

# *Pinus halepensis* Mill. COMO INDICADOR DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN UNA ZONA INDUSTRIAL URBANA

## *Pinus halepensis* Mill. AS ENVIRONMENTAL POLLUTION INDICATOR IN AN URBAN INDUSTRIAL ZONE

Fernando Rafael Astorga Bustillos<sup>1</sup>, Manuel Sosa Cerecedo<sup>2</sup>, Eduardo Florencio Herrera Peraza<sup>3</sup>,  
Myriam Verónica Moreno López<sup>3</sup>, Melitón Tena Vega<sup>4</sup> y Alfredo Campos Trujillo<sup>3</sup>

### RESUMEN

Uno de los principales contaminantes atmosféricos son las partículas suspendidas totales (PST). Su monitoreo puede realizarse mediante aparatos o seres vivos, entre los primeros están los equipos de alto volumen (HV), que son excelentes pero muy caros; por lo que es más barato usar follaje para la estimación de las concentraciones de PST. El objetivo de esta investigación fue estudiar la relación entre las PST y el material particulado retenido (MPR) en hojas de pino Alepo (*Pinus halepensis*) y determinar la posible utilización de la especie como biomonitor pasivo de la calidad del aire. El estudio se realizó en una zona industrial (Nombre de Dios) de Chihuahua, México, en el periodo noviembre de 2007 a mayo de 2008. Se determinaron concentraciones de PST de acuerdo al método EPA 10-2.1 con muestreos de 24 horas, cada 6 días. Para el MPR en el follaje de los pinos se hizo una recolecta mensual de las hojas. Los resultados mostraron una alta correlación (0.901) entre la concentración de PST y MPR. El modelo de regresión tuvo una  $R^2 = 0.812$ , por lo que se considera al MPR como un predictor aceptable de las PST. La utilización de hojas de *Pinus halepensis* como biomonitor pasivo de PST es una alternativa viable en comparación al muestreo activo con HV, especialmente en estudios de mediano y largo plazo. Esta metodología es práctica y puede aplicarse en pequeñas poblaciones y sitios remotos, donde no exista suministro de energía eléctrica.

**Palabras clave:** Biomonitorio, indicador ambiental, material particulado retenido, muestreo de alto volumen, partículas suspendidas totales, *Pinus halepensis* Mill.

### ABSTRACT

Particulate matter (TSP) is one of the main pollutants in the air; its monitoring can be carried out by using mechanical equipment or living organisms (biomonitoring). The monitoring of TSP with high volume samplers (HV) is very precise but very expensive. A more economic alternative is the use of foliage as a biomonitor in the estimation of TSP concentrations. The objective of this research was to study the relationship between TSP concentrations and the particulate material retained (PMR) in Aleppo pine needles, with the aim of using this pine species as a passive biomonitor for air quality. The study was conducted on an industrial zone (Nombre de Dios) in Chihuahua, Mexico, from November 2007 till May 2008. TSP concentrations were determined according to EPA method 10-2.1. The monitoring was carried out for 24-hr in 6 days cycles. The PMR was determined by sampling and washing pine's needles once per month. The results showed a strong correlation (0.901) between the concentration of TSP and PMR. The regression model gave an  $R^2$  of 0.812, so we can ascertain that PMR can be considered as an acceptable predictor for measuring TSP. In conclusion the use of Aleppo pine leaves as a passive biomonitor of TSP is a viable alternative compared to active sampling using HV equipment, especially in medium and long term studies monitoring air quality. This methodology is practical and can be applied in small towns and remote sites without electricity supply.

**Key words:** Biomonitoring, environmental indicator, particulate matter retained, high volume sampling, total suspended particles, *Pinus halepensis* Mill.

Fecha de recepción: 8 de marzo de 2010.

Fecha de aceptación: 10 de octubre de 2011.

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua.

<sup>2</sup>Departamento de Energías Renovables y Protección del Medio Ambiente, Centro de Investigación de Materiales Avanzados S.C. Correo-e: alfredo.campos@cimav.edu.mx

<sup>3</sup>Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua.

<sup>4</sup> Campo Experimental Madera. CIR-NOC, INIFAP.

