



Análisis descriptivo para material particulado fino (PM_{2.5}) registrado en el centro de Quito usando análisis funcional

Descriptive analysis of fine particulate matter (PM_{2.5}) recorded in downtown Quito using functional analysis

Análise descritiva do material particulado fino (PM_{2,5}) registado no centro de Quito utilizando análise funcional

Fabián Allauca Pancho ^I

fabian.allauca@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-7668-3053>

Edgar Salazar Álvarez ^{II}

edgar.salazar@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0988-0641>

Eduardo Santiago Cazar Rivera ^{III}

ecazar@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-7822-9022>

Jorge Carrasco Barrionuevo ^{IV}

jorge.carrasco@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-7663-4179>

Correspondencia: fabian.allauca@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 09 de abril de 2025 * **Aceptado:** 16 de mayo de 2025 * **Publicado:** 10 de junio de 2025

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.

Resumen

Introducción. La contaminación del aire es una mezcla de partículas sólidas y gases en el aire que respiramos. **Objetivo.** Analizar descriptivamente los datos del material particulado fino (PM2.5) registrados en los años 2019 y 2020 en el centro histórico de Quito. **Materiales y métodos.** Los datos fueron recogidos por la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ) y analizados en el software estadístico RStudio. **Resultados.** Se encontraron gráficos exploratorios, curvas atípicas, gráficas mensuales, gráficas con curvas medias y bandas de confianza. El gráfico exploratorio mostró un comportamiento regular constante alrededor de los 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM2.5 a lo largo del día. La gráfica de las curvas medias mensuales para el año 2020 mostró valores menores en comparación a las curvas mensuales del año 2019, debiéndose posiblemente a la pandemia por covid-19. La gráfica de la curva media con un entorno de confianza Bootstrap al 95% indicó una tendencia ligeramente constante entre los 18 a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. **Conclusión.** De acuerdo a la media funcional obtenida en esta investigación (de 18 a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), la curva media no sobrepasa el valor recomendado por la Organización Mundial de la Salud que es de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Palabras clave: Contaminación del aire; material particulado fino; software estadístico R; paquete fda.usc; análisis funcional.

Abstract

Introduction. Air pollution is a mixture of solid particles and gases in the air we breathe. **Objective.** To descriptively analyze the data on fine particulate matter (PM2.5) recorded in 2019 and 2020 in the historic center of Quito. **Materials and methods.** The data were collected by the Quito Metropolitan Atmospheric Monitoring Network (REMMAQ) and analyzed using the statistical software RStudio. **Results.** Exploratory graphs, atypical curves, monthly graphs, graphs with mean curves, and confidence bands were found. The exploratory graph showed a constant regular behavior around 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ of PM2.5 throughout the day. The graph of the monthly mean curves for 2020 showed lower values compared to the monthly curves for 2019, possibly due to the COVID-19 pandemic. The graph of the mean curve with a 95% bootstrap confidence interval indicated a slightly constant trend between 18 and 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. **Conclusion.** According to the functional mean obtained in this study (18 to 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), the mean curve does not exceed the World Health Organization's recommended value of 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Keywords: Air pollution; fine particulate matter; R statistical software; fda.usc package; functional analysis.

Resumo

Introdução. A poluição do ar é uma mistura de partículas sólidas e gases no ar que respiramos.

Objetivo. Analisar descritivamente os dados sobre o material particulado fino (PM_{2,5}) registrados em 2019 e 2020 no centro histórico de Quito. **Materiais e métodos.** Os dados foram recolhidos pela Rede Metropolitana de Monitorização Atmosférica de Quito (REMMAQ) e analisados utilizando o software estatístico RStudio. **Resultados.** Foram encontrados gráficos exploratórios, curvas atípicas, gráficos mensais, gráficos com curvas médias e intervalos de confiança. O gráfico exploratório mostrou um comportamento regular constante de cerca de 20 µg/m³ de PM_{2,5} ao longo do dia. O gráfico das curvas médias mensais de 2020 apresentou valores mais baixos em comparação com as curvas mensais de 2019, possivelmente devido à pandemia de COVID-19. O gráfico da curva média com um intervalo de confiança bootstrap de 95% indicou uma tendência ligeiramente constante entre 18 e 20 µg/m³. **Conclusão.** De acordo com a média funcional obtida neste estudo (18 a 20 µg/m³), a curva média não ultrapassa o valor recomendado pela Organização Mundial de Saúde de 25 µg/m³.

