



EL USO DE CORTEZAS DE LA ESPECIE *BURCERA FAGAROIDES* PARA BIOMONITOREO MAGNÉTICO

Marcos A.E. Chaparro^{1*}, A.G. Castañeda-Miranda¹, L. Mejía-Guevara²,
Mauro A.E. Chaparro³, H.N. Böhnel²

¹ Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires (CIFICEN, CONICET-UNCPBA), Pinto 399, 7000 Tandil, Argentina.

² Centro de Geociencias, UNAM, Blvd. Juriquilla 3001, 76230 Juriquilla, Querétaro, México

³ Centro Marplatense de Investigaciones Matemáticas (CEMIM-UNMDP), Mar del Plata, Argentina.

*email: chapator@exa.unicen.edu.ar

ABSTRACT

Some tree barks accumulate airborne particles and are suitable biological monitors for assessing urban and industrial pollution. The peeling bark of the specie *Burcera fagaroides* was studied as a biomonitor of air pollution in an urban area from Santiago de Querétaro in Mexico. Individuals were collected in dry and rainy season during 2011 and 2012, in 28 sites that are exposed to different pollution degree and sources. The magnetic properties were determined for all samples from environmental magnetism methods. The highest values of magnetic concentration dependent parameters were observed in industrial and vehicular traffic sites. For example, the mean values of remanent magnetization SIRM for dry seasons ($SIRM = 0.8-1.2 \times 10^{-3} Am^2 kg^{-1}$) twofold/threefold the mean values for rainy season ($SIRM = 0.4 \times 10^{-3} Am^2 kg^{-1}$). The integrated magnetic analysis indicates the presence of ferrimagnetic minerals, mostly magnetite-like (remanent coercivity $H_{cr} = 31.6-38.7$ mT) with fine grain sizes ($< 1-0.1 \mu m$). Selected samples were observed by SEM-EDS analysis, revealing the presence of Fe-rich particles hosting in the specie's lenticels. These results show the usefulness of the *Burcera fagaroides* bark as a pollution biomonitor, with an affordable and immediate application.

Keywords: Biomonitor, atmospheric dust, magnetic properties, pollution, tree bark.

RESUMEN

Algunas cortezas de árboles acumulan partículas atmosféricas y son indicadores biológicos adecuados para monitorear la contaminación del aire, urbana e industrial. En esta contribución estudiamos la corteza exfoliante de la especie *Burcera fagaroides* como biomonitor de la contaminación atmosférica en el área urbana de Santiago de Querétaro en México. Los individuos fueron recolectados en temporadas secas y de lluvias durante un año, en 28 sitios expuestos a diferentes grados de contaminación. Las propiedades de las partículas magnéticas acumuladas se determinaron para todas las muestras a partir de estudios de magnetismo ambiental. Los valores más altos de los parámetros dependientes de la concentración magnética se observaron en sitios industriales y de intenso tráfico vehicular; por ejemplo, los valores medios de la magnetización de remanencia SIRM para épocas de secas ($SIRM = 0.8-1.2 \times 10^{-3} Am^2 kg^{-1}$) duplican/triplican los valores para la época de lluvias ($SIRM = 0.4 \times 10^{-3} Am^2 kg^{-1}$). El análisis magnético integrado revela la presencia de minerales ferrimagnéticos, principalmente magnetita (coercitividad de remanencia $H_{cr} = 31.6-38.7$ mT) con tamaños de grano fino ($< 1-0.1 \mu m$). El análisis SEM-EDS revela la presencia de partículas ricas en Fe alojadas en las lenticelas. Estos resultados demuestran la utilidad de la corteza de *Burcera fagaroides* como biomonitor de la contaminación atmosférica, con una aplicación asequible e inmediata.

Palabras clave: Biomonitor, polvos atmosféricos, propiedades magnéticas, contaminación, corteza de árbol.



