

Incendios y concentración de partículas (PM_{2.5}) en la ciudad de Guanajuato

Fires and concentration of particles (PM_{2.5}) in the city of Guanajuato

Adrián Zamorategui M.¹, Yahir Ávila H.², Selena Gómez F.², Luz Serrano C.², Marlene Vega L.², Lirio Yamada C.², Oscar Coreño Alonso¹

¹Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Guanajuato, Gto., México

²Ingeniería Ambiental, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Guanajuato, Gto., México
zamorategui@ugto.mx¹, cy.avilahernandez@ugto.mx², fs.gomezfonseca@ugto.mx², le.serranocastellanos@ugto.mx², m.vegaluna@ugto.mx², ladr.yamadadelacruz@ugto.mx²

Resumen

Los incendios forestales han tomado una gran importancia por la contaminación que genera en forma de gases y partículas (PM_{2.5} y PM₁₀), que afecta la salud de las personas y contribuyen al cambio climático. Los incendios generados se desarrollan en la interfaz urbana forestal los cuales duplican en cantidad y área afectada a los registrados por la comisión nacional forestal (CONAFOR) se realizaron monitoreos de concentración de partículas PM_{2.5} y variables meteorológicas en incendios generados en la periferia de la ciudad de Guanajuato, se encontró que la velocidad y dirección del viento son determinantes en la dispersión de los contaminantes o sus estancamientos. El incendio de la Sierra de Codornices (La Saucedá) con duración de cuatro días no afectó en la calidad de aire debido a estas variables meteorológicas en comparación con el incendio del sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos de Guanajuato el cual tuvo efectos negativos en la calidad de aire.

Palabras clave: Incendios; PM_{2.5}; Interfaz urbano forestal; Clima.

Abstract

Forest fires have gained great importance due to the pollution they generate in the form of gases and particles (PM_{2.5} and PM₁₀), which affect people's health and contribute to climate change. The fires generated in the urban forest interface are doubled in both quantity and affected area compared to those registered by the National Forestry Commission (CONAFOR). Upon monitoring of concentration of PM_{2.5} particles and meteorological variables in fires generated in the periphery of the city of Guanajuato, it was found that wind speed and direction are determinants in the dispersion or stagnation of pollutants. The fire of La Sierra de Codornices (La Saucedá), which lasted four days did not affect the quality of air due to these meteorological variables compared to the fire of the Urban solid waste final disposal site of Guanajuato which had negative effects on air quality.

Introducción

Los incendios forestales son tanto un efecto como una causa del calentamiento global y los cambios de uso del suelo, los cuales están aumentando en todo el mundo en frecuencia, gravedad y duración. El Programa Medioambiental de Naciones Unidas ha reportado que los incendios forestales se han incrementado en varios países como Estados Unidos, Siberia, India, Brasil y Australia. Así, El riesgo en la generación de incendios forestales aumenta en condiciones extremadamente secas, como sequías, olas de calor y vientos fuertes (OMS, 2021).

Los incendios han existido siempre como una dinámica natural de un ecosistema, considerados como un fenómeno complejo e impactando aspectos ecológicos, sociales, políticos y económicos. Los impactos generados por éstos están relacionados a diversos factores como son la vegetación, los combustibles, la topografía y los parámetros meteorológicos. Las variables climáticas delimitan el tipo de vegetación natural y su nivel de inflamabilidad (Almanza, 2004). Así, el riesgo de que se produzcan incendios forestales en una

determinada zona se relaciona en buena medida por los efectos combinados de variables meteorológicas (precipitación, humedad relativa, temperatura y el viento) sobre la humedad y temperatura de los combustibles vegetales de menor tamaño (hojas, ramillas finas, ramas). La humedad relativa a escala diaria y la humedad de los combustibles son los factores que determinan la probabilidad de que ocurra un incendio forestal de forma natural (Garnica, 2022).

Por otro lado, los cambios de uso de suelo generados en la interacción de las zonas agrícolas y forestales con los asentamientos humanos han dado lugar a la configuración de la interfaz bosque ciudad. Esta interfase urbano-forestal es una combinación de usos residenciales productivos recreativos y otros usos en un área periurbana, en donde las temperaturas son más elevadas. Las comunidades y los ecosistemas a menudo crean un mayor riesgo de incendios catastróficos. Esto se debe a la cantidad de combustible que se acumula en la interfaz el cual puede incluir vegetación silvestre, edificios, infraestructura y cualquier cantidad de otros elementos y materiales. Este tipo de incendios antropogénicos son más difíciles de combatir por la gran cantidad de estructuras que hace que sean casi imposible de extinguir emitiendo gran cantidad de contaminantes al aire que impacta la salud de las personas y animales (Lemoine et al., 2022).

