

Determinación de plomo en muestras de PM2.5 obtenidas en temporada invernal en los municipios de San Francisco del Rincón, León, Celaya, Salamanca y Cortázar

Determination of lead in samples of PM2.5 obtained in winter season in the municipalities of San Francisco del Rincon, Leon, Celaya, Salamanca and Cortázar

MACÍAS-JASSO, Luz Evelia†, MARES-HERNÁNDEZ, Ulises Antonio*, PÉREZ-GUZMÁN, Juan Manuel y PÁRAMO-VARGAS, Javier

Universidad de Guadalajara - Centro Universitario del Norte

ID 1^{er} Autor: *Luz Evelia, Macías-Jasso*

ID 1^{er} Coautor: *Ulises Antonio, Mares-Hernández*

ID 2^{do} Coautor: *Juan Manuel, Pérez-Guzmán*

ID 3^{er} Coautor: *Javier, Páramo-Vargas*

Recibido 23 de Septiembre, 2018; Aceptado 12 de Noviembre, 2018

Resumen

Se determinaron las concentraciones de material particulado menor a 2.5 micrómetros (PM2.5) en 11 puntos estratégicos en los municipios de León, San Francisco del Rincón, Celaya, Cortázar y Salamanca, que forman parte del principal corredor industrial de Guanajuato con apoyo de la Dirección de Gestión de Calidad del Aire del Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato. Los valores máximos de PM2.5 obtenidos fueron de 59.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para San Francisco del Rincón, 3799.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para Cortázar, 73.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para Salamanca, 64.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para Celaya y 65.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para León. En comparación con los límites máximos permitidos por la norma oficial mexicana NOM-025-SSA1-2014, en todos los puntos de muestreo sobrepasaron dichos límites; asimismo, en relación a los valores permitidos por las Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, los valores de los municipios restantes obtenidos fueron entre 1.5 y 2.5 veces mayores; siendo León el municipio con valores más altos. En el municipio de León, se estudió la concentración de plomo, encontrando valores entre 0.4 y 3.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que resultaron entre 2 y 5 veces mayores a los límites establecidos en la norma oficial mexicana NOM-026-SSA1-1993.

Calidad del aire, Zona metropolitana, Plomo, Material particulado, Corredor industrial

Abstract

The concentrations of particulate material smaller than 2.5 micrometers (PM2.5) were determined in 11 strategic points in the entities of León, San Francisco del Rincón, Celaya, Cortázar and Salamanca, which are part of the main industrial corridor of Guanajuato with support of the air quality department of the Ecology Institute of the State of Guanajuato. The maximum values of PM2.5 obtained were 59.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for San Francisco del Rincón, 3799.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for Cortázar, 73.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for Salamanca, 64.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for Celaya and 65.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for León. In comparison with the maximum limits allowed by the official Mexican standard NOM-025-SSA1-2014, in all sampling points these limits were exceeded. Also, in relation to the values allowed by the World Health Organization (WHO), the values of the remaining entities obtained were between 1.5 and 2.5 times higher; being León the entity with higher values. In the entity of León, the concentration of lead was studied, finding values between 0.4 and 3.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, that proved between 2 and 5 times bigger than the limits established in the official Mexican standard NOM-026-SSA1-1993.

Air quality, Metropolitan area, Lead, Particulate matter, Industrial corridor

Citación: MACÍAS-JASSO, Luz Evelia, MARES-HERNÁNDEZ, Ulises Antonio, PÉREZ-GUZMÁN, Juan Manuel y PÁRAMO-VARGAS, Javier. Determinación de plomo en muestras de PM2.5 obtenidas en temporada invernal en los municipios de San Francisco del Rincón, León, Celaya, Salamanca y Cortázar. *Revista de Operaciones Tecnológicas*. 2018, 2-8: 1-10

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: umares@utleon.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Uno de los temas ambientales más importantes es la contaminación atmosférica, ya que actualmente es una de las problemáticas más severas a nivel mundial (Salud, 2014); causada por la presencia de compuestos nocivos en la atmósfera, en concentraciones que pueden afectar la salud de las personas o afectar negativamente los ecosistemas. Entre algunas de las enfermedades causadas a la población por la contaminación del aire se encuentran: afectaciones al sistema respiratorio como afecciones alérgicas, asma y alteraciones de la función pulmonar (Ballester, 2005, 2009; Díaz Jiménez, Alberdi Odriozola, Montero Rubio, & Mirón Pérez, 1998).

La población infantil es la más vulnerable, debido a su sistema respiratorio inmaduro, siendo los principales problemas que presentan, mayor frecuencia de consultas, problemas asmáticos y de reducción de la función pulmonar (Ballester, 2005, 2009; Ubilla & Yohannessen, 2017). Otras poblaciones sensibles son ancianos y mujeres embarazadas.

