



## EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR MÉTODOS MAGNÉTICOS EN LAS CIUDADES DE MORELIA Y GUADALAJARA MÉXICO

Bertha Aguilar Reyes<sup>1\*</sup>, Francisco Bautista<sup>2</sup>, José Rosas-Elguera<sup>3</sup>, Avto Gogichaishvili<sup>1</sup>, Rubén Cejudo<sup>2</sup>, Juan Morales<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, Instituto de Geofísica – Sede Michoacán, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, 58089 Morelia, México (baguilar@geofisica.unam.mx, avto@geofisica.unam.mx)

<sup>2</sup> Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, 58089 Morelia, Mexico

<sup>3</sup> Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad de Guadalajara, Av. Revolución No. 1500, 44840 Guadalajara, Jalisco, México

### Resumen

Se presenta el trabajo de investigación de la correlación entre algunos parámetros magnéticos y el nivel de contaminación en muestras ambientales de una ciudad grande (Guadalajara) y otra de tamaño medio (Morelia) en México. Los parámetros magnéticos evaluados fueron la susceptibilidad magnética de baja frecuencia ( $\chi_{LF}$ ) y la magnetización remanente isotérmica de saturación ( $MRIS$ ). Se observó que la  $MRIS$  es un buen indicador del nivel de contaminación por algunos metales pesados para el caso de Morelia. A partir de los experimentos de adquisición de magnetización remanente isotérmica ( $MRI$ ), se infiere que la mayoría de las muestras analizadas contienen minerales ferrimagnéticos como portador principal más probable, ya que las muestras de ambas ciudades se saturan magnéticamente antes de los 300 mT. Además, el valor del parámetro  $S_{-200}$  ( $S_{-200} = MRI_{-200} / MRIS$ , donde  $MRI_{-200}$  es la magnetización a campo inverso de 200 mT después de la saturación magnética) se encuentra entre 0.7 y 1.0, característico de minerales de baja coercitividad (ferrimagnético). Las observaciones y análisis por Microscopía electrónica de barrido ( $MEB$ ) confirmaron la presencia de magnetita y su asociación con metales pesados.

*Palabras claves: Contaminación, magnetismo ambiental, suelos urbanos, polvos urbanos.*

### Abstract

In this work, we investigate the correlation between some magnetic parameters and the level of contamination in environmental samples from Guadalajara (large city) and Morelia (medium city). The low-frequency magnetic susceptibility ( $\chi_{LF}$ ) and the saturation isothermal remanent magnetization ( $SIRM$ ) were evaluated. In the case of Morelia, we observed that  $SIRM$  is a good indicator of the level of contamination by some heavy metals. From isothermal remanent magnetization (IRM) experiments, we inferred that most of analyzed samples contain ferrimagnetic minerals as the probably responsible for magnetization, since most of samples are almost completely saturated before 300 mT. Additionally, the  $S_{-200}$  values ( $S_{-200} = IRM_{-200} / SIRM$ , where  $IRM_{-200}$  is the back-field of 200 mT after magnetic saturation) are between 0.7 and 1.0, characteristic of low coercivity magnetic minerals. The Scanning Electronic Microscopy (SEM) observations revealed some aggregates conformed by magnetite with heavy metals.

*Keywords: Contamination, environmental magnetism, urban soils, urban dust.*



## Introducción

Las zonas urbanas representan fuentes de emisión continua de partículas contaminantes debido a diferentes actividades humanas, entre las que destacan el tráfico vehicular y la actividad industrial. En México, las ciudades consideradas como zonas críticas debido a los niveles de contaminación son el Distrito Federal, Guadalajara y Monterrey (NOM-086-ECOL, 1994). Sin embargo, no se siguen controles estrictos de las emisiones contaminantes, debido principalmente a lo costoso de la metodología vigente, basada en análisis químicos. Las emisiones contaminantes urbanas producen partículas contaminantes finas ( $< 10 \mu\text{m}$ :  $\text{PM}_{10}$ ), las cuales representan un gran peligro pues favorecen enfermedades cardiovasculares y males respiratorios (Gómez et al., 2002) en los seres humanos. En particular, las emisiones provenientes de la combustión vehicular invariablemente contienen partículas magnéticas (Strzyszc et al., 2006; Petrovský and Ellwood, 1999), las cuales se deben a impurezas de Fe en los combustibles (Abdul-Razzaq and Gautam, 2001), así como al desgaste de la carrocería (Maher et al., 2008). Se ha demostrado además que las partículas magnéticas alojan en su estructura metales pesados como Pb, Zn, Ba, Cd and Cr (Harrison and Jones, 1995; Maher et al., 2008; Muxworthy et al., 2003). Por lo anterior, la concentración de minerales magnéticos refleja de manera indirecta el nivel de metales tóxicos en muestras ambientales como suelos y polvo urbano (Bityukova et al., 1999; Magiera et al., 2006, Maher et al., 2008). Así, la metodología magnética representa una alternativa rápida y económica para la evaluación de la contaminación antropogénica. En particular, en el presente estudio se muestra que la magnetización remanente isotérmica de saturación (*MRIS*) permite una evaluación relativa del nivel de contaminación en muestras ambientales, llevando a identificar las zonas más afectadas en las ciudades de estudio.

