



PROPIEDADES MAGNÉTICAS Y COLOR DE POLVO URBANO COMO INDICADORES PROXY DE CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

J. Cortés¹, F. Bautista¹, P. Quintana², D. Aguilar², A. Gogichaishvili³, R. Cejudo³, J. Morales³

¹ Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental UNAM, Morelia, México.

² Centro de Investigación y de Estudios Avanzados IPN, Mérida, México.

³ Instituto de Geofísica UNAM, Morelia, México.

*e-mail: fbzuniga@gmail.com

ABSTRACT

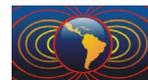
Diagnostic studies for the determination of the heavy metal content in the environment are not done periodically. Currently, many *proxy* techniques are used to infer the concentration of heavy metals such as: magnetic parameters and color index, however, these techniques must be calibrated to each study area. The main objective of this work was the use of color index and magnetic parameters to make a diagnosis of heavy metal contamination in urban dust and to determine the relationship between the color index with magnetic properties and the concentration of heavy metals. The magnetic parameters, color index (CI) and concentration of Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, V, Y and Rb were determined with fluorescence spectroscopy. The samples were collected within the urban area the city of Ensenada, Baja California. The samples were classified by IC in: dark red (GI); Gray (GII); Light red-brown (GIII) and light gray (GIV). The magnetic results were: χ_{lf} between 1.1 and 10.1 $\mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ with mean value of 4.3 $\mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$; $X_{df}\%$ <2.0, indicating a low contraction of ultra-fine superparamagnetic (SP) ferrimagnetic minerals. The multiple linear regression model (RGM) between magnetic parameters and heavy metals by IC classification yielded values of $r^2 > 0.5$. This study indicates that there is a reasonably good correlation between magnetic properties and color indices of urban dust of Ensenada, Baja California. Therefore, it is possible to use the color index as a proxy indicator.

Keywords: Analysis of variance, magnetic parameters, color indexes.

RESUMEN

Los estudios de diagnóstico para la determinación del contenido de metales pesados en el ambiente no se hacen de forma periódica. Actualmente, se emplean técnicas *proxy* para inferir la concentración de metales pesados como son: parámetros magnéticos e índice de color, sin embargo, estas técnicas deben ser calibradas a cada zona de estudio. El objetivo de este trabajo fue el uso del índice de color y parámetros magnéticos para hacer un diagnóstico de la contaminación por metales pesados en polvo urbano y determinar la relación entre el índice de color con propiedades magnéticas y la concentración de metales pesados. Se recolectaron 86 muestras de material particulado en la ciudad de Ensenada, Baja California, se determinó los parámetros magnéticos, índice de color (IC) y concentración de Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, V, Y y Rb con espectroscopia de fluorescencia de rayos X. Las muestras se clasificaron por IC en: rojo oscuro (GI); gris (GII); café rojizo claro (GIII) y gris-café claro (GIV). Los resultados magnéticos fueron: χ_{lf} entre 1.1 a 10.1 $\mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, valor promedio de 4.3 $\mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$; $\chi_{df}\%$ < 2.0, que indica una baja contracción de minerales ferrimagnéticos superparamagnéticos ultra finos (SP). El modelo de regresión lineal múltiple (RGM) entre los parámetros magnéticos y los metales pesados por clasificación de IC mostró valores significativos de $r^2 > 0.5$. Existe una correlación entre propiedades magnéticas con metales pesados y los índices de color del polvo urbano para el caso de Ensenada, Baja California, por lo tanto, es posible el uso del índice de color como un indicador *proxy*.

Palabras Clave: Análisis de varianza, parámetros magnéticos, índice de color.



1. Introducción

El uso excesivo de parque vehicular y la continúa emisión de material particulado de las fábricas ha provocado que la calidad del aire disminuya y la salud de la población este en riesgo, estas partículas pueden contener elementos tóxicos, los cuales pueden inducir a la aparición de enfermedades cardiorespiratorias y en algunos casos cáncer en los humanos (WHO, 2013; Gómez *et al.*, 2002; Sabath, Osorio, 2012). Los estudios de diagnóstico para la determinación del contenido de metales pesados en el ambiente, no se hacen de forma periódica, debido al costo, tiempo e infraestructura que implica hacer un análisis químico. Hoy en día, se han identificado técnicas *proxy* que permiten inferir la concentración de metales pesados en muestras ambientales con buena precisión, económicas y fáciles de hacer, por ejemplo: los parámetros magnéticos y el uso del color del material particulado (Bautista *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2014; Cejudo *et al.*, 2015; Cortés *et al.*, 2015). El objetivo de este trabajo fue el empleo del índice de color y parámetros magnéticos para hacer una diagnóstico de la contaminación por metales pesados en polvo urbano, con la finalidad de determinar la relación entre el índice de color, con las propiedades magnéticas y la concentración de metales pesados.

