



IDENTIFICACIÓN DE ZONAS PRESUMIBLEMENTE CONTAMINADAS POR ELEMENTOS TÓXICOS POR TÉCNICAS NO CONVENCIONALES EN LA CIUDAD DE MORELIA MICHOACÁN

R. Cejudo^{1*}, C. Delgado², I. Israde, F. Bautista³A. Goguichaisvili¹, J. Morales¹.

¹ Instituto de Geofísica Unidad Michoacán, LUGA-UNAM, Morelia, México.

² Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, UMSNH, Morelia, México

³ Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, CIGA-UNAM, Morelia, México.

* e-mail: ruben@geofisica.unam.mx

ABSTRACT

To assess the risk to toxicity to a population is necessary to determine the concentration of potentially toxic elements. The aim of this study was to determine the zone suspected of containing high concentration of potentially toxic elements in urban area of Morelia City by the mass specific susceptibility (c_{if}) and isothermal remanent magnetization (IRM) in samples of topsoil and urban dust. An survey of 172 samples of topsoil and urban dust of Morelia City was collected. Mass specific susceptibility to low frequency and isothermal remanent magnetization at 700 mT (IRM_{700mT}) were determined. The soils showed values of c_{if} between 0.3 at $5.0 \mu m^3 kg^{-1}$ and IRM_{700} between 2.7 at $58.4 mAm^2 kg^{-1}$. In urban dust c_{if} showed values between 0.8 at $22.8 \mu m^3 kg^{-1}$ and IRM_{700} between 5.9 at $189.2 mAm^2 kg^{-1}$. The spatial representation showed a concentration gradient that goes from central and old part of the city of Morelia to the exterior of the city. The spatial distribution of magnetic material in topsoil and urban dust allowed to determine the areas containing high concentration of magnetic material and are indirectly showing area possibly containing high concentration of potentially toxic elements.

Keywords: Interpolation, environmental magnetic, potentially toxic elements

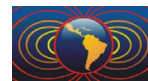
RESUMEN

Para evaluar el riesgo de toxicidad para una población es necesario determinar la concentración de los elementos potencialmente tóxicos. El objetivo de este estudio fue determinar las zonas que presuntamente contienen concentración alta de elementos potencialmente tóxicos en el área urbana de Morelia por medio de la susceptibilidad magnética másica (c_{if}) y magnetización remanente isoterma (MRI) en muestras de suelo y polvo. Se realizó un levantamiento de 172 muestras de suelo y polvo de la Ciudad de Morelia. Se determinaron los parámetros magnéticos de susceptibilidad específica de masa a (c_{if}), IRM_{700} y su distribución espacial. Los suelos presentaron valores de c_{if} entre 0.3 a $5.0 \mu m^3 kg^{-1}$ y IRM_{700} entre 2.7 a $58.4 mAm^2 kg^{-1}$. En polvo la c_{if} mostró valores entre 0.8 a $22.8 \mu m^3 kg^{-1}$ y IRM_{700} entre 5.9 a $189.2 mAm^2 kg^{-1}$. La representación espacial mostró un gradiente de concentración que va de la parte central y antigua de la ciudad de Morelia hacia la exteriores de la ciudad. La distribución espacial de material magnético en suelos y polvos permitió determinar las zonas que contienen una concentración alta de material magnético y que indirectamente son zonas que posiblemente contienen concentración elevada de elementos potencialmente tóxicos.

