



## PROPIEDADES MAGNÉTICAS Y COLOR DE POLVOS URBANOS COMO INDICADORES PROXY DE CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

Francisco Bautista<sup>1,2</sup>, José Luis Cortes<sup>1</sup>, Patricia Quintana<sup>3</sup>, Daniel Aguilar<sup>3</sup>, Avto Gogichaishvili<sup>4</sup>, Carmen Delgado<sup>5</sup>, Rubén Cejudo<sup>4</sup> y Juan Morales<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701 Col. Ex-Hacienda de San José de La Huerta C.P. 58190 Morelia, Michoacán, México

<sup>2</sup>Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, CSIC. Murcia, España.

<sup>3</sup>Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional- Unidad Mérida, Yucatán. km. 6 Antigua carretera a Progreso, Apdo. Postal 73, Cordemex, 97310, Mérida, Yucatán, México.

<sup>4</sup>Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Instituto de Geofísica Unidad Michoacán, UNAM, Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701 Col. Ex-Hacienda de San José de La Huerta C.P. 58190 Morelia Michoacán, México

<sup>5</sup>Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra. General. Francisco J. Múgica S/N, Ciudad Universitaria, 58030 Morelia, Michoacán, México.

### ABSTRACT

Breathable particles with sizes less than 10 microns are emitted into the atmosphere due to car exhaust, industries and households; many of these particles can be precursors to cancer. The diagnostics of heavy metal (HM) pollution are expensive, so the development of strategies is needed to increase accuracy and to be economically feasible. The aim of this work was the design of a proxy methodology in order to perform suitable diagnostics on heavy metal contamination detected in urban powders on the city of Ensenada, Baja California, Mexico by finding potential relationships between color, magnetic properties and heavy metals. 86 samples were analyzed of urban powders. Measurements of magnetic susceptibility ( $\chi$ ) were obtained. Color measurements were made with Munsell Charts and colorimeters. HM concentrations were determined by XRF. Data were analyzed with multiple linear regressions between magnetic parameters and heavy metals within each color group of urban dust. Multiple linear regressions were significant. The technique for making quick evaluation of urban dust pollution by heavy metals must consist of: a) systematic sampling; b) grouping of urban dust samples per color; c) measurement of the magnetic properties; d) analysis of heavy metals. Thus multiple regressions between the magnetic properties and heavy metals will be significant since most of the magnetic noise generated by natural soils in the studied area is removed.

**Keywords:** Magnetic susceptibility; Saturation isothermal remanent magnetization; Color indices; Heavy metals

### RESUMEN

Las partículas emitidas con tamaños menores de 10 micras a la atmósfera por los automóviles, industrias y los hogares son respirables, y muchas de estas partículas pueden ser precursoras de cáncer. Los diagnósticos de la contaminación por metales pesados son costosos, por lo que se requiere la elaboración de estrategias para aumentar precisión y que sean económicamente viables. El objetivo de este trabajo fue el diseño de una metodología proxy para la realización de diagnósticos adecuados sobre la contaminación por metales pesados (MP) en polvos urbanos de la ciudad de Ensenada, Baja California, México mediante la búsqueda de relaciones entre el color, las propiedades magnéticas y metales pesados. Se analizaron 86 muestras de polvos



urbanos. Se midió la susceptibilidad magnética ( $\chi$ ). Se realizaron mediciones de índices de color utilizando las Tablas de Munsell y colorímetro. Se determinaron las concentraciones de MP mediante fluorescencia de rayos X. Los datos se analizaron con regresiones lineales múltiples entre los parámetros magnéticos y los metales pesados al interior de cada grupo de color de polvos urbanos. Las regresiones lineales múltiples fueron significativas. La técnica para la elaboración de diagnósticos rápidos sobre la contaminación del polvo urbano por metales pesados deberá consistir en: a) muestreo sistemático; b) agrupación de las muestras de polvos urbanos por color; c) medición de las propiedades magnéticas; d) análisis de metales pesados. De esta manera las regresiones múltiples entre las propiedades magnéticas y los metales pesados serán significativas debido a que de esta forma se elimina gran parte del ruido magnético generado por los suelos naturales de la zona en estudio.

