



ESTUDIO MAGNÉTICO EN LÍQUENES DE LA CIUDAD DE MONTEVIDEO

Leda Sanchez-Bertucci¹, Elisa Darre¹, Bertha Aguilar Reyes², Avto Gogichaishvili²,
Juan Morales², Francisco Bautista³

¹Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Departamento de Geología, Laboratorio de Geofísica y Geotectónica, Iguá 4225, Malvin Norte, CP 11400, Montevideo, Uruguay. leda@fcien.edu.uy

²Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural (LIMNA), Instituto de Geofísica, UNAM - Campus Morelia, México.

³Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental (LUGA), Instituto de Geofísica-Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM – Campus Morelia.

⁴Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM – Campus Morelia.

RESUMEN

Se reportan los resultados del primer estudio magnético en líquenes de la ciudad de Montevideo, Uruguay. El interés de éste estudio radica en el papel de los biomonitores en la evaluación del nivel de contaminación atmosférica. Se empleó la metodología magnética para determinar niveles relativos de contaminación en la zona más transitada de la ciudad, con respecto a una zona de control, ubicada en las afueras de la ciudad. Se estudiaron las propiedades magnéticas de 15 muestras de líquenes de 9 especies, colectados en 13 puntos de muestreo. Se determinó la susceptibilidad magnética y se realizaron experimentos de adquisición de magnetización remanente isotérmica. A partir de ambos parámetros, se determinó una mayor concentración magnética en los sitios con mayor afectación por tráfico vehicular. Los valores más bajos corresponden a dos sitios de control ubicados fuera de la zona urbanizada. La especie de líquen no fue determinante en la evaluación del nivel relativo de contaminación.

Palabras clave: líquenes, magnetismo ambiental, contaminación.

ABSTRACT

We report the results of the first magnetic study on lichens from Montevideo, Uruguay. The interest of this study is the role of biomonitoring samples to evaluate the air pollution level. The magnetic methodology was used to determine relative levels of contamination in the traffic area of the city, with respect to a control area, located on the environs. We studied the magnetic properties of 15 samples of 9 lichen species, collected in 13 sampling points. Magnetic susceptibility was determined and we conducted acquisition experiments of remanent isothermal magnetization. From both parameters, a higher magnetic concentration was determined in sites most affected by traffic. Lower values correspond to two control sites located outside of the urbanized area. The lichen species was not decisive in assessing the relative level of contamination.

Keywords: lichens, environmental magnetism, pollution.

INTRODUCCIÓN

El problema de la contaminación atmosférica, está afectando a todas las zonas urbanizadas, no solo a las grandes ciudades.

Entre las actividades que producen gran cantidad de material particulado (PM por sus siglas en inglés) se encuentran el tránsito vehicular, la construcción y la industria; este material particulado contiene gran cantidad de partículas magnéticas (Muxworthy *et al.*, 2001). El material particulado menor a 10 micras (PM_{10}) es peligroso no sólo por la facilidad de ser inhalado por los seres humanos, sino porque generalmente aloja en su estructura metales pesados tóxicos para los seres vivos tales como Pb, Zn, Ba, Cd and Cr (Maher *et al.*, 2008). Enfermedades cardiovasculares y males respiratorios son favorecidos y agravados por la inhalación de este PM_{10} (Gómez *et al.*, 2002).



Montevideo concentra la mayor parte de la actividad industrial y comercial de Uruguay, por lo que en los últimos años se ha promovido el estudio de los efectos de estas actividades en la calidad del aire y en la población.

Es por ello que desde el año 2005 realiza el monitoreo de la calidad del aire; los resultados se reportan en términos del índice de Calidad de Aire (ICAire) que, transformando las concentraciones de los diferentes contaminantes a una escala arbitraria, permite evaluar si se encuentran sobre los niveles de referencia utilizados y, por cuánto sobrepasan dicho valor. La escala consta de 6 categorías: desde muy mala hasta muy buena. Esta red de monitoreo cuenta con 8 estaciones distribuidas en la ciudad y los resultados son reportados semanalmente.

