



BIOMONITOREO MAGNETICO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFERICA USANDO HOJAS DE FICUS BENJAMINA EN QUERÉTARO (MÉXICO)

Castañeda-Miranda A.G.^{1*}, Böhnel H.N.², Chaparro Marcos A.E.¹, Pacheco-Castro A.²,
Chaparro Mauro A.E.³

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 CEMIMUNMDP, Mar del Plata, Argentina.

*email: agmiranda2017@gmail.com

ABSTRACT

The velocity and temporal variability of the deposition of magnetic particles on tree leaves are subject to the climate, local atmospheric conditions and the abundance of tree species, a magnetic biomonitoring method is presented in the city of Querétaro. In the metropolitan area of the city, the most frequent and abundant tree species for biomonitoring is *Ficus Benjamina*. For leaves of such specie, the number of days needed for collection (NNDC) was investigated taking into account the meteorological conditions and when they reached the saturation of airborne particles (pollutants). By means of sequential sampling we identified that the minimum NNDC required after rainfall greater than 3 mm is 15 days. This behavior can be observed from measurements of specific magnetic susceptibility χ in *Ficus benjamina* samples and their comparison with TSP deposition collected with traditional Hi-Vol monitoring systems. After the NNDC calculation, a magnetic monitoring was performed with the biomonitor *Ficus benjamina* to evaluate the air quality at different sites in the metropolitan area and monthly for 5 months. Values of χ ranged from 0.45 to 18.52 $\times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$. The specie *Ficus benjamina* can be used as a biomonitor in the city of Querétaro only in seasons (winter-spring) with null or low rainfall. It specie has the advantage of providing current PM information about a specific period of time, not exceeding a couple of weeks.

Keywords: Air pollution, *Ficus benjamina*, magnetic susceptibility, rate leaf deposition, TSP.

RESUMEN

La velocidad y la variabilidad temporal de la deposición de partículas magnéticas en las hojas de los árboles están sujetas al clima, las condiciones atmosféricas locales y la abundancia de especies arbóreas. En esta contribución, se presenta un método de biomonitorio magnético en la ciudad de Querétaro. En el área metropolitana de la ciudad, las especies arbóreas más frecuentes y abundantes para el biomonitorio son *Ficus benjamina*. Para las hojas de esta especie, se investigó el número de días necesarios para la recolección (NNDC) teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas y cuando alcanzaron la saturación de partículas en suspensión (contaminantes). Mediante el muestreo secuencial se identificó que el NNDC mínimo requerido después de una precipitación superior a 3 mm es de 15 días. Este comportamiento se puede observar a partir de medidas de susceptibilidad magnética específica χ en muestras de *Ficus benjamina* y su comparación con la deposición de PST recogida con sistemas tradicionales de monitoreo Hi-Vol. Después del cálculo del NNDC, se realizó un monitoreo magnético con el biomonitor *Ficus benjamina*. para evaluar la calidad del aire en diferentes sitios del área metropolitana y mensualmente durante 5 meses. Los valores de χ oscilaron entre 0.45 y 18.52 $\times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$. La especie puede usarse como biomonitor en la ciudad de Querétaro sólo en temporadas (invierno-primavera) con precipitaciones nulas o bajas. Esta especie tiene la ventaja de proporcionar información actual de PM sobre un período de tiempo específico, que no exceda de un par de semanas.



Palabras clave: Contaminación del aire, *Ficus benjamina*, susceptibilidad magnética, tasa de deposición en hojas, PST.