2. Metodología

Se hizo un levantamiento de 86 muestras de material particulado en la ciudad de Ensenada, Baja California empelando un muestreo sistemático. La muestra está constituida del material recolectado de una superficie de un metro cuadrado debajo de la acera con un recogedor plástico y brochas. La muestra fue colocada en una bolsa de polipropileno con cierre y georreferenciada con GPS. En el laboratorio, las muestras fueron tamizadas en malla N°10 y encapsuladas en cubos de acrílico de 8 cm³ideales para hacer mediciones magnéticas. La susceptibilidad magnética (κ) fue medida con un medidor de susceptibilidad Bartington MS2B con sensor dual a baja (0.46 khz) y a alta (4.6 kHz) frecuencia. La curva de adquisición de magnetización remanente isoterma (MRI) fue obtenida en campos magnéticos de 25 a 700 mT, el campo magnético fue aplicado con un magnetizador de pulso IM-10 de ASC Scientific (campo magnético unidireccional) y la magnetización remanente fue medida con un magnetómetro de giro JR6 AGICO; se obtuvieron curvas de susceptibilidad en función de la temperatura (curvas termomagnéticas, $\kappa(\theta)$).

Un análisis de color fue hecho con un colorímetro Konica Minolta modelo CR_{400m} y se determinó los índices de color (IC): matiz (IM), rojez (IR) y saturación (IS) de cada muestra con las siguientes ecuaciones (Levin *et al.*, 2005; Cortes *et al.*, 2015).

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

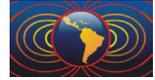
$$IR = R^2 / (B * G^3) \quad \text{Ec. 2}$$

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

Dónde: R = Red, G= Green y B = Blue.

Un análisis químico fue hecho con espectroscopia de fluorescencia de rayos X (FRX) por energía dispersa (FRX-ED) usando un espectrómetro Jordan Valley EX-6600, con un detector Si (Li) con un área activa de 20 mm² y resolución de 140 eV a 5.9 keV, operado a un máximo de 54 keV y 4800 μ A para determinar las concentraciones de Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, V, Y y Rb.

Un análisis de correlación simple entre las propiedades magnéticas con los índices de color y la concentración de metales pesados fue hecho. Los modelos de regresión lineal múltiple entre las propiedades magnéticas y concentración de metales pesados para cada clasificación por índice de color fueron hechos con el software Statgraphics plus 5.1.



3. Resultados

Las muestras del polvo urbano fueron clasificadas por color en: grupo I (GI): rojos oscuros (2.5 YR); grupo II (GII): grises (10 YR); grupo III (GIII): café rojizos claros (5 YR) y grupo IV (GIV): grises-café claros (10 YR) (Fig. 1).



Figura 1. a) Clasificación de polvos por color: GI: rojos oscuros, GII: grises, GIII: café rojizos claros y GIV: grises-café claros.

Los resultados magnéticos fueron: χ_{df} entre 1.1 a 10.1 $\mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, valor promedio de 4.3 $\mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$; $\chi_{df}\% < 2.0$, que indica una baja contracción de minerales ferrimagnéticos superparamagnéticos ultra finos(SP) (Fig. 2). Las curvas de MRI de las muestras de polvo urbano mostraron una saturación para campos magnéticos aplicados entre 200 a 300 mT (Fig.2), que indica contenido de minerales de baja coercitividad magnética, el valor de la MRI₇₀₀ presentó valores entre 7.7 a 95.0 $\text{mAm}^2 \text{kg}^{-1}$, el valor promedio fue 31.5 $\text{mAm}^2 \text{kg}^{-1}$. Las curvas de susceptibilidad magnética en función de la temperatura presentaron comportamiento