Palavras-chave: Poluição do ar; material particulado fino; software estatístico R; pacote fda.usc; análise funcional.

Introducción

La contaminación del aire es una mezcla de partículas sólidas y gases en el aire que respiramos. Las principales causas se relacionan con la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas cuyo origen principal se encuentra en el sector industrial, la extracción de pozos petrolíferos y el transporte por carretera. (Fundación Aquae, 2021).

El material particulado (PM) por sus siglas en inglés es un contaminante atmosférico de tipo partículas suspendidas, estas partículas suspendidas en las atmósferas se denomina “respirables” a las de un diámetro menor o igual a 10 µm (PM₁₀) por su capacidad de introducirse en las vías respiratorias (Salini Calderón, 2014).

Los principales componentes del material particulado son hollín, plomo, sulfato e hidrocarburos. Además, la contaminación aérea por material particulado afecta negativamente la calidad del aire y la salud de las personas, animales y bienes materiales. La cantidad que se transporta por material particulado puede representar niveles biológicamente significativos y su presencia en el material particulado fino, si es inhalado, puede depositarse profundamente en los pulmones en los seres vivos. (Foster & Costa, 2005).

La exposición a niveles elevados de PM se ha asociado al impacto adverso a la salud humana, y es la mayor fuente de enfermedades y mortalidad alrededor del mundo. El PM con un diámetro igual o menor a $2,5 \mu\text{m}$ (PM2.5) es el más dañino para la salud humana, porque puede llegar fácilmente hasta los pulmones. Esta última proviene de la combustión residencial, los procesos industriales y los vehículos gasolineros y Diesel (pesados y livianos). La fracción gruesa proviene principalmente del polvo en suspensión generado por el tráfico, la construcción y quemas agrícolas y de leña. (Salini Calderón, 2014).

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito por medio de la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito (CORPAIRE), menciona que se generaron 4 904 toneladas de PM10, el 56% de las cuales es producida por las fuentes de área, principalmente canteras, suspensión de vías no asfaltadas, incendios y quemas y erosión eólica del suelo. Adicionalmente, las fuentes móviles generan el 32%, en su mayor parte producidas por los buses y vehículos pesados a diésel (20%). Las fuentes fijas generan el 12%; la mayor parte tiene su origen en procesos industriales de producción de agregados, cemento y pinturas (8%). (Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito, 2006).

Del mismo modo menciona que de las 2 409 toneladas de material particulado fino (PM2,5) producido en el DMQ en el año 2003, el 46% es producido por las fuentes móviles, principalmente a diésel (38%). Las fuentes de área aportan con el 40%, generado, al igual que el PM10, por las canteras, resuspensión de vías, incendios y quemas y erosión de suelo. Finalmente, las fuentes fijas generan el 14%, principalmente en procesos industriales de producción de agregados, cemento y pinturas (8%). (Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito, 2006).

Numerosos estudios utilizan el análisis funcional de datos para describir ciertos fenómenos físicos, teniendo como base datos meteorológicos, como temperatura, radiación solar, humedad, velocidad del viento, presión, entre otras; donde se utiliza el software estadístico de libre distribución

RStudio, con énfasis en el uso de las librerías `fda` y `fda.usc` para su descripción. (Allauca Pancho, 2021).

Para monitorear los contaminantes presentes en el aire el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito crea la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico (REMMAQ) con el préstamo 822/OC-EC del Banco Interamericano de Desarrollo otorgado al Gobierno de la República del Ecuador el 13 de octubre de 1994. (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2021).

El problema es que la REMMAQ no analiza los datos obtenidos por las distintas estaciones de monitoreo, por tal motivo el objetivo del presente trabajo fue analizar descriptivamente los datos funcionales del material particulado fino (PM2.5) en el centro histórico de Quito.