1. Introducción

Los métodos de magnetismo ambiental se han aplicado anteriormente para monitorear la contaminación del aire por partículas respirables (PM10 y PM2.5) y partículas suspendidas totales (PST). Se ha demostrado una correlación significativa entre los valores de susceptibilidad magnética con las concentraciones de PST (Castañeda *et al.*, 2014) y de partículas contaminantes (*e.g.*: Marie *et al.*, 2016; Castañeda *et al.*, 2016). Con base en datos limitados, la principal causa de la contaminación del aire en la ciudad de Querétaro (México) se ha atribuido a los automóviles y camiones de tráfico local, así como el tránsito de vehículos en carreteras, se estima que alrededor del 75% de la contaminación proviene de fuentes móviles. Aquí, se reporta un estudio de biomonitorio magnético, en el cual los principales objetivos son: a) determinar la disponibilidad (frecuencia y abundancia) de especies de vegetación adecuada para coleccionar partículas en Querétaro; b) Estimar el periodo de tiempo requerido para la deposición de la partícula hasta alcanzar el equilibrio, identificando el número de días necesario para coleccionar hojas de árbol (NNDC) por medio de muestreo secuencial; c) realizar un monitoreo magnético mensual de la calidad del aire en la zona metropolitana, durante 5 meses utilizando hojas de *Ficus* como biomonitor. Los resultados obtenidos se representaran en mapas de predicción.

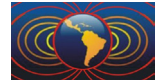
2. Materiales y Metodos

La ciudad de Santiago de Querétaro (México) está a 1,820 msnm. El área metropolitana ocupa 741 km², la ciudad tiene aproximadamente 800 mil habitantes. En Querétaro los vehículos registrados en 2010 alcanzaron 195,000 creciendo a una tasa anual de alrededor del 8%. La ciudad tiene cinco parques industriales En orden de volumen de producción de las industrias más importantes son autopartes, metalmecánica, alimentos y bebidas, construcción y aeroespacial.

En marzo del 2012 se realizó un censo de las plantas y arbusto más comunes en la zona metropolitana de Querétaro para identificar las especies con su nombre común y científico, así como la frecuencia y abundancia relativa de cada especie, y su clasificación en especies nativas o introducidas. Se colocaron 3 árboles de *Ficus* de invernadero en 2 tipos de zona: tráfico vehicular lento (< 40 km/h) y rápido (> 60 km/h), cerca del equipo de monitoreo tradicional Hi-Vol monitoring systems (high volume active air samplers). Las dos zonas de estudio corresponden a: 1) CEACA (Centro de Estudios de Contaminación del Aire) Universidad Autónoma de Querétaro, se ubica en la zona centro de la ciudad, el equipo se encuentra en el techo del CEACA a una altura de 2.2 m y; 2) Colegio Washington (C.W.) que se ubica en las orillas de la ciudad de Querétaro, el equipo con el cual se obtuvieron las muestras se encuentra en el techo de los salones de clase de una escuela a una altura de 2.5 m.

El experimento se llevó a cabo al finalizar un evento de lluvia mayor a 3 mm para asegurar que se limpiaran las hojas. Se coleccionaron de cada árbol 10 hojas a una altura de 0.3 a 1 m para los árboles ya existentes en la zona y para los arboles de invernadero se coleccionaron 10 hojas diarias a 2.5 m ubicados en techos de escuelas. Después de cada colecta las muestras, fueron colocadas por 24 horas en un horno a 40° C, para ser molidas posteriormente en un mortero de ágata. El polvo se colocó en bolsas de plástico, que fueron etiquetadas y pesadas para posteriormente trasladarse al laboratorio donde se les midió susceptibilidad magnética. La colecta diaria de hojas se realizó hasta que la medición de susceptibilidad no variara, cuidando que no hubiera precipitación durante el lapso de muestreo.

Por otro lado, el biomonitorio en la ciudad se llevó a cabo de forma paralela a mediciones de colector activo. A partir de los resultados del NNDC sobre las hojas de *Ficus*, se realizó un diseño de muestreo en la ciudad



(malla 5 x 5 km) para la elección de las zonas de estudio (un total de 25 zonas). En cada zona se seleccionaron 10 árboles, de los cuales se tomó 20 hojas por árbol (1 muestra) del lado expuesto a la fuente y se midió la altura de la cual fueron tomadas. La altura promedio es de 1.5 m. Para cada muestra se utilizó un par de guantes limpios, se depositaron en bolsas de papel estraza y cada una se metió en una bolsa hermética de plástico. Después de cada colecta las muestras fueron puestas en un horno a 40° C durante 24 hs. Posteriormente se molieron en un mortero de ágata, y el polvo se colocó en bolsas de plástico que fueron etiquetadas y pesadas para posteriormente trasladarse al laboratorio. En el laboratorio se les midió susceptibilidad magnética. Esta colecta se realizó una vez al mes, en el período de Febrero a Junio del 2012.

