



## EL AUMENTO MAGNÉTICO EN LOS POLVOS URBANOS DE MURCIA COMO METODOLOGÍA PROXY EN LA IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS CONTAMINADAS

F. Bautista<sup>1</sup>, M. F. Bogalo<sup>2</sup>, A. Gogichaichvili<sup>3</sup>, A. Sánchez<sup>4</sup>, María José Delgado Iniesta<sup>4</sup>, P. Marín Sanleandro<sup>4</sup>, M. Romero Muñoz<sup>4</sup>, E. Díaz-Pereira<sup>5</sup>,

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

<sup>2</sup>Departamento de Física, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Burgos, España

<sup>3</sup>Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Instituto de Geofísica

<sup>4</sup>Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología, Facultad de Química, Universidad de Murcia,

<sup>5</sup>CSIC-Centro de Edafología y Biología Aplicada de Segura, Murcia, España

\*e-mail: [leptosol@ciga.unam.mx](mailto:leptosol@ciga.unam.mx)

### ABSTRACT

High concentration of some toxic elements may potentially endanger the integrity of population and ecosystem. In some circumstances, magnetic measurements can be used as a low cost proxy technique to estimate the concentration of these. The objective of this work was to determine the spatial distribution of the specific magnetic susceptibility and isothermal remanent magnetization in order to identify areas suspected of being contaminated by heavy metals. The distribution maps were integrated with magnetic susceptibility ( $\chi$ ) and isothermal saturation magnetization (MRIS). The interpolation was carried out with the ordinary Kriging method. Spatial distribution models of the spherical type were obtained with  $r^2$  values of 0.96 for MRIS and 0.95 for  $\chi$ . The magnetic magnification maps for MIRS and  $\chi$  show a preferred NNE-SSW direction of maximum increase area possibly contaminated by heavy metals.

**Keywords:** Kriging interpolation, semivariance, magnetic properties.

### RESUMEN

El incremento de la concentración de algún elemento o sustancia tóxica puede poner en peligro la integridad de una población o ecosistemas cercanos. Las mediciones magnéticas pueden ser usadas como técnica proxy de bajo costo para estimar la concentración de algunos elementos. El objetivo de este trabajo fue determinar cuál es la distribución espacial de la susceptibilidad magnética específica y magnetización remanente isoterma para identificar áreas presuntamente contaminadas por metales pesados. Se integró una base de datos georeferenciada de puntos de muestreo con los resultados de las concentraciones de las propiedades magnéticas como la susceptibilidad magnética ( $\chi$ ) y la magnetización remanente isoterma de saturación (MRIS). Se llevó a cabo una interpolación con el método de Kriging ordinario. Se obtuvieron modelos de distribución espacial del tipo esférico con valores de  $r^2$  de 0.96 para MRIS y 0.95 para  $\chi$ . Los mapas de aumento magnético para MIRS y  $\chi$  muestran una dirección preferente NNE-SSW de incremento máximo, área presuntamente contaminada por metales pesados.

**Palabras Clave:** Interpolación Kriging, semivarianza, propiedades magnéticas.



## 1. Introducción

El incremento de la concentración de algún elemento o sustancia toxica puede poner en peligro la integridad una población o ecosistemas cercanos; para evaluar el riesgo de alguna sustancia en particular, es necesario contar con una técnica que permita cuantificar de forma rápida y veraz los elementos presentes en el medio (Volke *et al.*, 2005; Karim *et al.*, 2014). Los estudios de concentración de elementos tóxicos por técnicas convencionales son costosas y requiere de tiempo considerable, uso de recursos humanos y tecnología especializada para la preparación y análisis de muestras. Recientemente se ha demostrado que las mediciones magnéticas pueden ser usadas como técnica proxy de bajo costo para estimar la concentración de algunos elementos, requiere de pocos recursos humanos especializados. La técnica proxy para hacer estimaciones indirectamente de la concentración de elementos tóxicos se basa en que, los minerales magnéticos son capaces de absorber iones de elementos tóxicos (Cd, Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, entre otros) a su estructura (Cejudo *et al.*, 2015; Cortés *et al.*, 2017). El objetivo de este trabajo fue determinar cuál es la distribución espacial de la susceptibilidad magnética específica y magnetización remanente isoterma para identificar áreas presuntamente contaminadas por metales pesados.