1. Introducción

El monitoreo magnético es una técnica apropiada para evaluar, como primera aproximación, la influencia de la contaminación antropogénica en amplias zonas y sitios de interés específicas. En general, los polvos atmosféricos en zonas urbanas / industriales se colectan utilizando filtros. Esta técnica requiere una distribución estratégica de varios dispositivos en el área, que se les debe dar mantenimiento, resultando en un alto costo y tiempo. Existen estudios de magnetismo ambiental de polvos atmosféricos colectados con filtros en ciudades en Europa, Asia y América (por ej.: Castañeda-Miranda *et al.*, 2014). Los monitores biológicos (biomonitores) son una alternativa ventajosa para controlar la calidad del aire en zonas urbanas. En particular, no necesitan ningún cuidado especial y la colecta puede variar según la información que se quiera recabar, semanal, mensual, anual, etc. Entre los estudios recientes, Castañeda-Miranda *et al.* (2016) y Marié *et al.* (2016) han demostrado la utilidad de los biomonitores *Tillandsia recurvata* y *Parmotrema pilosum* como colectores de polvo pasivos utilizados para evaluaciones magnéticas de la contaminación en México y Argentina. Castañeda-Miranda *et al.* (2016) concluyen que el principal aporte de partículas contaminantes proviene de las fuentes móviles (tráfico vehicular).

Entre las especies de vegetación, el arbusto/árbol *Bursera fagaroides* (también conocida como Cuajote amarillo) se distribuye ampliamente en todo el estado de Querétaro. La especie *B. fagaroides* se encuentra en altitudes desde 300 a 2300 metros sobre el nivel del mar, es un árbol fanerófito, resinoso y caducifolio con una corteza exfoliante en láminas delgadas (Fig. 1). Sus hojas son imparipinnadas, es decir de hojas compuestas y pinnadas con un raquis que termina en un foliolo. Estas características y la distribución de la especie permiten estudiar la capacidad de su corteza como colectora de distintos contaminantes, tales como elementos potencialmente tóxicos y material particulado que incluyen óxidos de hierro.

Actualmente no se ha reportado ningún estudio de monitoreo de contaminantes utilizando esta especie. En este estudio, cortezas exfoliantes de especímenes de *Bursera fagaroides* fueron investigadas en tres estaciones del año (junio de 2011, octubre de 2011 y marzo de 2012) en una zona urbana de Querétaro (México) a partir de mediciones detalladas de sus propiedades magnéticas y estudios complementarios de microscopía SEM-EDS. El trabajo se centra principalmente en la búsqueda y utilidad de un nuevo biomonitor alternativo en ciudades, y la determinación de parámetros magnéticos relevantes para la evaluación ambiental. Debe destacarse que el biomonitoreo magnético es un método rápido y de bajo costo aplicable que permite la identificación de sitios y áreas críticas de contaminación.

2. Materiales y métodos

La ciudad de Santiago de Querétaro, es la capital del Estado de Querétaro de Arteaga. Se encuentra ubicado las tierras altas centrales volcánicas de México (20° 36 'N, 100 ° 24' W), aproximadamente a 1,820 msnm. El área metropolitana ocupa unos 741 km² y la ciudad es sede de aproximadamente un millón de habitantes.

Para la toma y preparación de muestras se realizó un muestreo de la corteza exfoliante de árboles de *Bursera fagaroides* en 28 sitios del área urbana de la ciudad. Se realizaron recolecciones de muestras durante la temporada de lluvias en junio de 2011 (n= 23) y temporada de secas en octubre de 2011 (n= 28) y en marzo de 2012 (n= 24).

