "A simple barium chloride method for determining cation exchangeable cations". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50. 605-608.
- ICRLC (Interdepartmental Committee on the Redevelopment of Contaminated land). 1987. "Guidance on the Assessment and Redevelopment of Contaminated Land". Guidance Note 59/83 (Department of Environment: London. U.K.)

- Kathpal T.S., Rajvir S. y Sing R. 1997. "Residues of organochlorine insecticides in soil after 11 years of application". Hryaana Agric. Univ. J. Res. 27(1). 11-14.
- Lavado RS, Rodríguez MB, Scheiner JD, Taboada MA. Rubio G, Alvarez R, Alconada M, Zubillaga MS (1999) Heavy metals in Soils of Argentina: Comparison between Urban and Agricultural Soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis 29(11-14), 1913-1917.
- Marcet Miramontes, P.; Andrade Couce, M.L.; Montero Vilariño, M.J. 1997. Efficacité d'une Methode de Digestion par Microondes pour la Determination de Fe, Mn, Zn, Cu, Pb Cr Al et Cd en sédiments. In: Contaminated Soils: Third International Conference on the Biogeochemistry of trace-elements. (Ed: Prost, R.), : data\communic\055.PDF, (CD-ROM Computer File). Colloque n° 85, INRA Editions. Paris. France
- Martijn, A., Bakker, H. and Schreuder, R.H. 1993. Soil persistence of DDT, dieldrin and lindane over a long period. Bull. Environm. Cont. Toxicol. 51 (2), 178-184.
- Melnikov, N. N. 1996. The problem of soil contamination with organochlorine compounds. Euras. Soil Sci. 29 (10), 1196-1197.
- Miglioranza, K. S. B., Aizpun de Moreno, J. E., Moreno, V. J., Osterrieth, M. L. and Escalante, A. H. 1999. Fate of organochlorine pesticides in soils and terrestrial biota of Los Padres pond watershed., Argentina. Environm. Pollut. 105 (1): 91-99.
- Miguez SR, López Camelo LG, Marban L (1998) Metales Pesados en Sedimentos Fluviales del Delta Bonaerense Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires 17(3), 341-345.
- Moscatelli, G. 1991. "Los suelos de la Región Pampeana" pp. 1-76. In Osvaldo Barsky (ed.) *El desarrollo agropecuario pampeano*. INDEC-INTA-IICA, Buenos Aires.
- Moscatelli, G. and Pazos, M.S. 2000. Soils of Argentina: Nature and Use. Presentación oral en: International Symposium on Soil Science: Accomplishments and Changing Paradigm towards the 21st Century and IUSS Extraordinary Council Meeting, 17-22 de abril, Bangkok, Tailandia. En: I. Kheoruenromne and S. Theerawong (Eds.) 2000. Proceedings of International Symposium on Soil Science: Accomplishments and Changing Paradigm towards the 21st Century, 81-92. ISBN 974-87749-4-5.
- Neter, J., W., Wasserman, M.H., Kutner and C.J. Nachtsheim. 1996. Applied Linear Statistical Models. 4th Edition. McGraw-Hill Professional Publishing, Irwin, Chicago, IL, USA. 1408 pp.
- NMHPPE (Netherlands Ministry of Housing, Physical Planning and environment) (1991) "Environmental Quality Standards for Soil and Water" (Ministry of Housing Physical Planing and Environment. Leidschendam: The Netherlands)
- Paz-González A, Taboada-Castro T, Taboada-Castro M (2000) Levels of Heavy Metals (Co, Cu, Cr, Ni, Pb and Zn) in agricultural soils of Northwest Spain. Communications in Soil Science and Plant Analysis 31(11-14), 1773-1783.
- Pimentel, D. 1992. Ecological Effects of Pesticides on Non-Target Species in Terrestrial Ecosystems. in: R.G. Tardiff, ed. Methods to Assess to adverse effects of pesticides on Non-target organisms. (SGOMSEC 7-IPCS 16). Wiley, UK. 304 pp.
- Pimentel, D. and Edwards, C. A. 1982. Pesticides and ecosystems. Bioscience 32 (7): 595-600.
- Pimentel, D. and Levitan, L. 1986. Pesticides: amounts applied and amounts reaching pests. BioScience 36: 86-91.
- Reyzabal, M.L.; Andrade, M.L.; Marcet, P.; Montero, M.J. 2000. Effect of long-term cultivation on Zinc and Copper Contents in soils from the Bahía Blanca horticultural belt (Argentina). Comm. Soil Sci. Plant Anal. , 31 (9-10):1155-1167.
- Singh, G., Kathpal, T. S., Spencer, W. F. and Dankhar, J. S. 1991. Dissipation of some organochlorine insecticides in cropped and uncropped soils. Environm. Pollut. 70 (3): 219-239.
- Soil Survey Staff, 1999. Soil Taxonomy. Second Edition. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook N° 436. Washington D.C.
- Soon YK, Abboud S (1991) Trace Elements in Agricultural Soils of Nothwestern Alberta. Canadian Journal of Soil Science 70, 227-278.