**Palabras clave:** Susceptibilidad magnética; Magnetización remanente isoterma de saturación (MRIS); Índices de color; Metales pesados.

## Introducción

El crecimiento poblacional que conlleva al uso excesivo de parque vehicular, aunado a la exposición de cenizas contaminantes emitidas por fábricas que no controlan sus emisiones, generan grandes nubes de smog que contienen cenizas con metales pesados (MP) en las zonas urbanas. Las concentraciones de MP se definen por el tipo de usos de suelo y de vialidades (Sutherland, 2000; Morton-Bermea *et al.*, 2011; Aguilar *et al.*, 2011; Alloway, 2012).

Estudios realizados por instancias gubernamentales han determinado que la contaminación del aire que contiene MP es carcinógena para los humanos y que las partículas contaminantes están estrechamente ligadas con la creciente incidencia de algunos tipos de cáncer (WHO, 2013; Gómez *et al.*, 2002, Sabath y Osorio, 2012).

Estudios de diagnóstico de contaminación por MP no se realizan de forma periódica ya que se necesita un gran número de muestras para una evaluación detallada, por el costo y el tiempo que implica realizar los análisis químicos. Se hace necesaria la búsqueda de indicadores confiables, rápidos, de bajo costo y que emitan una gran cantidad de resultados en poco tiempo de manera eficiente y económica, como lo son las metodologías *proxy*.

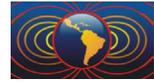
Hoy en día se han identificado técnicas *proxy*, por ejemplo los parámetros magnéticos, que permiten determinar minerales magnéticos, portadores magnéticos, porcentaje y tamaños de partículas con MP asociados a magnetismo (Aguilar *et al.*, 2013; Bautista *et al.*, 2014; Wang, 2014). Otra metodología *proxy* es el uso del color de los polvos urbanos para identificar sitios y zonas contaminadas con relación a la coloración de las muestras (Cortés, 2015).

El objetivo de este trabajo fue el diseño de una metodología *proxy* para la realización de diagnósticos sobre la contaminación por MP en polvos urbanos mediante la búsqueda de relaciones entre el color, las propiedades magnéticas y los metales pesados.

## Metodología

La zona de estudio es la ciudad de Ensenada, Baja California, México. Se recolectaron 86 muestras de polvos urbanos en un muestreo sistemático tratando de cubrir la mayor área posible de la ciudad. Las muestras se obtuvieron en una superficie de 1 m<sup>2</sup> de las calles y avenidas de la ciudad, se colocaron en bolsas de plástico, se georeferenciaron y se enviaron al laboratorio.

El análisis de color de los polvos se realizó con un colorímetro Konica Minolta modelo CR400m; este equipo generó datos en el sistema de color X, Y y Z. Posteriormente se convirtieron en sistema de color RGB y con estos datos se calcularon los índices de color (IC): hue (IH), rojez (IR) y saturación (IS) con las



siguientes ecuaciones (Levin *et. al.*, 2005; Cortés, 2015):

$$IH = (2 \cdot R - G - B) / (G - B) \quad \text{Ec. 1}$$

$$IR = R^2 / (B \cdot G^3) \quad \text{Ec. 2}$$

$$IS = (R - B) / (R + B) \quad \text{Ec. 3}$$

donde: R = Red, G= Green y B = Blue.

Se formaron cuatro grupos, dependiendo de los parámetros de los índices de color, y con ayuda de la carta de color Munsell se les asignó un nombre a cada grupo formado.

Las mediciones de susceptibilidad magnética ( $\chi$ ) se realizaron utilizando un susceptibilímetro Bartington MS2B y Kappabridge (Dearing, 1999).

Los MP se analizaron por fluorescencia de rayos X (FRX) por energía dispersa (FRX-ED), donde se utilizó un espectrómetro Jordan Valley EX-6600, con un detector Si (Li) con un área activa de 20 mm<sup>2</sup> y resolución de 140 eV a 5.9 keV, operado a un máximo de 54 keV y 4800  $\mu$ A. Se utilizaron estándares de referencias internacionales para rocas y suelos (Lozano y Bernal, 2005; Beckhoff *et. al.*, 2007). Los MP analizados fueron Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, V y Rb.