Cada las muestras fue triturada usando un mortero de cuarzo, se pesó (0.5-2.5 g) y se envasó en recipientes de plástico (8 cm³) para mediciones magnéticas. Las mediciones magnéticas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Paleomagnetismo y Magnetismo de Rocas en el Centro de Geociencias (UNAM). Las mediciones de susceptibilidad magnética específica (χ) se llevaron a cabo mediante el equipo KLY-3 Kappabridge (AGICO). La magnetización remanente anhistérica (ARM) se impartió mediante un dispositivo conectado a un desmagnetizador blindado por campo magnético alterno (AF). La ARM fue impartida en superposición

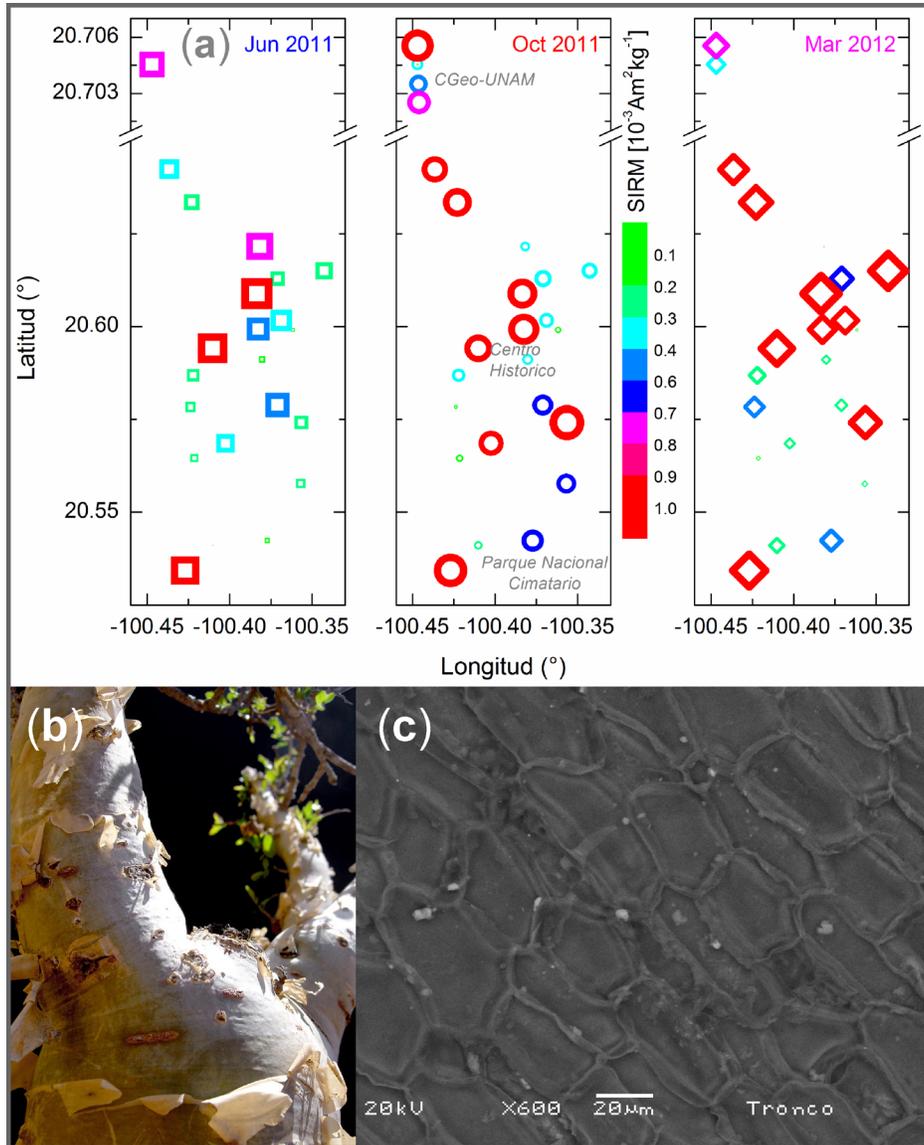


Figura 1. (a) Distribución espacial para tres ventanas de temporales (junio 2011, octubre 2011 y marzo 2012), de partículas ferrimagnéticas a partir de la magnetización remanente isotérmica de saturación (SIRM, de siglas en inglés). Eje horizontal y vertical corresponden con longitud y latitud respectivamente; se señala la posición de las ciudades de Querétaro y México. Le leyenda de colores muestra la intensidad del valor SIRM representado en los cuadros, círculos y rombos. (b) Ejemplar de *Bursera fagoroides* donde puede apreciarse su corteza exfoliable en láminas delgadas. (c) Observaciones SEM de partículas ricas en Fe (partículas brillantes) acumuladas en las lenticelas de la corteza exfoliante.