Szeto, S. Y. and Price, P. M. 1991. Persistence of pesticide residues in mineral and organic soils in the Fraser Valley of British Columbia. *J. Agric. Food Chem.* 39 (9): 1679-1684.

Teruggi, M. 1957. The nature and origin of Argentine loess. *J. Sed. Petrol.* 27 (3): 322-332.

Thao, V.D., Kawano, M. and Tatsukawa, R. 1993. Persistent organochlorine residues in soils from tropical and subtropical Asian countries. *Environm. Pollut.* 81 (1): 61-71.

Tomlin, C. (ed.). 1999. *The Pesticide Manual*. British Crop Protection Council, Surrey, UK, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK. 1250 pp.

Torra R, Perino E, Strasser A (1999) Características Geoquímicas del Loess Chaco-Salteño. Argentina. In “Actas del Primer Encuentro Argentino de Investigaciones Fitolíticas. Diamante, Entre Ríos, Argentina” (Ed A. F. Zucol) pp. 4

Walkey A, Black IA (1934) An Examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic titration method. *Soil Science* 34, 29-38.

Wauchope, R.D., Buttler, T.M., Hornsby, A.G. and Augustijn-Beckets, P.W.M. 1992. The SCS/ARS/CES pesticide properties database for environmental decision-making. *Rev. Env. Cont. Tox.* 123: 1-155.

Webber MD, Singh SS (1995) Contamination des Sols Agricoles. In “Sommaire executif de la santé de nos sols vers une agriculture durable au Canada” (Eds DF Acton and LJ Gregorich). Publication 1906/F (Centre de Recherches sur les Terres et les Ressources Biologiques. Direction Générale de la Recherche. Agriculture et Agroalimentaire: Canada).