El Instituto de Ecología del Estado (IEE), actualmente cuenta con el Sistema de Monitoreo Atmosférico del Estado de Guanajuato (SIMEG). El cual comenzó su operación en 1999, instalándose en el municipio de Salamanca, continuando en el año 2000 en León y Celaya.

Actualmente cuenta con 18 estaciones distribuidas de la siguiente manera: Celaya (3 estaciones), Irapuato (3 estaciones), Salamanca (3 estaciones), Silao (1 estación), León (3 estaciones), San Luis de la Paz (1 estación), San Miguel de Allende (1 estación), Purísima del Rincón (1 estación), Abasolo (1 estación), Guanajuato (1 estación) (Aire, 2018). En las estaciones de monitoreo se miden los siguientes contaminantes: ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), monóxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO_2), óxidos de nitrógeno (NOx), partículas menores a 10 micras y menores a 2.5 micras.

También se emiten algunas variables meteorológicas como: velocidad del viento, dirección del viento, temperatura, humedad relativa, presión barométrica, radiación solar (Aire, 2018).

El comportamiento del material particulado en sus diferentes fracciones (PM_{10} y $PM_{2.5}$) se ve directamente influenciado por las diferentes temporadas del año, siendo la invernal en la que se ha registrado las concentraciones más altas, lo anterior se debe, a que existen condiciones desfavorables para la dispersión de los contaminantes en la atmósfera debido principalmente a la ausencia de corrientes de viento y temperaturas suficientes para dispersar los contaminantes en la misma. Tal condición aunado a la queda desmedida de pirotecnia y fogatas debidas a las festividades decembrinas provocan las condiciones más desfavorables de la calidad del aire en el año.

Después de realizado el muestreo y obtenidos los resultados de la cantidad de material particulado y la concentración de plomo existente en las muestras de $PM_{2.5}$, se realizó una caracterización de las partículas al respecto de concentración de plomo en esta fracción, además de la comparación con la normatividad mexicana para conocer los límites de contaminación aceptables para la población, así como una comparación con organizaciones del sector salud y la agencia de protección ambiental de Estados Unidos de América (USEPA).

La Universidad Tecnológica de León, en la época de primavera-verano del año 2013 realizó un proyecto para la determinación de plomo en el aire, en diferentes zonas del municipio de León, Gto., en esta investigación se obtuvieron resultados de plomo de entre 0.03 a $0.1 \mu g/m^3$. En invierno de los años 2012 y 2013 dicha institución realizó otra investigación, en la cual la concentración de plomo se registró de $0.57 \mu g/m^3$ en el año 2012 y $0.65 \mu g/m^3$, en el año 2013. Estos datos indican que las concentraciones de metales pesados se ven afectadas por la época del año, incrementándose en invierno (Luna, 2013).

Marco teórico

El nombre de partículas suspendidas se refiere a una diversidad de sustancias con un tamaño de diámetro (0.005- 100 micrómetros), suspendido en el aire (Ubilla & Yohannessen, 2017). Las partículas son generadas por una gran variedad de fuentes antropogénicas y naturales y pueden ser emitidas directamente a la atmósfera o formarse por la transformación de emisiones gaseosas.

Durante las últimas décadas, la calidad del aire ha mostrado una clara tendencia al deterioro, consecuentemente la salud humana y la recuperación del medio ambiente ha sido afectada debido a la presencia de contaminantes en la atmósfera. Entre estos, las partículas suspendidas que son de importancia (Manuel Romero Placeres, 2006).

La toxicidad de las partículas está determinada por sus características físicas y químicas, el tamaño de su diámetro es importante para caracterizar su comportamiento, ya que de él depende la capacidad de penetración y retención en las vías respiratorias; también determina su tiempo de residencia en la atmósfera y por ende la concentración a la que puede estar expuesta la población (P. Salvador Martínez, 2000).

Las muertes por exposición a $PM_{2.5}$ se atribuyen fundamentalmente a las enfermedades cardiovasculares y a cáncer de pulmón (alrededor de 220,000 muertes solo por esta causa. “En México la exposición a $PM_{2.5}$ en el ambiente es uno de los diez primeros factores de riesgo, en 2010 se asoció con 20,500 muertes prematuras, a nivel global la exposición a $PM_{2.5}$ en el ambiente también es uno de los diez primeros factores de riesgo, lo que traduce en 3.2 millones de muertes prematuras anuales” (Molina, 2017). Las partículas $PM_{2.5}$ tienen un mayor efecto negativo en la salud, pues por su tamaño pueden penetrar hasta los alveolos pulmonares (Mariano, 2002).

Dada la evidencia científica, a partir de 2013 la Agencia Internacional de Investigación contra el Cáncer de la Organización Mundial de la Salud (OMS) clasificó a la contaminación atmosférica y a las PM en ambientes exteriores como “carcinógenos humanos conocidos”.