Este tipo de monitoreo permite dar una idea general de la calidad del aire, pero no proporciona información sobre las fuentes puntuales ni de los niveles “reales” en términos de la peligrosidad, ya que las estaciones generalmente están situadas en azoteas (a alturas mayores a 4 m), por lo cual es difícil evaluar la concentración de material particulado que llega a ser respirable por los seres humanos (entre 1.5 y 2 m del suelo).

En las últimas dos décadas, se ha venido empleando la metodología magnética para estudiar materiales ambientales, y obtener la relación de concentración magnética -nivel de contaminación-. Estudios realizados en todo el mundo han mostrado la efectividad de esta metodología, (Mitchell and Maher, 2009; Petrovský and Elwood, 1999), destacando aquellos realizados en plantas (Aguilar *et al.*, 2012; Moreno *et al.*, 2003).

Además de algunas especies de plantas, los musgos y líquenes están entre los organismos más utilizados para biomonitoreo de la contaminación del aire (Darré, 2011). Y es que esto permite por un lado, medir el nivel de contaminantes, y por otro lado, los efectos sobre los seres vivos; una ventaja del empleo de biomonitores es que no implica grandes costos, por lo que se puede analizar un gran número de muestras, ampliando el alcance y la profundidad del estudio.

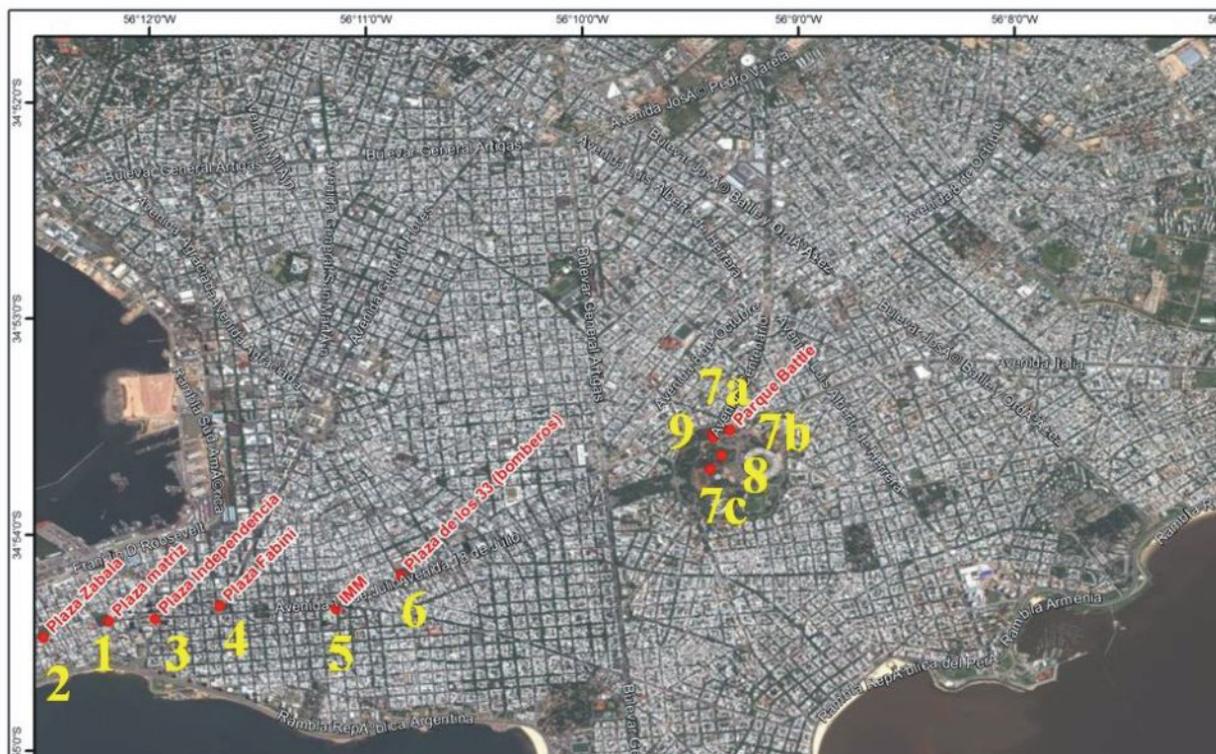
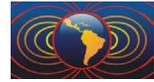


Figura 1. Mapa de la zona urbana de la ciudad de Montevideo, y la ubicación de los puntos de muestreo de líquenes.