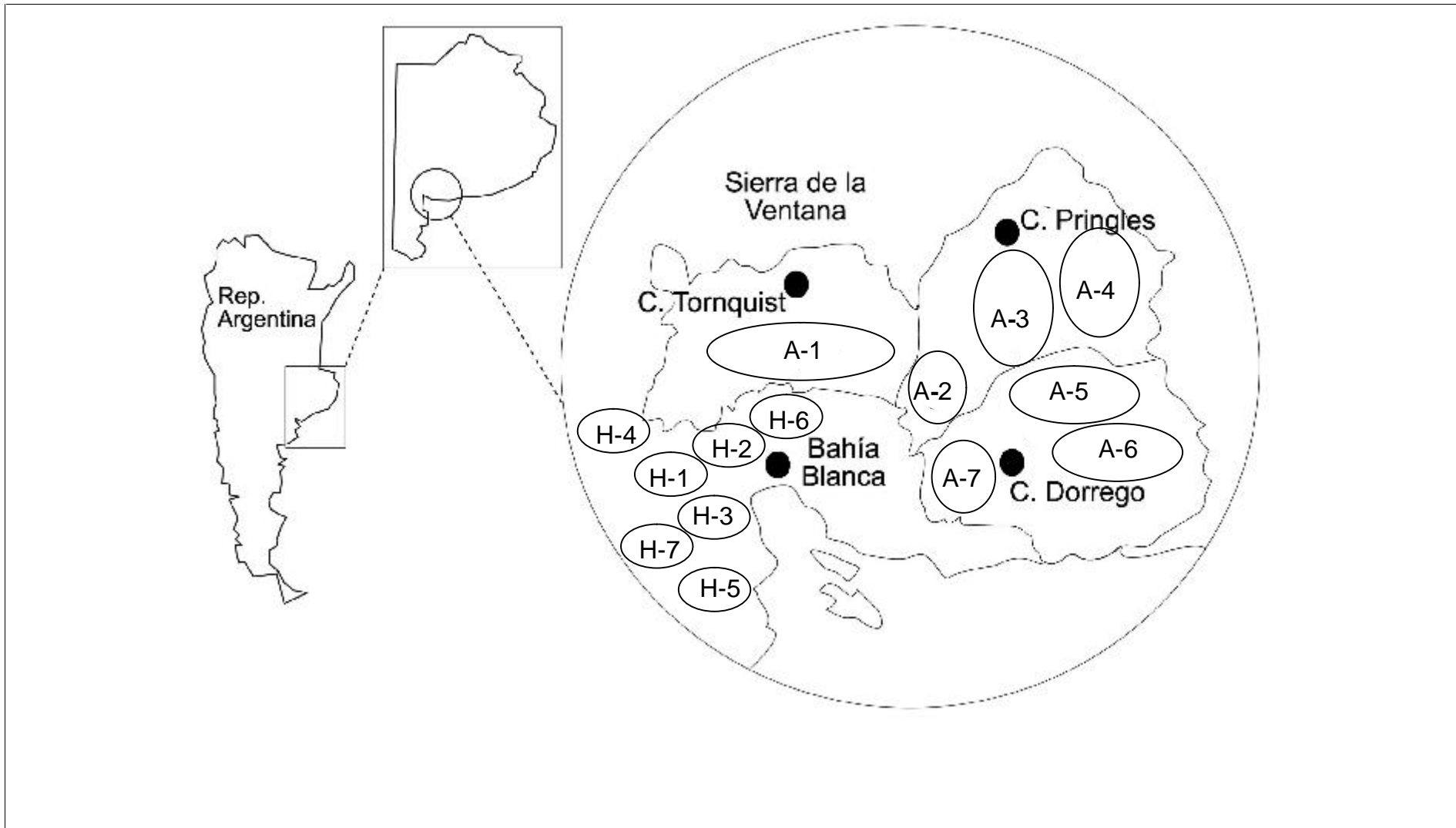


Figura 1.

Tabla 1. Características generales (valor medio de los suelos de cada sector)

Suelos del sector	Antigüedad de manejo intensivo (años)	pH H <sub>2</sub> O	C	N	Complejo de cambio					V	Arena	Limo	Arcilla
					Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CEC				
					cmol kg <sup>-1</sup>								
A-1	>60	6,7c	25,1de	2,50bc	18,2a	1,5e	0,3b	1,8c	25,3d	86f	29,6f	38,2c	32,2b
A-2	>60	5,8d	26,1d	2,10c	12,2e	5,6a	0,7a	2,9b	25,4d	84g	24,9g	47,1b	28,0cd
A-3	>60	6,1d	20,2f	1,86d	14,2c	2,2d	0,2b	2,5bc	25,9d	73h	13,3h	61,6a	25,1d
A-4	>60	5,2e	36,2a	3,24a	12,9d	3,5b	0,5a	2,7bc	29,3a	67ef	34,2ef	34,1d	31,7c
A-5	>60	6,6c	29,4c	2,80b	18,8a	2,6c	0,3b	2,2c	26,6bc	81c	39,0e	29,9e	31,1c
A-6	>60	5,7d	35,4b	3,24a	16,4b	2,4c	0,6a	3,0b	27,4b	86ab	39,1e	32,9d	28,0cd
A-7	>60	6,7c	31,1c	2,59bc	13,7cd	3,1bc	0,2b	1,9c	21,4e	88a	33,3ef	33,6d	23,4e
H-1	60	8,5a	24,7e	1,60e	16,4b	2,4c	0,6a	3,0b	27,4b	86ab	38,30e	26,10f	35,60ab
H-2	60	8,5a	24,2e	1,72d	13,7cd	3,1bc	0,2b	1,9c	21,4e	88a	72,40a	15,10g	12,50h
H-3	50	8,1ab	13,6h	1,56e	13,9cd	2,3c	0,6a	1,0d	26,1c	68f	38,30e	26,10f	35,30ab
H-4	40	7,8b	11,5i	1,78d	14,4c	2,5c	0,4ab	3,5a	27,4b	76d	71,60a	9,80h	18,60f
H-5	35	8,6a	9,6j	1,03f	16,4b	2,9bc	0,5a	2,0c	29,1a	74d	62,97c	16,44g	20,59ef
H-6	15	7,8b	25,1de	2,12c	14,2c	2,2d	0,5a	3,4a	27,5b	74d	65,10b	17,40g	17,50g
H-7	15	8,3ab	17,2g	1,91d	14,4c	2,5c	0,4ab	3,6a	27,4b	76d	55,10d	27,50ef	37,40a