En el laboratorio de Paleomagnetismo y Magnetismo de Rocas del Centro de Geociencias (UNAM, Juriquilla) se midió susceptibilidad magnética específica con un Kappabridge KLY-3 (AGICO Ltd.). Las mediciones individuales se repitieron 3 veces tomando como resultado la media aritmética, normalizada por la masa de la muestra. Con el fin de garantizar que estos valores son fiables, se tuvo especial cuidado para asegurar que el porta-muestras de acrílico utilizado en las mediciones estuviera limpio y su contribución diamagnética fue compensada. La reproducibilidad de los resultados se comprobó mediante la repetición de cada medición tres veces y promediar los resultados.

3. Resultados y Discusiones

Se contabilizaron 2640 árboles, las especies más abundantes son *Ficus benjamina* (ficus), *Shinus molle* (pirul), *Eucalyptus camaldulensis* (eucalipto) y *Acacia farnesiana* (huizache). Se decidió utilizar la especie *Ficus Benjamina* como colector pasivo. Se calculó el NNDC en 2 tipos de zona; tráfico vehicular lento (<40 km/h) y rápido (>60 km/h). Se presentan los resultados de las mediciones de susceptibilidad magnética de las colectas diarias de filtros y hojas de *Ficus benjamina* para el cálculo de NNDC (Figs. 1a y 1b). Después de calcular el NNDC para las dos zonas con distintas condiciones en la zona metropolitana de Querétaro se determina que el NNDC que para el monitoreo magnético en toda la ciudad es de 15 días.

Los valores encontrados son relativamente bajos en un rango amplio que va de 0.19 a 5.81 x 10⁻⁸m³kg⁻¹. El valor obtenido de las 10 muestras de cada sitio fue promediado para tener un valor de concentración final

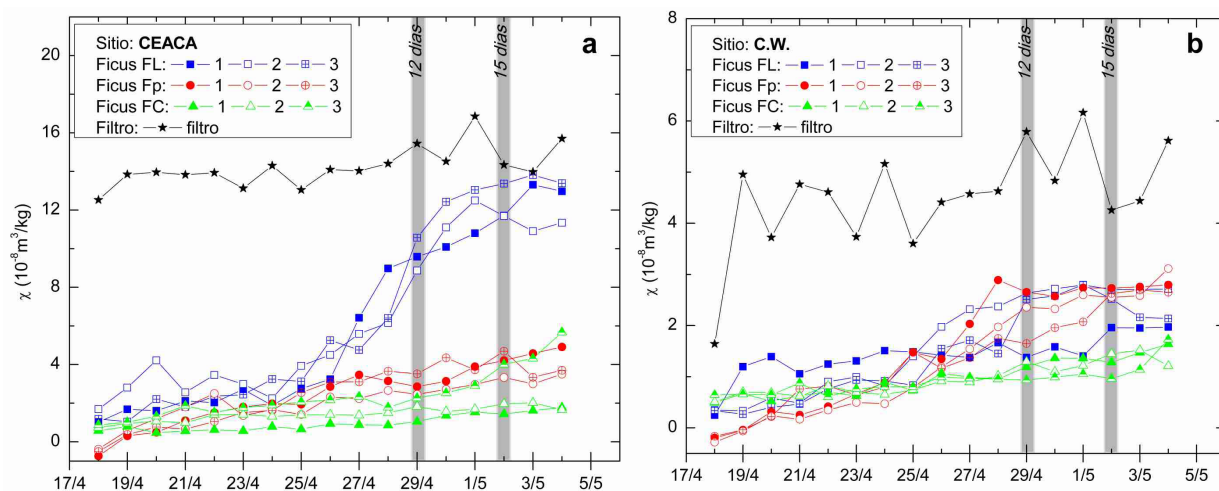


Figura 1. Mediciones de susceptibilidad de las colectas diarias de filtros y hojas de *Ficus benjamina* para el cálculo de NNDC. (a) Resultados para el sitio CEACA y (b) para el sitio C.W de los árboles provenientes de invernadero (Fp: 1, 2 y 3), *Ficus* cercanos al equipo tradicional ya existentes en el sitio (FC: 1, 2 y 3), árboles ya existentes en el sitio cercanos a los vehículos y filtros (FL: 1, 2 y 3).



