

ESTUDIO MAGNÉTICO DE MATERIAL PARTICULADO DE VIALIDADES URBANAS CON DIFERENTE TIPO DE TRANSPORTE

R. Cejudo^{1*}, A. Goguichaisvili¹, F. Bautista², M. Cervantes³, J. Morales¹, J. Cortés¹

¹ Instituto de Geofísica UNAM, Morelia, México.

² Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental UNAM, Morelia, México.

³ Escuela Nacional de Estudios Superiores Morelia UNAM, Morelia, México

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

ABSTRACT

The high concentration of cars and public transport results in a very low mobility, which increases the emission of potentially toxic elements and magnetic materials. The objective of this work was to determine whether magnetic parameters of the urban dust might be influenced with different types of transport in Mexico City. Magnetic susceptibility (κ) and the specific magnetic susceptibility (χ_{sp}) were measured for all samples; Isothermal remanent magnetization curves with increasing magnetic fields of 25 mT to 1000 mT were obtained. The results were: χ_{sp} of $5.43 \pm 1.40 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, IRM at 1000 mT of $55.32 \pm 18.44 \text{ mAm}^2 \text{kg}^{-1}$, $\chi_{\text{sp}}\%$ of $2.1 \pm 1.9\%$ and S_{-300} ratio greater than 0.7. An analysis of variance (ANOVA) was performed to identify if there is a significant difference between the magnetic parameters and a classification by type of transport. The ANOVA analysis showed that the magnetic parameters did not exhibit any significant difference with different type of transport.

Keywords: Analysis of variance, magnetic parameters, low coercivity minerals.

RESUMEN

La alta concentración de automóviles y transporte público trae como consecuencia una movilidad muy baja, lo cual incrementa la emisión de material que contiene elementos tóxicos y materiales magnéticos. El objetivo de este trabajo fue determinar las características magnéticas del material particulado y comprobar si existen cambios significativos en el material que proviene de vialidades con diferentes tipos de transporte de la Ciudad de México. Se midió la susceptibilidad magnética (κ) y se determinó la susceptibilidad magnética específica (χ_{sp}); se obtuvieron curvas de magnetización remanente con campos magnéticos crecientes de 25 mT a 1000 mT. Los resultados fueron: χ_{sp} de $5.43 \pm 1.40 \mu\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, MRI a 1000mT de $55.32 \pm 18.44 \text{ mAm}^2 \text{kg}^{-1}$, $\chi_{\text{sp}}\%$ de $2.1 \pm 1.9\%$ y cociente S_{-300} mayor a 0.7. Un análisis de varianza (ANOVA) fue hecho para identificar si existe diferencia significativa entre los parámetros magnéticos y una clasificación por tipo de transporte. El análisis ANOVA mostró que los parámetros magnéticos no presentan una diferencia significativa del material particulado de las vialidades con diferente tipo de transporte.

Palabras Clave: Análisis de varianza, parámetros magnéticos, minerales de baja coercitividad.

1. Introducción

Las grandes ciudades tienen problemas de calidad del aire debido a las emisiones vehiculares e industriales. La concentración alta de automóviles y transporte público trae como consecuencia una movilidad muy baja, lo cual incrementa la emisión de material particulado y compuestos al ambiente que reducen la calidad de aire respirable. El material particulado tiende a depositarse sobre la superficie del área urbana formando una capa de polvo; el polvo encontrado en las vialidades contiene residuos de los gases de combustión, material particulado de las piezas vehiculares, este material puede contener elementos tóxicos y materiales magnéticos (Morton *et al.*, 2009; Aguilar *et al.*, 2013, Cejudo *et al.*, 2015). En los últimos años, se ha comprobado que las mediciones magnéticas y los metales pesados tienen una relación lineal, por lo cual,



se han usado diversos parámetros magnéticos como métodos *proxy* para determinar la concentración de elementos (Cr, Cu, Cd, Ni, Pb, Zn, entre otros) en zonas urbanas (Amato *et al.*, 2009; Cejudo *et al.*, 2015; Qingsheng *et al.*, 2009).