## 2. Materiales y Métodos

Se realizó un muestreo sistemático con equidistancias de 150 m, tomándose un total de 126 muestras de polvo urbano. El muestreo se llevó al cabo en los meses de enero y febrero de 2016, período de bajas precipitaciones. Las muestras de polvo urbano fueron tomadas en superficie vial (1 m<sup>2</sup>). El polvo urbano se tamizó para separar las partículas de menos de 1 mm de diámetro.

De cada muestra tamizada se tomó una submuestra que fue encapsulada en un contenedor cúbico de acrílico de 8 cm<sup>3</sup> de volumen interno, adecuado para realizar mediciones magnéticas. Se determinó el peso neto de cada muestra (descartando el peso del contenedor) para calcular la densidad ( $\rho$ ).

## 3. Mediciones magnéticas

La determinación de las propiedades magnéticas se realizó con la aplicación de métodos de magnetismo de rocas para determinar la concentración relativa de minerales magnéticos, el tamaño de grano magnético y el mineral magnético predominante. Para medir la susceptibilidad magnética de baja ( $\kappa_{LF}$ ) y alta ( $\kappa_{HF}$ ) frecuencias (470 Hz y 4700 Hz) se utilizó un susceptibilímetro Bartington MS2B de frecuencia dual. A partir de los valores de  $\kappa_{LF}$  y  $\kappa_{HF}$ , se calculó la susceptibilidad magnética específica. La susceptibilidad magnética dependiente de la frecuencia permitió detectar la presencia de minerales ferrimagnéticos de grano ultra fino.

Para definir el nivel de fondo magnético de los polvos urbanos se utilizó el decil 10 ( $D_{10}$ ) de la población de muestras analizadas. El aumento magnético (AM) se definió con la siguiente ecuación:

$$AM = \text{Muestra} / D_{10}$$

Donde, Muestra es el valor de las propiedades magnéticas ( $\chi$  o MRIS).

El incremento magnético se define a partir de las siguientes clases: un valor  $< 1$  = sin incremento, de 1 a 3 = moderado, de 3 a 6 = medio, de 6 a 9 = alto y,  $> 9$  = muy alto.

## 4. Análisis geostadístico

Se integró una base de datos georreferenciada de puntos de muestreo con los resultados del aumento magnético, la susceptibilidad magnética ( $\chi$ ) y la magnetización remanente isoterma de saturación



(MRIS). Estos resultados se analizaron con métodos estadísticos, con ayuda del software GS+. Se llevó a cabo una interpolación con el método de Kriging ordinario a partir de la siguiente secuencia: análisis exploratorio de datos, autocorrelación espacial y diseño desmivariogramas con la ecuación:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Donde  $\gamma(h)$  es el valor del semivariograma experimental determinado para todos los pares de datos a una distancia  $h$ ;  $Z(x_i)$  son los valores de incremento magnético ( $\chi$  o MRIS);  $Z(x_i + h)$  expresa los valores dados del incremento magnético en diferentes puntos separados de  $X_i$  a una distancia discreta  $h$ ;  $x_i$  expresa los puntos georreferenciados con los incrementos magnéticos de  $Z(x_i)$ ;  $n$  expresa el número de pares separados a una distancia  $h$  (Hernandez-Stefanoni, 2006; Delgado *et al.*, 2010; Zhang, 2014; Ihlet *et al.*, 2015; Cortés *et al.*, 2017).

A partir del modelo teórico se obtuvo un modelo que se ajustó al semivariograma experimental, dependiendo del caso se encontraría un modelo lineal, exponencial, esférico o gaussiano.

Se realizaron diagramas de interpolación con Kriging ordinario (KO), el cual se utilizó como método de interpolación de valores para hacer mapas de distribución continua de los incrementos magnéticos de las propiedades magnéticas MRIS y  $\chi$ .