Por otro lado, la contaminación del aire generada en las grandes urbes derivada de sus actividades, comparada con la generada por los incendios forestales tiene características diferentes las cuales no podemos prever ya que esta contaminación es esporádica. Se ha reportado que la dispersión o acumulación de los contaminantes está condicionada a las variables meteorológicas (Temperatura, precipitación, humedad relativa y viento). Por consiguiente, la concentración de los contaminantes en forma de gases o partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$) emitidos por los incendios dependerá de las condiciones climatológicas de la zona (Wang et al., 2025). Se ha encontrado que la formación de partículas es catalizada a altas temperaturas e inversamente. Además, en épocas de sequías y el aumento de las temperaturas favorece a la generación de incendios forestales, teniendo como consecuencia un incremento en la concentración de material particulado en el aire. Por otro lado, la precipitación también influye directamente en la disminución de la concentración de partículas generando la deposición húmeda. Adicionalmente, durante la lluvia se favorece el incremento de la humedad relativa y con ello el tamaño de las partículas generando su deposición. El viento genera arrastre de contaminantes en la atmosfera dentro de un cierto rango geográfico, favoreciendo su dispersión hacia otras zonas (Wang et al., 2025)

Metodología

Se utilizó la página de la Comisión Nacional Forestal y las redes sociales de brigadistas voluntarios (Brigada rural voluntaria) para la investigación de los incendios forestales generados durante el 2022 y lo que va del 2023. Se realizaron monitoreos de partículas $PM_{2.5}$ en diversos puntos de la periferia de la ciudad de Guanajuato durante los meses de abril y mayo con el objeto de determinar la concentración de las partículas $PM_{2.5}$. Algunos incendios del 2023 se detectaron en la comunidad del El Tinaco, Cristo Rey, La Saucedá (Las Codornices), Paso de Perules y un caso de contingencia ambiental fue el tiradero municipal de residuos de manejo espacial. Para el monitoreo de las partículas $PM_{2.5}$ se contó con el apoyo de la estación de monitoreo ubicada en el edificio de la Unidad Belén que utiliza un equipo marca MetOne Instruments Model **BAM 1020** cumpliendo con los estándares internacionales avalados por la Agencia Ambiental de los Estados Unidos de Norte América (EPA). Para el monitoreo en campo se utilizó un equipo portátil con registro de datos por segundo (SDL607 laser indoor air quality monitor). El monitoreo de las variables meteorológicas (velocidad y dirección del viento y temperatura) se realizó con una estación portátil marca AcuRite Professional Weather, modelo 01015. Para la elaboración de la rosa de vientos se utilizó el software WRPlot.

Resultados y discusión

Resultado de la investigación realizado sobre los incendios desarrollados en la interfaz Urbano- Forestal del municipio de Guanajuato se encontraron registros de 12 incendios para el 2022 con un área afectada de 720 ha y 10 incendios hasta el mes de junio de 2023 con 467 ha afectadas. Por su magnitud y el lugar en el que se desarrollan estos incendios no son atendidos por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), por tal motivo algunos no son reportados en su página. El tipo de vegetación afectada en estos incendios fue hojarasca, pastizal, arbustos o matorral, residuos agrícolas, bosque de encino. Los incendios reportados por la CONAFOR fueron 5 en el 2022 con un área afectada de 303 ha y 8 incendios en el 2021 con 323 ha. Esto nos indica que los incendios y las áreas afectadas no reportados duplican a los reportados por la CONAFOR pudiendo contribuir a una mala calidad del aire en las ciudades (CONAFOR, 2023).

Incendio en la comunidad El Tinaco

En la Figura 1 se muestra el incendio desarrollado en la comunidad del Tinaco el día 09 de abril del 2023, el cual tuvo una duración de 2 horas aproximadamente, observándose pastizal como vegetación predominante. Asimismo, la dispersión del humo ($PM_{2.5}$) generado por el incendio va en dirección del viento al Noreste (Fig. 4). La variación de la concentración de las partículas registradas a 500 metros de distancia en dirección del viento se muestra en la Figura 2. La máxima concentración de $PM_{2.5}$ registrada a 500 metros fue de $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para un periodo de monitoreo de 30 minutos a las 13:30 horas.