## Metodología

### *Muestreo y preparación de muestras*

Se estudiaron muestras de suelo y polvo urbano en las ciudades de Guadalajara y Morelia. En Guadalajara se tomaron muestras de suelos y polvo urbano en 30 puntos distribuidos a lo largo de un transecto N-S, incluyendo parte de la zona industrial sur y el Parque “Mirador Independencia”.

En Morelia, se realizó el muestreo (98 puntos) en un área delimitada por el periférico, de acuerdo al uso de suelo siguiente: Residencial (24); Equipamiento (16); Industrial (8); Mixto (28); Áreas verdes (6); Reserva ecológica (5), y Polvo urbano (11).

Las muestras de suelo constituyen los 8 cm de suelo superficial; fueron extraídas con la ayuda de cilindros de PVC (polyvinyl-chloride) de  $100 \text{ cm}^3$ . Los polvos urbanos se colectaron en un área de  $1 \text{ m}^2$  sobre el asfalto. Todas las muestras se secaron a la sombra, fueron tamizadas a malla de 2-mm y se tomaron muestras discretas en cubos de plástico estándar de  $11 \text{ cm}^3$  apropiados para las mediciones magnéticas.

#

### *Mediciones magnéticas*

Todas las mediciones magnéticas se realizaron en el LIMNA del Instituto de Geofísica de la UNAM campus Morelia, México. Las mediciones de susceptibilidad magnética ( $k_{LF}$ ) se hicieron utilizando un equipo Bartington MS2B. A partir de estos valores se calculó la susceptibilidad específica ( $\chi_{LF}$ ). Los experimentos de adquisición de *MRI* se llevaron a cabo sometiendo las muestras a campos magnéticos crecientes en el rango 25 – 700 mT utilizando un magnetizador de impulsos ASC IM-10. La *MRI* adquirida a 700 mT se tomó como la magnetización de saturación (*MRIS*). Seguido a la *MRIS*, las muestras se sometieron a un campo opuesto de 200 mT para obtener la relación  $S_{-200} = \text{MRI}_{-200}/\text{MRIS}$ . Todas las magnetizaciones remanentes se midieron con un magnetómetro de giro AGICO JR6.



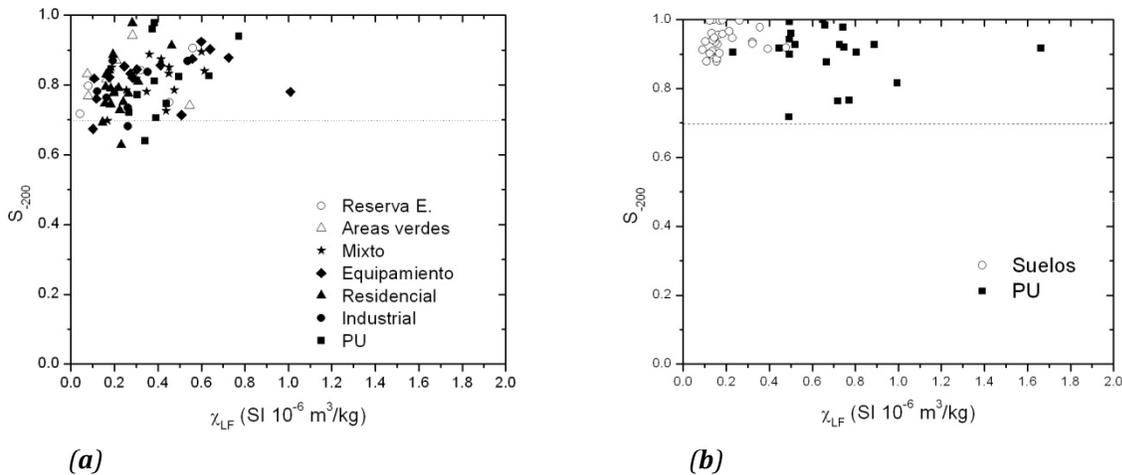
*Microscopía electrónica de barrido (MEB)*

Las observaciones en *MEB* se realizaron en un equipo SEM/FRG ZEISS Ultra 55 y el análisis químico fue realizado con la ayuda de un Noran System 7 EDS en la Universidad Pierre y Marie Curie en Francia.