Los estudios previos sobre los efectos de la contaminación en líquenes están basados justamente en el grado de afectación de algunos procesos fisiológicos; todo ello, antes de que los líquenes muestren daño visible. Estudios magnéticos realizados en líquenes son raros (Chaparro *et al*, 2011), pero han mostrado ser buenos indicadores de niveles de contaminación aérea, por tráfico vehicular y emisiones industriales.

Para el presente trabajo, se realizó un muestreo de diagnóstico en la ciudad de Montevideo, Uruguay, con la finalidad de estudiar la variación de algunos parámetros magnéticos específicos en las especies liquénicas presentes en el área urbanizada, además de muestras de control tomadas en un parque fuera de ésta área. El objetivo es mostrar que se pueden establecer niveles relativos de contaminación en relación al grado de exposición al tráfico en líquenes, independientemente de la especie analizada.

Muestra	S	W	Descripción del sitio	Liquen
1	34°54'24''	56°12'11.16''	Plaza matriz	X sobre <i>Syagrus romanzoffiana</i> (palmera pindó).
2	34°54'28.5''	56°12'29.34''	Plaza Zabala	<i>Dirinaria sp.</i> sobre <i>Syagrus romanzoffiana</i> y sobre otra especie X.
3	34°54'23.28''	56°11'58.32''	Plaza Independencia	<i>Dirinaria sp.</i> sobre <i>Washingtonia robusta</i>
4	34°54'19.74''	56°11'40.44''	Plaza Fabini	<i>Dirinaria sp.</i> sobre <i>Syagrus romanzoffiana</i> .
5	34°54'20.52''	56°11'8.16''	IMM	<i>Physcia sp.</i> sobre especie X.
6	34°54'11.22''	56°10'50.1''	Plaza de los 33 (bomberos)	<i>Dirinaria sp.</i> en Pino
7A	34°53'30.9''	56°9'18.78''	Parque Battle	<i>Canoparmelia texana</i> en <i>Washingtonia robusta</i> .
7B	34°53'31.62''	56°9'23.52''	Parque Battle	<i>Canoparmelia texana</i> en Araucaria.
7C	34°53'32.88''	56°9'23.4''	Parque Battle	<i>Canoparmelia texana</i> en <i>Washingtonia robusta</i> .
8	34°53'37.98''	56°9'21.24''	Parque Battle	<i>Canoparmelia texana</i> en Araucaria.
9	34°53'41.7''	56°9'24.3''	Parque Battle	<i>Canoparmelia texana</i> en <i>Washingtonia robusta</i> .
10	34°53'0.72''	56°5'33.36''	Parque Rivera	<i>Cladonia ahtii</i> <i>Stenroos</i> sobre <i>Eucalyptus robusta</i>
11	34°52'54.36''	56°4'53.28''	Portones shopping	<i>Bulbothrix viridescens</i> sobre Oreja de Negro Timbó.
12	34°48'	56°20'	Parque Lecocq	<i>Teloschistes chrysophthalmus</i> y <i>Punctelia constantimontium</i> sobre <i>Acacia caven</i>
13	34°51'	56°12'	Prado Chico	<i>Parmotrema cristiferum</i> y <i>Myelochroa lindmannii</i> sobre <i>Acacia caven</i> .

Tabla 1. Ubicación de los puntos de muestreo y descripción de la especie de liquen muestreada en cada sitio.



METODOLOGÍA

Descripción del lugar y de los sitios de muestreo.

De acuerdo al Instituto nacional de Estadística de Uruguay, Montevideo y su área metropolitana concentraba el 53 % de la población del país, con 1,742,850 habitantes para 2011. Por ello destaca como la ciudad más importante que concentra la actividad industrial y comercial del país.

El muestreo se realizó en 13 sitios con diferente grado de tráfico vehicular dentro de la zona urbanizada, destacando tres zonas principalmente: zona oeste, zona centro (parque Battle) y zona este. Se tomaron además, dos muestras de control (sitios 12 y 13 en parque Lecocq y Prado Chico, respectivamente). Se muestrearon especies diferentes de líquenes, ya que la abundancia de las mismas es muy variable según las condiciones del entorno. Las especies muestreadas se especifican en la Tabla 1.