Estableció que son una causa de cáncer de pulmón en humanos.

La gente puede estar expuesta a metales pesados a través de: respirarlo, ingerirlo o beberlo y a través del contacto con la piel. El Plomo afecta varios sistemas, por ejemplo: el sistema nervioso llega a dañar a las neuronas especialmente las del cerebro, la médula ósea y otro lugar donde es frecuente encontrarlo es el riñón.

La intoxicación por Plomo puede simular otras enfermedades, por ejemplo: la esclerosis, que es una enfermedad incurable muy complicada en cuanto a sus síntomas, también puede producir retardo mental y pérdida de habilidades cognitivas (G.S, 2005). En cuanto al riñón, los metales pesados a la larga van a producir daño renal que puede llegar hasta una insuficiencia renal (Revilla, 2009).

Los daños producidos al medio ambiente son bastantes graves y hablando específicamente del Plomo cambia la alcalinidad del suelo (depende mucho de la concentración). También contaminan el agua y los cultivos; si la cantidad de plomo es muy alta, puede producir algunas alteraciones en las plantas, también degrada el suelo, lo cual disminuye su productividad y puede llegar a producir desertificación. A nivel de los ríos y lagos afecta principalmente la fauna (Revilla, 2009).

El desarrollo económico en los últimos 50 años ha incrementado en el estado de Guanajuato, debido al crecimiento del sector industrial aunado a la actividad agrícola, beneficiando en gran medida al crecimiento poblacional; tal incremento tiene una consecuencia en el consumo de combustibles y, por lo tanto, una mayor generación de contaminantes atmosféricos. Es importante conocer los cambios que sufren las poblaciones en cuanto a tamaño, estructura de edad, sexo y otros parámetros que las definen, así como de los factores que causan esos cambios y los mecanismos por los que se producen ya que esto incide directamente en el funcionamiento de los ecosistemas urbanos de los municipios que conforman la Zona Metropolitana (ZM) (Estado, 2013).

Actualmente el crecimiento poblacional en el estado de Guanajuato ha aumentado de manera exponencial, representando así mayor exposición de la salud humana a la contaminación atmosférica que se presenta en los municipios. De acuerdo a datos obtenidos por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) la mayor cifra de población está representada por menores de 18 años siendo los niños quienes están directamente expuestos al contacto con zonas de terracería, y enfermedades severas de la vía respiratoria

Datos recabados con información del INEGI muestran la población potencialmente expuesta a las partículas suspendidas y el plomo en el aire; la tabla 1 muestra los datos de los municipios de Guanajuato relacionados con este estudio. A continuación, se muestran los datos de cada municipio a estudiar.

Municipio	Población total	Población de 0 a 14 años	Población de 60 años y más	Población de 65 años y más
Celaya	468,469	136,659	37,328	25,015
Cortázar	88,397	26,013	8,128	5,742
León	1,436,480	442,668	100,419	66,363
Salamanca	260,732	72,927	24,475	16,857
San Francisco del Rincón	113,570	36,829	9,083	6,335

Tabla 1 Población expuesta a las PM_{2.5} y plomo de Gto.
Fuente: INEGI, 2010

Uno de los principales indicadores de la calidad del aire utilizado en el estado de Guanajuato es “El monitoreo atmosférico”, ya que éste es una herramienta valiosa para la gestión e instrumentación de las acciones de prevención y control de los contaminantes presentes en la atmósfera, ante condiciones que ponen en riesgo la salud de los ciudadanos.

Cabe destacar que la interpretación del clima es importante en la distribución de la contaminación atmosférica, ya que según (Manahan, 2006) “las sustancias que tiende a ser transportadas a la atmósfera son relativamente volátiles”.

Esto se interpreta de la siguiente forma: en zonas donde se presenta mayor temperatura la contaminación aumenta y se acumula en la capa de la atmósfera por inversión térmica.

Materiales y métodos

Materiales y reactivos

El muestreo de aire para análisis de material particulado menor a 2.5 micras, se realizó, con papel filtro de celosa grado CFP1 de BIOMOLAB de México Este papel filtro viene en paquetes de 100 pzas, colocadas individualmente en porta filtros de acrílico de la misma marca BIOMOLAB de México, para su conservación.

En el análisis de plomo por espectrofotometría de absorción atómica se usó agua destilada, estándar de 1,000 ppm de plomo (+2) en HNO₃ al 0.5% (v/v) de marca KARAL, ácido clorhídrico con una pureza del 37.5% marca KEM y ácido nítrico con una pureza del 65%, marca Golden Bell.

