

## PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE POLVO URBANO ADSORBIDO EN HOJAS DE *FICUS BENJAMINA* Y SU RELACIÓN CON LOS METALES PESADOS

Rubén Cejudo<sup>1</sup>, Francisco Bautista<sup>1</sup>, Carmen Delgado<sup>1</sup>, Silvia Ramos<sup>2</sup>, Iris Cossio-Pérez<sup>2</sup>, Ángeles Hernández<sup>2</sup>; Bertha Aguilar<sup>3</sup>, Juan Morales<sup>3</sup> y Avto Gogichaishvili<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental (LUGA), Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. Michoacán.

<sup>2</sup> Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Escuela de Biología, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

<sup>3</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Instituto de Geofísica, Unidad Michoacán, Campus Morelia, México.

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo es identificar aquellos parámetros magnéticos que mantienen mejores relaciones con la concentración de metales pesados en muestras de hojas de *Ficus benjamina*, así como su distribución aeroespacial, con la finalidad ser empleados como *proxy* de monitoreo en la Ciudad de México. Se recolectaron 89 muestras de hojas de diversos puntos de la ciudad en marzo de 2011. Los parámetros magnéticos determinados fueron: susceptibilidad magnética másica ( $\chi$ ), porcentaje de susceptibilidad magnética dependiente de la frecuencia ( $\chi_{DF}$  %), magnetización remanente isothermal de saturación (MRIS) y cocientes MRIS/ $\chi$ ,  $S_{-25}$  y  $S_{-200}$ . La determinación de concentraciones de metales pesados se hizo por medio de un equipo de ICP-plasma. Los metales pesados, no metales y metaloides que mostraron una mayor correlación fueron para hojas:  $\chi$  y MRIS para Zn,  $\chi_{DF}$  % y  $S_{-200}$  para Pb.

**Palabras clave:** Susceptibilidad magnética, magnetización remanente, concentraciones, monitoreo, México.

### ABSTRACT

This study was aimed to identify some key magnetic parameters showing the best relationships with the concentration of heavy metals in *Ficus benjamina*'s leaves, as well as their spatial distribution in order to be used as a proxy for the atmospheric pollution monitoring in Mexico City. 89 samples of leaves from different points of the city were collected during the March 2011 campaign. Magnetic parameters determined were: mass magnetic susceptibility ( $\chi$ ), percentage of dependent on frequency magnetic susceptibility ( $\chi_{DF}$  %), saturation isothermal remnant magnetization (SIRM) and the MRIS/ $\chi$ ,  $S_{-25}$  and  $S_{-200}$  ratios. Heavy metals concentration determinations were carried out by means of an ICP-MS. Heavy metals, non-metals and metalloids yielded a higher correlation between  $\chi$  and SIRM for Zn and between  $\chi_{DF}$  % and S-200 for Pb.

### Introducción

Alrededor del mundo, un gran número de trabajos muestran correlaciones entre los parámetros magnéticos (PM) y concentraciones de metales pesados (MP) con buenos resultados (Aguilar *et al.* 2011; Morton *et al.* 2009; Matýsek *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2005; Muxworthy *et al.*, 2003; Hanesch y Scholger, 2002; Petrovský *et al.*, 2000; Strzyszczyk y Magiera, 1998; Strzyszczyk *et al.*, 1996). Ante la clara contaminación ambiental de las ciudades por polvo urbano (PU) conteniendo metales pesados, una medida para atraparlo es mediante el uso de plantas ornamentales con alta capacidad de adsorción del PU. Un árbol ornamental muy utilizado en la Ciudad de México es *Ficus benjamina*, este árbol tiene la capacidad de segregar látex en sus hojas permitiéndoles captar PU y de esta manera se elimina el PU de la atmosfera (Aguilar *et al.* 2012). El objetivo de este estudio fue realizar un estudio de magnético de hojas de *Ficus benjamina* de la Ciudad

