

# MONITOREO DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> Y CO<sub>2</sub>) Y VARIABLES METEOROLÓGICAS (TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA, VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO) EN LA CIUDAD DE GUANAJUATO

Lara Tovar Kimberley Itzel (1), Gómez López Zahaira Angélica (2), Zamorategui Molina Adrián (3)

1 [Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad de Guanajuato] | [Kimberley\_lara27@hotmail.com]

2 [Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad de Guanajuato] | [yayapiojolopez@hotmail.com]

3 [Departamento de Ingeniería Civil, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [zamorategui@ugto.mx]

## Resumen

La ciudad de Guanajuato no se establece propiamente como una ciudad industrial, sin embargo, es importante monitorear y conocer los contaminantes emitidos a la atmósfera por fuentes móviles, fijas o naturales que son uno de los principales problemas para la salud pública. Asimismo, es significativo evaluar la dispersión y comportamiento de dichos contaminantes para entender su distribución, a través de factores meteorológicos, tales como, temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, por medio de una rosa de vientos. Se establecieron tres puntos de monitoreo (La Venada, Mina de Rayas y Casa Colorada) y se utilizaron equipos portátiles para la determinación de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) y Material Particulado, para éste último la NOM-025-SSA1-2014 establece dos valores límite para un promedio de 24 horas, cabe mencionar que los puntos muestreados se encuentran dentro lo señalado tanto en PM<sub>2.5</sub> (45 µg/m<sup>3</sup>) como en PM<sub>10</sub> (75 µg/m<sup>3</sup>). Además, se realizó la morfología de la partícula usando Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y un análisis de los principales elementos que componen la partícula con el Detector de Energía Dispersiva (EDS) acoplado a SEM.

## Abstract

Guanajuato's city isn't properly established as an industrial city, but, it's important to monitor and know the pollutants emitted to the atmosphere by mobile, fixed or other sources which are one of the main problems for public health, It's important to evaluate the dispersion and behavior of these pollutants to understand their distribution, through meteorological factors, such as temperature, relative humidity, wind speed and direction, through a wind rose. For that, three monitoring points were identified that were identified as La Venada, Mina de Rayas and Casa Colorada, using portable equipment for the determination of Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) and Particulate Material, for the latter the NOM-025-SSA1- 2014 establishes two limit values for an average of 24 hours, it should be mentioned that the points sampled are within what is indicated in both PM<sub>2.5</sub> (45 µg/m<sup>3</sup>) and PM<sub>10</sub> (75 µg/m<sup>3</sup>). Also, a microanalysis of the particle's morphology was performed using Scanning Electron Microscopy (SEM) and a semiquantitative analysis of the elements that compose the particle from the Dispersive Energy Detector (DED).

## Palabras Clave

Rosa de Vientos; Dióxido de Carbono; Microscopía Electrónica de Barrido; PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>.

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, la actividad humana, la acelerada industrialización y especialmente el consumo de combustibles fósiles, ha liberado grandes cantidades de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero los cuales retienen más calor en las capas inferiores de la atmósfera y alteran el clima mundial. Asimismo, la exposición a los contaminantes atmosféricos como el material particulado, se relaciona con los efectos negativos a la salud humana y éstos dependen de las concentraciones que se encuentran en el aire, entre otros factores.

Por lo cual es importante conocer la calidad del aire y dar a conocer a la ciudadanía el comportamiento y concentraciones de dichos contaminantes. [1]

### Rosa de los Vientos

Se ha empleado para analizar la dispersión de los contaminantes en puntos específicos y así determinar su dirección y su probable afección a la salud humana. [2]

### Humedad Relativa

Es un factor importante en la dispersión de ciertos contaminantes, ya que al tener una atmósfera saturada o muy húmeda puede producir acidificación de los óxidos. Se refiere al contenido de vapor de agua en el aire, el cual indica que tan saturada se encuentra la atmósfera y se mide en porcentaje. [3]

### Dióxido de Carbono

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es uno de los gases de efecto invernadero antropogénico más abundante en la atmósfera y el responsable del aumento del forzamiento radiactivo en los últimos diez años. En la era preindustrial se encontraba a un nivel de 280 partes por millón (ppm) y representaba un equilibrio de flujos entre la atmósfera, los océanos y la biosfera. En 2013 el CO<sub>2</sub> atmosférico alcanzó el 142% del nivel

preindustrial a causa principalmente de las emisiones procedentes de la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento. Igualmente, su aumento medio en los últimos 10 años corresponde al 45% del CO<sub>2</sub> emitido por las actividades humanas, y cerca del 55% restante es eliminado por la biosfera terrestre y los océanos, en estos último produce la acidificación de los mismos.