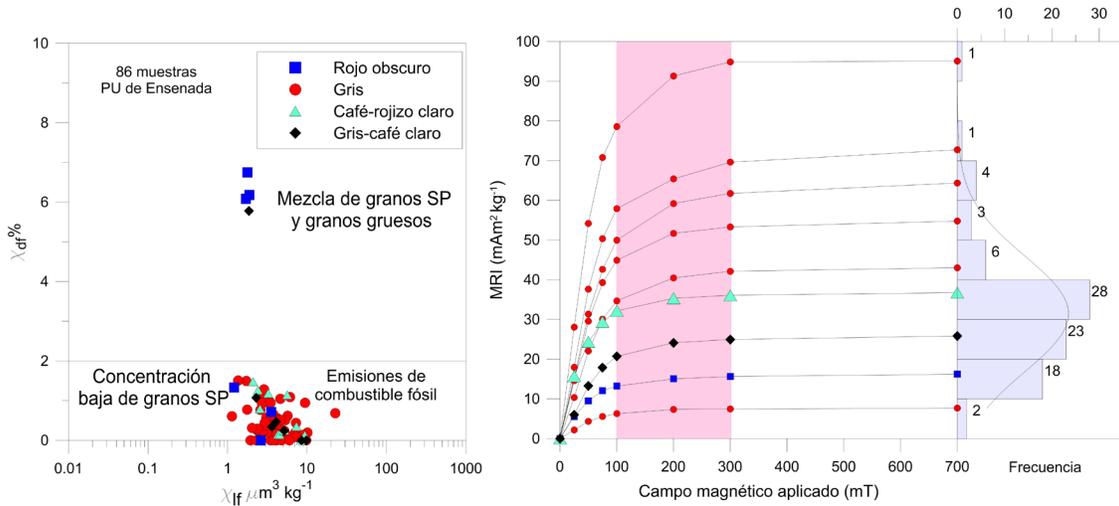


Figura 2. Gráfico de susceptibilidad magnética vs porcentaje de susceptibilidad dependiente de la frecuencia y b) curvas de magnetización remanente de polvos de Ensenada.

muy similares para todas las muestras de material particulado de Ensenada: La curva de calentamiento y enfriamiento fueron casi reversibles, no se observan fases magnéticas durante el calentamiento entre 0 a 500° C, se presentó una fase entre 570° C a 600° C, que es compatible con la temperatura de Curie de la Titanomagnetita pobre en Ti (Fig. 3).

El modelo de regresión lineal múltiple (RGM) entre las propiedades magnéticas y los metales pesados por clasificación de color registró valores significativos de r^2 entre 0.59 y 0.60; el modelo de RGM para susceptibilidad magnética (χ_{df}) presentó valores de $r^2 > 0.97$ y valores de $P < 0.002$ (Cuadro 1); el modelo de RGM para magnetización remanente isoterma de saturación (MRI₇₀₀) exhibió valores de $r^2 > 0.92$ y valores de $P < 0.01$ (Tabla I).



Tabla 1. Modelo de regresión lineal múltiple entre parámetros magnéticos y concentración de metales pesados por grupos de color

Parámetro	Grupo	Ecuación	r ²	valor P
χ_{ir}	GI	$\chi = -13.48 - 0.08*Cr + 0.19*Ni + 0.29*Cu + 0.02*Pb + 0.09*V + 0.02*Rb$	1.00	0.00
	GII	$\chi = -8.35 + 0.56*Cr + 0.27*Ni + 0.39*Cu - 0.14*Zn - 0.15*Pb - 0.29*V - 0.39*Rb + 0.11*Sr + 0.59*Y$	0.97	0.00
	GIII	$\chi = 11.39 - 0.07*Cr - 0.31*Ni - 0.28*Cu - 0.31*Pb + 0.11*V + 0.14*Rb$	1.00	0.00
	GIV	$\chi = -22.36 + 0.05*Cr - 0.81*Ni + 0.34*Cu + 1.26*Pb - 0.06*V$	1.00	0.00
MRI	GI	$MRI = -14.13 - 0.17*Cr + 0.65*Ni + 1.29*Cu - 0.08*Pb - 0.25*V + 0.27*Rb$	1.00	0.00
	GII	$MRI = -18.31 + 2.25*Cr + 1.77*Ni + 2.07*Cu - 0.78*Zn - 0.59*Pb - 1.17*V - 1.69*Rb + 0.30*Sr + 3.17*Y$	0.92	0.01
	GIII	$MRI = -12.58 - 0.03*Cr - 2.29*Ni + 5.29*Cu + 0.67*Pb - 0.36*V - 0.86*Rb$	1.00	0.00
	GIV	$MRI = -81.32 - 1.98*Cr + 2.49*Ni + 2.35*Cu + 8.29*Pb - 1.15*V$	1.00	0.00