Para la evaluación de la contaminación del aire, se realizó la determinación cuantitativa del material particulado a través de la diferencia de peso; técnica conocida como “gravimetría”. Posteriormente se realizó el análisis de plomo en el aire, en muestras de los municipios de León, Salamanca, Celaya, Cortázar y San Francisco del Rincón, usando un método de digestión ácida y posterior utilización del espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Equipo

El peso de los filtros antes y después del muestreo fue tomado por una balanza analítica de precisión marca VELAB con sensibilidad de 0.1mg y un tiempo de estabilización menor a 8 segundos.

El material particulado (PM_{2.5}) fue tomado con el equipo PQ200 ambient air particulate sampler, muestreador portátil para, para partículas suspendidas totales (TSP), material particulado de 10 micras de diámetro (PM₁₀), material particulado de 2.5 micras de diámetro (PM_{2.5}), PM Coarse y material particulado de 1 micra de diámetro (PM₁). modelo WALTHAM,MA.02451, marca BGI, INC., útil para medir.

Los análisis de plomo, se realizaron con el equipo de Absorción Atómica de la Universidad Tecnológica de León modelo “SpectrAA-110/220/880”, marca VARIAN.

Metodologías de análisis

La determinación del material particulado PM_{2.5}, se realizó con el método gravimétrico comenzando con el registro del peso inicial de cada uno de los filtros que serían utilizados en el muestreo, los cuales se conservaron dentro de los porta filtros, se trasladaron a cada uno de los sitios de monitoreo para que se utilizaran de acuerdo a las fechas y especificaciones señaladas por el Instituto de Ecología.

Se colocó el filtro en el equipo Muestreador portátil PQ200 ubicado en la parte alta de cada uno de los sitios seleccionados y se mantuvieron ahí colectando muestra desde las 0:00 hasta las 23:59H en 8 diferentes días a lo largo de 4 semanas. Una vez realizado el muestreo, el filtro se colocó en su porta filtro correspondiente para evitar pérdida de muestra durante el traslado del mismo, posteriormente se llevaron al Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato para su registro de peso final y análisis gravimétrico. Finalmente se trasladaron los filtros a las instalaciones de la Universidad Tecnológica de León para su análisis de plomo.

En relación al plomo, para obtener la muestra de análisis se cortó 1cm² del filtro usado en el muestreo y se digestó en un vaso de precipitado agregando 25ml de agua desionizada, 3ml de HNO₃ y 2ml de HCl, en parrilla eléctrica a una temperatura aproximada de 150°C. La muestra digestada se analizó por espectrofotometría de absorción atómica (Ojeda 1994).

Muestreo

El muestreo de aire se realizó en 5 puntos distintos del estado de Guanajuato, ubicados en los municipios de León, Celaya, Salamanca, San Francisco del Rincón y Cortázar, los cuales son parte del corredor industrial del estado de Guanajuato.

Cabe destacar que los filtros del municipio de Cortázar presentaron daños en al menos una de sus esquinas, por lo cual la correcta cuantificación de material particulado no pudo llevarse a cabo. A continuación, se muestra la ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo.

No. sitio	Municipio	Ubicación
1	León	21°06'06.22"N 101° 38' 04.59"O
2	Celaya	20°31'05.99"N 100° 48' 58.02"O
3	Salamanca	20°34'57.85"N 101° 11' 51.05"O
4	San Francisco del Rincón	21°02'08.16"N 101° 52' 06.15"O
5	Cortázar	20°28'59.19"N 100° 57' 50.46"O

Tabla2 Ubicación geográfica de los sitios de monitoreo. Google Earth, Fuente: INEGI 2018

Los muestreos se llevaron a cabo en 8 diferentes días, a lo largo de 4 semanas desde las 0:00 hasta las 23:59 h. La tabla 3, muestra la información de los diferentes días en los que se colocó y retiro el filtro utilizado para la recolección de muestra.

Noviembre						
Lun es	Mart es	Miércoles	Juev es	Viern es	Sába do	Domin go
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			
Diciembre						
Lun es	Mart es	Miércoles	Juev es	Viern es	Sába do	Domin go
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15		

	Día de colocación de filtro
	Día de muestreo
	Día de retiro de filtro
	Día de retiro y colocación de filtro

Tabla 3 Fechas de muestreo establecidas por el Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato, para los 5 municipios a estudiar

Resultados

La concentración de material particulado PM_{2.5} se calculó usando la siguiente ecuación (Ojeda B. & Bernal, 1989).

$$PM_{2.5} \mu\text{g}/\text{m}^3 = \frac{(Wf - Wi)(1 \times 10^6)}{Vstd} \tag{1}$$

Dónde: (PM_{2.5}) es la concentración de la masa de material particulado en µg/m³, (Wi) es el peso inicial de la recogida de filtro PM_{2.5} en g, (Wf) es el peso final de la recogida de filtro PM_{2.5} en g, (1X10⁶) es la conversión de g a µg y (Vstd) es el total de aire muestreado en unidades de volumen estándar m³