Palabras Clave: Interpolación, Magnetismo ambiental, Elementos potencialmente tóxicos

Introducción

El aumento de la población en los centros urbanos trae como consecuencia un incremento en la expansión



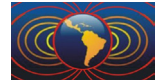
del área urbana, la cual demanda mayores servicios urbanos y de transporte (Vieyra, Larrazábal, 2014). El aumento del tráfico vehicular en los centros urbanos trae consigo problemas al medio ambiente, ya que estos son una importante fuente de emisión de partículas contaminantes (SEDEMA 2015). En las emisiones vehiculares se han detectado partículas con presencia de metales pesados (Cr, Cu, Pb, Zn entre otros) y otras sustancias (dioxinas, furanos y hexaclorobencenos) que representan un riesgo para la salud humana y los ecosistemas, (SEMARNAT 2005; Martin, Griswold, 2009; Aguilar *et al.*, 2013; SEDEMA 2015). Para evaluar el riesgo de toxicidad para población por elementos potencialmente tóxicos es necesario determinar la concentración de o los metales potencialmente tóxicos, su indisponibilidad y movilidad cerca de centros urbanos (Volke *et al.*, 2005; Karim *et al.*, 2014). Realizar un diagnóstico por metales pesados en centros urbanos o ciudades resulta ser costoso y requieren de una gran cantidad de tiempo si se emplean técnicas convencionales, sin embargo, en recientes años se ha probado la eficacia del uso de parámetros magnéticos como técnica proxy para estos estudios en México, siendo posible la utilización de diversas muestras ambientales (Morton *et al.*, 2009; Qiao *et al.*, 2011; Aguilar *et al.*, 2011, 2013; Cejudo *et al.*, 2014). La mayoría de estudios que correlacionan parámetros magnéticos con concentración de elementos potencialmente tóxicos han empleado mediciones de susceptibilidad magnética volumétrica (κ), másica (χ_{IF}) y magnetización remanente isotermal (MRI), donde se han obtenido coeficientes de correlaciones (CC) aceptables ($|CC| > 0.3$) y valor $p < 0.05$ para las concentraciones de Cd, Cr, Co, Cu, Ni, Pb, V y Zn (Morton *et al.*, 2009; Aguilar *et al.*, 2011, 2013). El objetivo de este estudio fue determinar con mayor precisión las presuntas zonas que contengan una concentración alta de elementos potencialmente tóxicos en el área urbana de Morelia por medio de la distribución espacial de los valores de susceptibilidad magnética másica (χ_{IF}) y magnetización remanente isotermal (MRI) en suelo y polvo, con la finalidad de acotar las zonas para un futuro análisis geoquímico que permitan evaluar las zonas de riesgo para la población.

Metodología

El área de estudio de la zona urbana de la ciudad de Morelia se encuentra ubicada entre las coordenadas el sistema de proyección cartográfica UTM WGS 84, X = 256139 a 277925 m e Y = 2176631 a 2182557 m Zona 14 y altitud entre 1892 a 2119 m sobre el nivel del mar. El área se encuentra dentro del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM) y rodeada de rocas de tipo ígneas extrusiva y sedimentarias; el suelo dominante es andosol, luvisol, leptosol, regosol, vertisol y phaeozem; su clima es templado subhúmedo, con temperatura entre 16 a 22 °C y temporada de lluvia de mayo a noviembre (124 mm).

Se realizó un levantamiento de 86 muestras de suelo urbano y 86 muestras de polvo de la zona urbana y periurbana de la Ciudad de Morelia. La muestra de suelo urbano fue recolectada con un nucleador plástico de 5 cm de diámetro y 10 cm de longitud y solo se recolectó la parte superficial del suelo. Para minimizar posibles alteraciones y evitar alteraciones recientes por remoción o adición de suelo, la muestra fue tomada in situ cerca de árboles maduros. El material recolectado fue colocado en una bolsa de polipropileno con cierre. En el laboratorio la muestra fue secada a temperatura ambiente y a la sombra por dos semanas. Posteriormente, se destruyeron los agregados con mortero de porcelana y se tamizó el material en malla n°10 (2 mm), con el material obtenido se llenaron cubos de acrílicos de 8 cm³ ideales para realizar mediciones magnéticas. La muestra de polvo urbano (PU) fue conformada por el material recolectado con una brocha y recogedor de plástico de un metro cuadrado debajo de la banqueta, el material fue puesto en una bolsa de polipropileno con cierre. En el laboratorio la muestra fue igualmente secada por dos semanas a la sombra y tamizada posteriormente en malla n° 10 (2 mm), el material obtenido fue puesto en cubos de acrílicos con capacidad de 8 cm³ ideales para realizar mediciones magnéticas. Todas las muestras fueron georeferenciadas por medio de un GPS Garmin en sistema de proyección UTM WGS84.