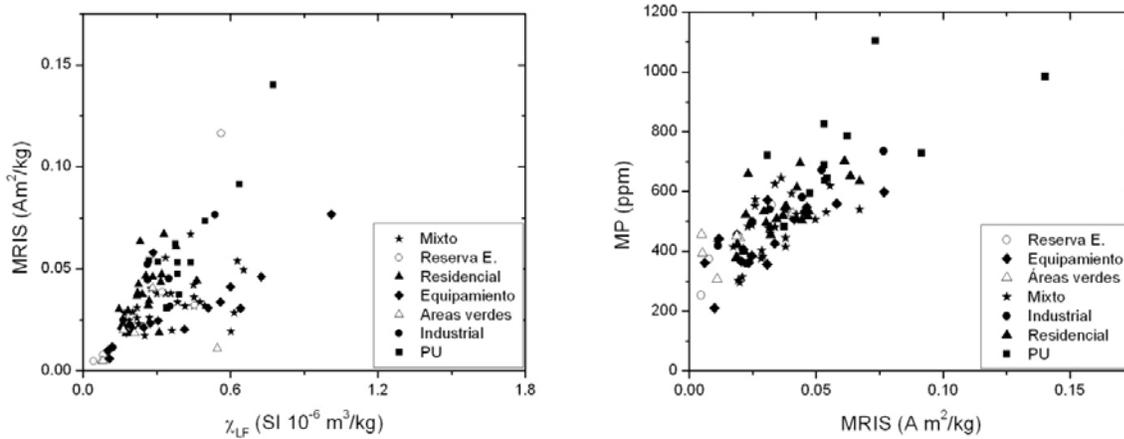
**Resultados y discusión**

El factor  $S_{-200}$  permite evaluar el tipo de portador magnético, de baja o alta coercitividad, predominante en las muestras. Las muestras de Morelia arrojan un valor alrededor de 0.8 para éste parámetro (figura 1a), con solo 4 muestras por debajo de ese valor. De modo que el portador magnético es predominantemente ferrimagnético.

Para el caso de Guadalajara se tiene un portador que es probablemente más cercano a la magnetita, ya que el valor de  $S_{-200}$  está por arriba de 0.85 para la gran mayoría de las muestras. Se observa también poca dispersión (figura 1b), lo cual nos indica un portador magnético más homogéneo.



**Figura 1.** Valor del factor  $S_{-200}$  para las muestras de Morelia (a) y Guadalajara (b). Para el caso de Guadalajara el valor de  $S_{-200}$  es más cercano a 1, indicando portador magnético de menor coercitividad.



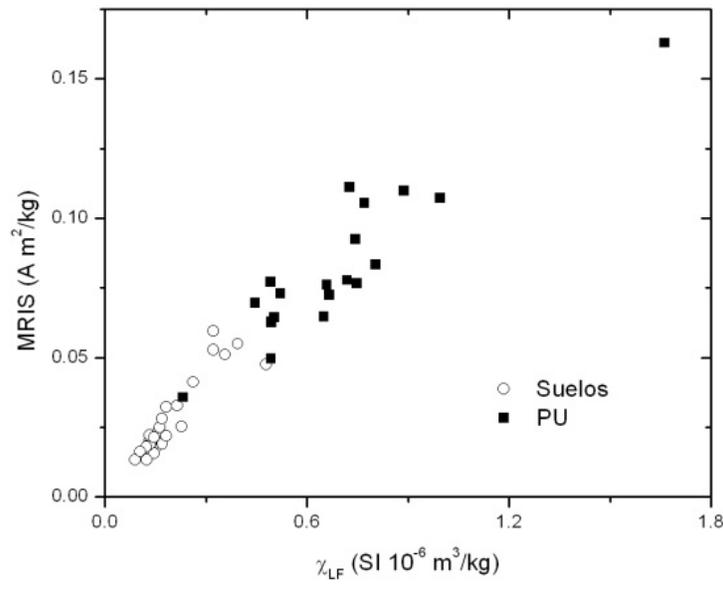
**Figura 2.** Correlación entre  $\chi_{LF}$  y MRIS (a) y entre la MRIS y los metales pesados ( $MP = Cu+Cr+Ni+Sr$ ) para Morelia (b).