La figura 1, muestra los diferentes niveles de concentración de material particulado PM_{2.5} de los municipios muestreados, junto con los límites máximos permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Salud, 2005) y la (NOM-025-SSA1-2014, 2014)

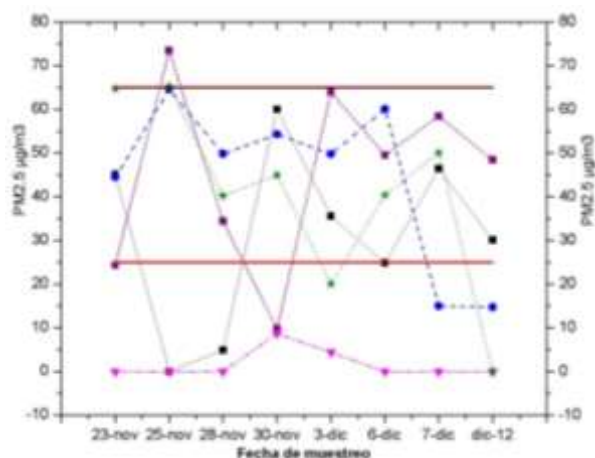


Figura 1 Concentración de material particulado $PM_{2.5}$, simbología:



La figura 1 muestra los niveles de contaminación por $PM_{2.5}$ en los municipios de León, Salamanca, Cortázar, Celaya y San Francisco del Rincón, se presenta una concentración considerablemente alta de material particulado en la calidad del aire de estos municipios, presentándose desde los $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta $73.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

De acuerdo a la normatividad mexicana el material particulado excede los $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecidos como límite máximo en la norma oficial mexicana 026 relacionada (NOM-026-SSA1-1993, 1993). Considerando el valor límite establecido por la Organización Mundial de la Salud el $PM_{2.5}$ se presenta entre 1.5 y 2.5 veces mayor a las recomendaciones de dicha organización. Esto indica que la población guajuatense está expuesta de manera preocupante.

La figura 2 muestra que el municipio que presenta mayor contaminación por material particulado es León. Los datos gráficos obtenidos del municipio de Cortázar, no se tomarán en cuenta para esta comparación, por daños presentados en los filtros que afectaron el peso de los mismos. Se estima que parte de las $PM_{2.5}$ cuantificadas en esta investigación pueden provenir directamente del tipo de suelo que corresponde a cada municipio, ya que en casi todos los municipios predomina el Vertisol pelico y el Feozem Háplico, suelos que contienen una textura fina y que es fácilmente volátil (Geografía, 1998).

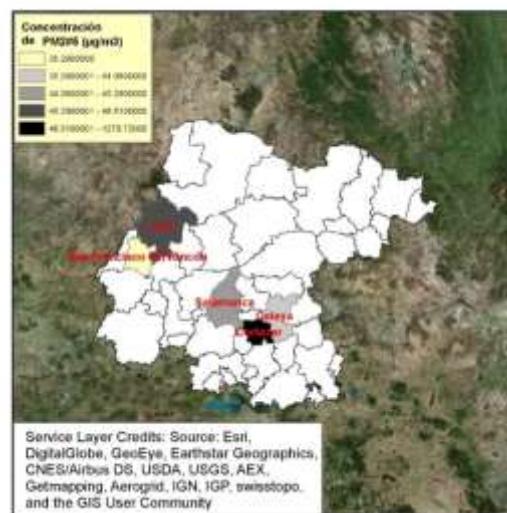


Figura 2 Niveles de concentración de $PM_{2.5}$ en San Francisco del Rincón, León, Salamanca, Cortázar y Celaya

La concentración de plomo se calculó usando la siguiente ecuación:

$$\text{Plomo en } \mu\text{g}/\text{m}^3 = \frac{[(Ct - Cb) * Va] * (\frac{Af}{At})}{Vstd} \quad (2)$$

Dónde: (Af) es el área total del filtro cm^2 , (At) es el área del filtro tomada para la digestión ácida cm^2 , (Va) es el volumen de aforación (mL), (Cb) es la concentración en mg/L del blanco, (Ct) es la concentración en mg/L de la muestra y ($Vstd$) es el volumen de aire muestreado. Las concentraciones de plomo de los diferentes municipios muestreados se presentan en la figura 3, junto con la referencia de los límites máximos permisibles establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) (Agency, 2016) y la (NOM-026-SSA1-1993, 1993)

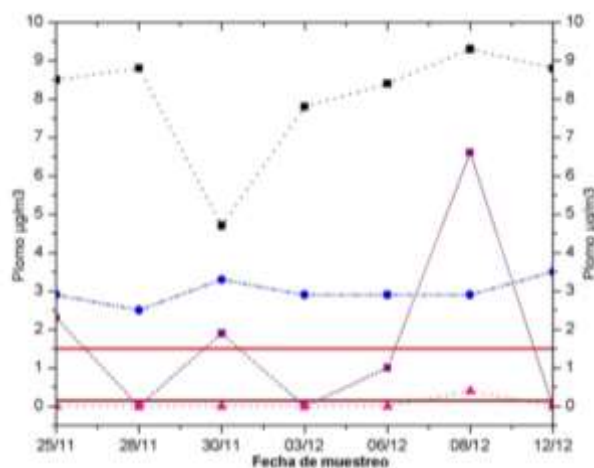


Figura 3 Concentración de plomo en el aire, simbología:



Respecto a la concentración de plomo en el municipio de Cortázar, no fue detectado, por problemas con los filtros.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SSA1-1993, el plomo excede los límites entre 2 y 5 veces la norma, presentándose concentraciones de entre 0.4 y 3.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Comparando con información del año 2012 y 2013 (Luna, 2013), quien reporto concentraciones de plomo de 0.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2012 y 0.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2013, sus valores han aumentado considerablemente, esto se relaciona con el desarrollo y aumento de la actividad industrial en los municipios estudiados. Un factor importante relacionado con la problemática de contaminación de aire por plomo, es la direccionalidad del viento, pues mueve estos contaminantes de las zonas industriales ubicadas fuera de los límites de las ciudades, hacia ellas.

La figura 4, muestra que el municipio que presenta mayor contaminación por plomo es Salamanca.

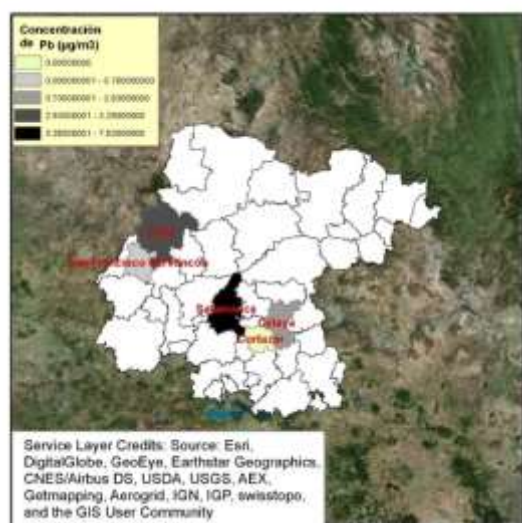


Figura 4 Comparación de niveles de concentración de plomo en San Francisco del Rincón, León, Salamanca, Cortázar y Celaya.

Conclusiones

La composición química del material particulado varía mucho, dependiendo fundamentalmente de la fuente generadora. Las emisiones procedentes de las zonas industriales contienen diferentes compuestos orgánicos e inorgánicos, encontrándose dentro de estos los compuestos de plomo (Molina, 2017). En los municipios estudiados, es claro que el desarrollo industrial y poblacional, influye en los diferentes contaminantes y concentraciones de los mismos en el aire; siendo León, el municipio con mayor índice de crecimiento el que presentó mayor contaminación por $\text{PM}_{2.5}$.

Las concentraciones de material particulado PM_{10} , incluyen el $\text{PM}_{2.5}$. De acuerdo al Sistema Estatal de Información de la Calidad del Aire (SEICA), en las estaciones de monitoreo se registran datos de las concentraciones de material particulado de 10 micras. La comparación de los datos históricos del SEICA registraron entre 2015 y 2017 un aumento de entre 3 a 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (comparación de datos históricos recabados); con intervalos promedio de: 45 a 105 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} para León, de 39 a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} para Salamanca y de 49 a 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} para Celaya.

El aumento de PM_{10} , implica el aumento de $\text{PM}_{2.5}$, dada la relación entre ambos tipos de partículas.

En comparación con estados que presentan desarrollos industriales importantes se destaca: en el año 2017 la zona metropolitana tapatía que comprende 8 municipios (Guadalajara, Zapopan, San Pedro Tlaquepaque, Tonalá, Tlajomulco de Zúñiga, El salto, Juanacatlán e Ixtlahuacán de los Membrillos), tuvo 56 veces la implementación de medidas frente a contingencias ambientales, valor superior al 2016 donde hubo 35 ocasiones. En estas condiciones de contingencia, el índice IMECA de PM_{10} superaban los 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas suspendidas PM_{10} (Excelsior, 2018). Un análisis de la OMS sobre la calidad del aire en distintas ciudades de la República Mexicana, determinó que la ciudad más contaminada de México es Monterrey, como se muestra en la tabla 4, que contiene información estadística del año 2011 con excepción de la Ciudad de México, para la cual se usó datos del 2014 (Financiero, 2018).

Ciudad	PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\text{PM}_{2.5}$ en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Monterrey	86	36
Toluca	80	33
Salamanca	60	28
León	58	27
Irapuato	55	26
Silao	51	24
Ciudad de México	42	20

Tabla 4 Material particulado de acuerdo a análisis de la OMS

En relación al plomo el municipio que presentó con la concentración más alta en las muestras de $PM_{2.5}$ fue Salamanca, esto presumiblemente debido a su alto desarrollo industrial, que incluso a diferencia del municipio de León, el cual presenta menor crecimiento poblacional pero una zona industrial más desarrollada.