Las concentraciones típicas de CO<sub>2</sub> al aire libre son de aproximadamente 380 ppm, pero diversos estudios han reportado niveles al aire libre en áreas urbanas de hasta 500 ppm. [4]

### Material Particulado

El material particulado es una mezcla compleja de sustancias en estado líquido o sólido, que permanece suspendida en la atmósfera por periodos variables de tiempo, asimismo las partículas pueden tener un origen natural o antropogénico. De acuerdo con su diámetro aerodinámico, éstas pueden clasificarse en menores o iguales a 10 micras (PM<sub>10</sub>) y en menores o iguales a 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>). El tamaño es un factor importante para caracterizar su comportamiento en la atmósfera y, por tanto, la concentración a la que puede estar expuesta la población, además determina la capacidad de penetración y retención en diversas regiones de las vías respiratorias. [5]

### Microscopía Electrónica de Barrido

El Microscopio Electrónico de Barrido o SEM (Scanning Electron Microscopy), es un instrumento que permite la observación y caracterización superficial de sólidos inorgánicos y orgánicos. Ofrece estudios de morfología y análisis elemental (cualitativo y semicuantitativo) por Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS) a superficies de muestras sólidas y determinación de espesores de recubrimientos, identificación de contaminantes en dispositivos electrónicos, metales, cerámicos, por SEM. [6]

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Zona de estudio

El proyecto se realizó en la ciudad de Guanajuato, Guanajuato, estableciendo tres puntos de monitoreo considerando elevaciones similares, los cuales se identificaron como La Venada, Mina de Rayas y Casa Colorada, se registró la longitud y latitud de cada punto. Asimismo, se consideró un cuarto punto de monitoreo en la zona centro de la ciudad, ubicado en el edificio de la Sede Belén.

### Variables Meteorológicas

Se registraron las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento) usando una estación meteorológica marca Acurite Professional Weather Wenter, modelo 01015 en los tres puntos de muestreo, durante el período de muestreo para posteriormente realizar la rosa de vientos utilizando el software WRPLOT.

### Concentración de Dióxido de Carbono y Material Particulado

La determinación de la concentración de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) en partes por millón (ppm) se realizó en cada uno de los puntos durante 30 minutos por usando un equipo portátil "Monitor De Dióxido de Carbono Registrador 3.5 Medidor Digital" modelo LA-9014.

Simultáneamente se monitoreó la concentración del material particulado en microgramos por metro cúbico (µg/m<sup>3</sup>) a través de un equipo portátil "Air Quality Monitor - Mini Laser para PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> Monitor" modelo SDL607.

Se realizaron 7 análisis por cada punto de muestreo durante todos los días de la semana.

### Análisis morfológico y semicuantitativo

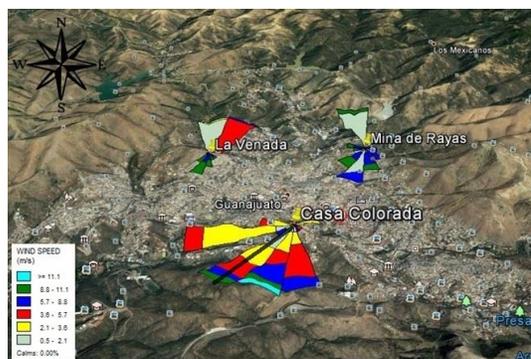
En la primera etapa se colocó un filtro de fibra de cuarzo dentro del equipo "MicroVol-1100 Low Flow rate. Air Sampler" durante un período de 24 horas

en el cuarto punto, Sede Belén. En la segunda etapa, el filtro se trasladó al laboratorio, donde se colocó en el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) modelo JEOL JSM-6010PLUS/LA, posteriormente se analizó la morfología, tamaño y la composición elemental de la muestra obteniendo el espectro electromagnético de la misma.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Zona de Estudio y Variables Meteorológicas

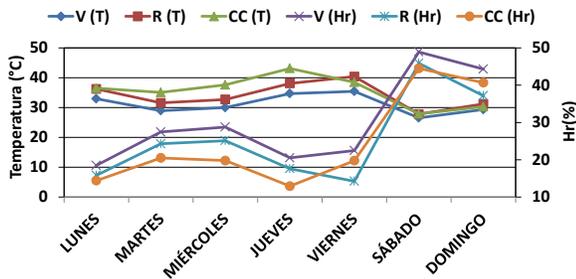
Los puntos de monitoreo se muestra en la Imagen 1 teniendo como coordenadas geográficas: La Venada (Latitud 21° 01' 34.94" N, Longitud 101° 15' 54.59" O), Mina de Rayas (Latitud 21° 01' 40.61" N, Longitud 101° 14' 55.22" O) y Misión Casa Colorada (Latitud 21° 00' 48.18" N, Longitud 101° 15' 25.49" O), con una elevación de 2150m, 2128m y 2129m, respectivamente. De igual manera con las variables meteorológicas (velocidad y dirección del viento) registradas en los tres puntos se elaboró la rosa de los vientos que se muestra en la Imagen 1. Donde se observan variaciones en la dirección del viento, para los puntos La Venada y Mina de Rayas predominan al Norte, mientras que en Misión Colorada predominan al suroeste, con velocidades desde 0.5 m/s hasta 11.1 m/s.



**IMAGEN 1: Rosa de los Vientos de los tres puntos de Muestreo**

En cuanto a los parámetros de Humedad Relativa (Hr) y Temperatura (T) se muestran en la Imagen 2 donde la temperatura muestra una variación de 26.53 °C hasta 43.11 °C. La Humedad relativa muestra un comportamiento de 14.41% hasta

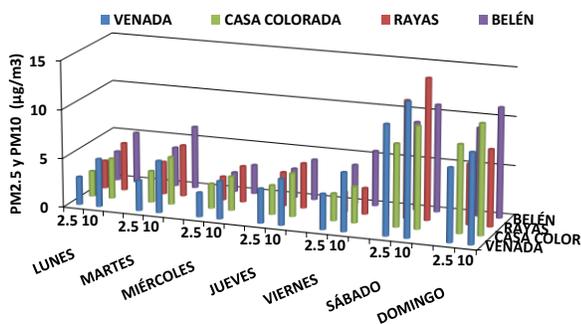
48.90%. En la imagen 2 se puede observar el comportamiento inversamente proporcional entre la temperatura y la humedad relativa.



**IMAGEN 2:** Gráfica de variaciones de Temperatura y Humedad Relativa durante todos los días de la semana

### Material Particulado

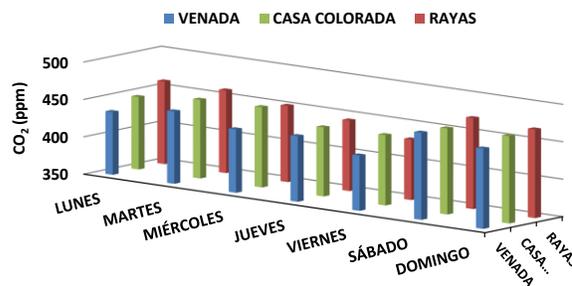
En la imagen 3 se muestran las concentraciones del material particulado en cada uno de los puntos incluyendo la Sede Belén (Zona Centro), se observa que el día con mayor concentración fue el sábado, donde Mina de Rayas era el punto con las concentraciones más altas,  $12\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $14.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; seguido de La Venada con concentraciones de  $11.2\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $13.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ , después Sede Belén con concentraciones de  $9\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $10.9\mu\text{g}/\text{m}^3$  y por último Casa Colorada con las concentraciones menores de  $8.4\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $10.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ , para  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$  respectivamente.



**IMAGEN 3:** Gráfica de concentraciones de  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$  durante todos los días de la semana

### Dióxido de Carbono

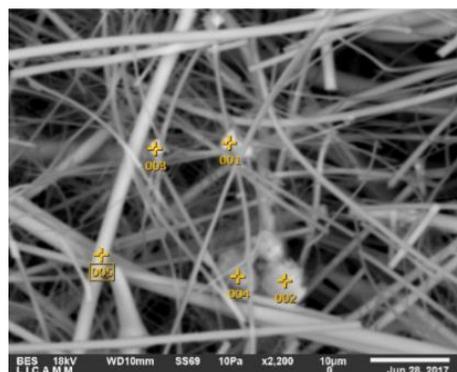
Para el  $\text{CO}_2$  igualmente el día con mayor concentración fue el sábado, donde el punto con mayor concentración de ese día fue Mina de Rayas con 471.42ppm, seguido por La Venada con una concentración de 466.3ppm y al último Casa Colorada con 464.82ppm como se observa en la Imagen 4.