4. Conclusión

Los polvos urbanos de la Ciudad de Ensenada tienen una concentración variable de minerales magnéticos de baja coercitividad, el principal portador magnético es la Titanomagnetita pobre en Ti. Las concentraciones más altas de minerales magnéticos de baja coercitividad se presentó en polvo urbanos con índice de color Gris y Café-rojo claro. Hay siete sitios que presentaron valores altos de magnetización remanente y que puede deberse a una alta concentración de material magnético de baja coercitividad, por lo que puede contener altas concentraciones de metales pesados, se recomienda hacer una evaluación más especializada para estos sitios y determinar el riesgo.

Existe una correlación entre las propiedades magnéticas con los metales pesados y los índices de color del polvo urbano para el caso de Ensenada, Baja California, por lo tanto, se recomienda el uso de índice de color como un indicador *proxy* para la ciudad de Ensenada.

Agradecimientos

Agradecemos al CONACyT por el soporte financiero del proyecto CB-2011-01-169915. 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.

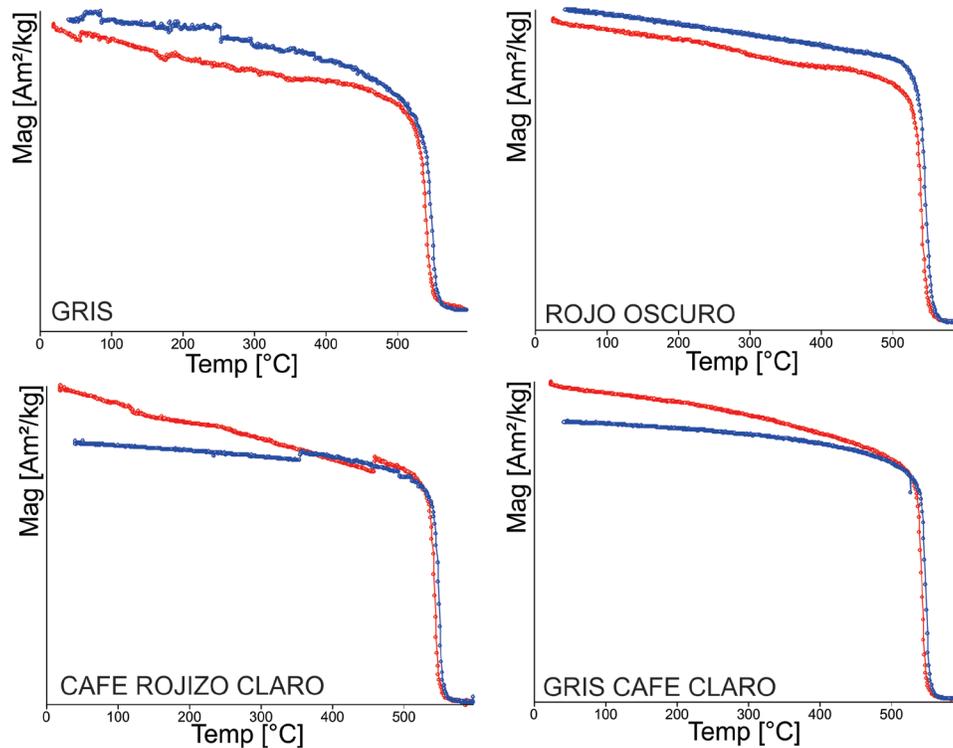
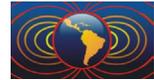


Figura 3. Curvas termomagnéticas ($\kappa(\theta)$) de polvos urbanos de Ensenada clasificadas por color.

Referencias

- 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.
- Cortés J. L., Bautista F., Quintana P., Aguilar D., Goguichaishvili, A., 2015. The color of urban dust as an indicator of contamination by potentially toxic elements: the case of Ensenada, Baja California, Mexico. *Rev. Chap. SCFA*, 21,3, 255-266.
- 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.
- 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.
- Sabath D. E., Osorio L. R., 2012. Medio ambiente y riñón: nefrotoxicidad por metales pesados, *Nefrología*, 32, 3, 279-286.
- 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.
- WHO-World Health Organization. 2013. Review of evidence on health aspects of air pollution-REVIHAAP. First Results. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe. 309 pp.