con un campo DC de $90 \mu\text{T}$ y un AF de 100 mT , y medida con un magnetómetro Spinner (JR-5, AGICO). A partir de estas mediciones se obtuvo la susceptibilidad anhysterica (χ_{ARM}) y el cociente χ_{ARM}/χ . La adquisición de la magnetización isotérmica remanente (IRM) se realizó con un magnetizador de pulsos, se obtuvieron curvas de adquisición de IRM, la IRM de saturación ($\text{SIRM} = \text{IRM}_{2T}$). Una pequeña cantidad de corteza ($<50 \text{ mg}$) se utilizó para mediciones de ciclos de histéresis magnéticos y mediciones remanentes en campos entre -2 y 2 T a temperatura ambiente usando un sistema de medición de Princeton Corporación Micromag 2900 AGM equipado con un imán 2.2 T . A partir de los parámetros de histéresis y de remanencia se obtuvo la magnetización de saturación (M_s), magnetización remanente (M_r), fuerza coercitiva (H_c), coercitividad remanente (H_{cr}), H_{cr}/H_c y M_r/M_s .



Adicionalmente, se seleccionaron pequeñas muestras para la realización de observaciones por microscopía de barrido electrónico (SEM) y su análisis composicional por espectroscopía de rayos X por dispersión de energía (EDS). Se utilizó un microscopio Phillips XL30, acoplado a un espectrómetro de rayos X EDAX modelo DX4, con un haz de análisis de alrededor de 20 micras y un límite de detección de 0.5 %.

3. Resultados y discusión

Los resultados de los parámetros dependientes de concentración magnética mostraron amplias variaciones entre sitios y durante los tres periodos de estudio, los valores de χ varían mayormente entre -2.1 y $5.4 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, ARM entre 12.6 y $52.4 \times 10^{-6} \text{Am}^2 \text{kg}^{-1}$, y SIRM entre 0.3 y $1.1 \times 10^{-3} \text{Am}^2 \text{kg}^{-1}$, los cuales están relacionados principalmente a la influencia de contaminantes. El análisis univariado de estos datos muestra diferencias importantes entre los valores medios de estos parámetros de concentración entre la época de lluvias en junio ($\chi = -2.1 \pm 4.8 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, ARM = $20.3 \pm 16.4 \times 10^{-6} \text{Am}^2 \text{kg}^{-1}$, y SIRM = $0.4 \pm 0.3 \times 10^{-3} \text{Am}^2 \text{kg}^{-1}$) respecto a las épocas de secas en octubre ($\chi = 4.4 \pm 10.1 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, ARM = $43.9 \pm 33.1 \times 10^{-6} \text{Am}^2 \text{kg}^{-1}$, y SIRM = $0.8 \pm 0.8 \times 10^{-3} \text{Am}^2 \text{kg}^{-1}$) y en marzo ($\chi = 5.3 \pm 18.3 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, ARM = $56.7 \pm 117.8 \times 10^{-6} \text{Am}^2 \text{kg}^{-1}$, y SIRM = $1.2 \pm 2.5 \times 10^{-3} \text{Am}^2 \text{kg}^{-1}$). En la Fig. 1a se puede apreciar la variación espacial del parámetro SIRM así como las variaciones entre las tres estaciones.

Si bien se observa una contribución diamagnética importante de la corteza (materia orgánica) en el parámetro χ , la presencia de minerales ferrimagnéticos es evidente a partir de las mediciones de remanencia, por ej.: ARM e IRM. La presencia de óxidos de Fe en dicha matriz diamagnética puede apreciarse a partir del estudio adicional de SEM-EDS (Fig. 1c).