La Ciudad de México (CDMX) es un área densamente poblada y sus vialidades continuamente se encuentran congestionadas por un parque vehicular de más de 4 millones de vehículos. En los últimos años, se han implementado una serie de medidas para mitigar la mala calidad del aire, como son: cambiar el tipo de transporte, restricción en la movilidad del transporte particular o concesionado y de carga; mejoramiento en el parque vehicular de la red de transporte público de combustión interna; modificación de las rutas del transporte eléctrico, entre otras. Sin embargo, aún no se cuenta con un indicador que permita evaluar el impacto de estas medidas en la generación de emisiones contaminantes en las principales vialidades de la ciudad, por donde circulan estos vehículos (SEMARNAT, 2013; SEDEMA, 2015; FIMEVIC, 2017). El objetivo de este trabajo fue determinar las características magnéticas del material particulado de vialidades primarias con diferentes tipos de transporte y comprobar si existen cambios significativos de los parámetros magnéticos que permita establecer el impacto de las medidas optadas para disminuir la emisión de partículas en las vialidades de la Ciudad de México.

2. Metodología

Se hizo un levantamiento de 71 muestras de material particulado en las principales vialidades de la Ciudad de México, las cuales tienen diferente tipo de transporte. La muestra fue obtenida del material recolectado de un metro cuadrado debajo de la acera con un recogedor plástico y brocha; posteriormente, el material fue colocado en una bolsa de polipropileno con cierre; todas las muestras fueron georreferenciadas. En el laboratorio, las muestras fueron tamizadas en malla N°10, el material obtenido fue encapsulado en cubos de acrílico de 8 cm³ ideales para hacer mediciones magnéticas. Se midió la susceptibilidad magnética (κ) en un equipo Bartington MS3 a baja (0.46 kHz) y alta (46 kHz) frecuencia y se determinó la susceptibilidad magnética específica ($\chi_{\text{ef}} = \kappa/\rho$, ρ es la densidad $\rho = \text{masa}/\text{volumen}$ en kg m⁻³). Las curvas de magnetización remanente fueron adquiridas a temperatura ambiente con campos magnéticos crecientes de 25 a 1000 mT; los campos magnéticos fueron aplicados con un magnetizador de pulsos IM-10 marca ASC Scientific; la magnetización remanente fue medida en un magnetómetro de giro JR6 marca AGICO.

Los datos fueron clasificados por tipo de transporte: aeropuerto, autobús (con motor convencional a gasolina), autobús bicentenario (con motor a diesel), metrobús, micro-taxi y trolebús. La estadística y el análisis de varianza fueron hechos con el software Statgraphics, con la finalidad de identificar si hay diferencia significativa entre las variables por el tipo de transporte, se usó un análisis ANOVA, donde se comparó el valor de las medias y la prueba de Kruskal-Wallis para comparar el valor de las medianas de χ_{ef} y MRI.

3. Resultados

Los resultados fueron: χ_{ef} de $5.43 \pm 1.4 \mu\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$ (Fig. 2), MRI a 1000 de $55.32 \pm 18.44 \text{ mAm}^2 \text{ kg}^{-1}$, $\chi_{\text{df}}\%$ de $2.1 \pm 1.9 \%$ y cociente S_{-300} mayor a 0.7 (Fig. 1). El valor de la mediana más alta para χ_{ef} se presentó en micro-taxi ($6.04 \mu\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$) y Metrobús ($5.33 \mu\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$) y para MRI se presentó en trolebús ($59.30 \text{ mAm}^2 \text{ kg}^{-1}$) y aeropuerto ($58.60 \text{ mAm}^2 \text{ kg}^{-1}$) (Fig. 2). Las muestras del aeropuerto presentaron valores de χ_{df} de 3.0% indicando una mezcla de una mínima cantidad de granos superparamagnéticos (tamaño de grano $< 0.003 \mu\text{m}$) y granos más gruesos ($< 0.005 \mu\text{m}$). Todas las muestras exhibieron un cociente S_{-300} con valores cercanos a 1.0 indicando una proporción mayor de minerales magnéticos de baja coercitividad (MMBC) con respecto de los minerales magnéticos de alta coercitividad (MMAC) (Fig. 1).