Contrastando esta concentración ($300 \mu\text{g}/\text{m}^3$) con la registrada por la estación de monitoreo ubicada en la zona centro de la ciudad que fue de $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aproximadamente, se puede decir que la tasa de emisión de contaminantes generada por el incendio y el tiempo (1 hora) que tardaría en llegar al centro de la ciudad no afectó la calidad del aire. Además, en la Figura 3 se observa que para ese día y el día posterior del incendio no se ve ninguna perturbación notable en la concentración de $PM_{2.5}$ al no sobrepasar la concentración de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ indicada para una buena calidad del aire (NOM-172-SEMARNAT-2019). Este efecto se puede atribuir al comportamiento de la dirección del viento, observándose que el vector resultante se orientaba hacia el noreste y la ciudad se ubica hacia norte, además de la distancia en que se encuentra la ciudad permitió que la concentración disminuyera a mayores distancias.



Figura 1. Incendio de la comunidad El Tinaco

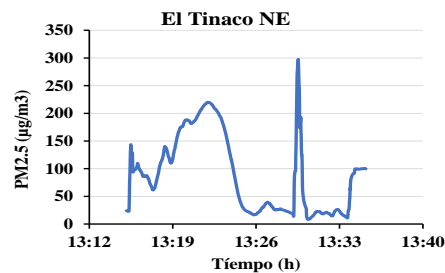


Figura 2. Medición a 500 m del incendio

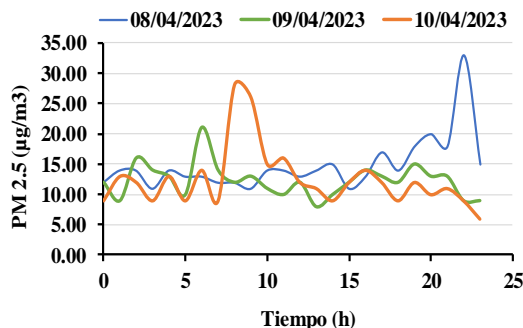


Figura 3. Variación de la concentración de $PM_{2.5}$ registradas en el centro de la ciudad

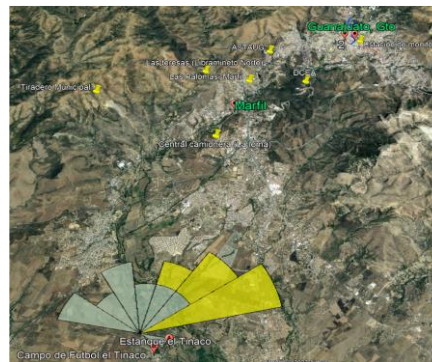


Figura 4. Rosa de vientos 09/04/2023

Incendio en Ladera de Cristo Rey

En la Figura 5 se muestra el incendio desarrollado en la ladera de la montaña de Cristo Rey el día 09 de abril del 2023 con duración de 2 horas aproximadamente. La dispersión del humo (partículas) generado por el incendio va en dirección del viento al Nornoreste (NNE) con un vector resultante de 20° . Tomado en cuenta el monitoreo realizado en la estación de Sede Belén (Fig. 3) para el día del incendio se puede observar que este no influyó en las concentraciones de las $PM_{2.5}$ en la zona centro de la ciudad, esto se puede atribuir a la dirección del viento (Fig. 6), además del tiempo que duró el incendio y la tasa de emisión generada.



Figura 5. Incendio en ladera de Cristo Rey



Figura 6. Rosa de vientos ladera de Cristo Rey

Incendio Sierra las Codornices (La Sauceda)

En la Figura 7 se muestra el incendio desarrollado en la Sierra de Codornices el día 09 de abril del 2023 que duró 4 días, en el que se consumieron 1,188 hectáreas cuya vegetación afectada fue matorral xerófilo, bosque de roble y pastizales. La variación de la concentración de las partículas registradas a una distancia 16 km sobre la carretera Guanajuato – Juventino Rosas, en la comunidad de La Carbonera en dirección NO se muestra en la Figura 8. El promedio de la concentración registrada fue de $8.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con un máximo registrado a las 15:25 horas de $10.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un periodo de monitoreo de 30 minutos.