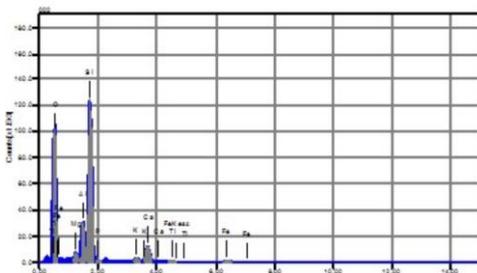
**IMAGEN 4:** Gráfica de concentraciones de  $\text{CO}_2$  durante todos los días de la semana

### Análisis morfológico y semicuantitativo

Las partículas retenidas en el filtro de fibra de cuarzo se analizaron con el Microscopio Electrónico de Barrido, las cuales son amorfas y con un tamaño aproximado de 10 micras, como se muestra en la Imagen 5, de estas se identificó la partícula con mayor número de elementos químicos por medio del espectro EDS, el cual se observa en la Imagen 6.



**IMAGEN 5:** Vista de la muestra tomada el día 28 de junio del 2017 del punto Sede Belén en SEM



**IMAGEN 6: Espectro EDS de la partícula #003**

Los elementos identificados se muestran en la Tabla 1. El oxígeno y silicio se encuentran en mayor concentración por la composición del filtro de fibra de cuarzo con el que se trabajó, en cuanto a los otros elementos hay estudios que mencionan estos elementos como la composición predominante de las partículas de diámetros entre 2.5-10 micras.

**Tabla 1: Elementos presentes en la partícula #003**

Elemento	% Másico
Fósforo (P)	0.19
Hierro (Fe)	2.37
Potasio (K)	0.98
Oxígeno (O)	56.93
Magnesio (Mg)	1.24
Aluminio (Al)	5.58
Silicio (Si)	27.59
Calcio (Ca)	4.95
Titanio (Ti)	0.18

## CONCLUSIONES

Los resultados indican que el material particulado se encuentran dentro de los valores límites máximos permisibles establecidos en la norma oficial, sin embargo, los valores más altos el día sábado en el punto Mina Rayas, obteniendo  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $14.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$ , respectivamente. De igual manera los valores más altos para  $\text{CO}_2$  se registraron el día sábado siendo Mina de Raya el punto con mayor concentración, 471.42 ppm.

Se observa una estrecha relación del aumento de material particulado y  $\text{CO}_2$  con la disminución de la temperatura y el aumento de la humedad relativa.

Es importante continuar con el monitoreo de contaminantes atmosféricos y la composición química de las partículas ya que los elementos observados son en su mayoría metales, los cuales están asociados a propiedades tóxicas para la salud.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Guanajuato y al Dirección de Apoyo a la Investigación y al Posgrado por la aceptación del proyecto de investigación.

A la División de Ingenierías, campus Guanajuato por el apoyo del material y equipo utilizado en el proyecto y al LICAM por el apoyo para el análisis de las muestras con Microscopía de Electrónica de Barrido (SEM).

## REFERENCIAS

- [1] Vega Rangel E. & Martínez Villa G. (2004). Estudio Integral de Partículas atmosféricas en la Cd. De México. México, D.F. Instituto Mexicano del Petróleo, Programa Editorial.
- [2] Ramírez Lara, E., Vivianco Moreno, S. (2007). Análisis de parámetros meteorológicos utilizando el modelo de la rosa de los vientos. Congreso Regional Mayo 2007 UANL 1-2
- [3] Instituto de Ecología del Estado (2014). Estado y Tendencia de la Calidad del Aire. Informe Guanajuato 2014. 17-19. Recuperado de <http://www.ecologia.guanajuato.gob.mx>

[4] Organización Meteorológica Mundial. (2012). Boletín sobre los gases de efecto invernadero. Centro Mundial de Datos sobre Gases de Efecto Invernadero. N° 8, 1-2. Recuperado de <http://www.wmo.int/gaw>

[5] Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación, con la finalidad de proteger la salud de la población. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación, México. 20 de agosto de 2014.

[6] Pineda Aguilar N. (2017) Microscopia Electrónica de Barrido – CIMAV Unidad Monterrey. Recuperado de <http://mty.cimav.edu.mx/sem/>