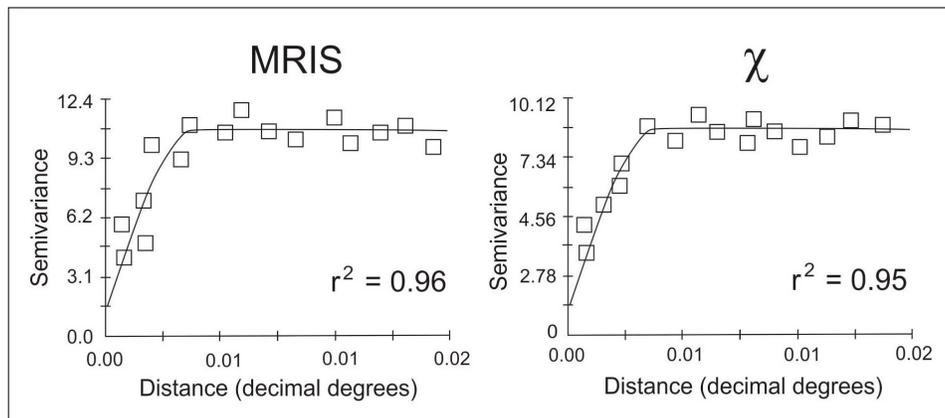
Los mapas se llevaron a cabo con software ArcGIS 10.1, con datum de referencia horizontal y Sistema Geodésico Mundial 84 (WGS84).

#### 4. Resultados

Se obtuvieron modelos de distribución espacial del tipo esférico con valores de  $r^2$  de 0.96 para MRIS y 0.95 para  $\chi$ , con una explicación de la varianza estructural de 91 y 93% y una varianza al azar (nugett) pequeña de 7 y 9% respectivamente, lo cual indica que los puntos de muestreo eran adecuados para realizar la interpolación de datos (Tab.1; Fig. 1).

**Tabla 1.** Características de los semivariogramas de los incrementos magnéticos de  $\chi$  y MRIS en polvo urbano de Murcia, España.

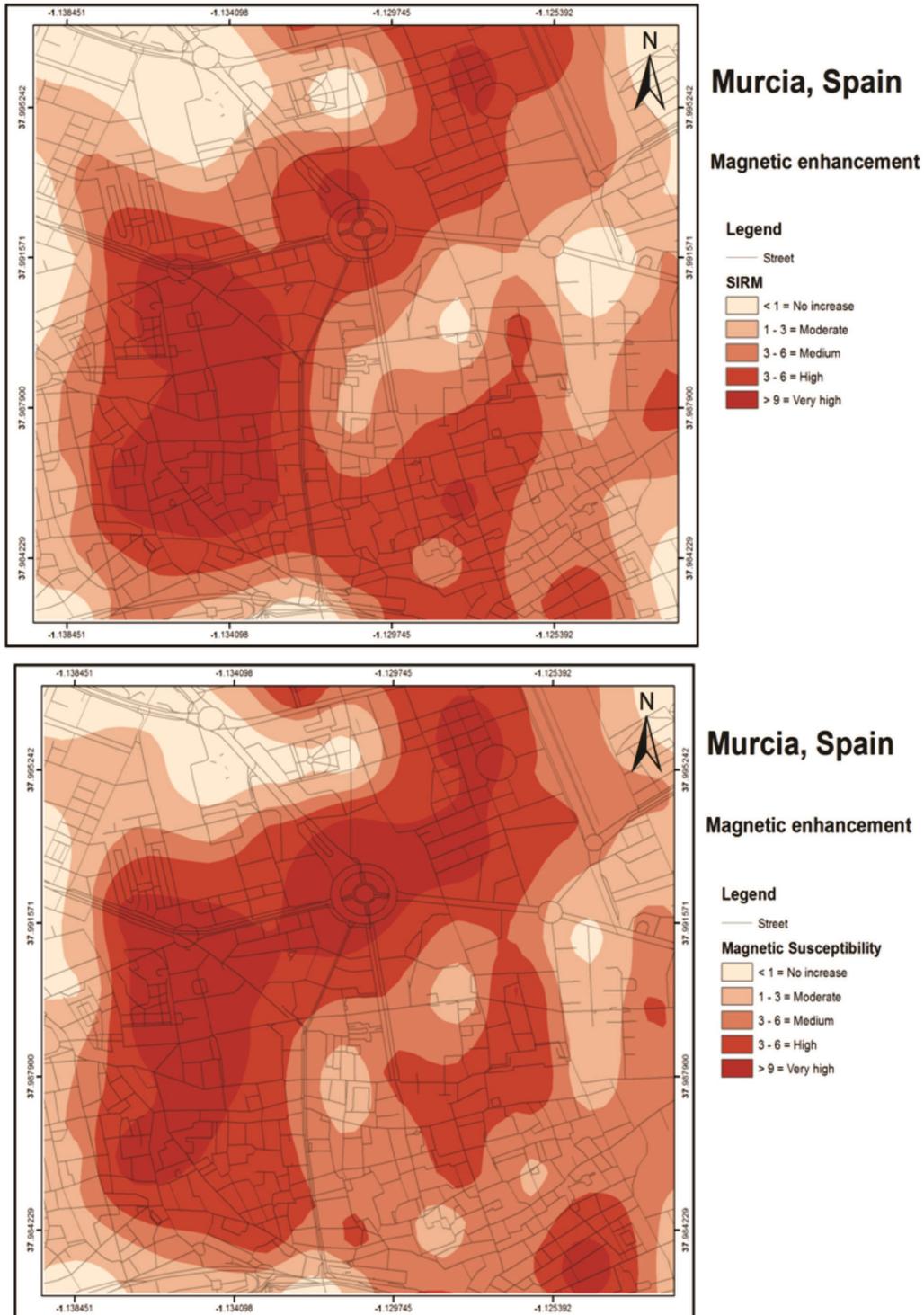
Incremento magnético	Modelo	$r^2$	Co (%)	Varianza Estructural (%)	Distancia
MRIS	Esférico	0.96	7	93	0.0190
$\chi$	Esférico	0.95	9	91	0.0193



