



Análisis descriptivo para el ozono registrado en el centro de Quito usando análisis funcional

Descriptive analysis for the ozone recorded in the center of Quito using functional analysis

Análise descritiva do ozônio registrado no centro de Quito usando 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>

Diego Santillán Espinoza ^{III}

iban.santillan@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4213-1936>

Fernando Márquez Sañay ^{IV}

fernando.marquez@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5549-9572>

Correspondencia: fabian.allauca@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnica y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de abril de 2023 * **Aceptado:** 12 de mayo de 2023 * **Publicado:** 30 de junio de 2023

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

Resumen

Objetivo. Analizar descriptivamente los datos del ozono registrados en los años 2019 y 2020 en el centro histórico de Quito. **Materiales y métodos.** Los datos de este contaminante fueron recogidos por la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ). Los datos fueron analizados en el software estadístico RStudio, con el paquete "fda.usc" (Análisis de datos funcionales y utilidades para la computación estadística) versión 2.0.2. **Resultados.** Se encontraron gráficos exploratorios, curvas atípicas, gráficas mensuales, gráficas con curvas medias y bandas de confianza. El gráfico exploratorio indicó que el comportamiento de los datos del ozono mostró una forma de campana, sobre todo a partir de las seis de la mañana hasta las seis de la tarde; llegando a tomar valores aproximados de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de O_3 en la zona más alta correspondiente a las 12 horas del mediodía. Al graficar las curvas medias mensuales para el año 2019 se observó que las medias más altas corresponden a los meses de agosto, septiembre y octubre; mientras que el mes con media más baja corresponden a enero; coincidiendo de alguna manera con los meses más soleados y menos soleados respectivamente. La gráfica de la curva media con un entorno de confianza Bootstrap al 95% indicó la tendencia vista anteriormente de forma de campana, de seis de la mañana a seis de la tarde; donde se pudo apreciar un valor máximo de la campana al medio día, llegando este a un valor de $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de O_3 .

Palabras Clave: Contaminación del aire; ozono; software estadístico R; paquete fda.usc; análisis funcional.

Abstract

Aim. Descriptively analyze the ozone data recorded in the years 2019 and 2020 in the historic center of Quito. **Materials and methods.** Data on this pollutant were collected by the Quito Metropolitan Atmospheric Monitoring Network (REMMAQ). Data were analyzed using RStudio statistical software, with the "fda.usc" package (Functional Data Analysis and Statistical Computing Utilities) version 2.0.2. **Results.** Exploratory graphs, atypical curves, monthly graphs, graphs with mean curves and confidence bands were found. The exploratory graph indicated that the behavior of the ozone data showed a bell shape, especially from six in the morning to six in the afternoon; reaching approximate values of $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ of O_3 in the highest zone corresponding to 12 noon. When graphing the monthly average curves for the year 2019, it was observed that the

highest averages correspond to the months of August, September and October; while the month with the lowest average corresponds to January; coinciding somewhat with the sunniest and less sunny months respectively. The plot of the mean curve with a Bootstrap 95% confidence setting indicated the previously seen bell-shaped trend from 6:00 a.m. to 6:00 p.m.; where it was possible to appreciate a maximum value of the bell at noon, reaching a value of 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ of O₃.

Keywords: Air pollution; ozone; statistical software R; fda.usc package; Functional analysis.