En cada columna, valores seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas, P<0,05

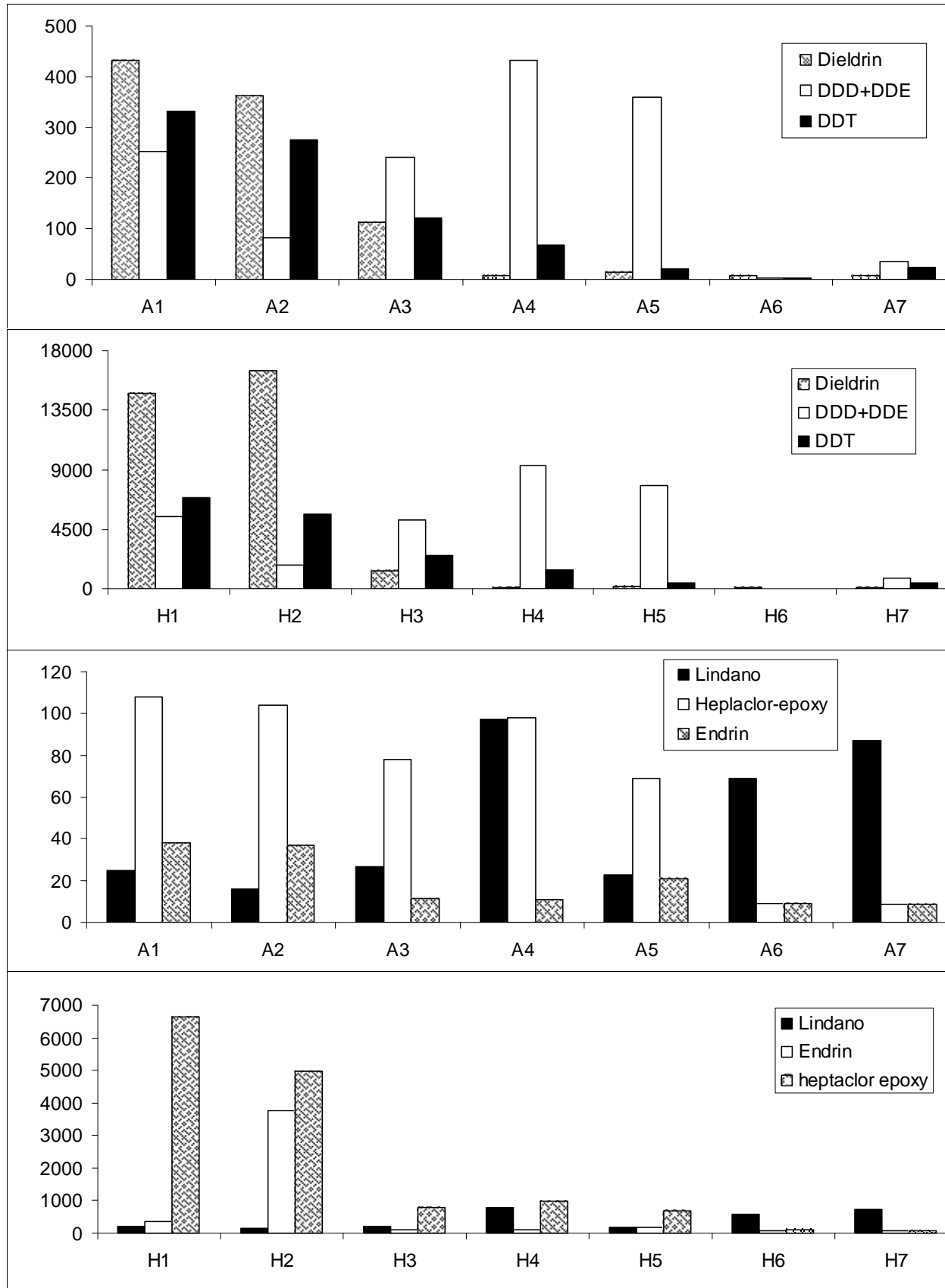


Figura 2. Contenido de pesticidas organoclorados ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) en los diferentes suelos (valor medio de los suelos de cada sector)