## INTRODUCCIÓN

En la tropósfera los contaminantes más importantes del aire son las partículas suspendidas, los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono, el dióxido de azufre, los hidrocarburos y el ozono. Estos afectan el proceso de fotosíntesis de la vegetación, causan decrecimiento en las cosechas, y dañan los materiales de las fachadas de edificios y los plásticos, lo que da como resultado grandes pérdidas económicas cada año (Vollenweider y Günthardt-Goerg, 2005). Así mismo, el sistema respiratorio se ha relacionado con los efectos adversos de la contaminación atmosférica (Pope III y Dockery, 2006). El término "partículas" engloba tanto las que están en suspensión, como las sedimentables (diámetro > 20  $\mu\text{m}$ ) que se caracterizan por tener un corto tiempo de residencia (algunas horas).

El monitoreo de la calidad del aire se realiza con aparatos o con seres vivos. Cuando se emplean plantas o animales se denomina biomonitorio (Berrow, 1984). Hacerlo en áreas urbanas y rurales es un problema debido al alto costo de operación. Si se realiza con equipos de alto volumen (HV) es excelente, pero muy caro, a diferencia del uso de follaje que resulta más barato (Lehndorff y Schwark, 2008). Al respecto, existen diversos trabajos de investigación con diferentes tipos de plantas (Aboal *et al.*, 2001; Gombert *et al.*, 2006; Tretiach *et al.*, 2007; Alcalá *et al.*, 2008), y se ha determinado que las hojas de pino son el material más utilizado, junto con los musgos, para este propósito (Piccardo *et al.*, 2005).

La vegetación arbórea, además de embellecer los escenarios ciudadanos, mejora la calidad del aire significativamente, ya que remueve las partículas suspendidas en el ambiente, lo cual es un servicio ecológico importante. La capacidad de retención de contaminantes en sus copas es posible usarla como un indicador de calidad ambiental. A pesar de que las acículas de pino son útiles para tal fin, la interpretación cuantitativa de los datos es complicada por la falta de estudios comparativos (Hellström *et al.*, 2004). Pocos autores hacen estudios simultáneos con monitores pasivos y activos, por ejemplo con equipo de HV (Klánová *et al.*, 2009; Martínez-Carrillo *et al.*, 2010).

Una ventaja de las coníferas sobre las especies de hoja ancha es que acumulan contaminantes atmosféricos por varios años (Di Guardo *et al.*, 2003). Si se consideran como limitante los periodos de monitoreo, el empleo de *Pinus halepensis* Mill. ofrece una alternativa al esquema convencional, por la amplia distribución geográfica del taxón, el bajo costo del método y su alta resolución espacial (Lehndorff y Schwark, 2004). También puede aplicarse en zonas rurales o minero-industriales, donde no existen estaciones permanentes de monitoreo y se desconocen los niveles de concentración y de contaminación por partículas y polvo sedimentable.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la relación entre las concentraciones de partículas suspendidas totales (PST) en

## INTRODUCTION

In the troposphere, the most important air pollutants are the suspended particles, nitrogen oxides, carbon monoxide, sulfur dioxide, hydrocarbons and ozone. They affect photosynthesis, they cause crop decrease and damage the materials of building façades and plastics, which results in great economic losses every year (Vollenweider and Günthardt-Goerg, 2005). Also, the respirator system has been related to the negative effects of atmospheric pollution (Pope III and Dockery, 2006). The term "particles" engulfs the suspended as well as the sedimentary (diameter > 20  $\mu\text{m}$ ), which have a short residence time (hours).

Air quality monitoring is made with devices or with living organisms. When plants or animals are used, it is called biomonitoring (Berrow, 1984). It is rather problematic to do it in urban or rural areas due to its high operation costs. It is excellent if done with high volume equipment (HV), but it is very expensive, while with foliage it is rather cheap (Lehndorff and Schwark, 2008). In this regard there are several research studies with different types of plants (Aboal *et al.*, 2001; Gombert *et al.*, 2006; Tretiach *et al.*, 2007; Alcalá *et al.*, 2008) and it has been determined that pine needles are the most used material along with musk for this purpose (Piccardo *et al.*, 2005).