Figura 7. Incendio en la comunidad de la Sauceda

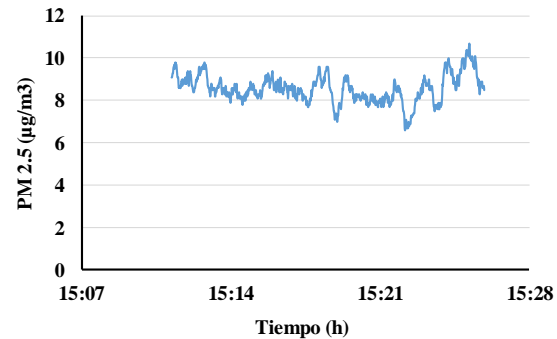


Figura 8. Medición a 16 km del incendio 09/04/2023

Contrastando esta concentración ($10.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) con la registrada por la estación de monitoreo ubicada en la zona centro de la ciudad ($13 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para las 17:00 horas se puede decir que la carga de contaminante de material particulado generada por el incendio no modificó la calidad del aire en el centro de la ciudad (Fig. 9). Este efecto se puede atribuir al comportamiento de la dirección del viento dominante a 16° (noreste) de acuerdo al vector resultante en la rosa de vientos (Fig. 10) y la ciudad se ubica hacia la parte noroeste. Además, se observa que para ese día y el día posterior el promedio de la concentración en 12 horas no sobrepasa el límite ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para una buena calidad del aire en base al monitoreo realizado en la estación ubicada en el centro de la ciudad (Fig. 9).

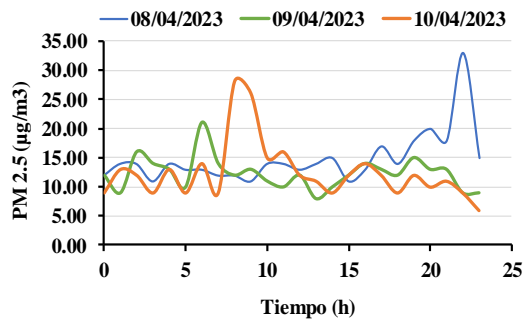


Figura 9. Medición estación Sede Belén

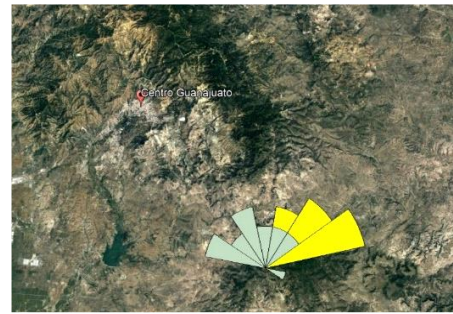


Figura 10. Rosa de vientos en comunidad La Carbonera

Incendio en el Paso de Perules

La localidad de Paso de Perules se encuentra ubicada a 8.7 kilómetros al sur del centro de la ciudad de Guanajuato en las coordenadas 20°56'59"N 101°17'58"W. Esta comunidad cuenta con una población aproximada de 1,000 habitantes, siendo las ladrilleras su principal fuente de ingresos.

Uno de los incendios registrados en esta localidad fue el día 22 de abril del 2023 mostrado en la Figura 11. El pastizal fue el tipo de vegetación afectada en una zona agrícola, seleccionándose 3 puntos en el área de estudio para el monitoreo de partículas PM_{2.5}. La variación de la concentración de PM_{2.5} registrada en los tres puntos se muestra en la Figura 12. En el punto 3 ubicado a 100 metros del incendio se registraron máximos de 216 µg/m³ y posteriormente en el punto 2 a 250 metros del incendio se tuvieron máximos de 118 µg/m³. En el punto 1 las concentraciones registradas fueron las mínimas de 29.1 µg/m³ a las 12:14:23 horas aproximadamente debido a que se encontraba a 500 metros del incendio y en dirección NNO contraria a la dirección del viento.

En base a la variación de la concentración de PM_{2.5} registrada por la estación de monitoreo ubicado en Unidad Belén (Fig. 13) y en contraste con las concentraciones de PM_{2.5} obtenidas en los tres puntos del incendio mostradas en la Figura 12, se puede decir que la taza del contaminante generada por el incendio fue baja y que las emisiones no impactaron en la calidad del aire del centro de la ciudad ubicada al norte. Asimismo, en base al vector resultante a 44° en la rosa de vientos (Fig. 14), la dirección del viento orientada al noreste no supone un peligro para la urbe, dado que su ubicación dirigida hacia el norte de la fuente emisora contribuye a que el impacto sea nulo para los habitantes de la ciudad.