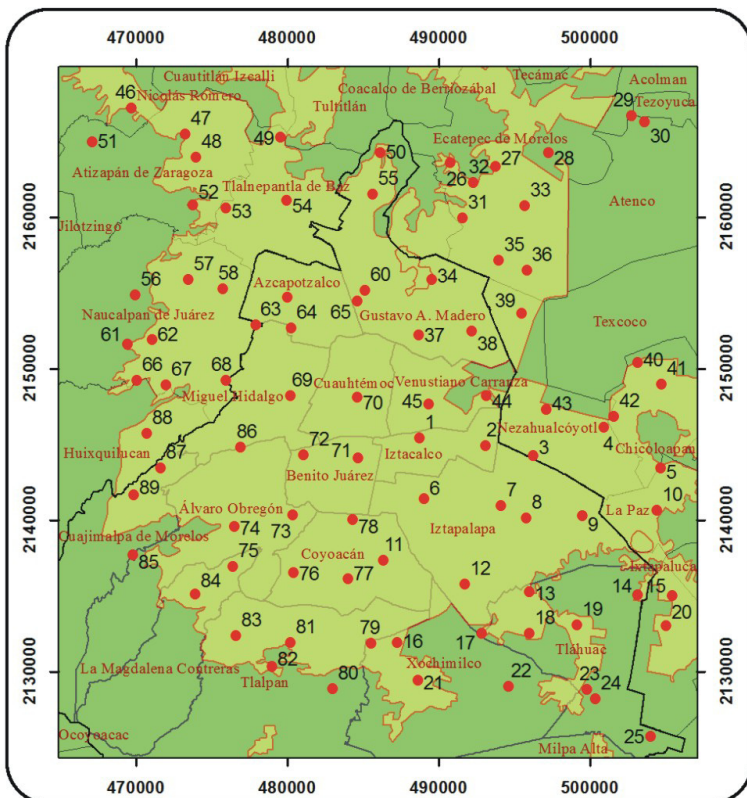


de México con la finalidad de determinar aquellos parámetro magnético que muestran la mejor correlación con la concentración de metales pesados, así como su evaluación para identificar los usos de suelo y el tipo de vialidad con mayores niveles de contaminación.

### Metodología

#### Área de estudio y muestreo

Se estableció un sistema de muestreo sistemático en la Ciudad de México (19°20'-19°18' N y 99°08'-98°08' W), fijando un mallado de 45 x 45 km (área de 2025 km<sup>2</sup>). Se recolectaron muestras de hojas de



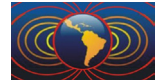
la especie arbórea *Ficus benjamina* en 87 sitios en el mes de marzo de 2011, con una temperatura promedio de 25 °C y humedad relativa de 46% (CNA 2011). Las muestras de hojas se recolectaron a una altura entre 150 cm a 200 cm sobre el nivel del suelo, tomando 20 hojas de alrededor del árbol. Solo se adquirieron hojas maduras con coloración verde oscuro y tuviera un área de exposición aproximada de 6 cm<sup>2</sup>. Las coordenadas geográficas de los sitios fueron registradas en unidades de UTM en sistema WGS84 y Datum 14N (fig. 1) por medio de un GPS Garmin.



**Figura 1.** Sitios de recolección de hojas de *Ficus benjamina* en la Ciudad de México.

#### Análisis magnéticos y químicos

Las muestras de hojas para estudios magnéticos se secaron a 60°C por 48 h en un horno eléctrico, posteriormente se trituraron y colocaron en portamuestras cúbicos de plástico ideales para realizar mediciones magnéticas. Se determinó la susceptibilidad magnética ( $\kappa$ ) mediante un medidor de susceptibilidad Bartington MS2B a dos diferentes frecuencias (0.47 Hz ( $\kappa_{lf}$ ) y 4.70 Hz ( $\kappa_{hf}$ )), con estas mediciones se determinaron dos parámetros magnéticos: susceptibilidad magnética máscica ( $\chi = \kappa_{lf} / \rho$ , donde  $\rho$  es la densidad), el porcentaje de la susceptibilidad dependiente de la frecuencia ( $\chi_{DF} \% = ((\kappa_{lf} - \kappa_{hf}) / \kappa_{lf}) * 100$ ). Para obtener las curvas de adquisición de magnetización remanente isoterma (MRI), las muestras son magnetizadas en un magnetizador de pulsos ASC IM-10 a temperatura ambiente en campos de 0, 25, 50, 75, 100, 200, 300 y 700 mT, en cada



paso se determino la magnetización remanente isothermal. La MRI adquirida a 700mT es considerada la magnetización remanente isothermal de saturación (MRIS). Posteriormente, la muestra fue magnetizada con campos inversos de 25 mT y 200 mT, en cada caso se midió su magnetización remanente, con la finalidad de obtener los cocientes S (S-ratio) que son determinadas como:  $S_{-25} = MRI_{-25}/MRIS$  y  $S_{-200} = MRI_{-200}/MRIS$ , y se determino el cociente  $MRIS/\chi$ . Todas las magnetizaciones remanentes son medidas con un magnetómetro de giro JR6 de marca AGICO.