Tree vegetation, in addition to making city scenery more beautiful, improves air significantly, since it removes the suspended particles of the environment, which is an important ecological service. The ability to retain pollutants in their crowns may be used as an indicator of air quality. In spite of the fact that pine needles are useful for that aim, the quantitative interpretation of data is complicated as there are not enough comparative studies (Hellström *et al.*, 2004). A few authors make simultaneous studies with active and passive monitors, for example, with HV equipments (Klánová *et al.*, 2009; Martínez-Carrillo *et al.*, 2010).

An advantage of conifers upon broad-leaf species is that they accumulate atmospheric pollutants for several years (Di Guardo *et al.*, 2003). If monitoring periods are considered a limiting condition, *Pinus halepensis* Mill. offers an option to conventional schemes due to its great geographic distribution, the low cost of the method and its great spatial resolution (Lehndorff and Schwark, 2004). It can be used as well in rural or industrial-mine areas, where there are non-permanent monitor stations and where the concentration levels, particle pollution and sedimentary dust are unknown.

The aim of the present paper is to show the results of the study about the relation between the concentrations of total suspended particles (TSP) in the atmosphere and the particulate material retained (PMR) by *Pinus halepensis* needles in order to use it as a passive monitor of air quality, in regard to suspended particles in urban zones.

la atmósfera y el material particulado retenido (MPR) en hojas de *Pinus halepensis*; para la posible utilización de la especie como biomonitor pasivo de la calidad del aire, con respecto a las partículas suspendidas en áreas urbanas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La investigación se realizó en la ciudad de Chihuahua, ubicada en el norte de México (28° 40' 21.49" N, 106° 04' 51.64" O) a 1,418 msnm. Cuenta con una población de 819, 543 habitantes (INEGI, 2010). Presenta una temperatura media anual de 18.2 °C, precipitación media anual de 409 mm y humedad relativa del 49%.

## MATERIALS AND METHODS

### Study area

This research study was carried out in Chihuahua city, which is located at the North of Mexico (28° 40' 21.49" N, 106° 04' 51.64" W) at 1,418 masl. It holds a population of 819, 543 people (INEGI, 2010). Average annual temperature is 18.2 °C, annual average precipitation, 409 mm and relative humidity, 49%.

Sampling was made in Nombre de Dios (Figure 1) industrial zone. The local main activities are: cement and aluminum production, fabrication of rhines and of maize flower; industrial bread-mills, asphaltic concrete production, hydraulic concrete pre-mixtures and rocky deposit exploitation. There exist, too, intensive transit roads of heavy and light vehicles.



Fuente: Google Earth, 2011.  
Source: Google Earth, 2011.

Figura 1. Ubicación del sitio de muestreo dentro del área de estudio.  
Figure 1. Location of the sampling site in the study area.

El muestreo se realizó en la zona industrial Nombre de Dios (Figura 1). Las principales actividades del lugar son: la fabricación de cemento, de rines de aluminio, elaboración de harina de maíz, panificaciones industriales, producción de concreto asfáltico, premezclados de concreto hidráulico y la explotación de bancos de material pétreo. Así mismo, existen vialidades con intenso tránsito de vehículos pesados y ligeros.

### Monitoreo pasivo

Para el monitoreo pasivo de MPR se seleccionaron tres individuos de *Pinus halepensis*, en cada uno se recolectaron aproximadamente 70 g de hojas por mes, de noviembre de 2007 a mayo de 2008, a una altura de 2 m y alrededor del árbol. Las muestras se colocaron, transportaron y almacenaron en bolsas de papel, para su posterior análisis en laboratorio en donde se lavaron con agua destilada para remover las partículas atrapadas sobre la superficie de las acículas, y se determinaron los sólidos suspendidos totales de acuerdo al método estándar 2540 (APHA, 1995). Esta variable se determinó con una balanza Sartorius, modelo BP211D con precisión de 0.01 mg. El peso seco se obtuvo a partir de las hojas, las cuales fueron secadas en una estufa Felisa, modelo FE-241 a una temperatura de 60 °C por 48 horas, a continuación se colocaron en un desecador, hasta alcanzar un peso constante. La concentración de MPR se calculó dividiendo el peso de los sólidos totales entre el peso del follaje seco (g kg<sup>-1</sup>).