Se realizaron mediciones de susceptibilidad magnéticas (κ_{IF}) a baja frecuencia (0.46 KHz) en un medidor de susceptibilidad Bartington MS3 con sensor dual MS2B, con los resultados obtenidos, se determinó el



parámetro de susceptibilidad específica de masa a baja frecuencia ($\chi_{lf} = \kappa/\rho$, ρ es la densidad del material en $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$). Se obtuvieron las curvas de magnetización remanente a temperatura ambiente (Magnetización remanente isothermal MRI), para ello la muestra fue sometida en un campo magnético (H) creciente y unidireccional, para cada campo aplicado se midió la magnetización remanente de la muestras, la aplicación del campo fue realizada por medio de un magnetizador de pulsos IM 10-30 ASC Scientific y la magnetización remanente fue medida en un magnetómetro de giro Minispin ASC Scientific. Con los datos obtenidos se determinó el parámetro de MRI₇₀₀, el cual es el valor de la magnetización remanente obtenido a 700 mT y normalizado por la densidad de la muestra. Todas las mediciones magnéticas fueron realizadas en el Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental-UNAM en la ciudad de Morelia. La estadística descriptiva de los datos se realizó por medio del software Statagraphic, la interpolaciones kriging fue realizada por medio de software GS+ y la representación geoespacial fueron realizadas bajo una proyección UTM con Datum WGS 84 Zona 14, la información geográfica fue tomada del banco de información INEGI.

Resultados

Los resultados en suelos fueron: χ con valores entre 0.3 a $5.0 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, valor promedio de $2.1 \pm 0.9 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, por otra parte, las curvas de MRI presentaron una cuasi saturación en campos magnéticos de 200 a 300 mT (Fig. 1). Los valores de MRI a 700 mT muestran una gran dispersión indicando que existe una distribución de minerales ferrimagnéticos en los suelos de la zona urbana de Morelia. Los valores de MRI₇₀₀ presentaron valores entre 2.7 a $58.4 \text{mAm}^2 \text{kg}^{-1}$, valor promedio de $25.4 \pm 11.8 \text{mAm}^2 \text{kg}^{-1}$.

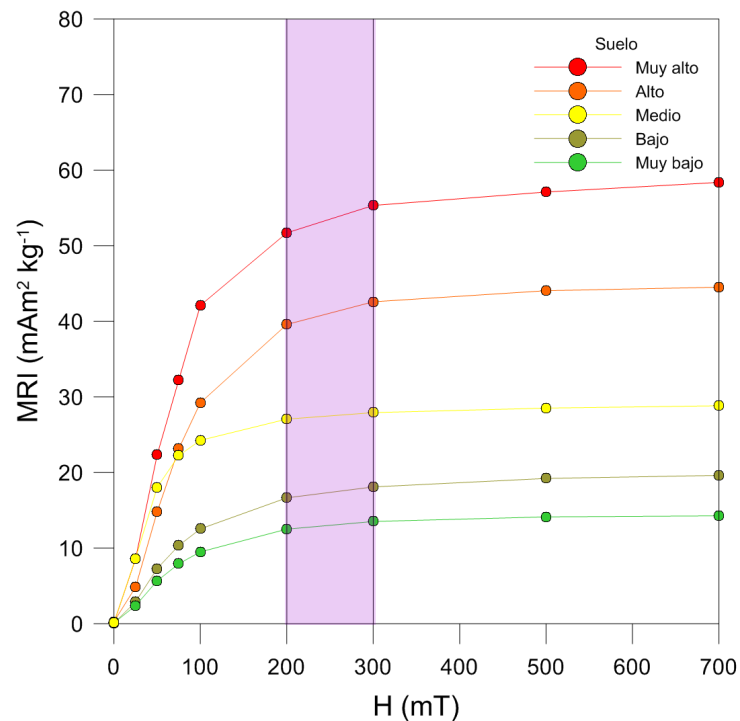


Figura 1. Ejemplos de curvas de magnetización remanente isothermal de suelo proveniente de diferentes zonas de Morelia, Michoacán.