representativo del lugar donde se obtuvo una variabilidad máxima entre las muestras de cada sitio de $\pm 0.2 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, mediante el uso de geoestadística se realizaron mapas de predicción espacial de χ (Fig. 2), donde se puede observar que para el mes de febrero en ninguno de los sitios se tienen concentraciones altas representadas por los tonos rojos, siendo la mayoría de los sitios con concentraciones bajas. Durante el mes de enero y febrero un total de 18 mm de precipitación en el mes de enero y 60 mm en febrero. Por esta razón el aire está más limpio en este mes. Las lluvias son insuficientes para lavar las hojas de Ficus, pero suficiente para reducir las partículas suspendidas totales. Los datos obtenidos para el mes de marzo, muestran un incremento en la contaminación. En este mes el total de precipitación fue de solamente 3 mm. Se aprecia en la distribución espacial de las mediciones de χ , que los valores encontrados son más elevados en la región noroeste. Para el mes de marzo los valores varían en un rango amplio que va de 0.44 a $17.31 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$. Se puede observar que para el mes de marzo la parte Suroeste y noroeste son las que presentan mayores valores. En abril, se registran temperaturas medias oscilan entre $29^\circ\text{--}33^\circ \text{C}$ y 2 mm de precipitación. En este mes la presencia de brisa es muy débil, con velocidades de viento bajas que van de 4 a 10 km/h. se muestra un incremento en los valores de χ . La mayoría de los sitios presentan altas concentraciones de partículas contaminantes, se observa un rango de valores que van de 0.68 a $24.73 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$.

El mes de mayo es cálido, puede alcanzar temperaturas con máximas que oscilan entre 26° y 37°C durante el día. El cielo está a menudo nublado. Pero también hay jornadas con cielo despejado o parcialmente despejado y rara vez se encuentran días con neblina. La precipitación total fue de 18 mm, la presencia de

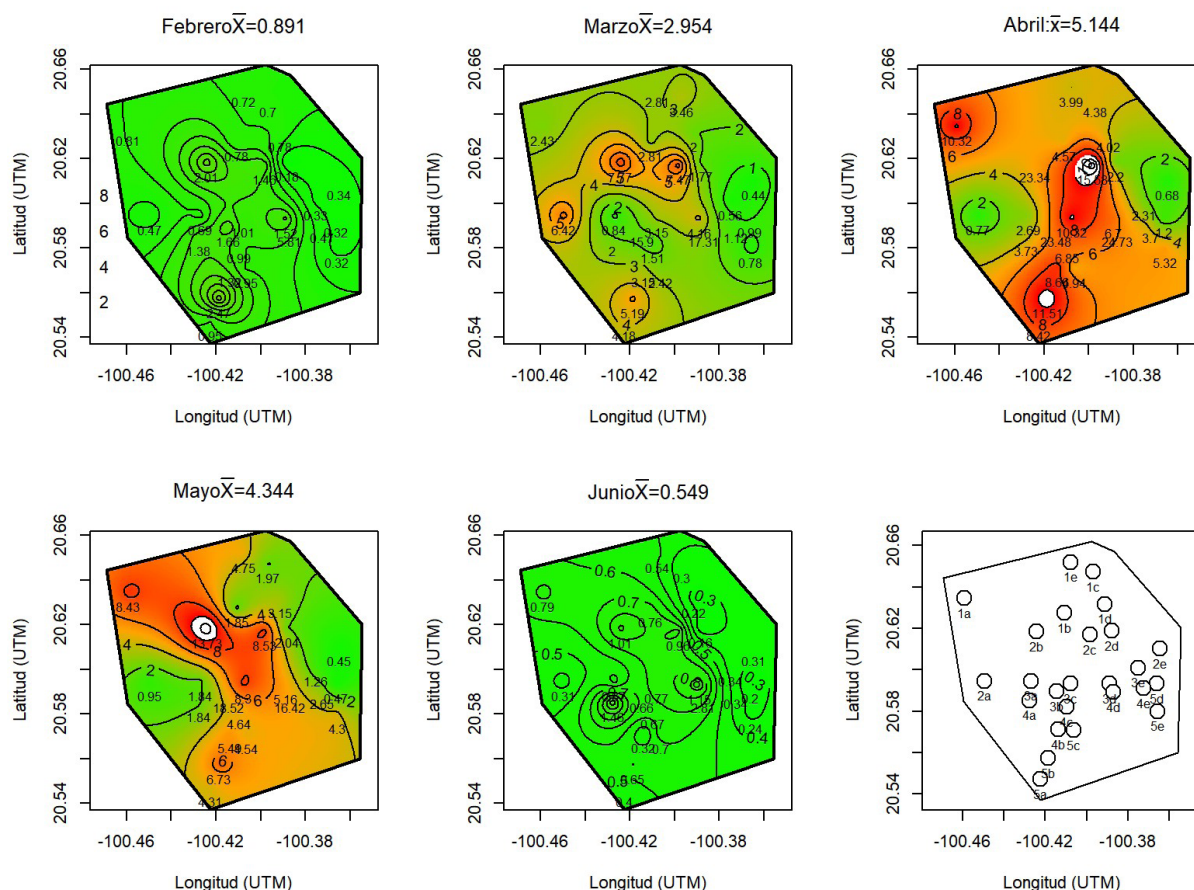
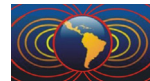