### Monitoreo activo

La determinación de PST se realizó mediante un muestreador HV marca Graseby Andersen, con un flujo de operación de 1.1 a 1.7 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. La calibración del equipo se hizo en campo con un calibrador de platos de orificios marca Andersen y un manómetro digital Druck DPI705. Como medio de captura se utilizaron filtros de fibra de vidrio de 20.32 x 27.94 cm marca Whatman G653. Estos se pusieron en un desecador por 24 h y después se mantuvieron en una cámara de acondicionado (de construcción propia), en un periodo igual a una humedad relativa de 45 ± 5% y una temperatura de 24 ± 2 °C. Su peso se registró con una micro balanza Sartorius BP211D con sensibilidad de 0.01 mg. La determinación gravimétrica de las concentraciones de partículas suspendidas en el aire se efectuó con el método EPA IO-2.1 (EPA, 1999). Los muestreos se realizaron por 24 h y cada 6 días se repitió el proceso, de noviembre de 2007 a mayo de 2008.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron 19 muestras de hojas y 35 de filtros. El análisis estadístico se hizo mediante la regresión y correlación de los promedios mensuales de las concentraciones de PST (Cuadro 1). Los estadísticos descriptivos de las concentraciones en ambos muestreos se presentan en el Cuadro 2.

### Passive monitoring

Three *Pinus halepensis* individuals were selected for MPE monitoring; from each one of them about 70 g of leaves per month were collected, from November 2007 to May 2008, at 2 m high and around the tree. Samples were placed, transported and stored into paper bags, for their later lab analysis, where they were washed with distilled water to remove particles trapped over the surface of the needles, and total suspended solids were determined according to the 2540 standard method (APHA, 1995) with a BP211D 0.01 mg precision Sartorius balance. Dry weight was obtained from the leaves, which were dehydrated in a FE-241 Felisa at 60 °C for 48 h; afterwards, they were placed into a dryer until they reached a constant weight. PMR concentration was calculated by dividing the total solids weight into the dry foliage weight (g kg<sup>-1</sup>).

### Active monitoring

TSP determination was carried out through a Graseby Andersen HV sampler of 1.1 a 1.7 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> operation flux. The equipment calibration was made in the field with an Adersen caliper dish with holes and a digital manometer. G653 Whatman glass- fiber filters of 20.32 x 27.94 cm were used as collection means. They were placed into a dryer for 24 h and were later kept in a conditioning chamber (self-manufactured) in a period equal to a 45 ± 5% relative humidity at 24±2°C. Weight was registered with a 0.01 mg BP211D Sartorius microbalance. Gravimetric determination of the concentration of air suspended particles was made by following the EPA IO-2.1 method. Samplings were made for 24 h and every 6 days the process was repeated, from November 2007 to May 2008.

## RESULTS AND DISCUSION

Nineteen leaf samples and 35 filters were obtained. Statistical analysis was made by regression and correlation of the monthly average of TSP concentrations (Table 1). The statistical descriptors of the concentrations in both samplings are in Table 2.

Cuadro 1. Concentraciones de MPR y PST en hojas de pino y aire. Table 1. PMR and TSP concentrations in pine- leaves and air.

Mes	Año	MPR g kg <sup>-1</sup>	PST µg m <sup>-3</sup>
Noviembre	2007	46.23	176
Diciembre	2007	7.48	98
Enero	2008	13.785	128
Febrero	2008	6.76	92
Marzo	2008	15.76	147
Abril	2008	9.83	114
Mayo	2008	20.22	136

El promedio de la concentración de MPR en el follaje de *Pinus halepensis* fue de  $17.72 \text{ g kg}^{-1}$ , el cual es aproximado a lo registrado por Alcalá et al. (2008) para esta zona ( $22.66 \text{ g kg}^{-1}$ ) con ciprés (*Cupressus arizonica* Greene), y lo determinado por Dalmaso et al. (1997) para un área industrial cementera en Córdoba, Argentina, con  $20.62 \text{ g kg}^{-1}$  en algarrobo negro (*Prosopis nigra* Griseb.) y  $19.49 \text{ g kg}^{-1}$  en tala (*Celtis tala* Gill. ex Planch.).