Una vez que se tienen las muestras digeridas se procedió a determinar las concentraciones de los metales con el equipo de espectroscopia de emisión de plasma de argón acoplado inductivamente (ICP). Los elementos químicos medidos fueron: Fe, Mn, Zn, B, Cd, Li, Pb, y Al.

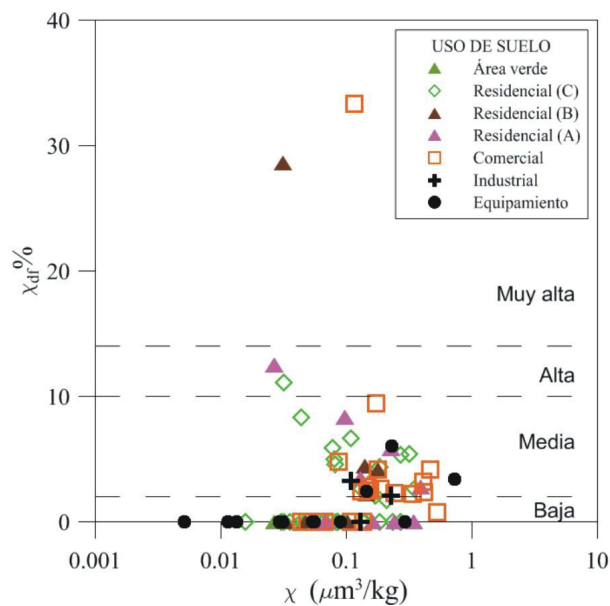
### Análisis de datos

La estadística básica y las correlaciones entre PM y MP se hicieron con el software Statgraphics Centurion XVI. Con los datos de los parámetros magnéticos se realizaron dos análisis de varianza, uno para uso del suelo urbano y otro para tipos de vialidad. Se realizó el mapa de la distribución espacial de la susceptibilidad magnética con el software GS+, el diseño cartográfico se realizó en Arc Gis v. 9.0.