En polvo los resultados fueron: χ con valores entre 0.8 a $22.8 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, valor promedio de $3.1 \pm 2.3 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, por otra parte, las curvas de MRI presentaron una cuasi saturación en campos magnéticos de 200 a 300 mT (Fig. 2). Los valores de MRI a 700 mT presentaron dispersión al registrarse valores de MRI₇₀₀ entre 5.9 a $189.2 \text{mAm}^2 \text{kg}^{-1}$, valor promedio de $44.0 \pm 25.3 \text{mAm}^2 \text{kg}^{-1}$. Para muestras de suelo y polvo urbano se observó una dispersión de valores de χ_{lf} y MRI₇₀₀, por otra parte, se observó que existen muestras de polvo y suelo que presentan valores de χ_{lf} y MRI₇₀₀ similares y posiblemente en estos sitios

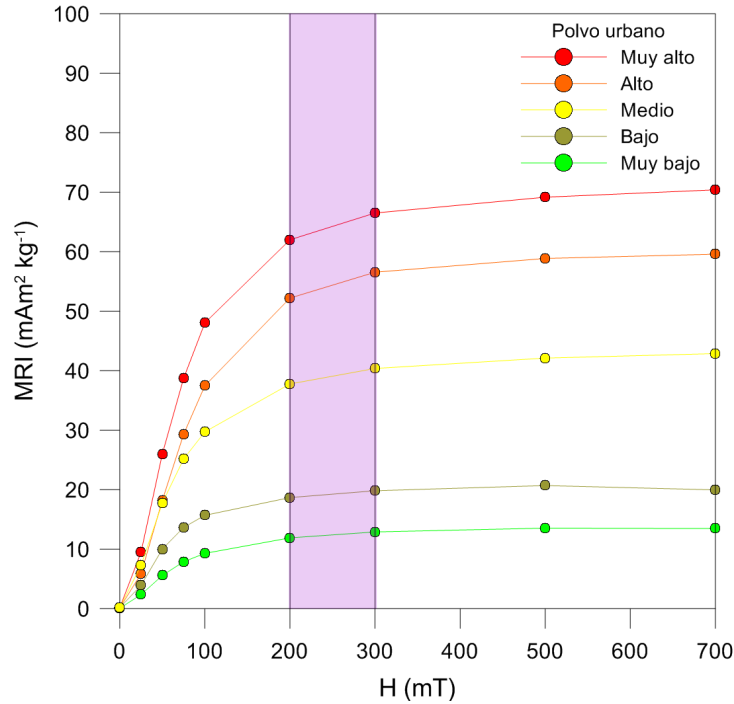


Figura 2. Ejemplos de curvas de magnetización remanente isotermal de polvo urbano proveniente de diferentes zonas de Morelia, Michoacán.

la muestra son homogéneas, sin embargo existen muestras de polvo urbano que muestran valores muy superiores de MRI_{700} que en muestras de suelo (Fig. 3). El modelo de regresiones lineales entre χ_{if} vs MRI_{700} indicó que la pendiente para suelos es menos en comparación de la pendiente obtenida para muestras de polvos urbanos (Fig. 3).