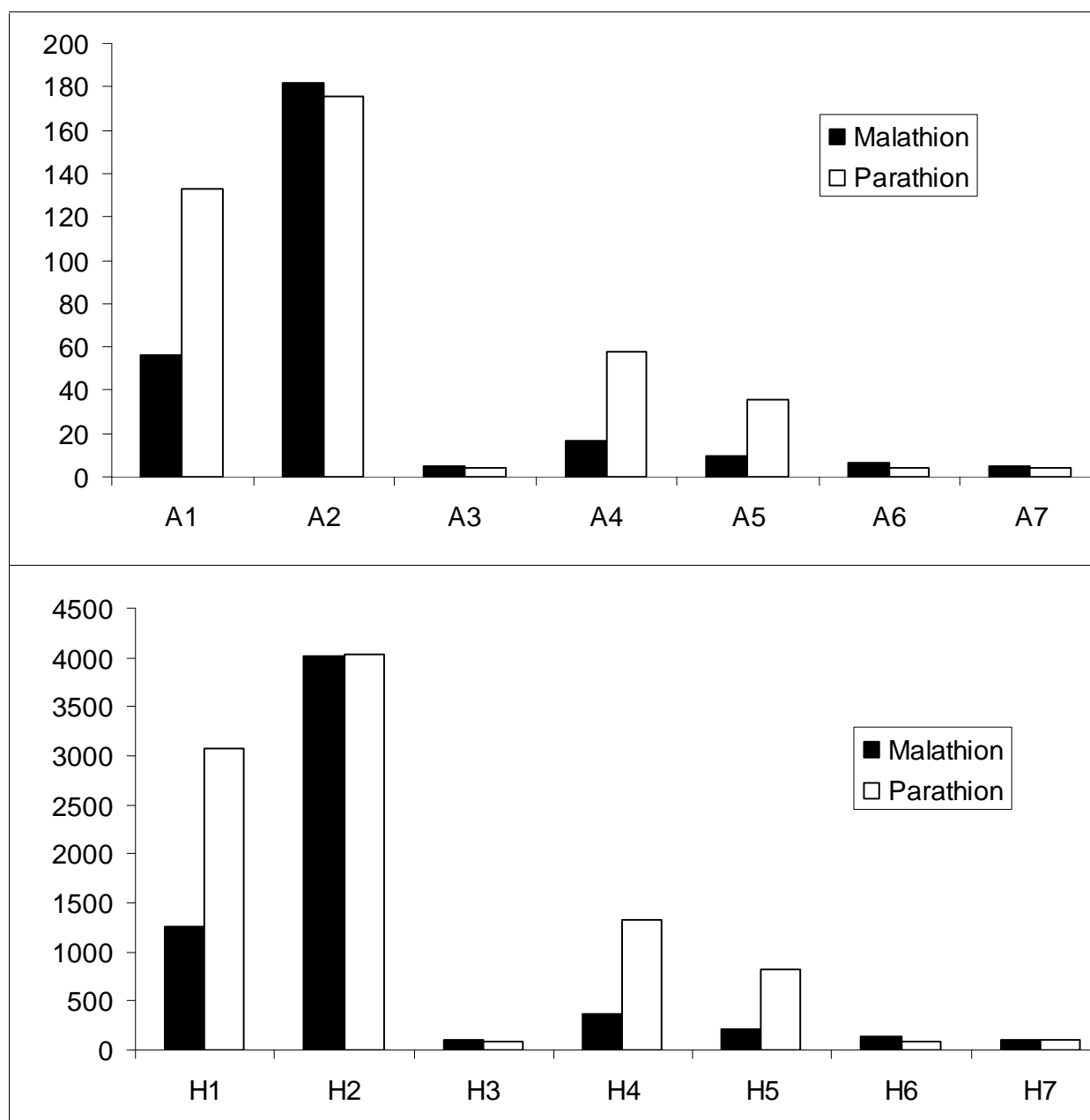


Figura 3. Contenido de pesticidas organofosforados ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) en los diferentes suelos (valor medio de los suelos de cada sector)