Metodología

La investigación se realiza mediante **enfoque cuantitativo**, el enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para probar hipótesis con base a la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías.

“Las líneas de investigación que usan el enfoque cuantitativo tratan de ser lo más objetivas, es decir, la observación y la medición de los fenómenos no deben ser afectados por el investigador. Las decisiones críticas se toman antes de recolectar la información por lo cual sigue un patrón predecible y estructurado. Los datos encontrados son generalizables, esto es, se considera que los resultados obtenidos en la muestra son aplicables a la parte mayor a la cual representa: el universo o población.” (Granda, 2015).

El diseño de investigación seleccionado para el desarrollo del presente estudio es el **diseño no experimental**, puesto que en este tipo de diseño de investigación no se altera, ni se crea una situación, sino que se observan las situaciones ya existentes, es decir, que las variables independientes no son controlables, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, Metodología de la investigación, 2014).

El diseño no experimental es seleccionado para el presente trabajo ya que los datos del material particulado fino (PM2,5), no serán alterados, los datos observados por la estación ubicada en el centro histórico de Quito serán analizados por medio de análisis de datos funcionales para de esta manera encontrar el comportamiento de estos contaminantes.

De acuerdo al propósito de la presente investigación se ha seleccionado el tipo de **diseño no experimental transversal o transeccional**, puesto que este tipo de diseño no experimental se

caracteriza por recolectar datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Es como “tomar una fotografía” de algo que sucede. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, Metodología de la investigación, 2014).

Para el desarrollo de la investigación se utiliza la investigación **descriptiva**, esta investigación busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de las personas, grupos, comunidades, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento. (Grajales, 2017).

Los datos con los que se desarrolló la presente investigación son los obtenidos en la base de datos de la Red Metropolitana de Monitores Atmosférico de Quito (REMMAQ) para los años 2019 y 2020.

La población son los datos del contaminante (material particulado fino) presentes en el aire en todo momento, mientras que la muestra son los datos registrados por la REMMAQ cada hora del día para los años 2019 y 2020.

El procesamiento de la información fue realizado de la siguiente manera:

- Selección de datos de este contaminante para los años 2019 y 2020.
- Creación de una hoja de cálculo en Microsoft Excel con los datos seleccionados.
- Disposición de los datos en filas de manera cronológica para los días y en columnas para las horas del día.
- Llenado de datos faltantes por medio de interpolación lineal.
- Lectura de la hoja de Microsoft Excel en el software estadístico RStudio.
- Suavizar la base de datos en el software RStudio.
- Realizar el gráfico exploratorio de los datos funcionales del contaminante con ggplot2.
- Hallar los datos atípicos.
- Graficar las curvas medias mensuales de los datos funcionales del contaminante.
- Determinar la curva media y la banda de confianza.

Resultados

Los resultados del estudio son presentados a continuación:

Curvas diarias:

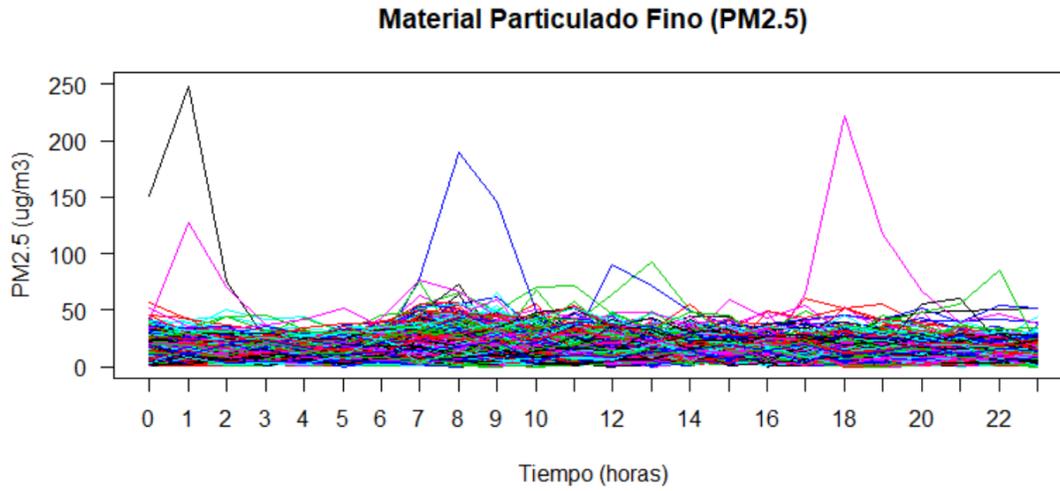


Figura 1: Curvas diarias del material particulado fino para los años 2019 y 2020

Realizado por: Allauca Fabián, 2021

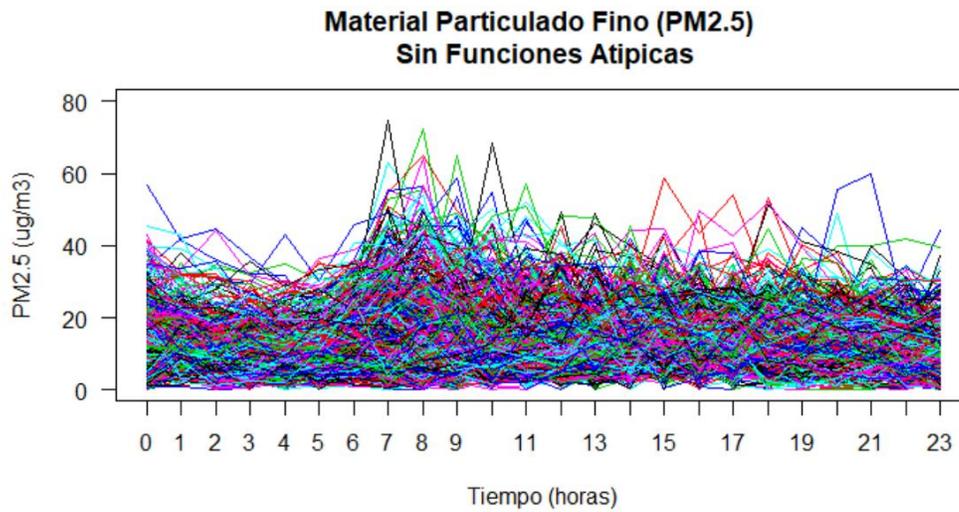


Figura 2: Gráfica exploratoria del material particulado fino sin curvas atípicas

Realizado por: Allauca Fabián, 2021

Valores atípicos funcionales:

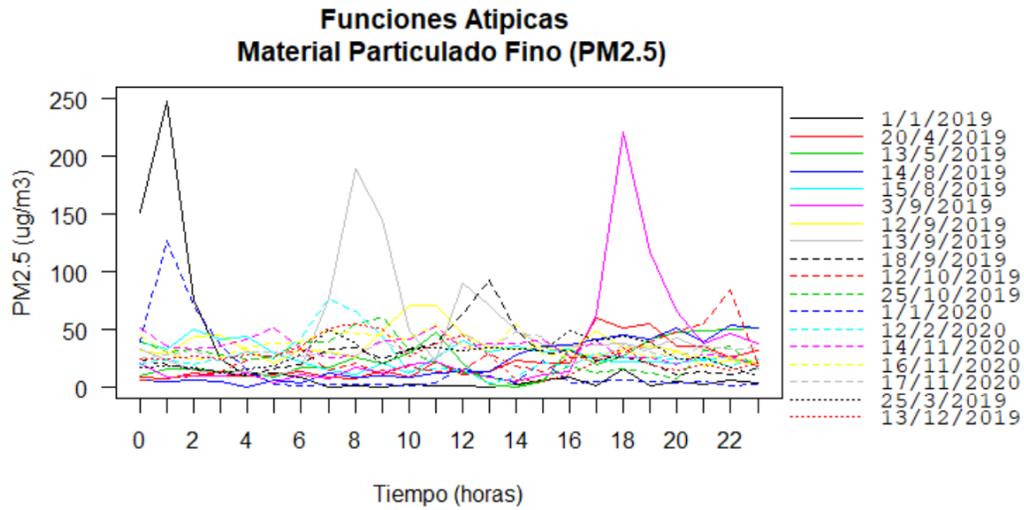


Figura 3: Funciones atípicas del material particulado fino para los años 2019 y 2020