Figura 11. Área de muestreo durante el incendio en la comunidad de Paso de Perules.

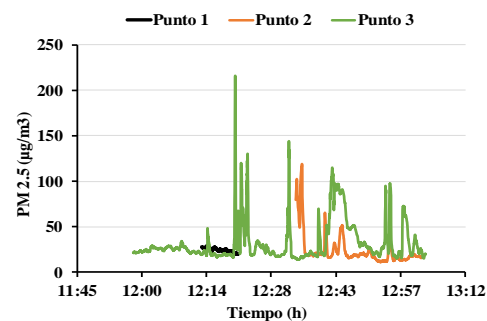


Figura 12. Variación de la concentración PM 2.5 en los puntos 1, 2 y 3 registrados en muestreo ubicado en Paso de Perules.

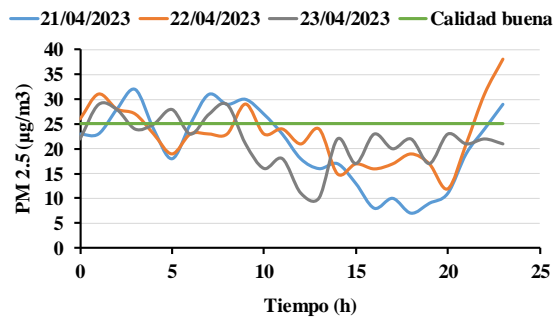


Figura 13. Variación de la concentración de $PM_{2.5}$ en el centro de la ciudad.



Figura 14. Rosa de vientos en Paso de Perules

Tiradero Municipal (Sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos)

El tiradero municipal se encuentra ubicado en la parte suroeste de la ciudad en el poblado de Noche Buena, localizado entre cerros y el Río de Santa Ana. Su georreferencia es $20^{\circ} 59' 166''$ N y $101^{\circ} 18' 266$ W a 6.5 kilómetros de la ciudad. En éste, se deposita los residuos sólidos urbanos y de manejo especial. No se tiene control al acceso y no se realiza un buen manejo de los residuos. En promedio recibe 130 toneladas, 90 de las cuales son domiciliarias y el resto comercial (Fenómeno Sanitario-Ecológico, 2020). Cada año en épocas de calor, como consecuencia de la gran cantidad de basura generada en la ciudad de Guanajuato y por su mal manejo, se registran incendios en este sitio, originando grandes nubes de gases y humos altamente tóxicos, lo que genera malestar en la salud de las personas que se encuentran en exposición a estos gases (Fenómeno Sanitario-Ecológico, 2020).

El día 30 de abril del 2023 por la madrugada se registró un incendio en el sitio que permaneció varios días causando una contingencia ambiental, consumiéndose 40 hectáreas aproximadamente provocando mala calidad de aire en la ciudad de Guanajuato (Fig. 15). El día 02 de mayo se realizó un monitoreo de partículas $PM_{2.5}$ a 1500 metros del sitio de disposición final en dirección del viento. En la Fig. 16 se muestran las concentraciones alcanzadas en el punto de monitoreo. Se registró un máximo de concentración de $PM_{2.5}$ de $538 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con un promedio de $80.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, teniendo oscilaciones que se producen por la dirección del viento en cada segundo. Al mismo tiempo, el registro de la concentración en la zona centro de la ciudad se muestra en la Figura 17 alcanzando un máximo de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 9:00 horas superando el límite de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para una buena calidad del aire. Para un día normal sin contingencia, el día 12 de mayo se registraron concentraciones por debajo de los $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con buena calidad del aire. La Figura 18 muestra la rosa de vientos del 02 de mayo con un vector resultante al noreste observándose que la contaminación generada por el sitio de disposición final se dirigió al centro de la ciudad de Guanajuato. Esto concuerda con las elevadas concentraciones de $PM_{2.5}$ registradas en el centro de la ciudad.