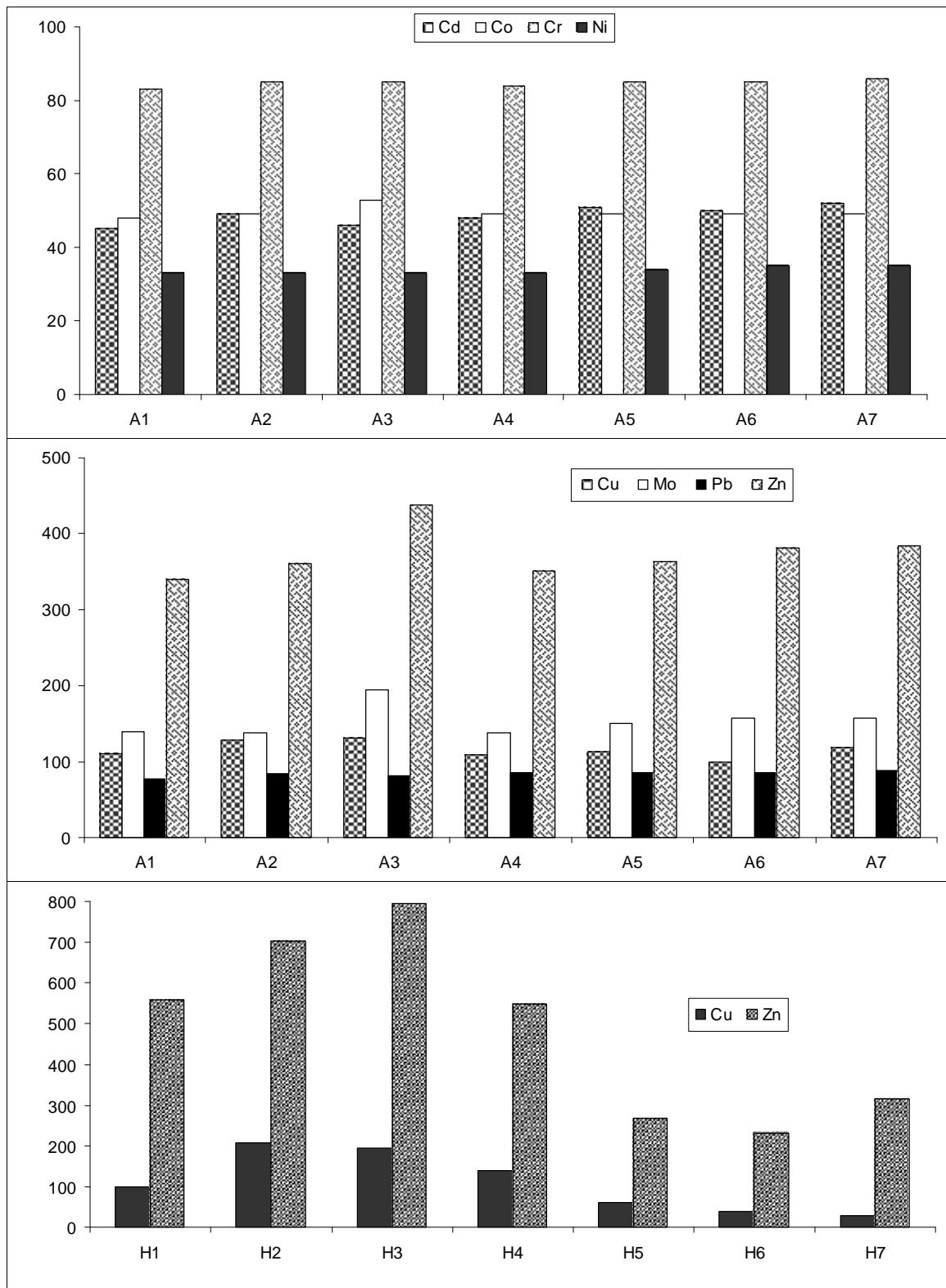


Figura 4. Contenido de metales pesados (mg kg<sup>-1</sup>) en los diferentes suelos (valor medio de los suelos de cada sector)