Realizado por: Allauca Fabián, 2021

Curvas medias mensuales:

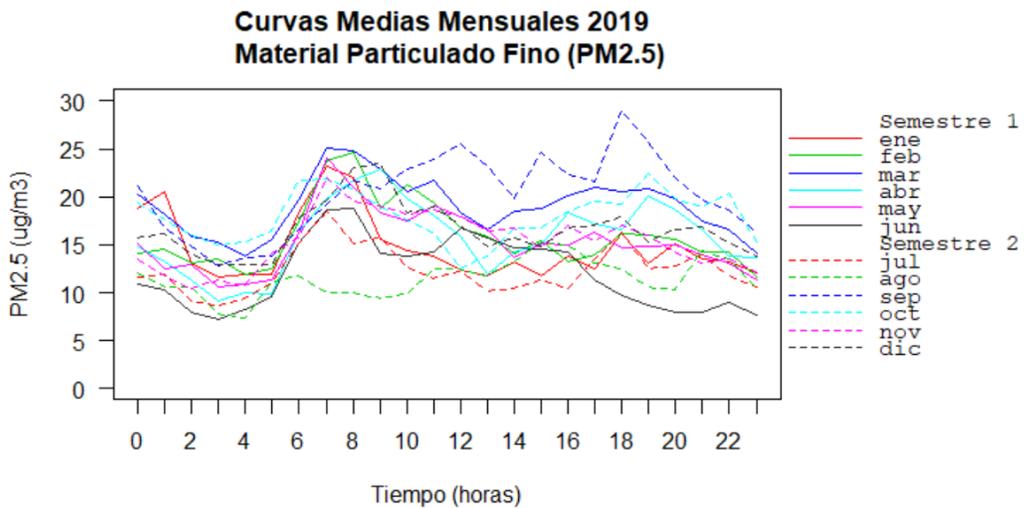


Figura 4: Curvas medias mensuales del material particulado fino para el año 2019

Realizado por: Allauca Fabián, 2021

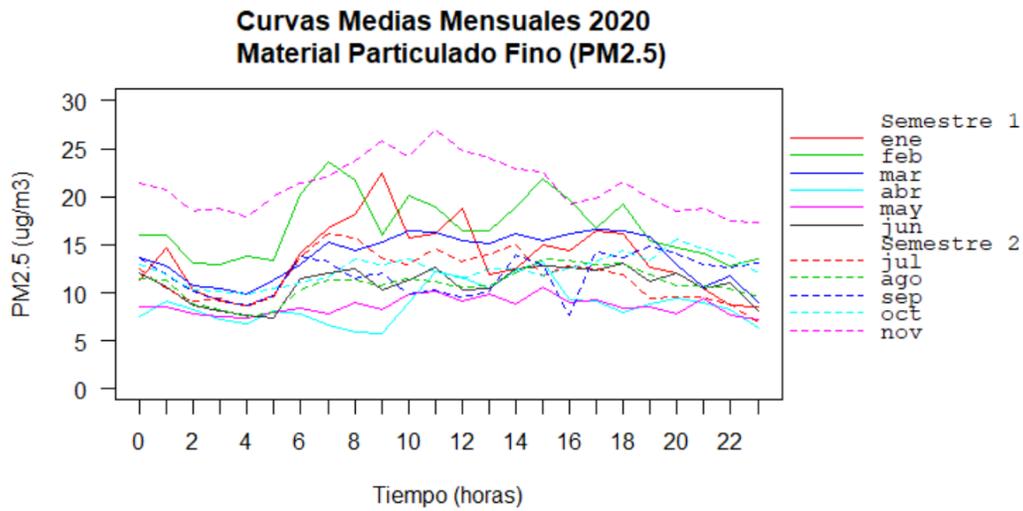


Figura 5: Curvas medias mensuales del material particulado fino para el año 2020

Realizado por: Allauca Fabián, 2021

Curva media funcional con entorno de confianza bootstrap al 95%:

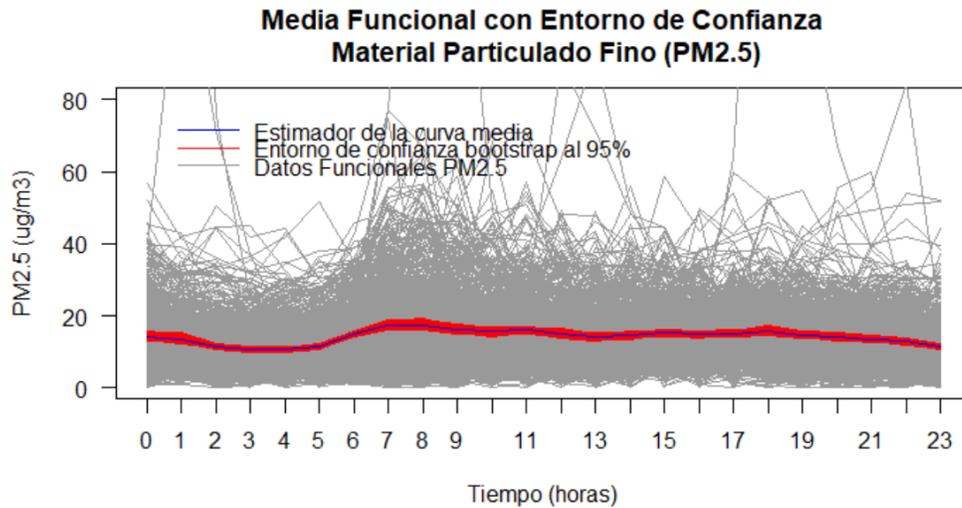


Figura 6: Estimador de curva media con entorno de confianza bootstrap al 95% del material particulado fino para los años 2019 y 2020.

Realizado por: Allauca Fabián, 2021

Discusión

Curvas diarias:

En la Figura 1, se puede observar las 700 curvas diarias del material particulado fino correspondiente a los años 2019 y 2020, en la cual se aprecian algunas curvas que sobrepasan los $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM2.5, posiblemente curvas atípicas que las estudiaremos más adelante. La Figura 1 muestra claramente una tendencia ligeramente constante alrededor de los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM2.5 a lo largo del día; la cual se verificará cuando obtengamos la media funcional para estos datos.

Valores atípicos funcionales:

Las curvas de los días atípicos corresponden a los siguientes días:

- 1 de enero de 2019
- 25 de marzo de 2019
- 20 de abril de 2019
- 13 de mayo de 2019
- 14 y 15 de agosto de 2019
- 3, 12, 13 y 18 de septiembre de 2019
- 12 y 25 de octubre de 2019
- 13 de diciembre de 2019
- 1 de enero de 2020
- 12 de febrero de 2020
- 14, 16 y 17 de noviembre de 2020

La Figura 3 muestra 18 curvas de los días atípicos, estas curvas no concuerdan con la tendencia de la distribución de los datos para el material particulado fino, ya que en algunas horas del día muestran valores más altos en comparación a las otras curvas. Se observa que el mes de septiembre de 2019 posee 4 días atípicos y el mes de noviembre de 2020 posee 3 días atípicos; pudiéndose deber posiblemente alguna falla del equipo recolector de datos o algún motivo que incremento la concentración de este contaminante.

Para tener una mayor visualización de la tendencia de la distribución de los datos funcionales para el material particulado fino, se grafica sin estas 18 curvas atípicas, la Figura 2, muestra la gráfica exploratoria sin curvas atípicas; cabe recalcar que, para un posterior análisis, no se eliminaran estas curvas atípicas, puesto que se desconoce el origen de tal comportamiento.