Figura 15. Incendio en el Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos

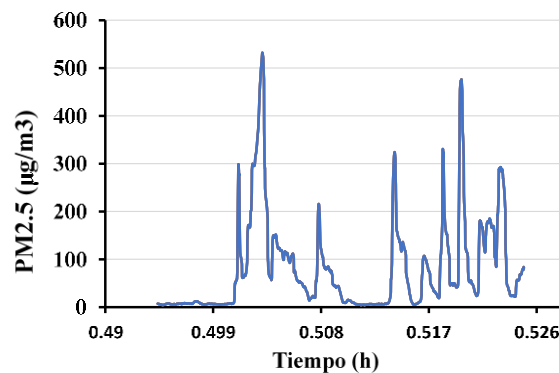


Figura 16. Medición a 1500 m del incendio

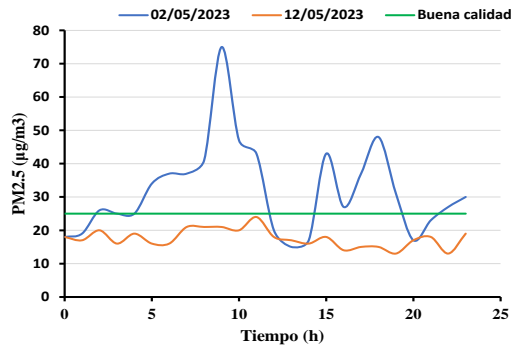


Figura 17. Variación de concentraciones de los días 2 y 12 de mayo

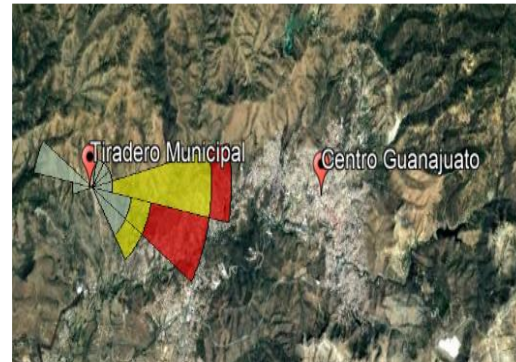


Figura 18. Rosa de vientos Tiradero municipal

Conclusiones

Los resultados obtenidos del monitoreo de la concentración de material particulado $PM_{2.5}$ realizados en las comunidades de El Tinaco, ladera de Cristo Rey, Sierra de Codornices (La Saucedá), Paso de Perules y el sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos de la ciudad de Guanajuato mostraron que la dispersión de los contaminantes en la atmósfera está determinada por el comportamiento de la velocidad y dirección del viento.

Otros parámetros a considerar en la dispersión de contaminantes generados por los incendios son la topografía del terreno, la tasa de emisión, la cantidad de vegetación afectada y el tiempo de duración del incendio. Esto se observó en el incendio de El Tinaco, ladera de Cristo Rey y Paso de Perules en el que el tipo de vegetación afectada fue pastizal y de corta duración de aproximadamente 2 horas, lo que supone una baja tasa de emisión de contaminantes, que, por la distancia entre el centro de la ciudad y el foco de emisión, su concentración disminuye.

La dirección del viento y la topografía del terreno fueron un papel importante durante el incendio generado en la Sierra de Codornices (La Saucedá) que duró 4 días y se consumieron 1,188 hectáreas afectando una gran cantidad de vegetación y emitiendo una alta tasa de contaminantes al aire. Sin embargo, en el centro de la ciudad no se registraron variaciones en la calidad del aire, manteniéndose el promedio por debajo de los $25 \mu g/m^3$ durante el período del incendio. Este comportamiento fue debido a la dirección del viento cuyo vector se orientó hacia el noreste y la ciudad se ubica en la cañada del río Guanajuato en la dirección nornoroeste del punto del incendio.

En la contingencia ambiental generada por el incendio del sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos de la ciudad de Guanajuato en donde se consumieron una gran cantidad de residuos almacenados en un área de 40 hectáreas aproximadamente, se emitieron gases y partículas a la atmósfera que, en combinación con la dirección y velocidad del viento, la contaminación se dispersó sobre la ciudad, alcanzando valores máximos de hasta $75 \mu g/m^3$ para una mala calidad del aire a una distancia de 6.5 kilómetros aproximadamente. Para un monitoreo realizado en la comunidad de Las Teresas a 1.5 kilómetros del incendio y en dirección del viento se registraron valores máximos de $538 \mu g/m^3$ lo que demuestra el efecto de la distancia entre el punto de emisión y el receptor sobre la concentración de las partículas.

Bibliografía

- Interfaz urbana forestal e incendios forestales – tecnología ambiental. (s. f.).
<https://tecnologiaambiental.mx/interfaz-urbana-forestal-e-incendios-forestales/#SnippetTab>
 Wong González, J. C., & Villers Ruiz, M. R. (2006, junio). Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: un estudio en el Parque Nacional La Malinche.