La pregunta clave en cualquier estudio de biomonitorio es si las muestras son compatibles con las concentraciones reales de PM (material particulado, por sus siglas en inglés) en el aire. Morris et al. (1995) consignan una buena correlación entre la capacidad de captura y la fracción total de  $\text{PM}_{10}$  (partículas de tamaño respirable) capturada diariamente en filtros. Para el presente estudio, las series de tiempo de las variables MPR y PST (Figura 2) mostraron la existencia de una relación entre ellas, ya que las dos tenían la misma tendencia a incrementar o decrecer mensualmente. El análisis de correlación indicó una relación alta, puesto que el valor de correlación de Pearson fue de 0.901 ( $P= 0.006$ ).

Se realizó un análisis de regresión para explicar la relación entre ambas variables (ecuación 1).

$$y_i = b_o + b_{xy} * X_i + e_i \quad (1)$$

Donde:

$y_i$  = Valor promedio mensual de la concentración de partículas suspendidas totales en aire ambiente (PST) para i-ésima observación.

$X_i$  = Valor de la concentración de material particulado retenido (MPR) en las hojas de pino para i-ésima observación.

$b_o$  = Valor hipotético de la concentración de PST, cuando el valor de MPR es igual a cero (intercepto).

$b_{xy}$  = Cambio en el valor de la concentración de PST por cada unidad de incremento de MPR (coeficiente de regresión o pendiente).

$e_i$  = Error aleatorio para la i-ésima observación.

La línea de regresión ajustada se muestra en la Figura 3, que corresponde a la ecuación 2:

$$y = 94.30 + 1.923 X + e \quad (2)$$

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de concentraciones de MPR y PST.

Table 2. Descriptive statistics of PMR and TSP concentrations.

Estadístico	N	Media ± DE	Mínimo	Mediana	Máximo
MPR $\text{g kg}^{-1}$	19	17.72 ± 14.07	4.49	12.02	52.67
PST $\mu\text{g m}^{-3}$	35	132.55 ± 46.52	53.66	136.19	234.54

DE= Desviación estándar

DE= Standard Deviation

The average PMR concentration in *Pinus halepensis* foliage was  $17.72 \text{ g kg}^{-1}$  which was rather close to what Alcalá et al. (2008) recorded for this zone ( $22.66 \text{ g kg}^{-1}$ ) for *Cupressus arizonica* Greene and by Dalmaso et al. (1997) for a cement industrial zone in Córdoba, Argentina, with  $20.62 \text{ g kg}^{-1}$  on *Prosopis nigra* Griseb. and  $19.49 \text{ g kg}^{-1}$  in *Celtis tala* Gill. ex Planch.

The crucial question in any biomonitoring study is if the samples are compatible with the real PM concentrations (particulate matter) in the environment air. Morris et al. (1995) establish a good correlation between the capture ability and total fraction of  $\text{PM}_{10}$  (breathable size particles) that is daily captured with filters. For the actual study, times series of the PMR and TSP (Figure 2) showed the existence of a relation between them, since both had the same tendency to increase or decrease monthly. The correlation analysis showed a high relation, since the Pearson correlation value was 0.901 ( $P= 0.006$ ).

A regression analysis to explain the relation between both variables was made (equation 1).

$$y_i = b_o + b_{xy} * X_i + e_i \quad (1)$$

Where:

$y_i$  = Monthly average value of the total suspended particle concentration in the environment air (TSP) for the i-esim observation

$X_i$  = Concentration value of the particulate material retained in pine-leaves for the i-esim observation

$b_o$  = Hypothetical value of the TSP concentration when the PMR is zero (interception)

$b_{xy}$  = Change in the TSP concentration value for each unit of PMR increment (regression coefficient or slope)