Figura 2. Mapas de predicción espacial y valor de media kriging para los meses; a) Febrero, b) Marzo, c) Abril, d) Mayo y e) Junio. f) Ubicación de las zonas de muestreo.



brisa muy débil en el 30% de los casos no hay viento. En esta zona la mayor parte del tiempo el tránsito es denso y los vehículos transitan lentamente. Los valores de χ siguen siendo altos como se puede observar en la distribución espacial de las mediciones. Para el mes de mayo valores de χ varían desde 0.45 hasta $18.52 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$.

El mes de junio las temperaturas diurnas varían entre 27 a 32° C, y el cielo está a menudo nublado o mayormente nublado. Los datos obtenidos para este mes fueron cercanos a $1.0 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ con una variación de $0.5 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ entre ellos, a excepción de dos puntos que dieron cercanos a $2.0 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$. Las lluvias en los meses de julio, agosto y septiembre fueron frecuentes y mayores a 3 mm, por lo que fue imposible el monitoreo magnético usando *Ficus benjamina* en temporada de lluvias.

4. Conclusiones

La especie *Ficus benjamina* es un buen acumulador temporal (pero no bioacumulador) de partículas, ya que solo puede alcanzar su saturación de PM en periodos cortos pero en época de secas y bajas velocidades de viento. El número necesario de días sugeridos para coleccionar muestras de *Ficus benjamina* para biomonitoreos atmosférico en Querétaro es de 15 días. La mineralogía magnética del PM corresponde principalmente a minerales del tipo magnetita que provienen de las emisiones vehiculares e industriales. De este modo, y considerando las características de acumulación del biomonitor, los valores del parámetro χ muestran la concentración de tales contaminantes magnéticos, los cuales varían en un rango amplio y creciente, desde el mes de febrero ($0.19\text{-}5.81 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$) hasta junio (0.45 a $18.52 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$). El monitoreo magnético de la calidad del aire en la ciudad de Querétaro utilizando *Ficus Benjamina* como biomonitor, es posible solo durante estaciones con bajas precipitaciones, o época de secas, y tiene la ventaja de brindar información actual de la contaminación de PM en un periodo de tiempo acotado, que no supera un par de semanas.

Agradecimientos

Esta investigación fue en parte financiada por el Posgrado en Ciencias de la Tierra (UNAM, Centro de Geociencias, Juriquilla). Os autores agradecemos a el proyecto bilateral UNAM, UNCPBA, CONICET/CONACYT (No. 207149 H. Böhnelt and Res. 1001/14-5131/15 M. Chaparro) y proyecto ANPCYT (PICT-2013-1274, Beca Superior) por el financiamiento. Agradecemos también a la Dra. Marina González por su ayuda con los estudios de SEM y al Ing. Jorge Escalante por su apoyo 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., Lavornia, 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