Especies colectadas.

La *Canoparmelia texana* es un líquen abundante en entornos abiertos. Se encuentra principalmente en corteza de árboles. La especie *Physcia sp.*, se ha determinado que corresponde a un taxon toxitolerante (Lijteroff *et al.*, 2009).

Los líquenes se tomaron cuidadosamente del árbol y fueron guardados en bolsas de papel. Posteriormente fueron molidos y con la muestra se llenaron cubos de plástico de 11 cm³ apropiados para realizar mediciones magnéticas.

Mediciones magnéticas.

Fueron realizadas en el Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural (LIMNA) y el Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental (LUGA), de la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia. Las mediciones de susceptibilidad a baja frecuencia (K_{LF}) se realizaron en un equipo AGICO Multi-Function Kappabridge MFK1-B. A partir de estos valores, se calculó la susceptibilidad específica (χ_{LF}).

Las muestras fueron sometidas a magnetización inducida a temperatura ambiente (IRM por sus siglas en inglés) en un magnetizador de impulsos ASC IM-10, a campos crecientes en el rango 25 – 700 mT. La MRI a 700 mT es considerada como la magnetización de saturación (SIRM por sus siglas en inglés). Posteriormente a la saturación magnética, las muestras se sometieron a magnetizaciones inducidas inversas, aplicando campos opuestos a 300 mT. La IRM a un campo opuesto de 300 mT es utilizada para calcular el parámetro S_{-300} , mediante la fórmula $S_{-300} = IRM_{-300}/SIRM$. La magnetización remanente en cada etapa de magnetización, fue medida usando un magnetómetro de giro AGICO JR6.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2a se observa la tendencia de los valores para las muestras de polvo urbano colectadas en algunos de los puntos donde se muestreó líquen. Los valores más bajos, para las muestras 10 y 12. El punto 12 corresponde a la zona de control, el parque Lecocq, que se encuentra fuera de la zona urbanizada. Los puntos 7a y 7b corresponden a la zona centro, mientras que los puntos 3, 4 y 11 corresponden a sitios con alta influencia de emisiones de automóviles, ya que se encuentran en avenidas importantes y cruceros de las mismas. Se ha mostrado en diversos estudios que los valores de las propiedades magnéticas en muestras de polvo atmosférico, en particular de la SIRM, tienen una correlación directa con niveles de ciertos metales pesados, como Cu, Ni, Pb y Ni (Maher *et al.*, 2008). De acuerdo a los valores de la SIRM y de la susceptibilidad obtenidos para los polvos urbanos, el nivel relativo de contaminación es hasta 6 veces mayor en la zona urbanizada con alta densidad de tráfico, con respecto a la muestra tomada en la zona no urbanizada.