$e_i$  = Random error for the i-esim observation

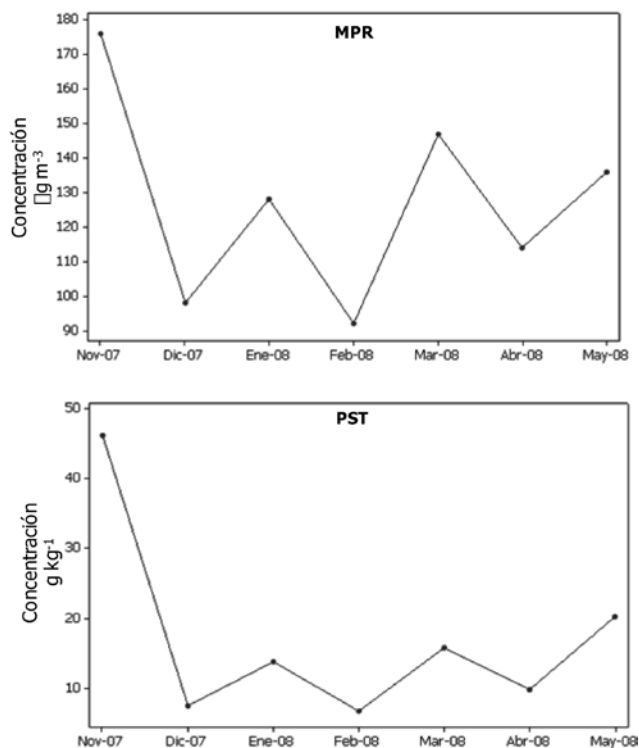


Figura 2. Series de tiempo de concentraciones de MPR y PST.  
Figure 2. Time series of PMR and TSP concentrations.

Con base en el análisis de varianza de la regresión (Cuadro 3) el modelo presentó una F calculada mayor a la de tablas, por lo que se rechazó  $H_0$  y se concluye que la variable independiente MPR tiene relación con las concentraciones de PST. El valor de  $R^2$  (0.812) implica que las concentraciones de MPR en las hojas de pino predicen razonablemente las concentraciones promedio mensuales de PST en la atmósfera, en áreas industrializadas. El porcentaje restante puede responder a otras variables como los efectos climáticos de corto plazo.

Los resultados concuerdan con los de un estudio de *Tillandsia usneoides* (L.) L. en un área industrial de la Región Central de México (Martínez-Carrillo *et al.*, 2010), cuyos autores señalan que los biomonitoreos tienen buena concordancia con aquéllos que se realizan simultáneamente con filtros. De igual manera, se coincidió con que estos no sustituyen a los muestreos con equipos, pero proporcionan una buena estimación de la calidad del aire.

En lo relativo a la duración de los períodos de muestreo, Muxworthy *et al.* (2001) asumieron que los efectos climáticos pueden sesgar la composición de las partículas en los filtros recolectados semanalmente. De acuerdo a los resultados, y a otros autores (Urbat *et al.*, 2004; Klánová *et al.*, 2009), el uso de hojas de pino es más adecuado

The fitted regression line is shown in Figure 3, that belongs to equation 2:

$$y = 94.30 + 1.923 X + e \quad (2)$$

Based upon the regression analysis of variance (Table 3), the model showed a calculated F over that recorded on tables, which made  $H_0$  to be rejected and it is concluded that PMR independent variable is related to TSP concentration. The  $R^2$  (0.812) value implies that the PMR concentrations in pine-leaves reasonably predict the average monthly TSP concentrations in the atmosphere, in industrial areas. The resting per cent might respond to other values such as the climatic effects on the short run.

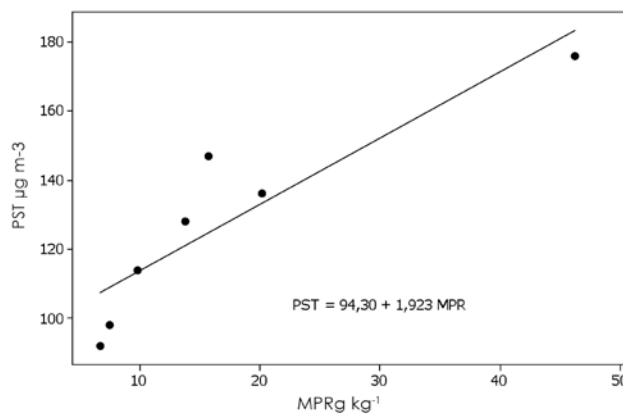


Figura 3. Regresión de concentraciones de PST y MPR.  
Figure 3. Regression of PMR and TSP concentrations.

Results are coincidental with those of a study Martínez-Carrillo *et al.* (2010) made with *Tillandsia usneoides* (L.) L. in an industrial area of Central México; they declared that biomonitoring has a good consistency with those that come from filtering. Also, it was stated that they do not substitute sampling with equipments, but they provide a good estimation of air quality.