Resumo

Mirar. Analisar descritivamente os dados de ozônio registrados nos anos de 2019 e 2020 no centro histórico de Quito. Materiais e métodos. Os dados desse poluente foram coletados pela Rede Metropolitana de Monitoramento Atmosférico de Quito (REMMAQ). Os dados foram analisados por meio do software estatístico RStudio, com o pacote "fda.usc" (Functional Data Analysis and Statistical Computing Utilities) versão 2.0.2. Resultados. Foram encontrados gráficos exploratórios, curvas atípicas, gráficos mensais, gráficos com curvas médias e faixas de confiança. O gráfico exploratório indicou que o comportamento dos dados de ozônio apresentou formato de sino, principalmente das seis da manhã às seis da tarde; atingindo valores aproximados de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de O₃ na zona mais alta correspondente às 12 horas. Ao traçar as curvas médias mensais para o ano de 2019, observou-se que as maiores médias correspondem aos meses de agosto, setembro e outubro; enquanto o mês de menor média corresponde a janeiro; coincidindo um pouco com os meses mais ensolarados e menos ensolarados, respectivamente. O gráfico da curva média com uma configuração de confiança Bootstrap de 95% indicou a tendência em forma de sino vista anteriormente das 6h00 às 18h00; onde foi possível apreciar um valor máximo do sino ao meio-dia, atingindo um valor de 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de O₃.

Palavras-chave: Contaminação do ar; ozônio; software estatístico R; pacote fda.usc; Análise funcional.

Introducción

El ozono (O₃) es una sustancia cuya molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno, formada al disociarse los dos átomos que componen el gas oxígeno. Cada átomo de oxígeno liberado se une a otra molécula de oxígeno gaseoso (O₂), formando moléculas de ozono (O₃). (Torres, 2002)

A temperatura y presión ambientales, el ozono es un gas que desprende olores fuertes (similar al de los mariscos en estado de descomposición avanzado) y generalmente sin coloración, pero en grandes concentraciones puede volverse ligeramente azulado. Si se respira en grandes cantidades puede provocar una irritación en los ojos o la garganta, la cual suele pasar después de respirar aire fresco y rico en oxígeno durante algunos minutos. (Sanchiz, 2014)

El límite recomendado de exposición de ozono es de 0,1 partes por millón (ppm), o sea 0,2 miligramos por metro cúbico, calculado como una concentración ponderada de ocho horas, y a corto plazo de 0,3 ppm (0,6 mg. por metro cúbico), como una concentración ponderada de quince minutos. En función de la concentración puede producir diversos efectos en el organismo. Incluso en concentraciones muy bajas, el ozono puede ser nocivo para el tracto respiratorio superior y los pulmones, aun tratándose de una exposición de corta duración. A concentraciones extremadamente bajas, el ozono puede producir hipersensibilidad bronquial y respuesta inflamatoria en el tejido respiratorio. Además, la exposición intermitente puede causar una inflamación en bronquios y pulmones. (Espín Mayorga & Veloz Cuichán, 2013)

Al ser el ozono un contaminante peligroso para la salud de las personas, el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito por medio de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico (REMMAQ) lo monitorea diariamente, registrando sus datos para análisis posteriores.

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)

METODOLOGÍA

El paradigma manejado en esta investigación es el paradigma positivista, con enfoque cuantitativo, el diseño utilizado es el diseño no experimental transversal.

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 (ozono) 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:

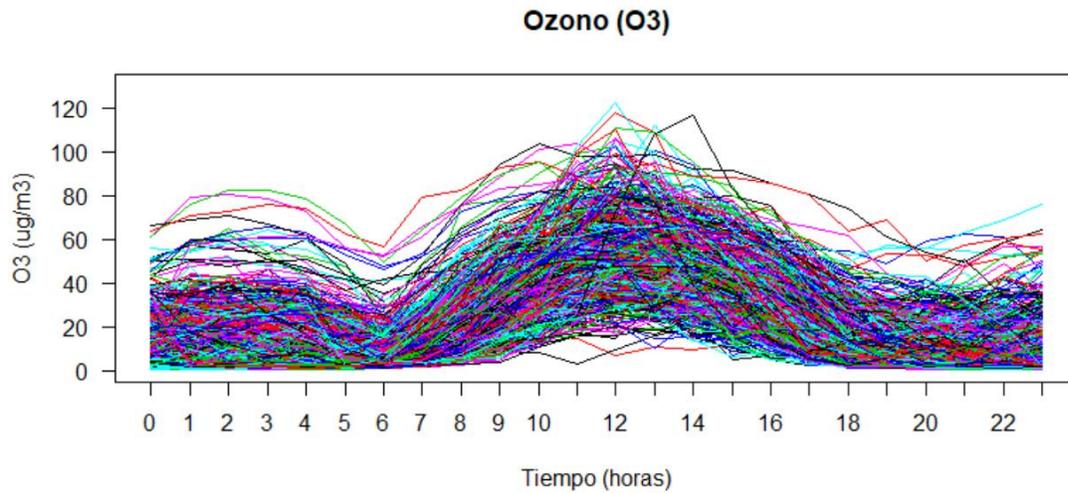


Figura 1: Curvas diarias del ozono para los años 2019 y 2020

Realizado por: Allauca Fabián, 2021

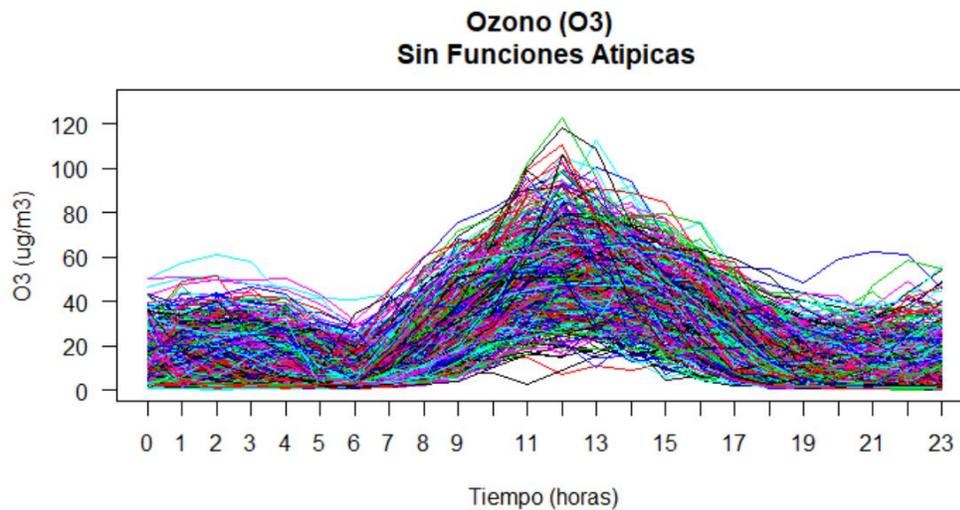


Figura 2: Curvas diarias del ozono sin curvas atípicas

Realizado por: Allauca Fabián, 2021

Valores atípicos funcionales:

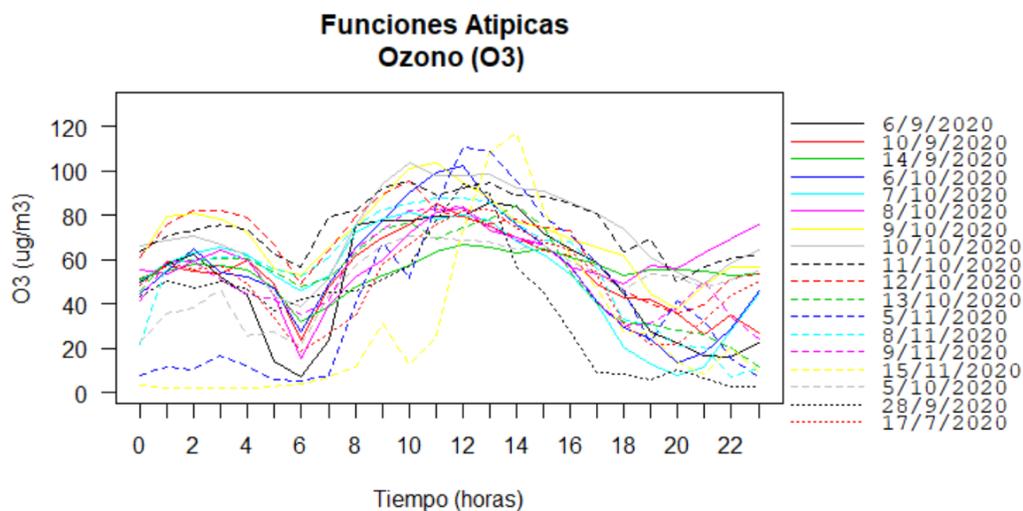


Figura 3: Funciones atípicas del ozono para los años 2019 y 2020

Realizado por: Allauca Fabián, 2021

Curvas medias mensuales:

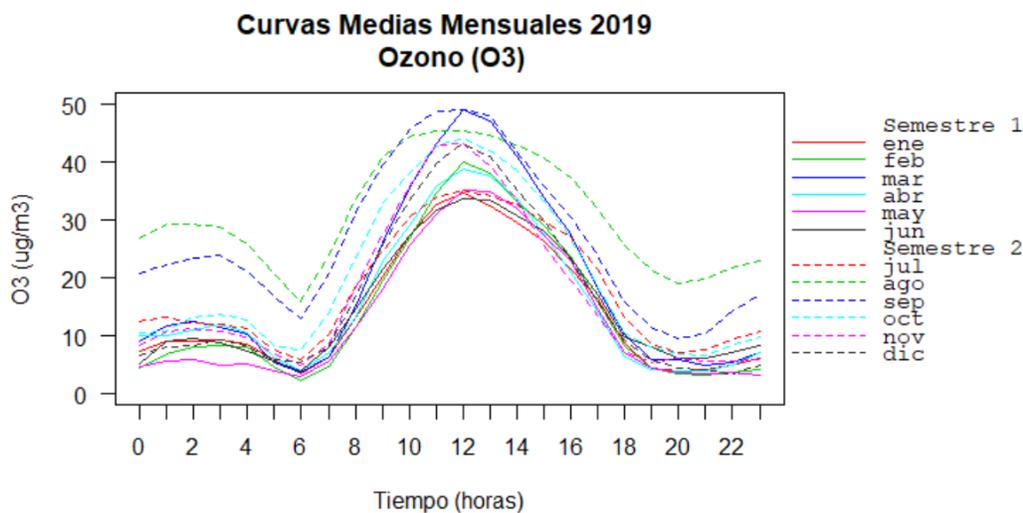


Figura 4: Curvas medias mensuales del ozono para el año 2019

Realizado por: Allauca Fabián, 2021

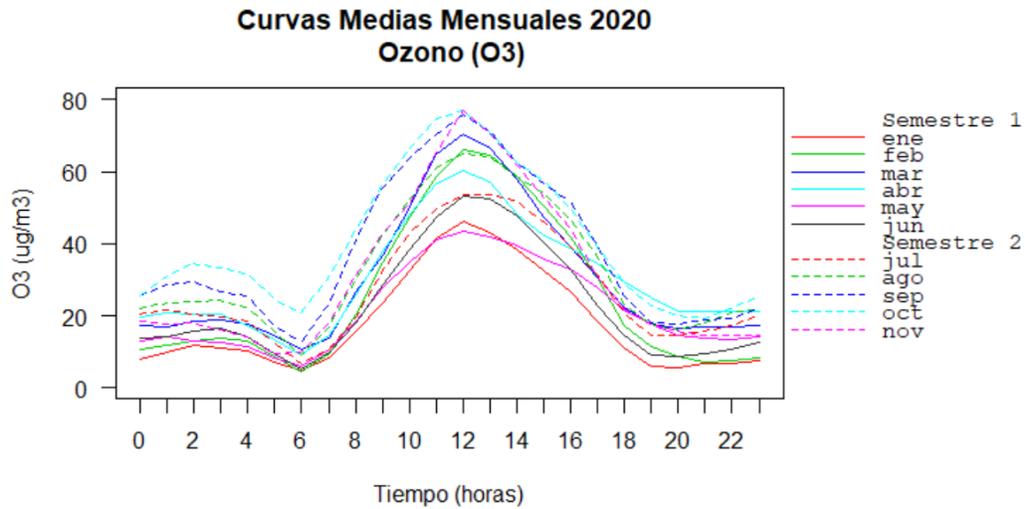


Figura 5: Curvas medias mensuales del ozono para el año 2020

Realizado por: Allauca Fabián, 2021

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

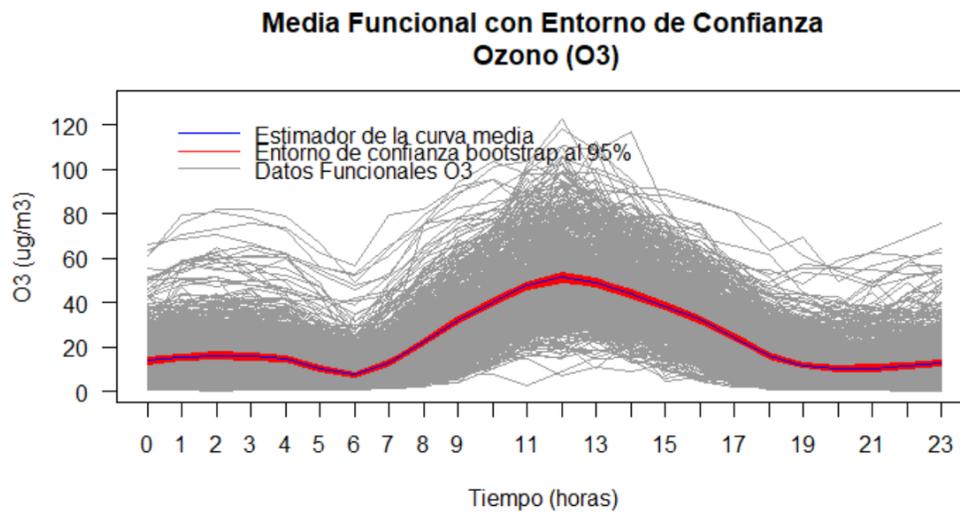


Figura 6: Estimador de curva media con entorno de confianza bootstrap al 95% del ozono para los años 2019 y 2020.

Realizado por: Allauca Fabián, 2021

DISCUSIÓN:

Curvas diarias:

En la Figura 1, se puede observar las 700 curvas diarias del ozono correspondiente a los años 2019 y 2020, en la cual se aprecia un comportamiento parcialmente en forma acampanada, sobre todo a partir de las seis de la mañana hasta las seis de la tarde; llegando a tomar valores aproximados de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de O_3 en la zona más alta correspondiente a las 12 horas del mediodía.

Este comportamiento acampanado concuerda con la distribución en forma de campana que presentan los datos de la radiación solar en la ciudad de Riobamba para el año 2011. (Escudero Villa, 2014). Se asume que la radiación solar para la ciudad de Quito sea similar a los registrados en la ciudad de Riobamba por ser ciudades que están bajo similares condiciones de altura. Esta coincidencia se da puesto que el ozono se forma por la reacción con la luz solar (fotoquímica) de contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NO_x) procedentes de las emisiones de vehículos o la industria y los compuestos orgánicos volátiles (COV) emitidos por los vehículos, los disolventes y la industria. Los niveles de ozono más elevados se registran durante los períodos de tiempo soleado. (Organización Mundial de la Salud, 2021).

Para tener una mayor visualización de la tendencia de la distribución de los datos funcionales para el ozono, se grafica sin curvas atípicas, la Figura 2, muestra la gráfica exploratoria sin estas curvas atípicas, pudiéndose apreciar de mejor manera la tendencia acampanada que están tomando los datos, presentando su cumbre alrededor de las 12 del mediodía.