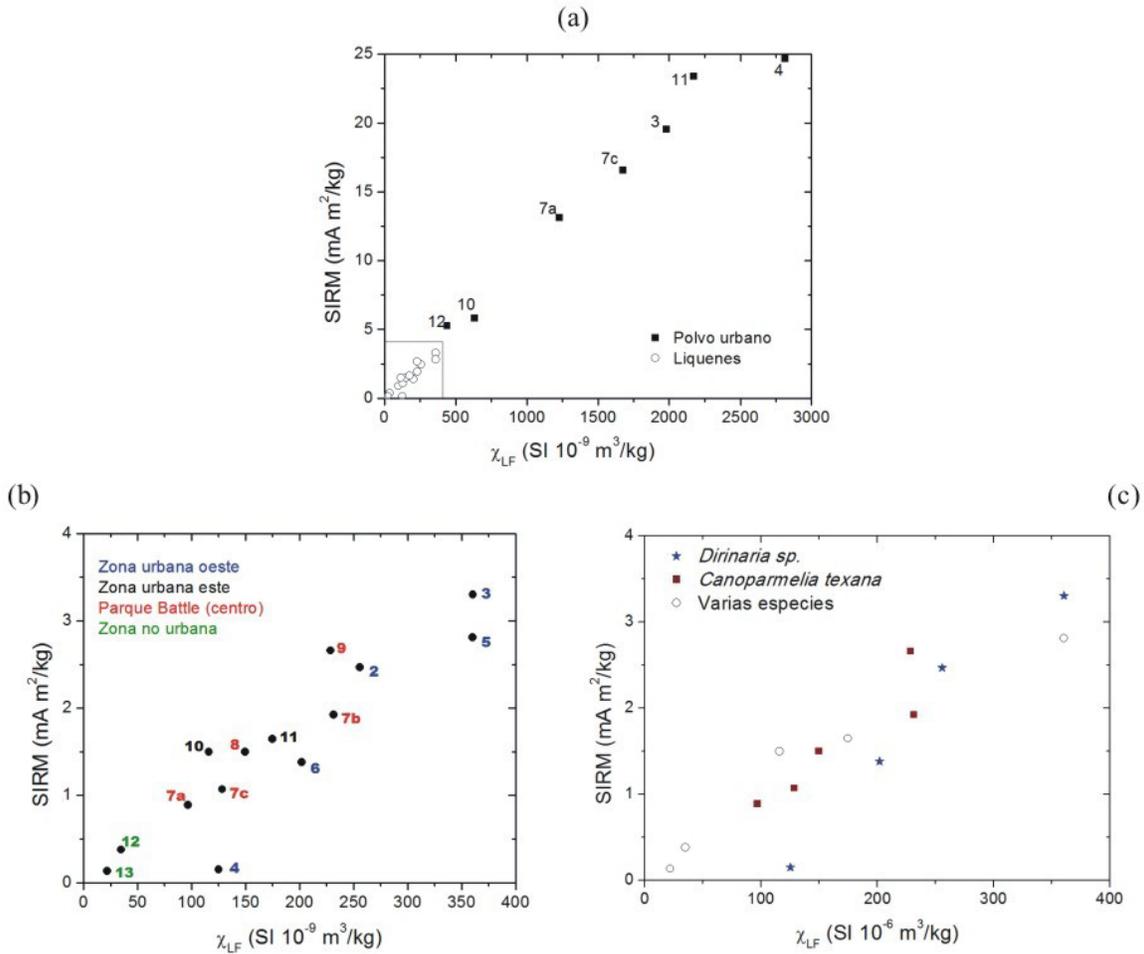


Figura 2. (a) Valores de la χ_{LF} y SIRM para las diferentes muestras de líquenes y polvo urbano tomado en algunos puntos de muestreo. En la gráfica (b) se observan los valores de ambos parámetros para los líquenes, diferenciando por zona de muestreo. (c) Los mismos resultados para los líquenes, resaltando dos de las especies que se muestrearon en más de un sitio.

En la Figura 2b se observa que hay una relación casi lineal entre la χ_{LF} y la SIRM, lo cual nos indica dominios magnéticos similares en las muestras (salvo una) de líquenes. Los valores más bajos se obtuvieron para las dos muestras tomadas en la zona poco urbanizada (muestras 12 y 13). La especie *Canoparmelia texana*, recolectada en la zona centro (parque Battle), fue la única especie encontrada en el sitio. Darré (2011) reportó que ésta especie en este sitio resultó con contenidos importantes de Pb y Zn, mientras que los líquenes de la zona de control no mostraron niveles importantes de ningún metal pesado. En lo que respecta a la especie *Dirinaria sp.*, colectada en los sitios 2, 3, 4 y 6, todos correspondientes a la parte oeste de la zona urbana, se observan valores altos para ambos parámetros en la muestra del sitio 3 y un poco menores para el sitio 2, indicando probablemente mayor densidad de tráfico en las cercanías. Para esta zona no se ha reportado el nivel de metales pesados en especies líquénicas. Las muestras de los sitios 10 y 11 (zona este) presentan valores intermedios; ambos sitios están muy cerca de la Av. Italia, la cual es muy transitada. En la figura 3 se graficaron los valores del parámetro S_{-300} . Estos oscilan entre 0.8 y 0.97 para la mayor parte de las muestras indicando la predominancia de portadores magnéticos blandos, con diferencias más marcables en su coercitividad, pero con tendencia a ser titanomagnetitas.