Se realizó un análisis de correlación simple entre las propiedades magnéticas con los IC y los MP. Se realizaron regresiones lineales múltiples entre las propiedades magnéticas y los MP separando las muestras por color utilizando el software Statgraphics plus 5.1

## Resultados

La correlación entre los parámetros es baja pero significativa en el caso de  $\chi$  vs Cr,  $\chi$  vs V y  $\chi$  vs Pb. (Tabla 1), con lo cual se corrobora que la agrupación de las muestras por color del polvo urbano es adecuada para disminuir el ruido de la mezcla de las partículas contaminantes con los suelos de cada localidad.

**Tabla 1.** Correlación con regresiones lineales simples de propiedades magnéticas con IC y EPT

		IH	IR	IS	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb	V	Rb
$\chi$	r <sup>2</sup>	-0.27	0.04	-0.02	<b>0.26</b>	-0.12	-0.06	-0.02	-0.04	<b>0.34</b>	<b>-0.34</b>
	p	0.01	0.72	0.86	0.02	0.28	0.57	0.89	0.74	0.00	0.00

Las regresiones lineales múltiples entre las propiedades magnéticas y los metales pesados con agrupación por color alcanzan valores significativos (Tabla 2), con valores de r<sup>2</sup> entre 0.59 y 0.60.

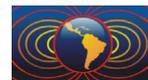
**Tabla 2.** Correlaciones múltiples entre las propiedades magnéticas y los metales pesados

Parámetro	Ecuación	r <sup>2</sup>	Valor de P
$\chi$	20.29 + 0.04*Cr - 0.27*Ni - 0.11*Cu + 0.04*Zn - 0.01*Pb + 0.16*V - 0.02*Rb - 0.03*Sr - 0.39*Y	0.60	0

Las muestras de polvos urbanos agrupados por color fueron: el grupo I perteneciente a los rojos oscuros (2.5 YR), el grupo II a grises (10 YR), el grupo III a los cafés rojizos claros (5 YR) y el grupo IV grises-café claros (10 YR).

Con la susceptibilidad magnética ( $\chi$ ) las regresiones lineales múltiples con muestras de polvos urbanos agrupadas por color fueron significativas para todos los grupos con valores de r<sup>2</sup> > 0.97 y valores de P < 0.002 (Tabla 3).

El grupo de polvos urbanos de color gris contiene las mayores concentraciones de metales pesados. Las cenizas de automotores y chimeneas de las industrias son, principalmente, de este color y por los altos



**Tabla 3.** Regresión lineal múltiple entre la susceptibilidad magnética y los metales pesados por grupos de color de los polvos urbanos

Grupos	Ecuación	r <sup>2</sup>	Valor de P
Rojos oscuros	$\chi = -13.48 - 0.08*Cr + 0.19*Ni + 0.29*Cu + 0.02*Pb + 0.09*V + 0.02*Rb$	1.00	0
Grises	$\chi = -8.35 + 0.56*Cr + 0.27*Ni + 0.39*Cu - 0.14*Zn - 0.15*Pb - 0.29*V - 0.39*Rb + 0.11*Sr + 0.59*Y$	0.97	0.002
Cafés rojizos claros	$\chi = 11.39 - 0.07*Cr - 0.31*Ni - 0.28*Cu - 0.31*Pb + 0.11*V + 0.14*Rb$	1.00	0
Grises-cafés claros	$\chi = -22.36 + 0.05*Cr - 0.81*Ni + 0.34*Cu + 1.26*Pb - 0.06*V$	1.00	0

valores de los parámetros magnéticos se deduce que la magnetita está presente en las muestras. El grupo de polvos urbanos de color rojo oscuro contienen un alto contenido de minerales magnéticos del tipo de los óxidos de hierro, como la hematina, debido a los valores bajos de los parámetros magnéticos (Bautista *et al.*, 2014).

### Conclusiones

Se comprobó que existe una correlación entre las propiedades magnéticas con los metales pesados, principalmente con los polvos rojos. Las propiedades magnéticas y los índices de color del polvo urbano para el caso de Ensenada, Baja California mostraron ser un indicador *proxy*, por ser rápidos y sencillos.