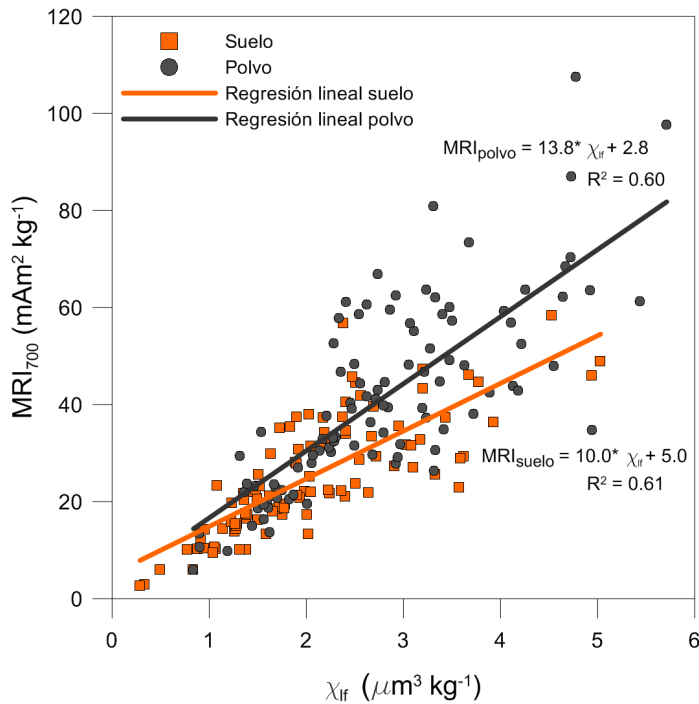
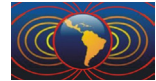
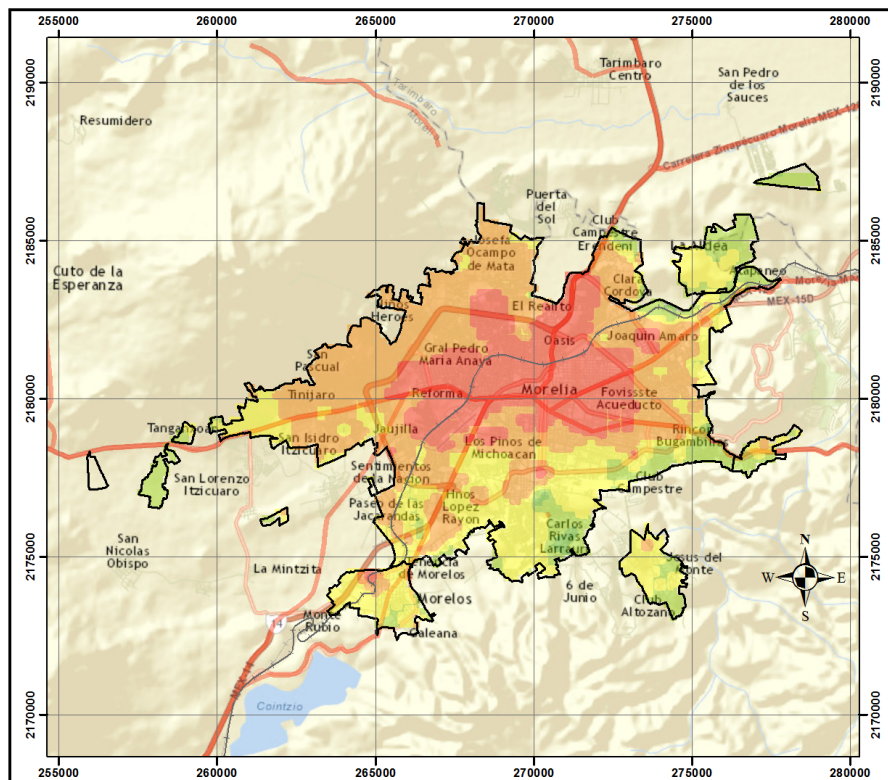


Figura 3. Regresiones lineales obtenidas para muestras de suelo y polvo urbano de la zona urbana de Morelia Michoacán.