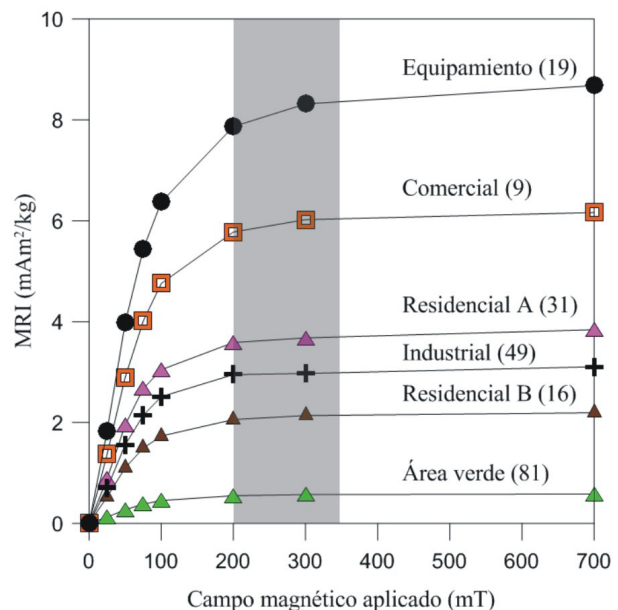
## Resultados

### Parámetros magnéticos

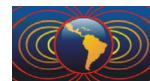
La  $\chi$  obtenida en muestras de hojas de *Ficus benjamina* mostraron valores entre 0.01 a 0.73  $\mu\text{m}^3/\text{kg}$  y un valor promedio de 0.15  $\mu\text{m}^3/\text{kg}$ , indicando una variación en la distribución de material magnético. Los valores de  $\chi_{\text{dr}}\%$  presentaron valores entre 0.0 a 33.3%, indicando concentraciones de bajas a muy altas de minerales ferrimagnéticos superparamagnético (SP) ultra finos ( $< 0.03\mu\text{m}$ ), el valor promedio de  $\chi_{\text{dr}}\%$  es de 2.6, que indican una concentración media de granos SP con granos de fracción más gruesa (Dearing, 1999). En cuanto a los usos urbanos del suelo, las zonas comerciales muestran preferentemente valores altos de  $\chi$  con concentración media y alta de granos SP (fig. 2).



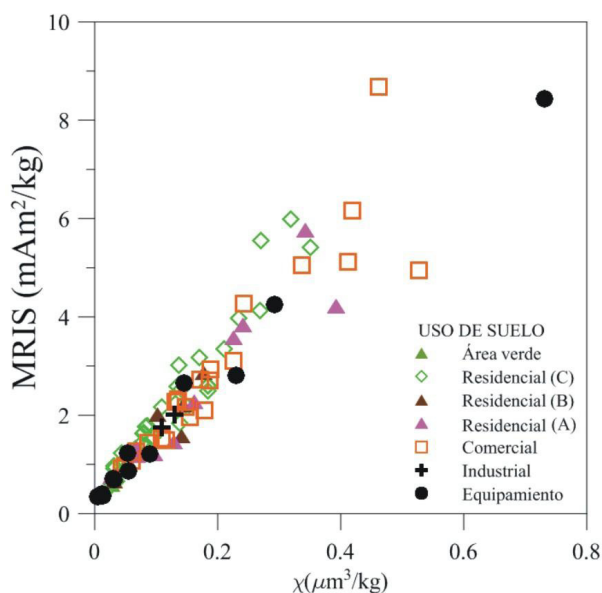
**Figura 2.** Gráfica de  $\chi$  vs  $\chi_{\text{dr}}\%$  con valores clasificados por uso de suelo, las líneas punteadas indican los límites de concentraciones de granos SP de acuerdo a Dearing



**Figura 3.** Curvas de MRI clasificadas de acuerdo al uso de suelo y tráfico vehicular, la zona residencia es subclasificada por tráfico vehicular alto (A), medio (B) y bajo (C).



Las curvas de magnetización remanente isoterma (MRI) mostraron una saturación entre 200 a 300 mT (fig. 3) indicando presencia de minerales de baja coercitividad magnética. Las curvas de MRI agrupadas de acuerdo con el uso de suelo e intensidad de tráfico presentaron diferentes valores de saturación, se observó que las zonas de equipamiento y comerciales que presentan mayor tránsito vehicular son las que tuvieron mayores valores de saturación, en comparación con las aéreas verdes y zonas residenciales (Residenciales B) con baja intensidad de tráfico (fig. 3). Estos resultados están de acuerdo con la clasificación reportada por Aguilar *et al.* (2012) para la ciudad de Morelia y que emplean hojas de *Ficus benjamina*, sin embargo, los valores de MRI encontrado en ciudad de México son más intensos.



**Figura 4.** Grafica  $\chi$  vs MRIS que muestra que las hojas que provienen de zonas comerciales y residenciales con alto tránsito vehicular contienen mayor concentración de material magnético.

Leaconet *et al.* (2003) emplearon un grafico de MRIS vs  $\chi$  para identificar y establecer una clasificación de sitios de acuerdo con el contenido de minerales magnéticos de origen antrópico, en donde, los sitios con mayor contenido de material magnético de origen antrópico están ubicados en la esquina superior derecha, y los de menor contenido en la esquina inferior izquierda. Las de hojas de Ciudad de México mostraron que las áreas comerciales y residenciales con alta afluencia vehicular son las que registraron una mayor cantidad de minerales magnéticos (fig. 4), esto se debe probablemente a la cantidad de partículas que son emitida por los gases de combustión de los vehículos. Las hojas de *Ficus benjamina* al segregar un látex son capaces de atrapar material particulado (PM) suspendido en el ambiente y el cual contienen material magnético y otros tipo de minerales (metales pesados). Guzmán *et al.* (2011) demostraron que ciertos metales pesados permanecen atrapados en la parte superior de la hoja, y otros pueden encontrarse dentro de la estructura de las hojas. Los resultados indican que las hojas funcionan como un filtro natural al atrapar material particulado (MP) de fracción respirable (MP < 2.5  $\mu\text{m}$ ), y el cual puede contener metales pesados y minerales magnético.