Curvas medias mensuales:

Las Figuras 4 y 5 muestran las curvas de las medias mensuales del material particulado fino para los años 2019 y 2020 respectivamente. En la figura correspondiente al año 2019 se aprecia que las medias más altas corresponden a los meses de febrero y marzo; mientras que el mes con media más baja corresponde al mes de agosto; coincidiendo de alguna manera con los meses de vacaciones escolares.

En la Figura 5 se aprecia un comportamiento de las medias, menor, en comparación con las curvas del 2019, exceptuando el mes de noviembre de 2020, donde se pudo apreciar 3 días atípicos. Este comportamiento de las medias, menor en comparación con el año 2019, se puede deber a que en el año 2020 se produjo la pandemia de covid-19, trayendo consigo un aislamiento y por ende a una menor circulación vehicular sobre todo en los meses de abril y mayo.

Curva media funcional con entorno de confianza bootstrap al 95%:

La media funcional para los datos del material particulado fino se puede apreciar en la Figura 6, como también el entorno de confianza bootstrap al 95%. La curva media mostrada en color azul indica una tendencia ligeramente constante entre los 18 a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{2.5}; tomando un pequeño incremento entre las 07h00 a 08h00 y una pequeña disminución entre la 01h00 a 05h00.

La Organización Mundial de la Salud recomienda una concentración media diaria de PM_{2.5} de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para que no exista daño a la salud de las personas. (Organización Mundial de la Salud, 2021). De acuerdo a la media funcional obtenida en esta investigación, la curva media no sobrepasa este valor. La temperatura ambiente y la presión atmosférica promedio a la que fueron tomados los datos son de 14.86°C y 0.718 atm. respectivamente.

Conclusiones

- Los datos del material particulado fino (PM_{2.5}) describieron una tendencia ligeramente constante alrededor de los 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{2.5} a lo largo del día.
- Se observó 18 curvas atípicas, estas curvas no concuerdan con la tendencia de la distribución de los datos para el material particulado fino; el mes de septiembre de 2019 posee 4 días atípicos y el mes de noviembre de 2020 posee 3 días atípicos; pudiéndose deber posiblemente alguna falla del equipo recolector de datos o algún motivo que incremento la concentración de este contaminante.

- La curva media para los datos del PM2.5 presentó una tendencia ligeramente constante entre los 18 a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; tomando un pequeño incremento entre las 07h00 a 08h00 y una pequeña disminución entre la 01h00 a 05h00. Estos valores no representan daño para la salud de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud que recomienda una concentración media de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Referencias

1. LUMITOS AG. (19 de Febrero de 2021). QUIMICA.ES. Obtenido de https://www.quimica.es/enciclopedia/%C3%93xido_de_azufre_%28IV%29.html
2. Aguilera del Pino, M., & Aguilera Morillo, C. (2013). Introducción al Análisis de Datos Funcionales con R. Cádiz: Universidad de Cádiz. Dpto. Estadística e Investigación Operativa.
3. Arias Odón, F. (2012). El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. Caracas: Editorias Episteme.
4. Benalcazar, G. (2005). Espacios Normados y Aplicaciones. Quito.
5. Consejería de Salud de la Región de Murcia. (21 de Junio de 2021). Murcia Salud. Obtenido de <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180398#>
6. Córdoba, D., & Ramos, J. (2001). Monóxido de Carbono. Bogotá: Editorial el Manual Moderno.
7. Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito. (2006). Inventario de emisiones del Distrito Metropolitano de Quito - 2003. Quito: PPL Impresores. 2529 762-Quito.
8. Escudero Villa, A. I. (2014). Análisis exploratorio funcional de los datos de radiación solar 2011 como soporte para la simulación de su comportamiento. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
9. Espín Mayorga, M. E., & Veloz Cuichán, S. M. (2013). Evaluación de los efectos de la Calidad del Aire en la productividad de los cultivos en los barrios La Morita, La Tola, El Arenal, La Esperanza y Collaquí ubicados en la parroquia de Tumbaco, cantón Quito, provincia de Pichincha. Quito: Universidad Central del Ecuador.
10. Foster, M., & Costa, D. (2005). Air Pollutants and the Respiratory Tract. Lung Biology in Health and Disease.
11. Fundación Aquae. (3 de Febrero de 2021). AQUAE FUNDACIÓN. Obtenido de www.fundacionaquae.org/causas-contaminacion-ambiental/