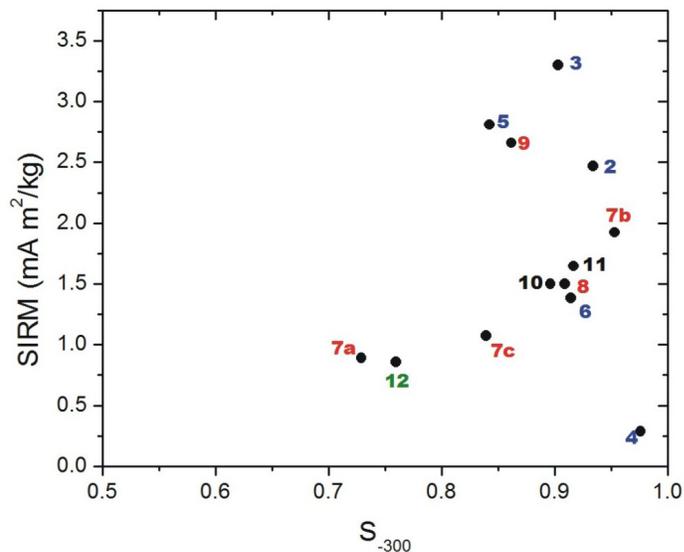


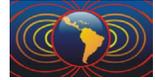
Figura 3. Los valores del factor S-300 abarcan desde 0.72 a 0.97, indicando la predominancia de portador magnético blando (ferrimagnético) en todas las muestras de líquen.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que, independientemente de la especie de líquen, aquellos expuestos a las emisiones vehiculares principalmente, muestran los valores más elevados de los dos parámetros magnéticos evaluados. Lo anterior es remarcable, sobre todo en la zona oeste y centro. Por otro lado, para las muestras de control se obtuvieron valores muy bajos de ambos parámetros y con relación a éstos líquenes, la zona urbanizada es hasta 10-15 veces más contaminada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Reyes B., Cejudo Ruiz R., Martínez-Cruz J., Bautista F., Goguitchaichvili A., Carvalho C. and Morales J., 2012. Ficus benjamina leaves as indicator of atmospheric pollution: a reconnaissance study. *Stud. Geophys. Geod.*, 56, 879–887, DOI: 10.1007/s11200-011-0265-1.
- Chaparro M. A. E., Lavornia J. M., Sinito A. M., 2011. magnetic studies of lichens on tree bark as air pollution Biomonitors, *Latinmag Letters*, V 1, Special Issue D18, 1-7. Proceedings Tandil, Argentina
- Darré, E., 2011. Líquenes como Bioindicadores de contaminación atmosférica en Montevideo, Uruguay, *Tesis de Maestría*, Universidad de la República, Uruguay, 101pp.
- 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.
- Intendencia Municipal de Montevideo, Laboratorio de Calidad Ambiental en el Departamento de Desarrollo Ambiental: <http://www.montevideo.gub.uy/ciudadania/desarrollo-ambiental/aire/icaire>
- Lijteroff R., Lima L., Prieri B., 2009. Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina, *Rev. Int. Cont. Amb.*, 25, 2, 111-120.
- Maher B. A., Moore C. and Matzka J., 2008. Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves. *Atmos. Environ.*, 42, 364-373.
- Mitchell, R., Maher, B. A., 2009, Evaluation and application of biomagnetic monitoring of traffic-derived particulate pollution. *Atmos. Environ.* 43, 2095–2103.
- Moreno, E., Sagnotti, L., Dinares-Turrell, J., Winkler, A., Cascella, A., 2003. Biomonitoring of traffic air pollution in Rome using magnetic properties of tree leaves. *Atmos. Environ.*, 37, 2967–2977.



- Muxworthy, A. R., Matzka, J., Petersen, N., 2001. Comparison of magnetic parameters of urban atmospheric particulate matter with pollution and meteorological data. *Atmos. Environ.*, 35, 4379–4386.
- Petrovský E. and B. Elwood, 1999. Magnetic monitoring of air, land and water pollution, In Quaternary Climates, *Environment and Magnetism*, edited by B. A. Maher and R. Thompson, Cambridge University Press, 279–322.