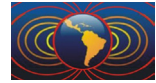
#### Usos de suelo urbano, tipo de vialidad y distribución espacial

Existe una correlación lineal entre parámetros magnéticos con ciertos metales pesados. Destaca la  $\chi$  que correlaciona con Al, Fe, Pb y Zn; y la  $\chi_{\text{dif}}\%$  con Pb; MRIS con Al, Fe y Zn.

Las hojas de *Ficus benjamina* están capturando material particulado de fracción ultra fina, el cual, contiene cantidades de Pb y otros metales. Los parámetros magnéticos  $\chi$  y  $\chi_{\text{dif}}\%$  mostraron correlación con Pb siendo entonces, parámetros magnéticos factible de emplearse en estudios posteriores como un estudio rápidos y exploratorios (Proxy), para la identificación de sitios contaminados con Pb.

Por medio de un análisis de varianza se compraron los resultados obtenidos de  $\chi$  y MRIS obtenidos de de diferentes tipos de uso de suelo y tipo de vialidad, con la finalidad de determinar si existen diferencias estadísticas significativas entre ellos. Los resultados mostraron que:  $\chi$  no muestra una diferencia significativa entre los tipos de uso de suelo con un nivel de confianza del 95.0%, al mostrar un valor-P, mayor a 0.05. Por otra parte, se observa que los tipos de vialidades muestran un valor-P, menor que 0.05 en el análisis ANDEVA, esto indica que hay diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de vialidad,





con un nivel del 95.0% de confianza (fig. 5). Los resultados obtenidos del análisis ANDEVA para MRIS (valores- $P > 0.05$ ) indican que no existen diferencias significativas en dos situaciones, tanto con el uso de suelo urbano como con el tipo de vialidad.

El mapa de la susceptibilidad magnética indica que los mayores valores se localizan en el norte, noroeste y sureste de la ciudad. Los sitios con mayores valores de susceptibilidad magnética y por lo tanto los más contaminados se localizan en Tlalnepantla, Cuauhtémoc, Azcapotzalco, Naucalpan, Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco.

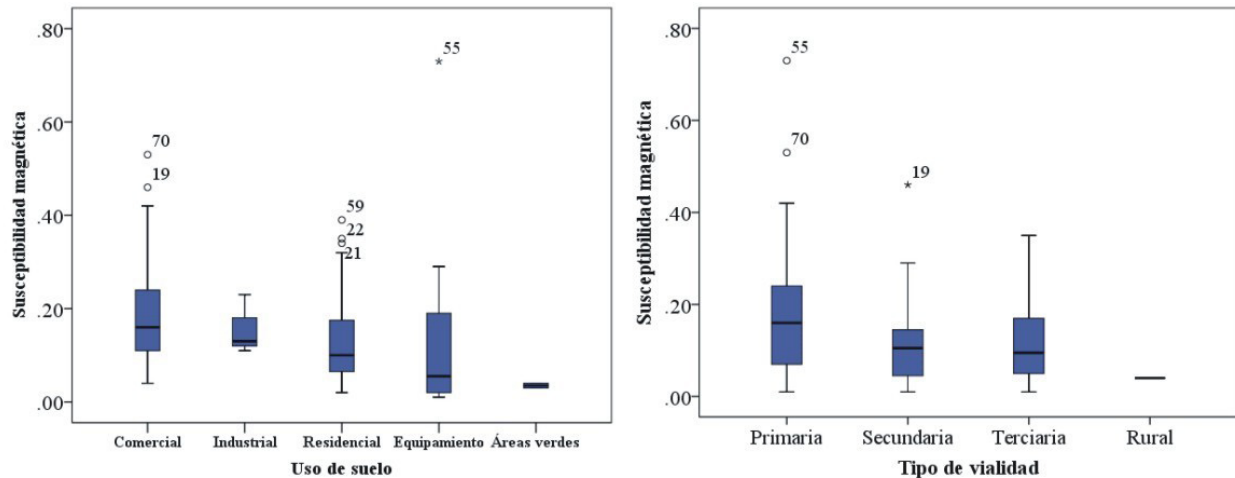


Figura 5. Valores de susceptibilidad magnética por uso de suelo y vialidad.