12. Gobierno de España. (19 de Febrero de 2021). Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. Obtenido de <http://www.prtr-es.es/NOx-oxidos-de-nitrogeno,15595,11,2007.html>
13. Grajales, T. (25 de Septiembre de 2017). Tipos de Investigación. Recuperado el 27 de 3 de 2000, de <http://tgrajales.net/investipos.pdf>
14. Granda, J. B. (2015). Manual de metodología de la investigación científica. Chimbote - Perú: Universidad Católica los Ángeles Chimbote.
15. Guerrón Varela, E. R. (2015). Análisis de datos meteorológicos del Valle de los Chillos usando datos funcionales. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
16. Gutiérrez, J., Romieu, I., Corey, G., & Fortoul, T. (1997). Contaminación del aire, riesgos para la salud. México DF: UNAM/El Manual Moderno.
17. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. México D.F.: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
18. Instituto para la Salud Geoambiental. (19 de Febrero de 2021). Instituto para la Salud Geoambiental - Un ser vivo, un entorno sano. Obtenido de <https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-nitrogeno-no2>
19. Kreyszig, E. (1978). Introductory Functional Analysis with Applications. New York: University of Windsor.
20. Meneses, E., Turtós, L., & Molina, E. (2004). Mejoras en la estimación de las externalidades de la generación eléctrica en Cuba. Revista electrónica Ecosolar, 7. Obtenido de <http://www.cubasolar.org/biblioteca/ecosolar.htm>
21. Ministerio de Ambiente de Colombia . (19 de Febrero de 2021). IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/los-agentes-precursores-de-la-lluvia-acida>
22. Ministerio de Educación. (24 de Junio de 2021). Ministerio de Educación. Obtenido de <https://educacion.gob.ec/calendario-escolar/>
23. Ministerio de Salud Pública. (24 de Junio de 2021). Ministerio de Salud Pública. Obtenido de <https://www.salud.gob.ec/noticias/>
24. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (3 de Febrero de 2021). Secretaría de Ambiente. Obtenido de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/politicas-y-planeacion-ambiental/red-de-monitoreo>

25. Navarro Pérez, V. (2004). Análisis de Datos Funcionales. Implementación y Aplicaciones. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.
26. Organización Mundial de la Salud. (22 de Junio de 2021). Organización Mundial de la Salud. Obtenido de [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)
27. Organización Panamericana de la Salud. (3 de Enero de 2005). Contaminación ambiental. Obtenido de <http://www.paho.org>
28. Pérez Montilla, A. (2018). Métodos avanzados de análisis de Datos Funcionales. Puerto Real: Universidad de Cádiz.
29. Pérez Plaza, S. M. (2020). Estudio y aplicación de técnicas de Análisis de Datos Funcionales de geoposicionamiento. Puerto Real: Universidad de Cádiz.
30. Picón Llamas, D. M. (2019). Análisis de Datos Funcionales aplicado a datos de temperatura en España. Valladolid: Universidad de Valladolid.
31. Ricoy Lorenzo, C. (2006). Contribución sobre los paradigmas de investigación. Revista do Centro de Educação, 11-22.
32. Romero Placeres, M., Diego Olite, F., & Álvarez Toste, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 44.
33. Salini Calderón, G. A. (2014). Estudio Acerca del Material Particulado Emitido en Ciudades de Tamaño Medio al Sur de Santiago de Chile. Revista INGE CUC, 97-108.
34. Sanchiz, J. (2014). El ozono atmosférico. Revista Tiempo y Clima, 15.
35. Torres, W. (2002). Biología de las especies de oxígeno reactivas. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
36. U.S Environmental Protection Agency. (2001). National air quality 2001 status and trends. Carbon Monoxide. Washington, D.C: EPA.
37. Yassi, A., Kjellstrom, T., de Kok, T., & Guidotti. (2002). Salud Ambiental Básica. Maxico DF: PNUMA.