In regard to the sampling time, Muxworthy *et al.* (2001) assumed that climatic effects might bias the particle composition in the filters that were weekly collected. According to results and to other authors (Urbat *et al.*, 2004; Klánová *et al.*, 2009) pine-leaf use is more convenient for long term assessment of air quality, since rain washing and wind abrasion are non- significant in changing the state of accumulation; thus, pollutants are integrated in months or years and it is possible to average their levels. In addition, the atmospheric pollution load in a specific region, in 1 to 3 year average, is more relevant to estimate the risks upon human health.

Cuadro 3. Análisis de varianza de la regresión.  
Table 3. Regression analysis of variance.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F de tablas	Hipótesis nula
Regresión	1	4,155.6	4,155.6	21.6	6.6	$H_0 = b_{yx} = 0$
Error	5	961.8	192.4			
Total	6	5,117.4				

para las evaluaciones de calidad del aire de largo plazo, ya que el lavado por lluvia y la abrasión por el viento no son significativos en la alteración del estado de acumulación; por lo tanto, los contaminantes se integran por meses o años y es factible generar promedios de sus niveles. Además, la carga de contaminantes atmosféricos en una región específica, promediada en períodos de 1 a 3 años, es más relevante para estimar los riesgos a la salud humana.

## CONCLUSIONES

La utilización de hojas de *Pinus halepensis* como biomonitor pasivo es una alternativa viable para sustituir las metodologías de muestreo activo de partículas atmosféricas, con equipos de alto volumen, especialmente en estudios de mediano y largo plazo. Esta metodología es más práctica y puede aplicarse en pequeñas poblaciones y sitios remotos, donde no existe suministro de energía eléctrica. Por otro lado, debido a que los costos son inferiores es pertinente utilizarla, ya que los presupuestos son cada vez más reducidos.

Es recomendable extender los monitoreos a otras áreas: zonas residenciales y sitios remotos, para determinar la efectividad de ésta metodología en espacios con bajas concentraciones de contaminantes.

## AGRADECIMIENTOS

Al M.I. Oscar Raúl Herrera Lagunas, de la Universidad Autónoma de Chihuahua por el apoyo brindado. Al M.C. Elías Ramírez Espinoza, al Ing. Jorge Iván Carrillo Flores y al M.C. Ramón Gómez Vargas del Laboratorio de Calidad del Aire. Así mismo, al Ing. Alejandro Benavides Montoya, a la Q. Silvia Violeta Miranda Navarro y a la Ing. Alma Delia Rubio Gómez del Laboratorio de Análisis Químico, del Centro de Investigación en Materiales Avanzados.

## REFERENCIAS

- Aboul, J. R., J. A. Fernández and A. Carballeira. 2001. Sampling optimization, at site scale, in contamination monitoring with moss, pine and oak. *Environmental Pollution* 115 (2): 313-316.
- Alcalá, J., M. Sosa C., M. Moreno L., C. Quintana, A. Campos y C. Holguín. 2008. Retención de polvo atmosférico en especies arbóreas indicadoras de la planeación urbana sustentable: ciudad de Chihuahua, México. *Multequina* 17: 17-28.
- American Public Health Association (APHA). 1995. Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. Washington, DC. USA. pp. 2-53-2-58.

## CONCLUSIONS

The use of *Pinus halepensis* needles as passive biomonitors is a viable option to substitute active sampling methodologies of atmospheric particles, with high volume equipments, in medium and long term studies in particular. This methodology is more practical and can be used in small populations and remote places, where there is no electricity. On the other hand, as costs are lower it is wise to use it, considering that budgets are becoming more limited.

It is advisable to extend monitoring to other areas: residential zones and remote places, in order to determine the effectiveness of this methodology in spaces with low pollution.

## ACKNOWLEDGEMENTS

To M. I. Oscar Raúl Herrera Lagunas of Universidad Autónoma de Chihuahua for his support. To M. C. Elías Ramírez Espinoza, Ing. Jorge Iván Carrillo Flores and M.C. Ramón Gómez Vargas of the Air Quality Laboratory. Also, to Ing. Alejandro Benavides Montoya, Q. Silvia Violeta Miranda Navarro and Ing. Alma Delia Rubio Gómez of the Chemical Analysis Laboratory of the Centro de Investigación en Materiales Avanzados.