Comparando las concentraciones obtenidas en esos estudios, a través de 5 años se observa un incremento en el municipio de León de $2.32 \mu g/m^3$ en promedio.

Lo cual significa un aumento del 356% de la concentración de plomo.

Los resultados muestran que las concentraciones de plomo y de material particulado no están correlacionados proporcionalmente, pues en algunas muestras se dan concentraciones altas de material particulado, con concentraciones bajas de plomo y viceversa, debido a la diversidad de fuentes de las que son origen. La presencia de plomo en el aire, puede deberse a las actividades industriales presentes en el sitio de monitoreo en zonas aledañas a la mancha urbana; cuyos contaminantes pueden ser transportados por el viento. Un ejemplo de lo anterior, es el caso del municipio de Salamanca cuyos vientos de acuerdo a la Fundación Guanajuato Produce A.C (FGP) se mueven la mayor parte del año (datos de 2015 a 2017), de Este a Oeste en temporada invernal y de lluvias y en sentido Oeste a Este en temporada cálida; existiendo fuentes fijas de plomo en los municipios de Irapuato y Villagrán, ubicados en estas direcciones, como lo muestra la figura 5.

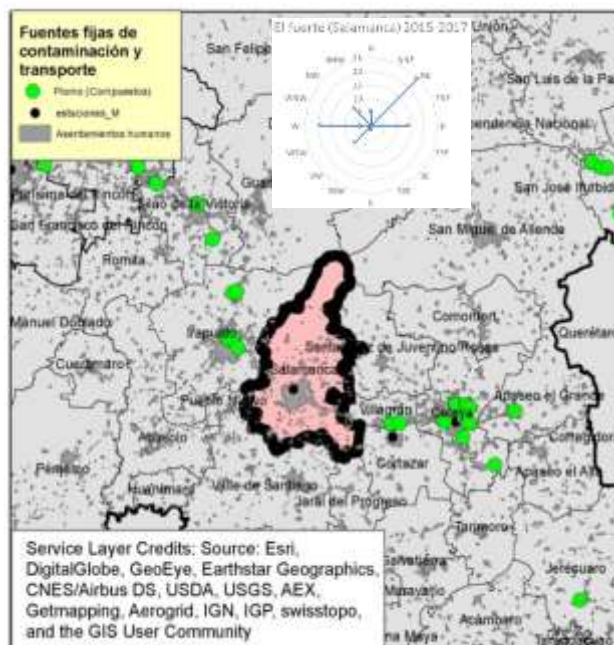


Figura 5 Fuentes fijas de plomo en Salamanca, Gto. FGP

El municipio de León en su caso, mostró vientos dominantes de suroeste a noreste la mayor parte del año (datos 2015 a 2017), situando las fuentes fijas de plomo al costado de la estación de monitoreo, por lo cual, las concentraciones de plomo no se registran adecuadamente como lo muestra la figura 6.

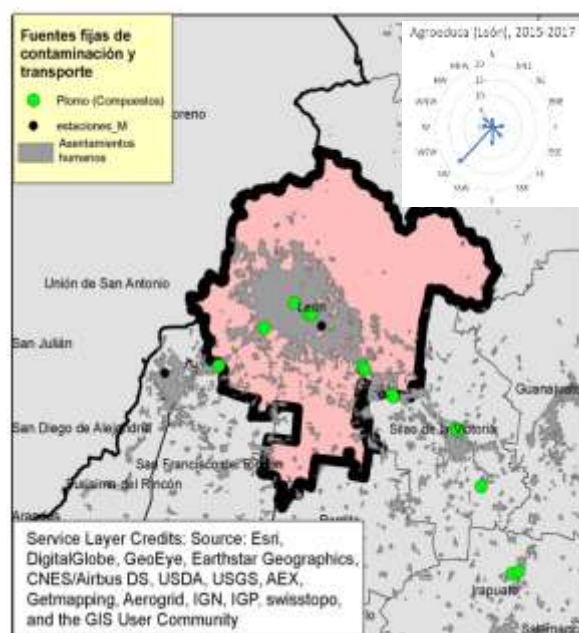


Figura 6 Fuentes fijas de plomo en León, Gto. FGP

Los resultados obtenidos en este estudio y algunos referidos en este trabajo, muestran que es recomendable el que se analice de modo continuo las concentraciones de material particulado y de plomo.