La obtención espacial de las zonas que representan las zonas con concentración potencialmente contaminadas de la ciudad de Morelia fue obtenido a partir de un análisis de varianza e interpolación kriging ordinario, la cual fue clasificada en cinco intervalos regulares para cada parámetro magnético y tipo de muestra (4 representaciones espaciales), posteriormente, se realizó una superposición y normalización de los valores obtenidos y se realizó una reclasificación en 5 zonas probables que representaron la concentración del material magnético en la zona urbana de Morelia y que a su vez indica de forma indirecta la contracción de elementos potencialmente tóxicos. Las zonas de alta incidencia de material magnético se encuentra en la parte central y antigua de la ciudad de Morelia, se observó además que existe un gradiente en la concentración del material magnético, el cual, disminuye del centro hacia las partes exteriores de la ciudad (Fig. 4). La zona sureste de la ciudad es la que mostró los sitios con menor concentración de minerales ferrimagnéticos y que pertenece a las zonas boscosas de la ciudad, la zona norte y noroeste, la cual está presentando un crecimiento de población y asentamientos urbanos, presentó una concentración alta de material magnético.

DISTRIBUCIÓN DE MATERIAL MAGNÉTICO EN SUELO Y POLVO URBANO



LEYENDA

- Límite urbano
- +— Via Ferrea
- Vía primaria

0 0.75 1.5 3 4.5 km

CIUDAD DE MORELIA, MÉXICO



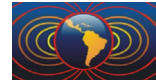
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 14N
Proyección: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

Información geográfica: INEGI

DISTRIBUCIÓN DE MATERIAL MAGNÉTICO

- Muy bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

Figura 4. Mapa obtenido de la distribución espacial de suelo y polvo del material magnetizo en la zona urbana de Morelia, Michoacán.



Conclusión

Por medio de la combinación de la distribución espacial de los parámetros magnéticos fue posible determinar las zonas que contienen una concentración alta de material magnético, por lo que, indirectamente estas zonas posiblemente contienen también concentración de elementos potencialmente tóxicos. La zona más antigua de la ciudad de Morelia es la que registro los valores más altos de susceptibilidad magnética másica (χ_{if}) y magnetización remanente isothermal (MRI) para muestras de suelo y polvo y es en esta zona en donde se debe enfocar un futuro análisis geoquímico que permitan delimitar y evaluar las zonas de riesgo para la población de esta área y los posibles elementos tóxico presentes.

Referencias

- Aguilar, B., Bautista, F., Goguitchaichvili, A., Morales, J., Quintana, P., Carvalho, C., Battu, J., 2013. Rock-magnetic properties of topsoils and urban dust from Morelia (>800,000 inhabitants), Mexico: Implications for anthropogenic pollution monitoring in Mexico's medium size cities, *Geofisica Internacional*, 52 2, 121-133.
- Aguilar, B., Bautista, F., Goguichaisvili, A., Morton, O., 2011. Magnetic monitoring of top soil of Merida (Southern Mexico), *Stud. Geophys. Geod.* 55, 377-388
- Karim Z., Aslam B., Mumtaz M., Qureshi S., 2014, Heavy metal content in urban soils as an indicator of anthropogenic and natural influences on landscape of Karachi—A multivariate spatio-temporal analysis. *Ecol. Indic.* 42, 20-31.
- Martin S., Griswold W., 2009. Human Health Effects of Heavy Metals. *CHSR* , 15. 1-6.
- Morton O., Hernandez E., Martinez E., Soler A., Lozano R., Gonzalez G., Beramendi L., Urrutia J., 2009. Mexico City topsoils: Heavy metals vs. magnetic susceptibility. *Geoderma* 151, 121-125.
- SEDEMA-Secretaría del medio ambiente DF 2015. ¿Quién contamina el aire de la ZMVM?. <http://www.aire.df.gob.mx/default.php?opc=%27ZKBhnmI=%27>
- SEMARNAT 2005. Las sustancias tóxicas persistentes, Instituto Nacional de Ecología, Ciudad de México, 260 pp.
- Vieyra, A., Larrazabal, A. 2014. Urbanización y Ambiente. Experiencias en Ciudades Medias. CIGA-UNAM, INE-SEMARNAT, México, 294 pp.
- Volke, T., Velasco, J., De la Rosa, P., 2005. Suelos Contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación, Secretaria de Medio ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología, México, 19-31 pp.