*End of the English version*

- Berrow, M. L. 1984. Biological monitoring of heavy metal pollution, land and air. In: M. H. Martin and P. J. Coughtrey. (Eds.). Applied Science Publishers. Trends in Analytical Chemistry. London, UK. 475 p.
- Dalmasso, A., R. Candia y J. Llera. 1997. La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico. *Multequina* 6: 85-91.
- Di Guardo, A., S. Zaccara, B. Cerabolini, M. Acciarri, G. Terzaghi and D. Calamari. 2003. Conifer needles as passive biomonitors of the spatial and temporal distribution of DDT from a point source. *Chemosphere* 52 (5): 789-797.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1999. Compendium method IO-2.1 Sampling of ambient air for total suspended particulate matter (SPM) and PM10 using High Volume sampler. Center Environmental Research Information Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, OH. USA. 78 p.
- Google Inc. (2011). Google Earth, versión 6.0.3.2197. <http://www.google.com/intl/es/earth/index.html>. (18 de septiembre de 2011).
- Gombert, S., J. Asta and M. R. D. Seaward. 2006. Lichens and tobacco plants as complementary biomonitors of air pollution in the Grenoble area (Isère, southeast France). *Ecological Indicators* 6 (2): 429-443.
- Hellström, A., H. Kylin, W. M. J. Strachan and S. Jensen. 2004. Distribution of some organochlorine compounds in pine needles from Central and Northern Europe. *Environmental Pollution* 128 (1-2): 29-48.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Censo de población y vivienda 2010. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?src=487&e=8>. (15 de septiembre de 2011).
- Klánová, J., P. Cupr, D. Baráková, Z. Seda, P. Andel and I. Holoubek. 2009. Can pine needles indicate trends in the air pollution levels at remote sites? *Environmental Pollution* 157 (12): 3248-3254.
- Lehndorff, E. and L. Schwark. 2004. Biomonitoring of air quality in the Cologne Conurbation using pine needles as a passive sampler. Part II: polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH). *Atmospheric Environment* 38 (23): 3793-3808.
- Lehndorff, E. and L. Schwark. 2008. Accumulation histories of major and trace elements on pine needles in the Cologne Conurbation as function of air quality. *Atmospheric Environment* 42 (5): 833-845.
- Martínez-Carrillo, M. A., C. Solís, E. Andrade, K. Isaac-Olivé, M. Rocha, G. Murillo, R. I. Beltrán-Hernández and C. A. Lucho-Constantino. 2010. PIXE analysis of *Tillandsia usneoides* for air pollution studies at an industrial zone in Central Mexico. *Microchemical Journal* 96: 386-390.
- Morris, W. A., J. K. Versteeg, D. W. Bryant, A. E. Legzdins, B. E. McCarry and C. H. Marvin. 1995. Preliminary comparisons between mutagenicity and magnetic susceptibility of respirable airborne particulate. *Atmospheric Environment* 29 (23): 3441-3450.
- Muxworthy, A. R., J. Matzka and N. Petersen. 2001. Comparison of magnetic parameters of urban atmospheric particulate matter with pollution and meteorological data. *Atmospheric Environment* 35: 4379-4386.
- Piccardo, M. T., M. Pala, B. Bonacurso, A. Stella, A. Redaelli, G. Paola and F. Valerio. 2005. *Pinus nigra* and *Pinus pinaster* needles as passive samplers of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environmental Pollution* 133 (2): 293-301.
- Pope III, C. A. and D. W. Dockery. 2006. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Air & Waste Management Association* 56: 709-742.
- Tretiac, M., P. Adamo, R. Bargagli, L. Baruffo, L. Carletti, P. Crisafulli, S. Giordano, P. Modenesi, S. Orlando and E. Pittao. 2007. Lichen and moss bags as monitoring devices in urban areas. Part I: Influence of exposure on sample vitality. *Environmental Pollution* 146 (2): 380-391.
- Urbat, M., E. Lehndorff and L. Schwark. 2004. Biomonitoring of air quality in the Cologne conurbation using pine needles as a passive sampler. Part I: magnetic properties. *Atmospheric Environment* 38 (23): 3781-3792.
- Vollenweider, P. and M. S. Günthardt-Goerg. 2005. Diagnosis of abiotic and biotic stress factors using the visible symptoms in foliage. *Environmental Pollution* 137 (3): 455-46.