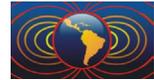
**Figura 1.** Modelos de variogramas para incremento magnético de MRIS y  $\chi$  en polvo urbano de Murcia, España.



Los mapas de aumento magnético para MRIS y  $\chi$  (Fig. 2) muestran una dirección preferente NNE-SSW de incremento máximo ( $> 9$ ). Las diferencias observadas entre ambos mapas se presentan, principalmente en el área sur de la ciudad.



**Figura 2.** Mapas de incremento magnético para la magnetización remanente isotermal de saturación (MRIS) y susceptibilidad magnética ( $\chi$ ).



## 5. Conclusión

Los mapas de distribución de los parámetros magnéticos indicaron que la zona NNE-SSW de Murcia es el área con mayores cantidades de minerales ferrimagnéticos y presuntamente contaminada por metales pesados.

## Referencias

- Cejudo R., Bautista F., Quintana P., Delgado-Carranza M., Aguilar D., Goguichaisvili A., Morales J., 2015. Correlación entre elementos potencialmente tóxicos y propiedades magnéticas en suelos de la Ciudad de México para la identificación de sitios contaminados: definición de umbrales magnéticos. *Revista mexicana de ciencias geológicas* 32, 50-61.
- Cortés, J. L., Bautista, F., Delgado, C., Quintana, P., Aguilar, D., Garcia, A., Figueroa, C., Gogichaishvili, A., 2017. Spatial distribution of heavy metals in urban dust from Ensenada, Baja California, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente XXIII(1)*, 47-60.
- Delgado, C., Pacheco, J., Cabrera, A., Batllori, E., Orellana, R., Bautista, F., 2010. Quality of groundwater for irrigation in tropical karst environment: The case of Yucatan, Mexico. *Agriculture Water Management* 97, 1423-1433.
- Hernandez-Stefanoni, J. L., Ponce-Hernandez, R., 2006. Mapping the spatial variability of plant diversity in a tropical forest: comparison of spatial interpolation methods. *Environmental Monitoring and Assessment* 117, 1-3, 307-334.
- Ihl T., Bautista F., Cejudo R., Delgado C., Quintana P., Aguilar D. y Goguitchaichvili A. 2015. Concentration of toxic elements in topsoils of the metropolitan area of México City: A spatial analysis using ordinary Kriging and indicator Kriging. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 31 (1), 47-62.
- 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.
- Volke T., Velasco J., De la Rosa P., 2005. Suelos Contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, México, Ciudad de México. 19-31 pp.
- Zhang, L., Ren, R., Chen, S., Dong, P., 2014. Spatial variability of surface sediment basis on geostatistical analysis in the littoral area of Yellow River delta, China. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences* 43, 463-472.