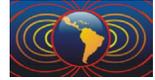
Los portadores ferrimagnéticos corresponden a minerales del tipo magnetita de acuerdo a los valores de H_{cr} y H_c que varían mayormente entre 31.6 - 38.7 mT y entre 9.9 - 12.6 mT, respectivamente. A diferencia de los parámetros dependientes de la concentración magnética, los valores medios de estos parámetros no varían apreciablemente entre la época de lluvias en junio ($H_{cr} = 37.1 \pm 8.5$ mT) respecto a las épocas de secas en octubre ($H_{cr} = 34.6 \pm 5.4$ mT) y en marzo ($H_{cr} = 35.0 \pm 4.3$ mT), lo cual indica un origen común de las partículas acumuladas.

Los tamaños de granos magnéticos a partir de la gráfica de King (χ_{ARM} versus χ) indica tamaños menores a 1 - 0.1 μm . Además, a partir del grafico de Day (H_{cr}/H_c versus M_r/M_s) se observa la presencia de granos pseudo-dominio simple (PSD) para la mayoría de las muestras, y es evidente que muestran diferente concentración (15-35%) de granos de dominio simple (SD). Se observa que esta corteza colecta en distintas épocas del año y en su mayoría solo partículas muy finas o la fracción respirable más dañina, que puede conducir a consecuencias adversas para la salud humana.

4. Conclusiones

El análisis de diferentes parámetros magnéticos en distintas temporadas revela el predominio de magnetita PSD o una mezcla correspondiente de partículas SD y MD. Las estimaciones del tamaño de granos magnéticos muestran la presencia de partículas finas y ultrafinas (<1 μm) que son respirables y perjudiciales para la salud.

Las áreas con mayor densidad de población y tráfico vehicular presentan los valores más altos de parámetros de concentración magnética, los cuales duplican y triplican sus valores para las épocas de secas en octubre y marzo. A partir de los parámetros SIRM, ARM y χ , es posible detectar áreas críticas afectadas por la contaminación y su variación en la calidad del aire entre épocas de lluvias y secas.



Los estudios magnéticos muestran que la especie *Bursera fagaroides* es capaz de interceptar y recoger polvos atmosféricos en su matriz diamagnética en cualquier época del año. Este hecho permite su utilización rápida y económica para biomonitoreos espaciales y temporales no sólo en ciudad de Querétaro, sino en ciudades donde la especie *B. fagaroides* se encuentre disponible.

Reconocimientos

Parte de este trabajo de investigación fue financiado por el Posgrado de Ciencias de la tierra (UNAM, Ciencias de la Tierra, Juriquilla). Los autores agradecen a la UNAM, UNCPBA, CONICET y CONACYT (Proyecto Bilateral No. 207149 y Res. 1001/14-5131/15), ANPCYT (Proyecto PICT-2013-1274) por el apoyo financiero. También agradecen a la Dra. Marina Vega González por los estudios SEM-EDS y al Ing. Jorge Escalante por su ayuda con los equipos.

Referencias

- Castañeda-Miranda, A.G., Böhnelt, H., Molina-Garza, R., Chaparro, M.A.E., 2014. Magnetic evaluation of TSP-filters for air quality monitoring. *Atmos. Environ.* 96,163-174.
- Castañeda-Miranda, A.G., Chaparro, M.A.E, Chaparro, M.A.E, Böhnelt, H.N., 2016. Magnetic properties of *Tillandsia recurvata* L. and its use for biomonitoring a Mexican urban area. *Ecological Indicators* 60, 125-136.
- Marié, D.C., Chaparro, M.A.E., Irurzun, M.A., Lavernia, J.M., Marinelli, C., Cepeda, R., Böhnelt, H.N., Castañeda Miranda, A.G., Sinito, A.M., 2016. Magnetic mapping of air pollution in Tandil city (Argentina) using the lichen *Parmotrema pilosum* as biomonitor. *Atmos. Pollut. Res.* 7, 513-520. doi:10.1016/j.apr.2015.12.005