## Conclusión

Las hojas de *Ficus benjamina* son capaces de atrapar polvo urbano de tipo natural y antrópico a una altura respirable por la población humana. De esta manera, las hojas funcionan como filtros naturales que limpian el aire. Existe correlación entre los parámetros magnéticos (susceptibilidad magnética y susceptibilidad dependiente de la frecuencia) de las hojas de *Ficus benjamina* y los metales pesados, principalmente con Fe, Al, Pb y Zn.

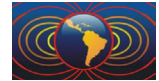
A mayor intensidad de tránsito vehicular mayores valores de susceptibilidad magnética por lo que se deduce mayor contaminación.

## Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico a los proyectos “Las propiedades magnéticas de los suelos y sus aplicaciones: contaminación, clasificación, cartografía y uso del fuego en agricultura” (clave CB-2011-01- 169915).

## Referencias

- Aguilar-Reyes B., Cejudo R., Martínez-Cruz J., Bautista F., Goguitchaichvili A., Carvallo C., Morales M., 2012, *Ficus benjamina* leaves as indicator of atmospheric pollution: a reconnaissance study, *Stud. Geophys. Geod.* 56, 879-887.
- Aguilar-Reyes B., Bautista F., Goguitchaichvili A., Morton O., 2011, Magnetic monitoring of top soils of Merida (southern Mexico), *Stud. Geophys. Geod.* 55, 377-388.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), 2011, Reporte del Clima de México: Reporte anual 2011, Servicio Meteorológico Nacional, México, D.F., 16p.



- Guzmán-Morales J., Morton-Bermea O., Hernández-Álvarez E., Rodríguez-Salazar T., García-Arreola M. E., Tapia-Cruz V., (2011), Assessment of Atmospheric Metal Pollution in the Urban Area of Mexico City, Using *Ficus benjamina* as Biomonitor, *Bull Environ. Contam. Toxicol.* 86, 495–500.
- Hanesch M., Scholger R., 2002, Monitoring of heavy metals loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements, *Environ. Geol.* 42, 857–870.
- Matýsek D., Ráclavská H., Ráclavský K., 2008, Correlation between magnetic susceptibility and heavy metal concentrations in forest soils of the eastern Czech Republic, *J. Environ. Eng. Geophys.* 13, 13–26.
- Magiera T., Jablonska M., Strzyszczyk Z., Rachwał M., 2011, Morphological and mineralogical forms of technogenic magnetic particles in industrial dusts, *Atmos. Environ.* 45, 4281–4290.
- Morton-Bermea O., Hernandez E., Martinez-Pichardo E., Soler-Arechalde A., Lozano R., Gonzalez-Hernandez G., Beramendi-Orosco L., Urrutia-Fucugauchi J., 2009, Mexico City topsoils: Heavy metals vs. magnetic susceptibility, *Geoderma.* 151, 121–125.
- Muxworthy A.R., Matzka J., Fernandez-Davila A., Petersen N., 2003, Magnetic signature of daily sampled urban atmospheric particles. *Atmos. Environ.* 37, 4163–4169.
- Petrovský E., Kapička A., Jordanova N., Knab M., Hoffmann V., 2000, Low-field magnetic susceptibility: a proxy method of estimating increased pollution of different environmental systems. *Environ. Geol.* 39, 312–318.
- Strzyszczyk Z., Magiera T., Heller F., 1996. The influence of industrial emissions on the magnetic susceptibility of soils in Upper Silesia. *Stud. Geophys. Geod.* 40, 276–286.
- Strzyszczyk Z., Magiera T., 1998, Magnetic susceptibility and heavy metals contamination in soils of southern Poland, *Phys. Chem. Earth.* 23, 1127–1131.
- Wang X.S., Qin Y., Sang S.X., 2005, Accumulation and sources of heavy metals in urban topsoils: a case study from the city of Xuzhou, *Environ. Geol.* 48, 101–107.