Una estrategia para la realización de diagnósticos sobre la contaminación de las ciudades por metales pesados debe considerar los siguientes puntos: a) un muestreo sistemático cubriendo un área representativa de la ciudad; b) separación de las muestras por color; c) medición de la susceptibilidad magnética másica y de la magnetización remanente isotermal de saturación; d) medición de los metales pesados en las muestras de polvo urbano; e) encontrar las relaciones matemáticas entre las propiedades magnéticas y los metales pesados; f) establecer los valores umbrales de las propiedades magnéticas que sean indicadores de contaminación por metales pesados. Adicionalmente se recomienda la separación de las partículas por tamaño para definir el contenido de metales pesados en las partículas respirables.

### Agradecimientos

Agradecemos al CONACyT por el soporte financiero del proyecto CB-2011-01-169915; a A. García, C. Figueroa y D. Maldonado por la ayuda en el trabajo de campo. José Luis Cortés agradece la beca de posgrado otorgada por el CONACYT y la otorgada por el proyecto CB-2011-01-169915. Francisco Bautista agradece a la DGAPA UNAM el apoyo económico para su estancia sabática en el CEBAS, CSIC.

### Referencias

- Aguilar, B., Bautista, F., Goguitchaichvili, A., Morton, O., 2011. Magnetic monitoring of top soils of Merida (Southern Mexico). *Stud. Geophys. Geod.*, 55, 2, 377-388.
- Aguilar, R. B., Bautista, F., Goguitchaichvili, A., Quintana, P., Carvallo, C., Battu, J., 2013. Rock-Magnetic properties of topsoils and urban dust from Morelia, México: implications for anthropogenic pollution monitoring in medium-size cities. *Geofis. Int.*, 52, 2, 121-133.
- Alloway, B. J., 2012. Heavy metals in soils. Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. 3rd. Ed. *Springer Series: Environmental Pollution*, 22. London, UK.



- Bautista, F., Cejudo-Ruiz, R., Aguilar-Reyes, B., Gogichaishvili, A., 2014. El potencial del magnetismo en la clasificación de suelos: una revisión. *Bol.Soc. Geol. Mex.*, 66, 2, 365-376.
- Beckhoff, B., Kanngießer, B., Langhoff, N., Wedell, R., Wolff, H., 2007. *Handbook of practical X-ray fluorescence analysis*. Ed. Springer, Berlin, Germany.
- Cortés, J. L., 2015. Color de polvos urbanos como indicadores de contaminación por elementos potencialmente tóxicos: El caso de Ensenada, Baja California. Tesis de maestría. Morelia, Maestría en Geociencias y Planificación del Territorio, UMSNH-Morelia Michoacán.
- Dearing, J., 1999. *Environmental Magnetic Susceptibility*, London.
- 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. *Sci. Total Environ.* 299, 1–16.
- Levin, N., Ben-Dor E., Singer, A., 2005. A digital camera as a tool to measure color indices and related properties of sandy soils in semi-arid environments. *Int. J. Rem. Sens.* 26, 24, 5475-5492.
- Lozano, R., Bernal, J. P., 2005. Characterization of a new set of eight geochemical reference materials for XRF major and trace element analysis. *Rev. Mex. de Cienc. Geol.* 22, 3, 329-344.
- Morton-Bermea, O., Rodríguez-Salazar, M. T., Hernández-Alvarez, E., García-Arreola, M. E., Lozano-Santacruz, R., 2011. Lead isotopes as tracers of anthropogenic pollution in urban topsoils of Mexico City, *Chemie der Erde-Geochemistry.* 71, 2, 189-195.
- Sabath, D. E., Osorio, L. R. 2012, Medio ambiente y riñón: nefrotoxicidad por metales pesados, *Nefrología*, 32,3, 279-286.
- Sutherland, R. A., 2000, Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii, *Environ. Geol.* 39, 611–627. doi: 10.1007/s002540050473.
- Wang, B., Xia, D., Yu, Y., Jia, J., Xu, S., 2014. Detection and differentiation of pollution in urban surface soils using magnetic properties in arid and semi-arid regions of northwestern China. *Environ. Poll.* 184, 335-346.
- World Health Organization, 2013. Review of evidence on health aspects of air pollution-REVIHAAP. First Results. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe.