

Análisis de la variación de la concentración de PM 2.5 en la ciudad de Guanajuato; Gto.

Armenta M. Daniela,¹ Chávez M. Isabel C.,² Gutiérrez T. Victoria J.,³ Velázquez S. Emily Y.,⁴ Mendoza P. Luis E., Esquivel L. Marcos I., Zamorategui M. Adrián y Delgado G. Xitlali.
Ingeniería Ambiental, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato.
d.armentamares@ugto.mx¹, ic.chavezmendez@ugto.mx², vj.gutierrezteran@ugto.mx³, ey.velazquezsalazar@ugto.mx⁴,
pugalu@ugto.mx, zamorategui@ugto.mx

Resumen

A nivel global la contaminación del aire está adquiriendo mayor importancia por sus efectos a la salud. En Guanajuato como ciudad turística se realiza el monitoreo de la calidad del aire para mantener informada a sus visitantes y la población en general. Se realizó un análisis de la concentración de material particulado y su relación con las variables meteorológicas para el año 2019, 2020 y para el primer semestre del 2021. Los resultados obtenidos muestran que la calidad del aire en la ciudad de Guanajuato es buena. De acuerdo con el número de incendios reportados durante el periodo de estudio la variación de la concentración de PM 2.5 muestran una ligera relación directa, lo mismo sucede en los meses con las mayores temperaturas que favorecen dichos incendios.

Palabras clave: PM2.5; variables meteorológicas; contaminante criterio, incendios forestales.

Introducción

Actualmente la contaminación del aire es un tema que está cobrando mayor importancia por sus efectos a la salud. En grandes ciudades en diferentes países del mundo han implementado sistemas de monitoreo de la calidad del aire para mantener informada a la gente sobre los niveles de contaminación. Entre estas se encuentra la ciudad de Guanajuato que está integrada al sistema de monitoreo del Estado de Guanajuato. (Velasco Alvarado, L. F., 2014).

La ciudad se localiza al Norte con el municipio de San Felipe; al Este con el municipio de Dolores Hidalgo; al Sur con los municipios de Allende, Salamanca e Irapuato; y al Oeste con los municipios de Silao y León. La extensión territorial del Municipio de Guanajuato asciende a 987.28 kilómetros cuadrados. (Secretaría de Seguridad Pública, 2021). Esta ubicación central con respecto a la República resulta estratégica para su desarrollo económico, ya que lo hace un punto articulador carretero, ferroviario y de todo tipo de actividades económicas. (INAFED, 2021).

En la ciudad existen dos tipos de climas, semi cálido en la zona Sur y Sureste y templado subhúmedo en las zonas restantes del Municipio. Alcanza una temperatura máxima de 36°C en verano y una mínima de 3°C en invierno, dándose una temperatura media anual de 18.5°C, a su vez la precipitación pluvial varía de 600 a 840 milímetros anuales, siendo el promedio anual de 697 milímetros. En los meses de julio y agosto se observa una mayor incidencia de lluvias alcanzando un valor de 217 milímetros cada uno (Secretaría de Seguridad Pública, 2021).

Guanajuato como ciudad minera y Joya de América deben su fama y fortuna a las vetas de oro y plata (Gómez, J. G. G., & Rocha, M. I. M., 2015). Además, por ser el principal centro turístico de la región (INEGI, 2017) cuenta con población flotante durante todo el año, rebasando los 194 500 habitantes (INEGI, 2020), esto incrementa el parque vehicular y el flujo de personas, por lo que la demanda de servicios se incrementa, lo que conlleva a un mayor consumo energético y emisiones de contaminantes a la atmósfera. (Velasco Alvarado, L. F., 2014).

Los contaminantes que se emiten a la atmósfera pueden ser gases tóxicos como el monóxido de carbono y material particulado. Este último es una mezcla de sustancias microscópicas que se encuentran suspendidas en la atmósfera en forma líquidas y/o sólidas, emitidas tanto natural como antropogénicamente. Dependiendo del diámetro aerodinámico del material pueden ser de partículas gruesas (PM 10), partículas menores a 10 μm y de partículas finas (PM 2.5), partículas menores a 2.5 μm ; de estas las PM 2.5 por su tamaño permanecen durante mayor tiempo en el aire dispersándose con mayor facilidad generando un mayor riesgo para la salud humana debido a que puede penetrar hasta los alveolos pulmonares (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología, 2011; González y Zamorategui, 2016).

De acuerdo con otras investigaciones sobre monitoreo y análisis del material particulado atmosférico en el centro de la ciudad se han reportado en el 2015 que el promedio de la concentración de PM 2.5 fue de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que está por debajo del límite máximo permisible (12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) establecido en la NOM-025-SSA1-2014 (Secretaría de Salud 2014; Zamorategui et al., 2015). Otro estudio realizado en la zona ladrillera ubicado en la periferia de la ciudad reportaron concentraciones promedio de 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante el día. Lo que indica que la concentración de material particulado varía en función de la zona de estudio ya que en dichas zonas se desarrollan diferentes actividades productivas (González y Zamorategui, 2016). Estudios realizados en la ciudad de Chengdu, China; se reportaron 119 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como concentración promedio de PM 2.5 para el 2011 (Tao et al., 2014). En Europa el promedio anual de PM 2.5 fue de 0.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para una medición realizada en siete estaciones meteorológicas en 5 países durante el periodo de 1998 y 2010 (Barmpadimos et al., 2012). En ciudades de Brasil como São Paulo, Río de Janeiro, Belo Horizonte, Curitiba, Porto Alegre y Recife los promedios anuales de PM 2.5 desde el invierno de 2007 hasta el invierno del 2008 tan solo por emisión vehicular fueron de 28, 17.2, 14.7, 14.4, 13.4 y 7.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente (de Fatima et al., 2012).

Se ha reportado que una de las mayores fuentes de contaminación de material particulado son los incendios forestales donde las concentraciones registradas varían de acuerdo a su ubicación, intensidad del fuego, características topográficas de la zona, y que de acuerdo con las variables meteorológicas como son la velocidad del viento, temperatura, humedad relativa, radiación solar, se puede tener una mayor dispersión o estancamiento de la contaminación generada por estos incendios en la región (Correa, 2020; Scott et al., 2018). Una de las formas de estimar la dirección de la dispersión de los contaminantes es a través del análisis de los vientos con datos estadísticos de intensidad y dirección del viento representado en una rosa de vientos. Una Rosa de Vientos representa la frecuencia de ocurrencia de los vientos en cada una de sus direcciones especificadas y para cada clase de velocidad de viento para una localidad dada y durante un período de tiempo (Folios-Pliego, F., 2012).

Metodología

La información utilizada en esta investigación se obtuvo del monitoreo de material particulado (PM 2.5) y las variables meteorológicas durante el 2019 hasta junio 2021 en la ciudad de Guanajuato. Las variables meteorológicas fueron las siguientes: temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento del viento. Se calcularon los promedios diarios, mensuales y anuales de dichos parámetros usando el programa Excel. Se analizaron la dirección y velocidad del viento por medio de la elaboración de la rosa de vientos en el software WRPLOT View Freeware. Se obtuvo el número de incendios para el municipio de Guanajuato del año 2019 y 2020 de la Secretaría de Seguridad Pública del Estado de Guanajuato (SSPEG, 2019, 2020) y para el año 2021 hasta el mes de abril de lo reportado por la SMAOT y la Dirección de Protección Civil Municipal, para analizar su relación con la concentración de PM 2.5 (SMAOT, 2021; Vázquez, 2021).

Con las variables meteorológicas obtenidas se realizaron las rosas de los vientos de los años 2019 y 2020 usando el software WRPLOT View Freeware, para procesar la base de datos fue necesario ordenarlos en columnas con el año, mes, día, hora, velocidad del viento (Km/h), dirección del viento en grados y la precipitación (mm), enseguida en la barra del menú se seleccionó la opción de herramientas (Tools) e importar desde Excel (Import form Excel). Los resultados obtenidos se graficaron para su análisis y discusión.

La estación meteorológica de la cual se obtuvieron los datos se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas: 21°1'4" N y 101°15'24"O, dicho lugar está ubicado en el centro de la ciudad de Guanajuato, México.



Figura 1. Ubicación de la estación meteorológica.

Resultados y discusión

Promedios anuales de la concentración de PM 2.5

La variación de la concentración de PM 2.5 para los años 2019, 2020 y el promedio de enero-junio del 2021 se muestran en la figura 1. Como se puede observar los promedios 2019 y 2020 son similares con un valor de 13.5 aproximadamente. Sin embargo, para los primeros meses del 2021 se observa un promedio mayor que corresponde a 15.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Este comportamiento se debe a que de acuerdo con los promedios mensuales (Figura 8) se observó que en estos meses la concentración de material particulado es mayor que en el segundo semestre del año, lo cual se explicará más adelante.

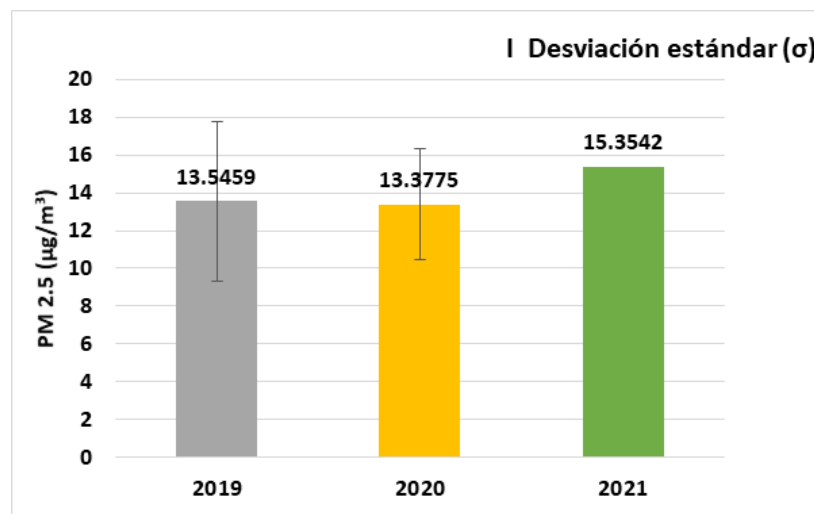


Figura 2. Variación anual de la concentración de PM 2.5 ($\sigma_{2019} = \pm 4.2$, $\sigma_{2020} = \pm 2.9$)

El promedio de esta concentración para el 2021 es de la temporada alta de incendios por lo que no es la concentración final anual. En cuanto al 2020 se observa una situación muy particular pues la concentración de PM 2.5 es ligeramente menor que la de los demás años cuando se esperaría que hubiera disminuido considerablemente debido al cese de actividades que se vivió en este año debido a la pandemia por COVID-19 que implicó que la generación antropogénica del material particulado disminuyera; pero a simple vista en la Figura 2 se observa que las concentraciones del 2019 y 2020 son muy parecidas, lo cual indica que aparentemente la pandemia del COVID -19 tuvo un efecto nulo para el municipio de Guanajuato.

Los promedios para estos años están ligeramente por encima de lo que establece la norma (12 µg/m³). Sin embargo, en base a la desviación estándar para 2019 y 2020 se puede considerar que los promedios anuales se encuentran dentro del rango del límite máximo permisible, esto nos indica que la calidad del aire es aceptable o mejor dicho buena en base a los valores de la desviación estándar obtenidos.

Variación anual de las PM 2.5 vs las variables meteorológicas

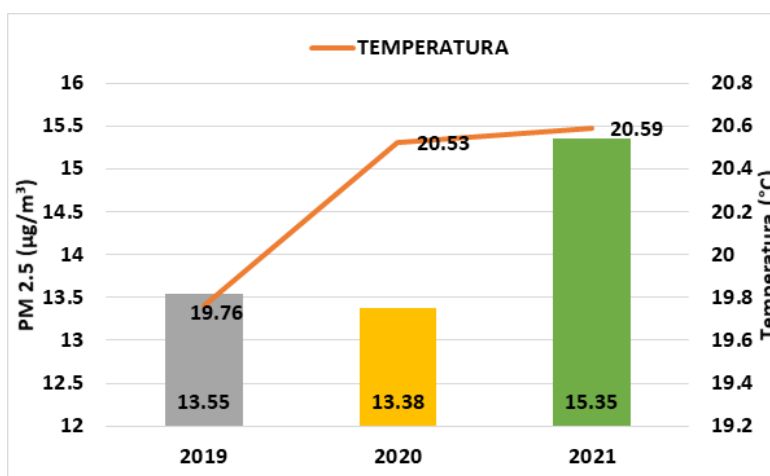


Figura 3. Variación de la concentración de las PM 2.5 vs temperatura

En la Figura 3 se muestra la variación de la temperatura durante el 2019-2020 y parte del 2021. Como se puede ver, la variación de la concentración de las PM 2.5 en el 2019 (13.55µg/m³), y 2020 (13.38 µg/m³) no es significativa en relación con los promedios de la temperatura pues en el 2019 (19.76 °C) y 2020 (20.52°) no se registraron variantes mayores a una unidad. Sin embargo, en la figura 2 se puede observar que el primer semestre del 2021 la temperatura es mayor (20.59°C) comparada con el promedio de los años anteriores, concordando con una mayor concentración de PM 2.5 para este periodo (15.35µg/m³). Este resultado es acorde con lo publicado por Stafoggia (2008), el cual menciona que existe una relación directamente proporcional entre la temperatura y el material particulado, pues a mayor temperatura, se presentaron mayores concentraciones de las PM 2.5.

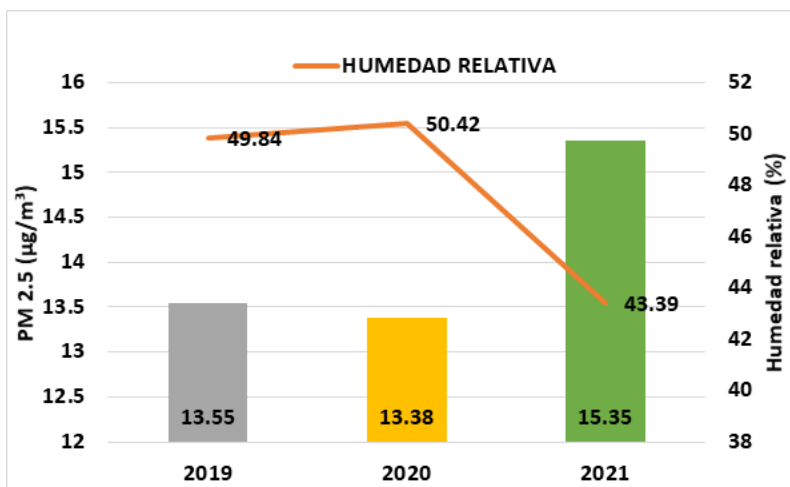


Figura 4. Variación de la concentración de las PM 2.5 vs humedad relativa

En la Figura 4 se observa que la concentración de las PM 2.5 y la humedad relativa son inversamente proporcionales debido a que en el 2020 (50.4204 %), año que presentó una mayor humedad fue el que registró una menor concentración de PM 2.5 (13.38 µg/m³), lo que concuerda con lo reportado en otras investigaciones. (Ayala y Ramos, 2020; Villalba et al., 2018).

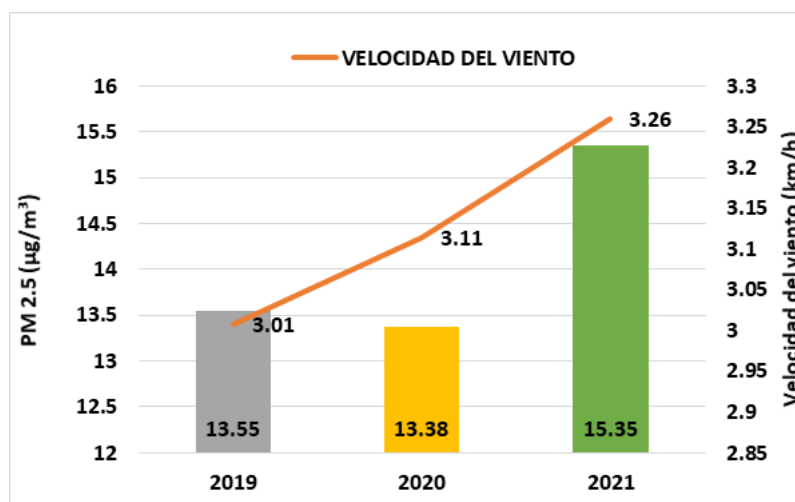


Figura 5. Variación de la concentración de las PM 2.5 vs velocidad del viento

La variación de la velocidad del viento y la concentración de las PM 2.5 durante 2019-2020 y parte del 2021 no presenta un efecto significativo. Sin embargo, se puede ver que a mayor velocidad de viento se tiene menor concentración de PM 2.5 lo que nos indica una relación inversa entre la velocidad del viento y las partículas, esto puede ser debido a que a mayores velocidades del viento favorecen una mejor dispersión de este contaminante. Por otro lado, para el promedio del primer semestre del 2021 se observa que la velocidad del viento incrementa con respecto a 2020 y la concentración es mucho más alta (15.35 µg/m³) para ese periodo del 2021, esto puede ser debido a la aportación de los incendios forestales de PM 2.5 en los meses con mayores temperaturas. (SSPEG, 2021).

Promedios mensuales de la temperatura en el 2019-2021

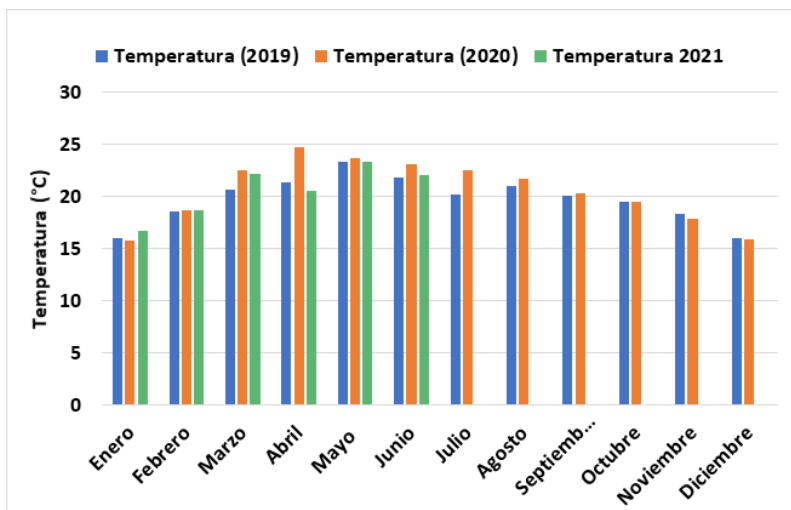


Figura 6. Variación mensual de la temperatura 2019 - 2021

La figura 6 muestra la variación mensual de la temperatura desde el 2019 hasta junio del 2021, se puede observar que para el año 2019 el mes que presentó un punto máximo de temperatura promedio fue mayo (23.36 °C); para el año 2020 fue el mes de abril (24.68 °C) y para enero - junio del 2021 volvió a ser mayo (23.35 °C), en general mayo es el mes que presenta un mayor promedio de temperatura, aunque en el rango de tiempo estudiado, el mes de abril del 2020 fue cuando el promedio de temperatura alcanzó su máximo valor.

Los promedios de temperatura mínimos se dan generalmente en enero y diciembre. Para enero del 2019, 2020 y 2021 se registraron un promedio de temperaturas de 16.01 °C, 15.82 °C y 16.66 °C respectivamente; para diciembre del 2019 y 2020 sus promedios fueron de 16.06 °C y 15.92 °C. El mes con un promedio de temperatura más bajo fue enero del 2020.

Promedios mensuales de la humedad relativa en el 2019-2021

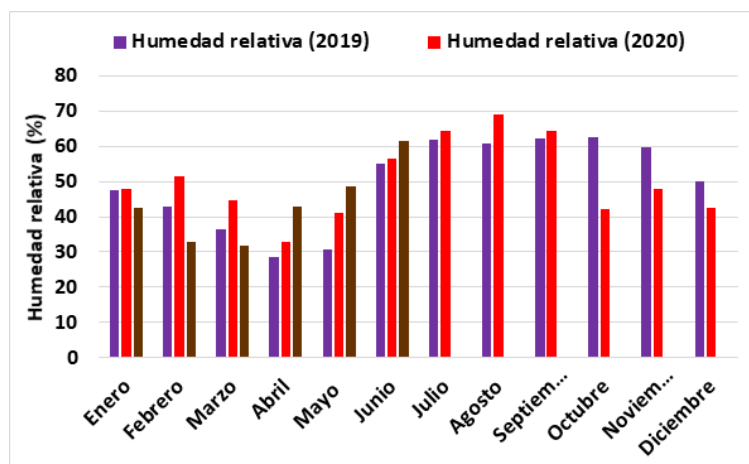


Figura 7. Variación mensual de la humedad relativa 2019 - 2021

La humedad relativa es vapor contenido en la atmósfera como su estado en relación con el de saturación y es expresada en porcentaje. La figura 7 muestra la variación mensual de la humedad relativa desde enero del 2019 hasta junio del 2021, se observa que para el 2019 los meses de septiembre (62.09%) y octubre (62.63%) presentan el promedio de humedad relativa más alto, mientras que para el 2020 el mes de agosto (69.22%) presenta el valor más alto de dicho parámetro. Para enero a junio del 2021, junio (61.6%) fue el mes que obtuvo una humedad relativa mayor.

Los promedios mínimos de la humedad relativa corresponden al mes de abril para el 2019 y 2020 (28.64% y 32.77% respectivamente) mientras que, para enero - junio del 2021 es marzo con el mínimo del 31.63% de humedad relativa.

Promedios mensuales de la velocidad del viento en el 2019-2021

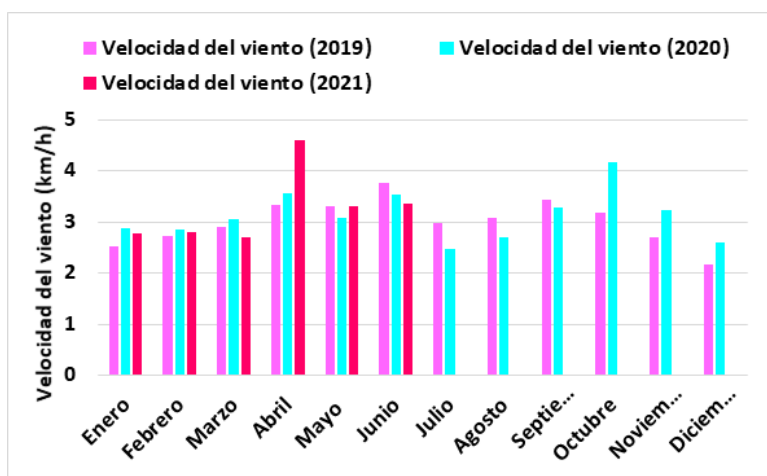


Figura 8. Variación mensual de la velocidad del viento 2019 - 2021

Mientras mayor sea la velocidad del viento menor será la concentración de contaminantes. El viento diluye y dispersa rápidamente los contaminantes en el área circundante, según Moreano & Palmisano (2012). La figura 8 muestra la variación mensual de la velocidad del viento desde el 2019 hasta junio del 2021. Para el 2019 el mes de junio presentó una mayor velocidad de viento (3.75 km/h) y para el 2020 fue el mes de octubre (4.16 km/h). De enero a junio del 2021 el mes de abril fue donde hubo mayor velocidad de viento, en general desde enero 2019 hasta junio 2021, abril del 2021 fue el mes con mayor velocidad de viento (4.6 km/h).

Los promedios mínimos mostrados en la figura 8 indican que diciembre es el mes con menor velocidad de viento para el 2019 (2.17 km/h), para el 2020 es julio (2.46 km/h) mientras que, de enero a junio del 2021 es marzo (2.7 km/h).

Promedios mensuales de las PM 2.5 en el 2019-2021

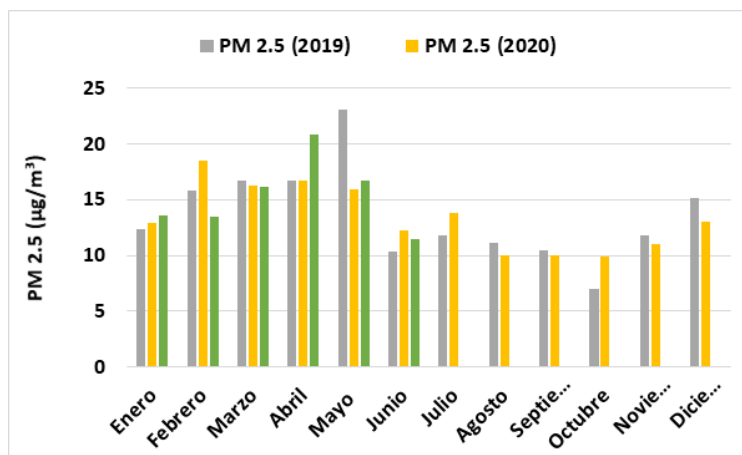


Figura 9. Variación mensual de la concentración de las PM 2.5 (2019 - 2021)

La figura 9 muestra la variación mensual de la concentración de las PM 2.5 de enero del 2019 hasta junio del 2021. Para 2019 fue mayo donde hubo un promedio mayor de concentración de material particulado (23.1 µg/m³), para el 2020 fue febrero (18.47 µg/m³), mientras que, para enero a junio del 2021 fue en abril (20.83 µg/m³), en general, de todos estos meses fue mayo del 2019 el que obtuvo un promedio más alto.

Los promedios mínimos para el año 2019 el mes de octubre es cuando hay un promedio menor (7 µg/m³) de la concentración de dichas partículas, mientras que para el 2020 los promedios mínimos se dan en agosto (9.99 µg/m³), septiembre (10 µg/m³) y octubre (9.96 µg/m³), además, para el año 2021 el mes con menos concentración de PM 2.5 es junio (11.46 µg/m³). De estos años el mes de octubre del 2019 presentó una menor concentración de dicho parámetro.

Variación de la concentración de las PM 2.5 vs la humedad relativa

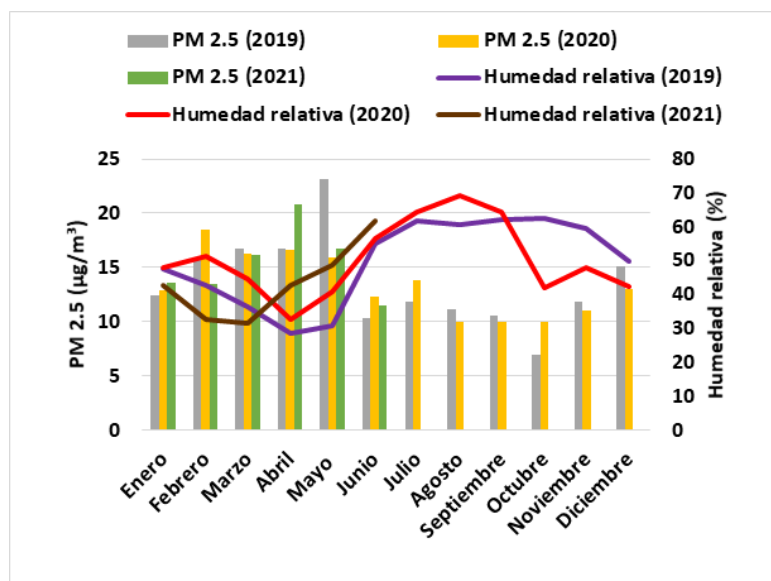


Figura 10. Efecto de la humedad relativa vs la concentración de las PM 2.5

En la Figura 10 se puede observar para el 2019 el mes de octubre es el de mayor humedad relativa (62.64%) y también fue el que presentó la menor concentración de PM 2.5 ($7 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En el 2020 el mes de mayor humedad fue agosto con 69.23% y concentración PM 2.5 de $9.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, para el 2021 el mes con mayor humedad relativa de los meses registrados fue mayo con 61.60% y concentración de PM 2.5 de $11.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto muestra que la concentración de material particulado y la humedad relativa se encuentran inversamente relacionadas pues los meses con mayor humedad fueron los meses donde se registró menor concentración de PM 2.5 en los tres años analizados como se han obtenido en otras investigaciones (Ayala y Ramos, 2020; Villalba et al., 2018).

Variación de la concentración de las PM 2.5 vs la velocidad del viento

De acuerdo con la figura 11 la velocidad del viento se mantuvo por encima de 2 km/h durante el 2019, 2020 y 2021. En 2020 la mayor velocidad de viento se registró en octubre y a su vez en ese mes se reportó la menor concentración de PM 2.5. Este comportamiento no se presenta en 2019 y 2021, sin embargo, en los meses con menor velocidad de viento se presentan mayores concentraciones de material particulado menor a $2.5 \mu\text{m}$ y viceversa, de acuerdo con este comportamiento se puede observar la relación entre las PM 2.5 y la velocidad del viento, se mantiene una relación inversamente proporcional.

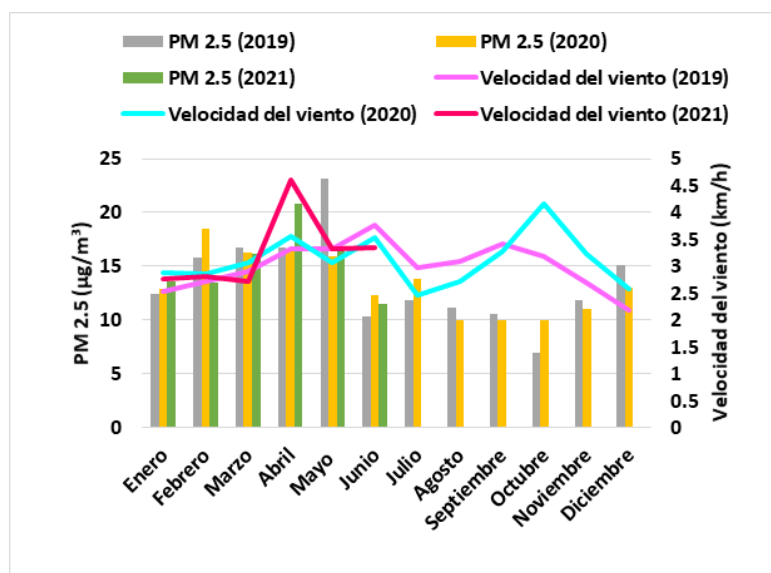


Figura 11. Efecto de la velocidad del viento vs la concentración de las PM 2.5

Variación de la concentración de las PM 2.5 vs temperatura

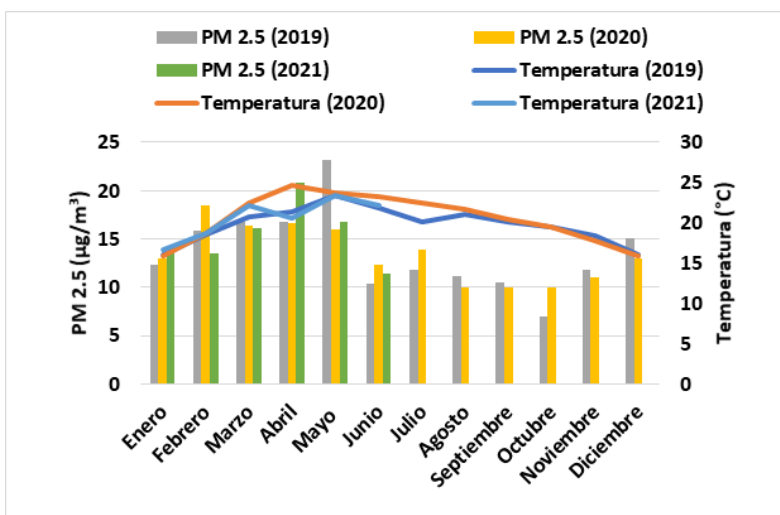


Figura 12. Efecto de la temperatura vs la concentración de las PM 2.5

Como se observa en la figura 12 los meses de marzo a mayo fueron los que reportaron mayor temperatura promedio mensual, así mismo, en esos meses se presentaron las mayores concentraciones de material particulado, sin embargo, no se puede definir un comportamiento o relación directamente proporcional ya que en febrero del 2020 se reportó la mayor concentración de PM 2.5 lo que se puede deber a otras variables climáticas como la velocidad del viento y humedad relativa. Si bien, no se puede concluir que exista una relación específica entre el material particulado y la temperatura se puede observar que en los meses en los que se presenta un cambio abrupto de temperatura también se presenta ese comportamiento en la concentración de PM 2.5, ejemplo de ello es la disminución en la temperatura de mayo a junio, lo que resulta en una variación en la concentración del material particulado, el cual también disminuye.

Rosa de los vientos

Una Rosa de Vientos es un diagrama que representa la intensidad media del viento en diferentes sectores en los que divide el círculo del horizonte. En este caso se efectuaron 12 divisiones. Al analizar el gráfico de la rosa de vientos para el 2019 se logra observar que el viento dominante fue en dirección del NNE (nor noreste) y que mayormente estos vientos estuvieron en el rango de 0.5 m/s a 5.70 m/s, con un vector en dirección al SSE (sud sudeste) Noreste. Además, la velocidad promedio del viento fue de 3.14 m/. Finalmente, se tiene que los vientos más frecuentes estuvieron en el rango de 0.5 m/s a 2.10 m/s.

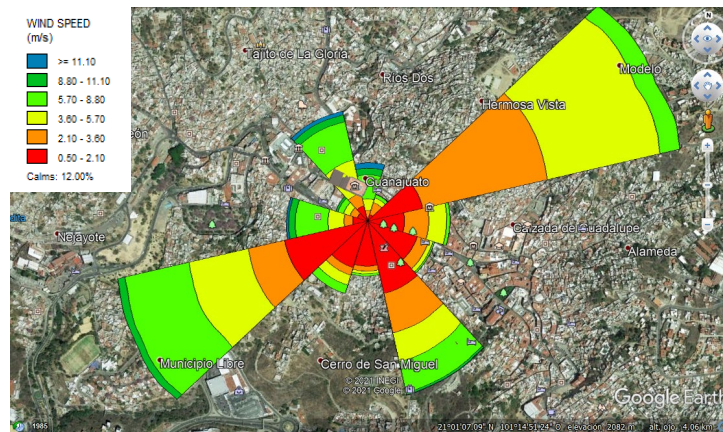


Figura 13. Comportamiento de los vientos en Guanajuato en 2019, vector de flujo en dirección a donde sopla el viento.

Para el año 2020 el gráfico de la rosa de vientos fue muy similar a la del 2019 con viento dominante en dirección del NNE (nor noreste). Además, la velocidad promedio del viento fue de 3.46 m/s. Los vientos más frecuentes estuvieron en el rango de 0.5 m/s a 2.10 m/s como en 2019.

Efectos de los incendios forestales vs la concentración de las PM 2.5

De acuerdo con la figura 15, aparentemente no hay una aportación significativa de los incendios a la concentración de PM 2.5 de acuerdo con los años 2019 y 2020 donde las concentraciones fueron muy parecidas, sin embargo, 2019 es ligeramente mayor que 2020 lo que va en relación con el mayor número de incendios de cada año. Es importante tomar en cuenta que la aportación de material particulado depende de muchos factores como es la intensidad del fuego, duración, ubicación, dirección del viento, área afectada, entre otros, además considerar que la mayoría de estos incendios en el municipio de Guanajuato generalmente suceden en la periferia de la ciudad donde se encuentran las zonas forestales y pastizales y que las mediciones de las variables meteorológicas se llevaron a cabo en la zona centro. En el 2021 es más evidente la influencia de los incendios en la concentración del material particulado pues tan solo hasta el mes de abril ya ha habido 6 incendios forestales y la concentración es notablemente más alta que los años anteriores.

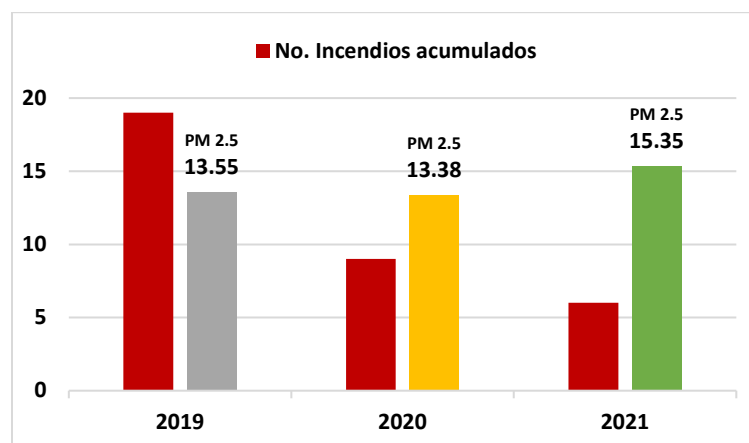


Figura 15. Variación de la concentración de las PM 2.5 vs número de incendios

Conclusiones

Los valores la desviación estándar de los promedios anuales muestran que la calidad del aire es buena al encontrarse dentro del rango del límite máximos permisible establecido por la norma oficial mexicana. Si solamente se considerara los promedios anuales sin un análisis estadístico adecuado, los promedios para los tres años superan ligeramente el límite máximo permisible que establece la NOM-025-SSA1-2014 (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Por ello, es necesario que se continúe con el análisis estadístico más profundo de los datos para tener una mejor precisión sobre la calidad del aire y con ello establecer medidas correctivas en caso de ser necesarias.

La concentración de PM 2.5 varía de acuerdo con las estaciones del año en relación con las condiciones climatológicas. Existe una relación directa entre la temperatura y la concentración de material particulado menor a 2.5 μm , además se observó una relación inversamente proporcional entre las PM 2.5 y la humedad relativa, mismo comportamiento que se presenta con la velocidad del viento.

Bibliografía

- Ayala, D. M., & Ramos, R. S. L. (2020). Condiciones meteorológicas y material particulado PM10 y PM2. 5 en la construcción del hospital Hipólito Unánue, Tacna 2019. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 2(01), 276-285.
- Barmadimos, I., Keller, J., Oderbolz, D., Hueglin, C., & Prévôt, A. S. H. (2012). One decade of parallel fine (PM 2.5) and coarse (PM 10-PM 2.5) particulate matter measurements in Europe: trends and variability. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(7), 3189-3203.
- Correa García, A. (2020). Contaminación atmosférica por incendios forestales en Morelia, Michoacán. *Ciencia Nicolaita*, (80), 56-75. Recuperado a partir de <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/articulo/view/511>
- de Fatima Andrade, M., de Miranda, R. M., Fornaro, A., Kerr, A., Oyama, B., de Andre, P. A., & Saldiva, P. (2012). Vehicle emissions and PM 2.5 mass concentrations in six Brazilian cities. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 5(1), 79-88.
- Folios-Pliego, F. (2012). Manual básico: Lenguaje R aplicado al Análisis de Datos de Calidad del Aire.
- Gomez, J. G. G., & Rocha, M. I. M. (2015). Turismo y Patrimonio. Caso: Ciudad de Guanajuato. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 1(2), 936-940.
- INAFED. (2021). Guanajuato. junio 27, 2021, de Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal Sitio web: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM11guanajuato/mediofisico.html>
- INEGI. (2017). Información sobre Guanajuato. junio 27, 2021, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía Sitio web: https://www.inegi.org.mx/eventos/2017/imputacion/doc/info_gto.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). División municipal. Guanajuato. julio 12, 2021, de INEGI Sitio web: http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/gto/territorio/div_municipal.aspx?t
- Kelleher, S., Quinn, C., Miller-Lionberg, D., & Volckens, J. (2018). A low-cost particulate matter (PM 2.5) monitor for wildland fire smoke. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(2), 1087-1097.
- Moreano, D. I., & Palmisano, A. S. (septiembre de 2012). Nivel de afectación de la contaminación atmosférica y sus efectos en la infraestructura del campus universitario debido a la emisión de partículas PM10 y CO.
- Pm, P. M. Y., La, C. O. N., Fernanda, M., Nieto, A., Vannessa, L., Brochero, R., Isabel, A., Vallejo, C., Del, A., Altamar, S., & Aragón, J. A. (n.d.). PRECIPITACIONES EN UNA ZONA ALEDAÑA A LA UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOSQUE EN BOGOTÁ.
- Rojano, R., Perez, J., & Freyle, E. (2012). Effect of relative humidity in determining PM10 using a DataRam 4 in coastal region of Colombia. *Revista Técnica Ingeniería Universidad del Zulia*, 35(2), 1-9.
- Secretaría de Salud (2014). NORMA Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2. 5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación. Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos. -Secretaría de Salud. MEXICANOS, P., FEDERAL, G. D. D., DE MÉXICO, G. D. E., & DE GUANAJUATO, G. D. E
- Secretaría de Seguridad Pública (SSP). (2021). Fenómeno Socio-organizativo, Guanajuato. julio 10, 2021, de Gobierno del Estado de Guanajuato Sitio web: https://dga-ssp.guanajuato.gob.mx/atlas/so/so_guanajuato.pdf

- Secretaría de seguridad Pública del Estado de Guanajuato (SSPEG). (2021). Programa Estatal de Protección Civil (Plan de Contingencias) para la Atención de Fenómenos Químico-Tecnológicos originados por la Temporada de Prevención, Combate, Control y Extinción de Incendios Forestales y de Pastizales 2021, en el contexto de la pandemia originada por el SARS-CoV-2/COVID-19. *Secretaría de seguridad Pública del Estado de Guanajuato*.
- Secretaría de Seguridad Pública del Estado de Guanajuato. SSPEG (noviembre 2019). "Programa Estatal de Protección Civil (Plan de Contingencias) para la Atención de Fenómenos Químico-Tecnológicos originados por la Temporada de Prevención, Combate, Control y Extinción de Incendios Forestales y de Pastizales 2020". *Secretaría de seguridad Pública del Estado de Guanajuato. Subsecretaría de Seguridad. Coordinación de Protección Civil*. Recuperado de: https://drive.google.com/file/d/1-PoF33b_jt80Y47J3L_PnoMOLTsqccc/view
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología. (2011). Guía metodológica para la estimación de emisiones de PM2.5, Primera Edición, 33, 34(1).
- SMAOT (2021) NOTICIAS. *Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial de Guanajuato, Gobierno del Estado*. Recuperado de: <https://boletines.guanajuato.gob.mx/category/smaot/>
- Tao, J., Gao, J., Zhang, L., Zhang, R., Che, H., Zhang, Z., ... & Hsu, S. C. (2014). PM 2.5 pollution in a megacity of southwest China: source apportionment and implication. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(16), 8679–8699.
- Vázquez, L. (2021). Incendios forestales en Guanajuato capital han dejado más de 780 hectáreas afectadas. *Periódico Correo*. <https://periodicocorreo.com.mx/incendios-forestales-en-guanajuato-capital-han-dejado-mas-de-780-hectareas-afectadas/>
- Velasco Alvarado, L. F. (2014). *Contribución al mejoramiento de la calidad de aire en la ciudad de Guayaquil* (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial.).
- Villalba, D., Fajardo, E., & Romero, H. (2018). Relación entre el material particulado PM10 y variables meteorológicas en la ciudad de Bucaramanga-Colombia: Una aplicación del análisis de datos longitudinal. In *XXVIII Simposio Internacional de Estadística*.