En el caso del plomo es recomendable el realizar estudios estacionales, para tratar de identificar comportamientos cíclicos y establecer correlaciones con posibles causas y efectos en la población y el medio (Ojeda B. & Bernal, 1989; Pineda-Martínez, Carbajal, Campos-Ramos, Aragón-Piña, & García, 2014)

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Tecnológica de León y a la Dirección de la Gestión de Calidad del Aire del Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato, por su apoyo para la realización de este proyecto.

Referencias

- Agency, U. S. E. P. (2016). *criteria air pollutants*.
- Aguilar, C. P. y. Ó. (2016). Guanajuato aparece entre los más contaminados por su buen monitoreo del aire: Gobernador. *Sin Embargo periodismo digital*.
- Aire, S. E. d. I. d. I. C. d. (2018). *Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire*.
- Ballester, F. (2005). Vigilancia de riesgos ambientales en Salud Pública. El caso de la contaminación atmosférica. *Gaceta Sanitaria*, 19(3), 253-257. doi: <https://doi.org/10.1157/13075960>
- Ballester, F. (2009). Comentario. Contaminación atmosférica y salud: acción estratégica en salud pública. *Gaceta Sanitaria*, 23(3), 198-199. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2009.03.001>
- Díaz Jiménez, J., Alberdi Odriozola, J. C., Montero Rubio, J. C., & Mirón Pérez, I. J. (1998). Asociación entre la contaminación atmosférica por dióxido de azufre y partículas totales en suspensión y la mortalidad diaria en la ciudad de Madrid (1986–1992). *Gaceta Sanitaria*, 12(5), 207-215. doi: [https://doi.org/10.1016/S0213-9111\(98\)76474-X](https://doi.org/10.1016/S0213-9111(98)76474-X)
- Estado, I. d. E. d. (2013). <Programa de gestión para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana de León.pdf>.
- Excelsior. (2018). *Zona Metropolitana de Guadalajara vive 2017 en contingencias ambientales*.
- Financiero, E. (2018). *Monterrey, la ciudad más contaminada*.
- G.S, S. (2005). *Fundamentals concepts of environmental chemistry*. India: Alpha Science.
- Geografía, I. N. d. E. y. (1998). *Diccionario de datos edafológicos*.
- Luna, A. B. (2013). *Diagnóstico de la concentración de metales pesados Cromo, Cadmio, Plomo y Zinc en dos sitios de monitoreo en el aire de la ciudad de León, Guanajuato en la época primavera-verano durante el período abril-agosto*. Universidad Tecnológica de León.
- Manahan, S. E. (2006). *Introducción a la química ambiental*. México: Reverté.
- Manuel Romero Placeres, F. D. O. y. M. Á. T. (2006). <La contaminación del aire, su repercusión como problema de salud.pdf>. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44(0253-1751).
- Mariano, S. C. (2002). *Tratado de la contaminación atmosférica. Problemas, tratamiento y gestión*. España: MUNDI-PRENSA.
- Molina, M. (2017). *Implicaciones de la contaminación atmosférica para la salud en la Zona Metropolitana del Valle de México y los beneficios potenciales de aplicar medidas de control*.
- NOM-025-SSA1-2014. (2014). <NOM-025-SSA1-2014 Valores límite permisibles para concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación.> Retrieved from <http://siga.jalisco.gob.mx/aire/normas/NOM-025-SSA1-2014.pdf>.
- NOM-026-SSA1-1993. (1993). *Norma Oficial Mexicana NOM-026-SSA1-1993 criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al plomo (Pb). valor normado para la concentración de plomo (Pb) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población*. Retrieved from <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/026ssa13.html>.

Ojeda B., E. O., & Bernal, J. R. (1989). Evaluación de los niveles de contaminación por plomo en el aire, a partir de las muestras obtenidas en las estaciones de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Bogotá. [ingeniería colombiana; contaminación; análisis del plomo]. *1989(18)*, 9.

P. Salvador Martínez, B. A. R. d. T. (2000). <Evaluación de la Contaminación atmosférica producida por partículas en suspensión en las redes de calidad del aire de la comunidad de Madrid.pdf>. *Informes Técnicos Ciemat*, 921.

Pineda-Martínez, L. F., Carbajal, N., Campos-Ramos, A., Aragón-Piña, A., & García, A. R. (2014). Dispersion of atmospheric coarse particulate matter in the San Luis Potosí, Mexico, urban area. *Atmósfera*, 27(1), 5-19. doi: [https://doi.org/10.1016/S0187-6236\(14\)71097-5](https://doi.org/10.1016/S0187-6236(14)71097-5)

Revilla, C. P. E. (2009). Contaminación por metales pesados. *Revista Científica Ciencia Médica SCEN*, 12.

Salud, O. M. d. I. (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.

Salud, O. M. d. I. (2014). La OMS alerta del aumento de la contaminación ambiental en las ciudades.

Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EFECTOS EN LA SALUD RESPIRATORIA EN EL NIÑO. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(1), 111-118. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2016.12.003>