



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN  
DE INGENIEROS EN LA  
ERA DIGITAL



# **COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE POR PM10 Y PM 2.5 CON LA TEMPERATURA Y PRECIPITACIONES EN UNA ZONA ALEDAÑA A LA UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOSQUE EN BOGOTÁ D.C.**

**María Fernanda Acosta Nieto, Lesly Vanessa Rodríguez Brochero, Ana Isabel Cuitiva Vallejo, Astrid Del Socorro Altamar Consuegra, Juan Antonio Aragón Moreno**

**Universidad Libre  
Bogotá, Colombia**

## **Resumen**

Bogotá es reportada como una de las ciudades con los índices más altos en contaminación atmosférica a nivel nacional, siendo la industria y el transporte de carga pesada los que más aportan a esta problemática. Este estudio presenta una evaluación temporal de la concentración de material particulado menor a 2.5 y 10 micrómetros en la Universidad Libre Sede Bosque Popular, durante la temporada seca en el periodo de junio a septiembre del año 2018, utilizando un muestreador de alto volumen (Hi-Vol) PM10 y uno de bajo volumen (Wilbur) para PM2.5, estos equipos son los encargados de retener las partículas presentes en la atmósfera, de acuerdo al tamaño, utilizando un filtro de cuarzo, el cual se acondiciona para la correcta realización de un monitoreo de calidad del aire. Los datos de temperatura y precipitación para hacer la respectiva comparación son tomados de la Estación de Alto Rendimiento, la cual hace parte de la Red de Monitoreo de la Calidad del aire de Bogotá a cargo de la Secretaría Distrital de Ambiente. Las concentraciones promedio para un tiempo de exposición de 24 horas para PM 2.5 y PM 10 fueron de  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente, comparando los resultados con la norma de calidad de aire vigente (Res. 2254/17), no superaron el límite máximo permisible, lo que está en concordancia con las características del punto de muestreo identificado como una zona de fondo dado que no está afectada directamente por fuentes de emisión.

**Palabras clave:** contaminación atmosférica; material particulado; variables meteorológicas

## **Abstract**

*Bogotá is reported as one of the cities with the highest rates of air pollution at a national level, with industry and heavy cargo transport contributing the most to this problem. This study presents a temporal evaluation of the concentration of particulate material less than 2.5 and 10 micrometers in the Universidad Libre, Bosque Popular, during the dry season in the period from June to September of the year 2018, using a high volume sampler (Hi- Vol) PM10 and one of low volume (Wilbur) for PM2.5. These equipment's are in charge of retaining the particles present in the atmosphere, according to the size, using a quartz filter, which is conditioned for the correct realization of an air quality monitoring. The temperature and precipitation data to make the respective comparison are taken from the Alto Rendimiento Station, which is part of the Bogotá Air Quality Monitoring Network under the responsibility of the Secretaria Distrital de Ambiente. The average concentrations for a 24-hour exposure time for PM 2.5 and PM 10 were 19  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  and 29  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  respectively, comparing the results with the current air quality standard (Res. 2254/17), they did not exceed the maximum permissible limit, which is in accordance with the characteristics of the sampling point identified as a given background area that is not directly affected by emission sources.*

**Keywords:** *atmospheric pollution; particulate material; weather variables*

## **1. Introducción**

Las emisiones que generan las industrias, el transporte o los incendios provocados por altas temperaturas causan lo que se conoce hoy en día como Material Particulado, este es una mezcla de partículas sólidas y líquidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran en suspensión en el aire, su composición es muy variada, ya que se pueden encontrar sulfatos, nitratos, el amoníaco, el cloruro sódico, el carbón y el agua, lo cual pueden influir en diferente magnitud en la salud de las personas, ya que las vías de formación de estas partículas no son de una misma fuente; Es por esta razón que se hace importante evaluar la toxicidad del material particulado  $\text{PM}_{2.5}$  para comprender mejor los efectos en la salud (Bolarza S, et al., 2018).

En el 2018, el estudio realizado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Salud, 2018) presentó unas directrices, donde fijó los valores de límites permisibles en 24 horas, para  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$ , siendo mucho más bajos que los propuestos en la normatividad ambiental para Colombia; allí se evalúa que al reducir las concentraciones de material particulado, disminuirían las problemáticas de Salud.

Los contaminantes atmosféricos y el material particulado son transportados por el aire, formando contaminantes secundarios que son dependientes de la velocidad del viento, la temperatura y las precipitaciones del lugar (Giri & Krishna Murthy, 2008); al igual que un estudio presentado en Hong-Kong, muestra la relación que existe entre las precipitaciones y el material particulado. La temperatura afecta las concentraciones de material particulado, pues ayuda a que más reacciones fotoquímicas se generen con otros contaminantes, caso contrario sucede con la precipitación, pues al tener datos ligeramente altos de precipitación, ayuda a eliminar

contaminantes de la atmósfera, afirma Giri, D., et al, según estudio realizado en el año 1998 en el libro de Seinfeld y Spyros.

Igualmente, se afirma en un estudio realizado en Italia, donde mencionan la relación directamente proporcional que ocurre entre la temperatura y el material particulado, pues a mayor temperatura, se presentaron mayores concentraciones de material particulado (M. Stafoggia., et al, 2008).

En Colombia, se han realizado diversos estudios de Calidad del aire, entre ellos Medellín al destacarse por su topografía, y su gran problemática ambiental, en el 2008 Londoño y Maya, realizaron un estudio de comparación entre partículas finas, conocidas como PM2.5 y partículas respirables (Pm10), donde aseguran encontrar una gran relación entre estas dos, pues al ser directamente proporcionales, se puede indicar que la providencia de ambas partículas puede ser causada por la misma fuente de emisión, basándose básicamente en el transporte de carga pesada y servicio público.

Por otro lado, en Bogotá se desarrolló un proyecto en el mismo punto de monitoreo de la Universidad Libre entre los años 2015 y 2016, por Omar Ramírez et al., donde se obtuvieron datos de Pm10 y su composición química, por eso es fundamental poder comparar este estudio, con el presente, ya que se puede determinar como a lo largo del tiempo se ha venido comportando las concentraciones de material particulado.

Es importante resaltar que, para hacer un estudio de calidad de aire, son necesarios los equipos Hi-Vol para Pm10 y el Wilbur para Pm2.5. De acuerdo a Cesar Arciniegas (2011), el WilBur, es un equipo semiautomático de bajo volumen, el cual cuenta con un ciclón, este remueve el material particulado de la corriente gaseosa, separando partículas con diámetros menores a 2.5 $\mu$ m y eficiencia hasta del 90%; el equipo realiza el monitoreo programándose al día y hora que se quiera, por otro lado, requiere de una parte manual, que hace referencia al post y pre pesaje de los filtros; el HiVol, es un equipo manual de Alto Volumen, pues requiere que la persona encargada del monitoreo, lo programe diariamente, mirando que los parámetros de este, estén correctos para empezar con el muestreo respectivo.

## **2. Materiales y métodos**

La investigación de calidad del aire realizada en la Universidad Libre se desarrolla en 2 etapas: a) Medición de Material Particulado menor a 10 y 2.5 micrómetros; b) comparación de las concentraciones halladas en el punto de muestreo y las variables meteorológicas de la estación de Alto Rendimiento con la literatura.

### **A. Medición de material particulado menor a 10 y 2.5 micrómetros.**

Para la medición de Material Particulado en la Universidad Libre, se utilizó, principalmente dos equipos, entre ellos un Hi-Vol para material particulado menor a 10 micras y un equipo Wilbur, para material particulado menos a 2.5 micras.

Es importante resaltar que para la medición de calidad de aire se tiene en cuenta materiales como, filtros de cuarzo, balanza precisa de 5 cifras, desecador, porta-filtros, teniendo presente que el

laboratorio donde se pesan las muestras debe ser aislado del exterior, para controlar su humedad relativa y su temperatura.

Una vez colocados los equipos en el lugar de monitoreo, como lo especifica el manual de diseño de vigilancia de la calidad del aire (MAVDT, 2010), los filtros de cuarzo se deberán poner en una mufla a 550°C, durante 12 horas (Rincón, 2018), seguido a esto, el filtro se llevará al desecador mínimo por 24 horas, pasado el tiempo respectivo se tomará el filtro con pinzas y se pesará en una balanza de 5 cifras; con esto, el filtro estará listo para llevar a campo y poner en el respectivo equipo.

Para la realización del muestreo con ambos equipos se colocaron los filtros en días intermedios, programándolos para que se encendiera en la media noche y se apagara a las 24 horas, esto se hizo con el motivo de obtener la concentración de material particulado correspondiente a un solo día. Después de las 24 horas de muestreo, el filtro se recogerá en un porta-filtros y se llevará al laboratorio, donde se pondrá de nuevo en el desecador por 24 horas, luego si se realizará el pesaje final del filtro.

Esto se realizó 3 veces a la semana, desde finales de junio hasta finales de septiembre, completando 27 monitoreos en toda la temporada.

Con los dos pesos obtenidos (antes y después del monitoreo), se obtendrá el peso neto ganado del filtro, por otro lado, se deberá calcular el volumen estándar de aire que succiono el equipo durante el monitoreo; con estas dos variables se podrá obtener la concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de material particulado menor a 2.5 o 10 micras.

## **B. Comparación de las concentraciones y las variables meteorológicas de la estación de Alto Rendimiento con la literatura.**

Una vez obtenidas las concentraciones diarias, se compara con la Resolución 2254 de 2017, y otras normas internacionales para saber si han sobrepasado o no los límites permisibles.

Para la respectiva comparación de las concentraciones con las variables meteorológicas, se tendrá en cuenta el método de Pearson, para estudiar la asociación entre estas, identificando si estos datos presentan correlaciones directas o indirectas y así generar su análisis, todo esto con ayuda de la base de datos que se realiza para la ayuda de generación de cálculos y gráficas correspondientes.

## **3. Resultados**

De acuerdo a los datos obtenidos, las concentraciones máximas obtenidas para Pm10 y Pm2.5 fueron de  $47.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $34.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente; con un promedio de  $22.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para Pm10 y  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para Pm2.5.

De acuerdo a la Resolución 2254/17, los Niveles máximos permisibles de Pm10 y Pm2.5 en un tiempo de exposición de 24 horas son de  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente, como se puede observar en la **Tabla 1** las concentraciones obtenidas durante monitoreo en la Universidad Libre no representan ningún riesgo a la salud, pues son inferiores a los Límites permisibles.

**COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE POR PM10 Y PM 2.5 CON LA TEMPERATURA Y PRECIPITACIONES EN UNA ZONA ALEDAÑA A LA UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOSQUE EN BOGOTÁ D.C.**

**Tabla 1.** Concentraciones Material Particulado. ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Monitoreo	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Monitoreo	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	PM10	PM2.5		PM10	PM2.5
<b>1</b>	15,65	-	<b>15</b>	19,41	3,47
<b>2</b>	17,19	-	<b>16</b>	26,00	2,92
<b>3</b>	29,87	15,75	<b>17</b>	35,78	26,14
<b>4</b>	26,52	-	<b>18</b>	22,73	15,53
<b>5</b>	22,08	17,62	<b>19</b>	59,84	38,20
<b>6</b>	13,15	-	<b>20</b>	23,67	21,20
<b>7</b>	11,99	7,15	<b>21</b>	61,42	34,72
<b>8</b>	22,19	8,33	<b>22</b>	54,63	45,51
<b>9</b>	29,40	-	<b>23</b>	47,78	37,28
<b>10</b>	23,27	11,37	<b>24</b>	31,62	23,94
<b>11</b>	17,90	10,05	<b>25</b>	-	18,82
<b>12</b>	18,09	8,06	<b>26</b>	38,50	23,94
<b>13</b>	22,06	-	<b>27</b>	47,28	27,73
<b>14</b>	13,97	8,37			

**Fuente:** Autores del proyecto, 2019.

Sin embargo, las concentraciones de PM2.5 arrojadas para el periodo de monitoreo, estarían sobrepasando las Directrices de la Organización Mundial de la salud (Salud, 2018), pues la media para 24 horas de exposición es de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo que implica que estaría  $14,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por encima de lo que proponen para evitar riesgos a la salud de las personas.

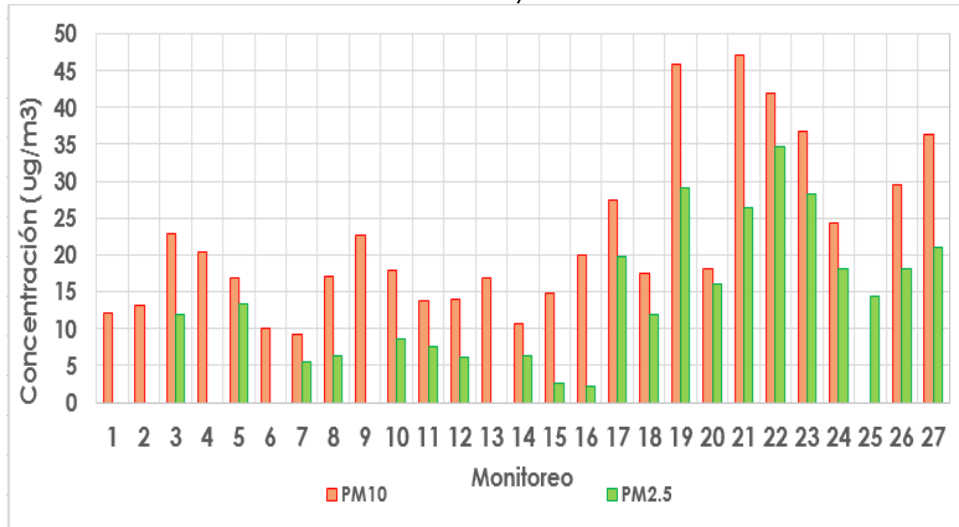
De acuerdo al estudio realizado en el mismo punto de monitoreo, entre junio de 2015 y mayo de 2016 (Catacolí et al., 2018), se determinaron las concentraciones de Material particulado inferior a 10 micrómetros, arrojando un promedio de concentraciones de  $37.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que para este estudio fue de  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , siendo la variación atribuida a los diferentes períodos de medición lo cual está influenciado por las condiciones meteorológicas en cada caso.

Según Londoño, (2008) una relación alta relación de (Pm2.5/Pm10), indica una alta contaminación por (Pm2.5) en relación con (Pm10), esto lo sustentan al poner como referencia la cercanía del parque automotor, sin embargo, al analizar la relación de (Pm2.5/Pm10) con las concentraciones de la Universidad Libre, ocurre algo similar, pues se obtiene una relación del 70%, dando a entender como la cercanía de dos de las vías principales de Bogotá tiene alta relación con la concentraciones de material particulado, una de ellas de gran importancia para transporte de carga pesada y servicio de transporte público como buses.

Se determinó por otra parte el coeficiente de Pearson en relación con las dos variables de estudio, dando un valor de 0.90, lo cual permite afirmar que sería posible predecir los datos de pm2.5 a partir de los datos de Pm10, pues el incremento o reducción de las partículas de Pm10 y Pm2.5 se dan por el mismo fenómeno (Londoño, 2008), en este caso, como se mencionaba anteriormente, se debe a las fuentes móviles del sector, efecto se puede ver en la **gráfica 1**.

**COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE POR PM10 Y PM 2.5 CON LA TEMPERATURA Y PRECIPITACIONES EN UNA ZONA ALEDAÑA A LA UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOSQUE EN BOGOTÁ D.C.**

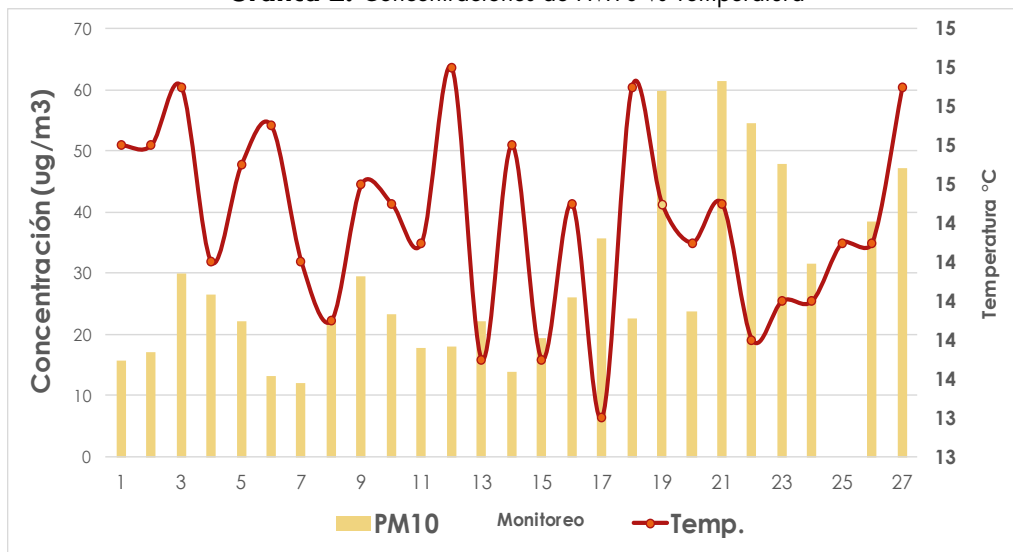
**Grafica 1.** Concentración de PM10 y PM2.5 en la Universidad Libre



Fuente: Autores del proyecto, 2019.

Al realizar la comparación de material particulado con temperatura, primero se evaluó el coeficiente de Pearson, donde los valores fueron muy cercanos a 0, indicado nula relación entre dichas variables, sin embargo, al observar la gráfica 2 y 3, se puede ver el comportamiento indirecto entre estas dos variables, pues es el caso del monitoreo 12 donde una temperatura muy alta, tiende a una disminución de material particulado, mientras que una baja temperatura aumenta las concentraciones, caso contrario presentado en el estudio de Seinfeld y Spyros.

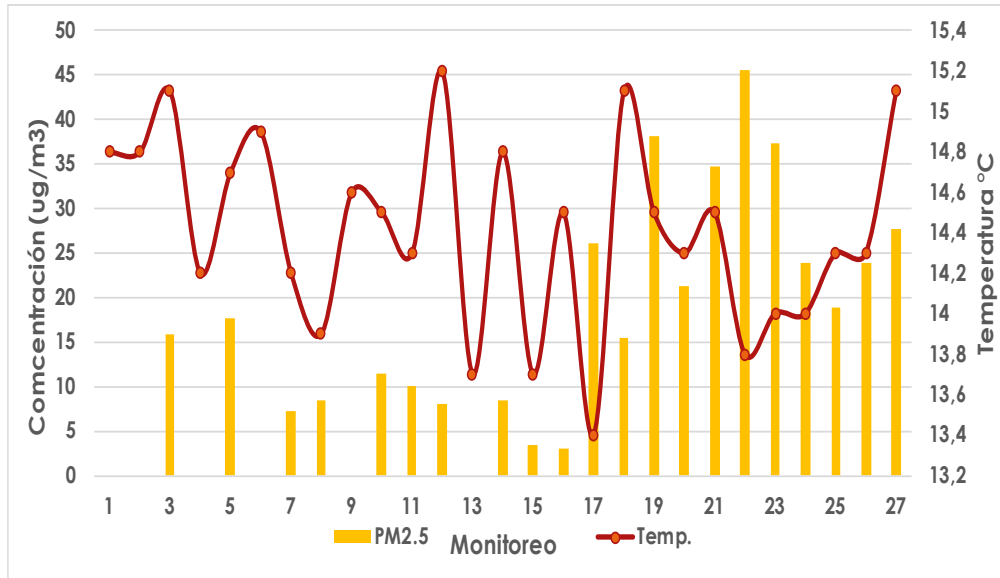
**Grafica 2.** Concentraciones de PM10 vs Temperatura



Fuente: Autores del proyecto, 2019.

**Grafica 3.** Concentraciones de PM2.5 vs Temperatura

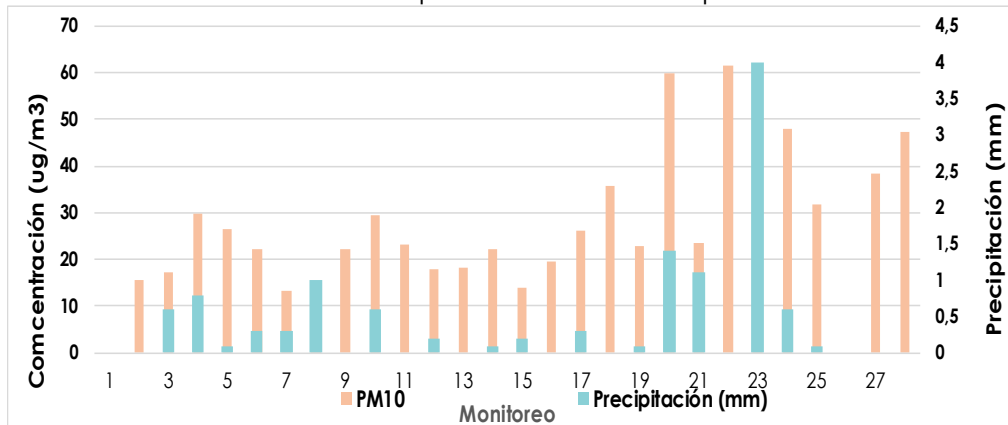
**COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE POR PM10 Y PM 2.5 CON LA TEMPERATURA Y PRECIPITACIONES EN UNA ZONA ALEDAÑA A LA UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOSQUE EN BOGOTÁ D.C.**



**Fuente:** Autores del proyecto, 2019

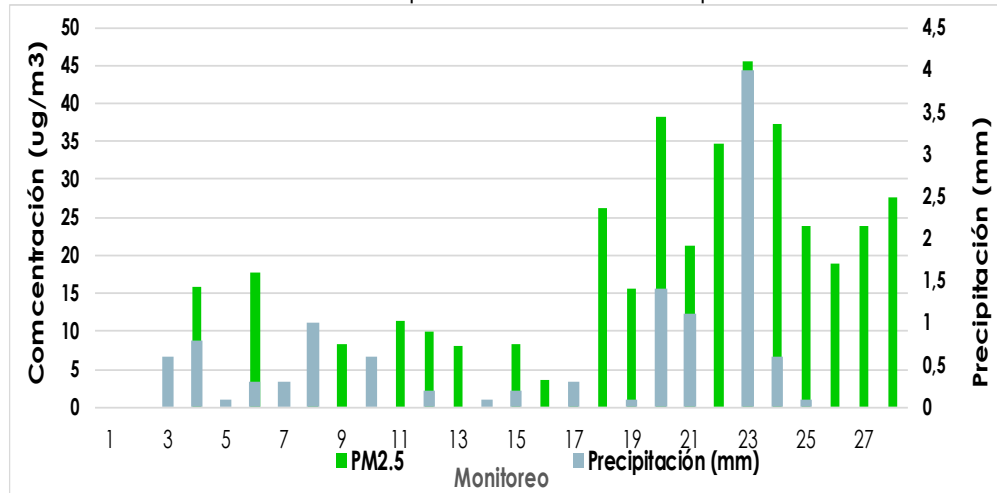
Para la correlación de Pearson con la Precipitación, al igual que con la temperatura, no hay relación directamente proporcional, sin embargo, en algunos días se puede observar que, al aumentar la precipitación, aumentaba la concentración de material particulado, (graficas 3 y 4), a diferencia del caso de Seinfeld y Spyros y el estudio de Hong Kong.

**Gráfica 3.** Comparación de PM10 vs Precipitación.



**Fuente:** Autores del proyecto, 2019

**Gráfica 4.** Comparación de PM2.5 vs Precipitación.



Fuente: Autores del proyecto, 2019.

#### 4. Conclusión

De acuerdo a las concentraciones reportadas en el monitoreo, se logra evidenciar que no sobrepasan el límite permisible de la normatividad, pero que, si están muy cerca de hacerlo, a pesar de ser unas concentraciones mucho menores a las obtenidas en estudios y años anteriores; la relación (Pm2.5/Pm10), se obtiene una relación del 70%, y un coeficiente de Pearson de 90% lo cual permite afirmar que es posible predecir los datos de pm2.5 a partir de los datos de Pm10. Para la relación del PM con respecto a la precipitación y la Temperatura, no se encuentra una relación directa, sin embargo, a diferencia de varios estudios de otros países, las concentraciones tienen un comportamiento diferente, en ambas situaciones se encontró que al subir la temperatura o la precipitación, también aumentaba la concentración, caso que es poco esperado, pues lo normal es que al aumentar la precipitación, por procesos de lavado atmosférico se genera una disminución en las concentraciones de material particulado.

#### 5. Referencias

##### Artículos de revistas

- Arciniegas, C. A. (30 de 11 de 2011). Scielo. Recuperado el 10 de 03 de 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>
- Bolarza S, J. L., Cosep R, E. M., Kim, S., Lee, K., Joo, H., Park, M., . . . Park, K. (2018). Oxidative potential of fine ambient particles in various environments. ELSEVIER.
- Giri, D., & Krishna Murthy, V. a. (2008). The Influence of Meteorological Conditions on PM10 Concentrations in Kathmandu Valley. Int. J. Environ, Res, 12.
- Londoño Carlos, M. G. (2008). Relación entre las partículas finas (PM 2.5) y respirables PM 10) en la ciudad de Medellín. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 12.



- M. Stafoggia, J., Schwartz, F., Forastiere, C., & Peruci. (2008). Does Temperature Modify the Association between Air Pollution and Mortality? A Multicity Case- crossover Analysis in Italy. Original Contribution, 10.
- Rincon, A. (07 de 07 de 2018). Procedimiento de monitoreo. (M. F. Acosta, Entrevistador)
- Ruth A. Catacolí, N. Y. (2018). Chemical composition and source apportionment of PM10 at an urban background site in a highaltitude Latin American megacity (Bogota, Colombia). *Environmental Pollution*, 14.

### **Fuentes electrónicas**

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial -MAVDT-.(2010). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Manual de diseño de vigilancia de la calidad del aire. (2010). Resolución 610
- Salud, O. M. (2 de 05 de 2018). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Calidad del aire y salud: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- World Health Organization. (2016). Recuperado el 28 de Febrero de 2019, de <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng.pdf?sequence=>

### **Sobre los autores**

**María Fernanda Acosta Nieto:** Estudiante de Ingeniería Ambiental, 10 semestre, Universidad Libre. [mariaf-acostan@unilibre.edu.co](mailto:mariaf-acostan@unilibre.edu.co).

**Lesly Vanessa Rodríguez Brochero:** Estudiante de Ingeniería Ambiental, 10 semestre, Universidad Libre. [leslyv-rodriquezb@unilibre.edu.co](mailto:leslyv-rodriquezb@unilibre.edu.co).

**Ana Isabel Cuitiva Vallejo:** Estudiante de Ingeniería Ambiental, 10 semestres, Universidad Libre. [anai-cuitivav@unilibre.edu.co](mailto:anai-cuitivav@unilibre.edu.co)

**Astrid Del Socorro Altamar Consuegra:** Ingeniera Química, Máster en Ingeniería Química, Doctora en Ingeniería Química. [astridd.altamarc@unilibre.edu.co](mailto:astridd.altamarc@unilibre.edu.co).

**Juan Antonio Aragón Moreno:** Ingeniero Ambiental, Máster en Meteorología. [juan.aragonm@unilibre.edu.co](mailto:juan.aragonm@unilibre.edu.co).

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)