Para el caso de Morelia, se observa un aumento magnético tanto en la  $\chi_{LF}$  como en la  $MRIS$  (Fig. 2a). Los valores más bajos de ambos parámetros corresponden a muestras de la reserva ecológica y de las áreas verdes. Respecto a estos valores mínimos se evalúa el nivel relativo de contaminación del resto de las muestras. Así, las muestras de polvos urbanos presentan hasta 10-15 veces el valor de la  $MRIS$ , y hasta 6-7 veces el valor de la  $\chi_{LF}$  para la referencia. Se observó que un buen indicador del nivel de contaminación es la  $MRIS$ , ya que los valores de éste parámetro son mayores para los niveles más altos de Cr, Ni, Cu y Sr en las muestras (figura 2b) y representan 3-4 veces los valores para la referencia. En estudios previos, se ha encontrado que la  $MRI$  es un trazador más eficiente que la susceptibilidad magnética en la identificación de fuentes de partículas magnéticas antropogénicas (Chaparro et al., 2003; Georgeaud et al., 1997; Yang et al., 2007). En el caso de la  $\chi_{LF}$  no se observó una buena correlación con ningún metal pesado.

El caso de Guadalajara solo se evaluó respecto a la referencia que fueron las muestras de la reserva ecológica. En la figura 3 se observa la correlación entre la  $\chi_{LF}$  y la  $MRIS$ . La linealidad de los datos indica un mismo portador magnético. En ambos tipos de muestra, los valores más altos corresponden a la zona afectada tanto por emisiones vehiculares como por emisiones industriales, y representan 2-3 veces más el valor para la reserva ecológica.

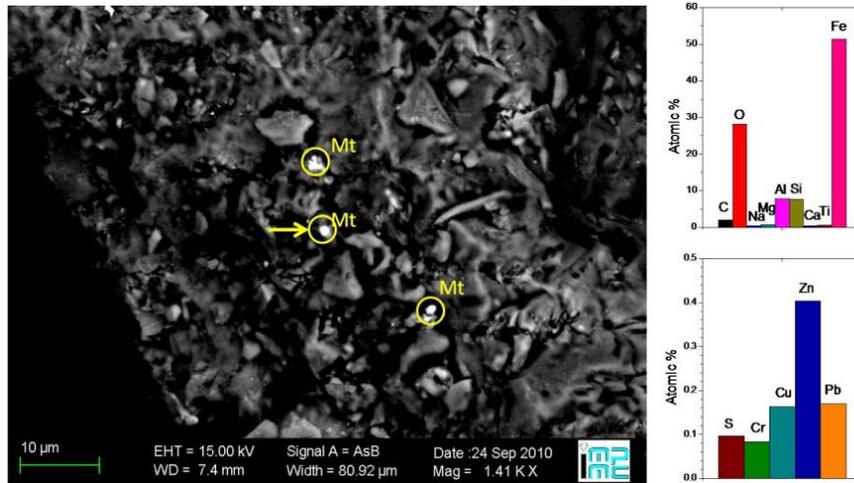
#



#

**Figura 3.** Correlación entre la  $MRIS$  y la  $\chi_{LF}$  para las muestras de suelos y polvos urbanos (PU) de la ciudad de Guadalajara.

Las observaciones por *MEB* permitieron identificar agregados magnéticos de forma esférica así como de forma irregular. En la figura 4 se observa una muestra de polvo urbano de Morelia, en donde se identificó magnetita asociada a S, Zn, Cr, Cu y Pb. Este tipo de agregados ya han sido identificados en estudios previos (Maher et al., 2008; Moreno et al., 2003; Shilton et al., 2005).



**Figura 4.** Micrografía de una muestra de polvo urbano de Morelia. La flecha señala el sitio del análisis. La gráfica superior indica los elementos mayores, y la inferior, los menores.