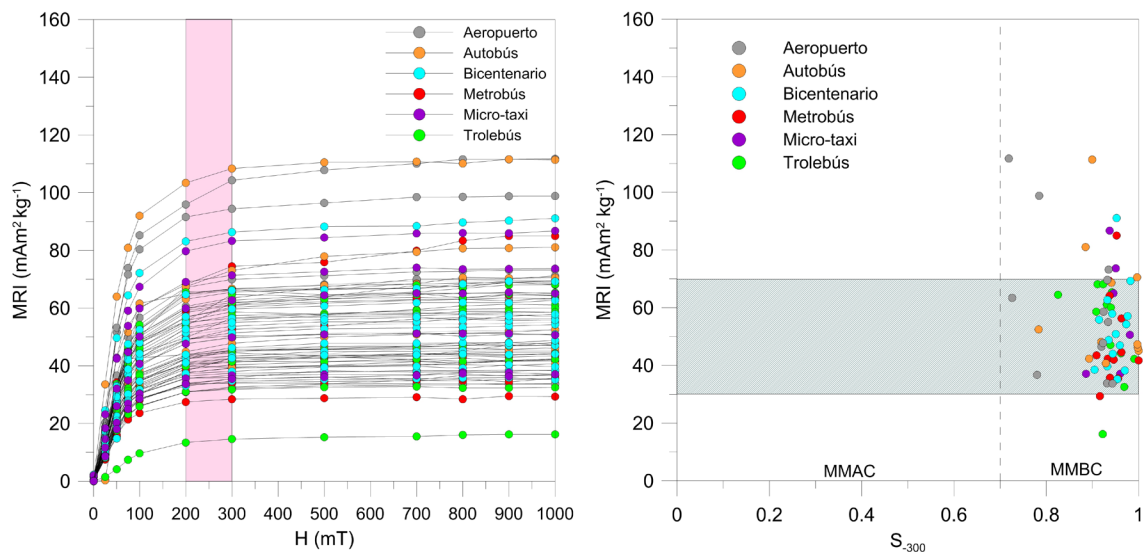
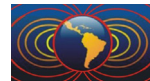


Figura 1. a) Curvas de magnetización remanente del material particulado de los diferentes tipos de vialidad de CDMX y **b)** gráfica de MRI_{1000} vs S_{-300} .

Las curvas de MRI presentaron una saturación de la magnetización entre 200 a 300 mT que se debe a la presencia de minerales ferrimagnéticos. La mayoría de las curvas presentaron un valor de MRI_{1000} entre 30 a 70 $\text{mA}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$ (Fig. 1). Hay muestras (cuatro muestras del aeropuerto y una del autobús) que presentaron una curva creciente después de 300 mT y un valor de S_{-300} cercano a 0.7, lo cual es un indicador de la presencia de minerales de alta coercitividad magnética (antiferromagnéticos) en conjunto con minerales ferrimagnéticos (Fig. 1).

El análisis de varianza para los valores de χ_{if} y MRI_{1000} para los 6 diferentes niveles de transporte (Fig. 2) mostró: una razón-F para χ_{if} de 0.94 y para MRI de 0.8; el valor de P fue mayor que 0.05 en ambos casos, lo cual indicó, que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de χ_{if} y MRI_{1000} para los niveles de transporte, con un nivel del 95.0% de confianza (Tab. 1, Fig. 2). Por otra parte, la prueba de Kruskal-Wallis que compara las medianas en lugar de las medias para evitar la influencia de valores atípicos, mostró: un valor de P de 0.30 para χ_{if} y 0.58 para MRI, en ambos casos, el valor de P es mayor a 0.05 (Tabla 2). Ambas pruebas indicaron que: no se observa una diferencia significativa entre los 6 niveles de transporte y los parámetros magnéticos con nivel de 95% de confianza.