- <https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n62/n62a6.pdf>. Recuperado 18 de junio de 2023, de <https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n62/n62a6.pdf>
- Gutiérrez, M. F., Domínguez, C., Espinoza, A. A., Jaramillo, A., Alcántara, C., Maldonado, V., Tovar, I. G., & Flamenco, A. (2021). Forest fire probability under ENSO conditions in a semi-arid region: a case study in Guanajuato. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(10). <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09494-0>
- Resilience. (2020). World on Fire 2020: Experts explain the global wildfire crisis. resilience. <https://www.resilience.org/stories/2020-10-27/world-on-fire-2020-experts-explain-the-global-wildfire-crisis/>
- World Health Organization: WHO. (2019). Wildfires. www.who.int. https://www.who.int/health-topics/wildfires/#tab=tab_1/
- Flores-Garnica, J. (2022, 21 febrero). Antecedentes y perspectivas de la investigación en incendios forestales en el INIFAP. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322021000700005.
- Wang, J., & Ogawa, S. (2015). Effects of meteorological conditions on PM2.5 concentrations in Nagasaki, Japan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(8), 9089–9101. <https://doi.org/10.3390/ijerph120809089>
- Ogawa, J. W. A. (2015). Effects of Meteorological Conditions on PM2.5 Concentrations in Nagasaki, Japan. *Effects of Meteorological Conditions on PM2.5 Concentrations in Nagasaki, Japan. International Journal of Environmental Research and Public Health*. <https://doi.org/10.3390/ijerph120809089>
- Yuanyu Xie, M. L. A. L. W. H. (2020). Summer PM2.5 Pollution Extremes Caused by Wildfires Over the Western United States During 2017–2018. *Geophysical Research Letters*. <https://doi.org/10.1029/2020GL089429>
- C. Liu, R. Chen, F. Sera, A.M. Vicedo-Cabrera, Y. Guo, S. Tong, M.S.Z.S. Coelho, P.H.N. Saldiva, E. Lavigne, P. Matus, N. Valdes Ortega, S. Osorio Garcia, M. Pascal, M. Stafoggia, M. Scortichini, M. Hashizume, Y. Honda, M. Hurtado-Díaz, J. Cruz, B. Nunes, J.P. Teixeira, H. Kim, A. Tobias, C. Íñiguez, B. Forsberg, C. Åström, M.S. Ragetti, Y.-L. Guo, B.-Y. Chen, M.L. Bell, C.Y. Wright, N. Scovronick, R.M. Garland, A. Milojevic, J. Kyseľ, A. Urban, H. Orru, E. Indermitte, J.J.K. Jaakkola, N.R.I. Rytí, K. Katsouyanni, A. Analitis, A. Zanobetti, J. Schwartz, J. Chen, T. Wu, A. Cohen, A. Gasparri, and H. Kan. (2019). Ambient Particulate Air Pollution and Daily Mortality. *The new england journal of medicine*. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1817364>
- Mariana Ayala-Carrillo, Michelle Farfán, Anahí Cárdenas-Nielsen and Richard Lemoine-Rodríguez. (2022). Are Wildfires in the Wildland-Urban Interface Increasing Temperatures? A Land Surface Temperature Assessment in a Semi-Arid Mexican City. *land*. <https://doi.org/10.3390/land11122105>
- Marissa L. Childs, Jessica Li, Jeffrey Wen, Sam Heft-Neal, Anne Driscoll, Sherrie Wang, Carlos F. Gould, Minghao Qiu, Jennifer Burney, and Marshall Burke. (2022). Daily Local-Level Estimates of Ambient Wildfire Smoke PM2.5 for the Contiguous US. *Environmental Science y Technology*. <https://doi.org/pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.2c02934>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2023). <http://forestales.ujed.mx/incendios2/>
- NOM-172-SEMARNAT-2019, Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019#gsc.tab=0
- Almanza, C. (Agosto de 2004). Meteorología e incendios forestales: El papel de los Servicios Meteorológicos en el apoyo a la prevención de los incendios. 44-48.
- Ayala-Carrillo, M.; Farfán, M.; Cárdenas-Nielsen, A.; Lemoine-Rodríguez, R. Are Wildfires in the Wildland-Urban Interface Increasing Temperatures? A Land Surface Temperature Assessment in a Semi-Arid Mexican City. *Land* 2022, 11, 2105.