## Conclusiones

El estudio en la ciudad de Morelia, muestra que la *MRIS* es un buen indicador del nivel de contaminación por Cu, Cr, Ni y Sr, tanto en muestras de suelos como de polvo urbano. De acuerdo a las observaciones por MEB, el portador magnético presente en las muestras más contaminadas (polvos urbanos) de la ciudad de Morelia, es probablemente magnetita, la cual proviene casi exclusivamente de la combustión vehicular. La magnetita se encuentra formando tanto agregados irregulares como esféricos, de aproximadamente 1  $\mu\text{m}$  de tamaño. Estos agregados se encuentran asociados con S y metales pesados. Por otro lado, la buena correlación observada entre la  $\chi_{LF}$  y la *MRIS* para el caso de Guadalajara, puede usarse como un proxy para determinar el grado relativo de contaminación, respecto a una referencia. Comparando los valores obtenidos para las dos ciudades estudiadas, no se observa gran diferencia tanto para la  $\chi_{LF}$  como para la *MRIS*, lo cual nos señala que ciudades consideradas como poco contaminadas en realidad se encuentran en un nivel crítico.

## Agradecimientos

El presente trabajo ha sido apoyado por la Universidad Nacional Autónoma de México, mediante los proyectos PAPIIT IN 223110 y PAPIIT IN 113009.

## Referencias

- Abdul-Razzaq W. and Gautamm M., 2001. Discovery of magnetite in the exhausted material from a diesel engine. *Appl. Phys. Lett.*, 78, 2018-2019.
- Bityukova L., Scholger R. and Birke M., 1999. Magnetic susceptibility as indicator of environmental pollution of soils in Tallinn. *Phys. Chem. Earth (A)*, 24, 829-835.



Chaparro, M.A.E., Bidegain, J.C., Sinito, A.M., Gogorza, C.S.G., Jurado, S., 2003. Preliminary results of magnetic measurements on stream-sediments from Buenos Aires Province, Argentina. *Studia Geophysica et Geodaetica* 47, 121–145.

Georgeaud V.M., Rochette P., Ambrosi J.P., Vandamme D. and Williamson D., 1997. Relationship between heavy metals and magnetic properties in a large polluted catchment: the Etang de Berre (south of France). *Phys. Chem. Earth*, 22, 211-214.

Gómez, B., Palacios, M.A., Gómez, M., Sanchez, J.L., Morrison, G., Rauch, S., 2002. Levels and risk assessment for humans and ecosystems of platinum-group elements in the airborne particles and road dust of some European cities. *Science of the Total Environment* 299, 1–16.

Harrison R.M. and Jones M., 1995. The chemical composition of airborne particles in the UK atmosphere. *Sci. Tot. Environ.*, 168, 195-214.

Magiera, T., Strzyszcz, Z., Kapi\_cka, A., Petrovský, E., MAGPROX Team, 2006. Discrimination of lithogenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe. *Geoderma* 130, 299-311.

Maher B.A., Moore C. and Matzka J., 2008. Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves. *Atmos. Environ.*, 42, 364-373.

Moreno, E., Sagnotti, L., Dinare' s-Turrell, J., Winkler, A., Cascella, A., 2003. Biomonitoring of traffic air pollution in Rome using magnetic properties of tree leaves. *Atmospheric Environment* 37, 2967–2977.

Muxworthy A.R., Matzka J., Fernandez Davila A. and Petersen N., 2003. Magnetic signature of daily sampled urban atmospheric particles. *Atmos. Environ.*, 37, 4163-4169.

NORMA Oficial Mexicana NOM-086-ECOL, 1994. Contaminación atmosférica- Especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles. Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Desarrollo Social.

Petrovský E. and Ellwood B.B., 1999. Magnetic monitoring of air-, land- and water-pollution. In: Maher B.A. and Thompson R. (Eds.), *Quaternary Climates, Environments and Magnetism*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Shilton V.F., Booth C.A., Smith J.P., Giess P., Mitchell D.J., Williams C.D., 2005. Magnetic properties of urban street dust and their relationship with organic matter content in the West Midlands, UK *Atmospheric Environment* 39, 3651–3659.

Strzyszcz Z., Magiera T. and Heller F., 1996. The influence of industrial emissions on the magnetic susceptibility of soils in Upper Silesia. *Stud. Geophys. Geod.*, 40, 276-286.

Yang, T., Liu, Q., Chan, L., Cao, G., 2007. Magnetic investigation of heavy metals contamination in urban topsoils around the East Lake, Wuhan, China. *Geophysical Journal International* 171, 603–612.