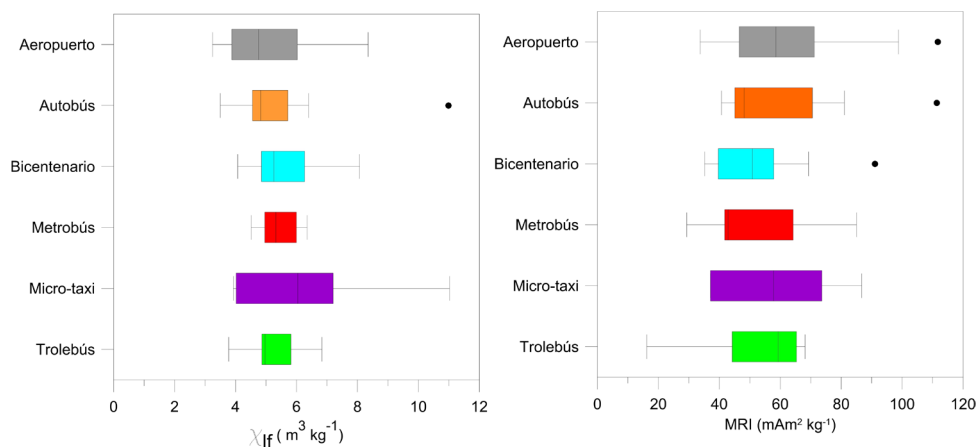


Figura 2. Gráfico de caja y bigotes de susceptibilidad magnética específica y magnetización remanente isothermal del material particulado clasificado por tipo de transporte de CDMX.

**Tabla 1.** Resultados del análisis de varianza para parámetros magnéticos clasificados por tipo de transporte.

Parámetro	Fuente	Suma de Cuadrados	Gl*	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
χ_{rf}	Entre grupos	9.491	5	1.90	0.94	0.46
	Intra grupos	130.942	65	2.01		
	Total (Corr.)	140.433	70			
MRI ₁₀₀₀	Entre grupos	1403.6	5	280.72	0.81	0.54
	Intra grupos	22405.8	65	344.71		
	Total (Corr.)	23809.4	70			

Gl* grados de libertad

Tabla 2. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para los parámetros magnéticos clasificados por tipo de transporte.

	Transporte	Tamaño Muestra	Rango Promedio	Estadístico	Valor-P
χ_{rf}	Aeropuerto	15	27.73	5.99	0.31
	Autobús	11	31.27		
	Bicentenario	15	41.47		
	Metrobús	12	41.00		
	Micro y Taxi	7	45.43		
	Trolebús	12	36.33		
IRM ₁₀₀₀	Aeropuerto	15	41.40	3.78	0.58
	Autobús	11	39.64		
	Bicentenario	15	33.33		
	Metrobús	12	27.67		
	Micro y Taxi	6	39.83		
	Trolebús	12	35.67		

4. Conclusión

Hay presencia de material magnético de baja coercitividad en la mayor parte de las vialidades con diferente tipo de transporte, estos contienen minerales ferrimagnéticos superparamagnéticos ultra finos en baja proporción mezclados ($<0.03\mu\text{m}$) con granos más gruesos ($<0.05\mu\text{m}$). Los valores de susceptibilidad magnética específica y magnetización remanente son muy similares para las seis clasificaciones que se hizo del material, el modelo estadístico confirma que los parámetros magnéticos no presentaron una diferencia significativa del material particulado de las vialidades con diferente tipo de transporte. Por lo tanto, el material particulado de las vialidades con diferente tipo de transporte no presenta características magnéticas diferentes.



Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencias, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México. Proyecto de investigación: Sistema de monitoreo de la contaminación por metales pesados en polvos urbanos de la CDMX (SECITI/051/2016).

Referencias

- Aguilar B., Bautista F., Goguitchaichvili A., Morales J., Quintana P., Carvallo 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. *Int. Geofis* 52-2, 121-133.
- Amato F, Pandolfi M, Viana M, Querol X, Alastuey A, Moreno T., 2009. Spatial and chemical patterns of PM10 in road dust deposited in urban environment. *Atmospheric Environment* 43, 1650–1659.
- 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.
- FIMEVIC-Fideicomiso para el mejoramiento de vías de comunicación del Distrito Federal, <http://www.fimevic.df.gob.mx/index.htm>, consultado 28/06/2017.
- 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.
- SEMARNAT-Secretaría del medio ambiente y recursos naturales, 2013. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. SEMARNAT Edición 2012. México, 382 pp.
- 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>
- Qingsheng L., Qingli Z., Tao Y., Ning Q., Lungsang C., 2009. Magnetic Properties of Street Dust from Chibi City, Hubei Province, China: Its Implications for Urban Environment. *Journal of Earth Science* 20, 5, 848-857.