Valores atípicos funcionales:

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

- 17 de julio de 2020
- 6, 10, 14 y 28 de septiembre de 2020
- 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13 de octubre de 2020

- 5, 8, 9 y 15 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 ozono, ya que en algunas horas del día muestran valores más altos en comparación a las otras curvas. Se observa que el mes de octubre de 2020 posee 9 días atípicos, al igual que septiembre y noviembre de 2020 presentan 4 días atípicos cada uno de estos meses; pudiéndose deber posiblemente alguna falla del equipo recolector de datos o algún motivo que incremento la concentración de este contaminante.

Curvas medias mensuales:

Las Figuras 4 y 5 muestran las curvas de las medias mensuales del ozono 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 agosto, septiembre y octubre; mientras que el mes con media más baja corresponden a enero; coincidiendo de alguna manera con los meses más soleados y menos soleados respectivamente.

En la Figura 5 se aprecia un comportamiento similar al de la Figura 4, presentando curvas medias altas para los meses de agosto, septiembre y una media más baja para el mes de enero; las curvas medias en general del año 2020 para el ozono son más altas en comparación con las del año 2019, dándonos un indicio que para el año 2020 la radiación solar fue mayor, esto se puede decir, ya que el ozono se forma por la reacción de la luz solar.

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

La media funcional para los datos del ozono se puede apreciar en la Figura 6, como también el entorno de confianza bootstrap al 95%. La curva media mostrada en color azul indica la tendencia vista anteriormente por los datos de este contaminante, siendo esta de forma acampanada, de seis de la mañana a seis de la tarde; donde se puede apreciar un valor máximo de la campana al medio día, llegando este a un valor de 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de O_3 .

La Organización Mundial de la Salud recomienda una concentración media en 8 horas de exposición de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de O_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 ozono (O_3) describieron una tendencia acampanada, sobre todo a partir de las seis de la mañana hasta las seis de la tarde; llegando a tomar valores aproximados de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de O_3 en la zona más alta correspondiente a las 12 horas del mediodía.
- Se observó 18 curvas atípicas, estas curvas no concuerdan con la tendencia de la distribución de los datos para el ozono; el mes de octubre de 2020 posee 9 días atípicos, al igual que septiembre y noviembre de 2020 presentan 4 días atípicos cada uno de estos meses, 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 O_3 presentó una forma de campana, llegando a un valor máximo de $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alrededor de las 12 del mediodía. Estos valores no representan daño para la salud de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud que recomienda una concentración media de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Referencias

- LUMITOS AG. (19 de Febrero de 2021). QUIMICA.ES. Obtenido de https://www.quimica.es/enciclopedia/%C3%93xido_de_azufre_%28IV%29.html
- 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.
- Arias Odón, F. (2012). El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. Caracas: Editorias Episteme.
- Benalcazar, G. (2005). Espacios Normados y Aplicaciones. Quito.

- 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#>
- Córdoba, D., & Ramos, J. (2001). Monóxido de Carbono. Bogotá: Editorial el Manual Moderno.
- Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito. (2006). Inventario de emisiones del Distrito Metropolitano de Quito - 2003. Quito: PPL Impresores. 2529 762-Quito.
- 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.
- 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.
- Foster, M., & Costa, D. (2005). Air Pollutants and the Respiratory Tract. Lung Biology in Health and Disease.
- Fundación Aquae. (3 de Febrero de 2021). AQUAE FUNDACIÓN. Obtenido de www.fundacionaquae.org/causas-contaminacion-ambiental/
- 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>
- Grajales, T. (25 de Septiembre de 2017). Tipos de Investigación. Recuperado el 27 de 3 de 2000, de <http://tgrajales.net/investipos.pdf>
- Granda, J. B. (2015). Manual de metodología de la investigación científica. Chimbote - Perú: Universidad Católica los Ángeles Chimbote.
- Guerrón Varela, E. R. (2015). Análisis de datos meteorológicos del Valle de los Chilllos usando datos funcionales. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Gutiérrez, J., Romieu, I., Corey, G., & Fortoul, T. (1997). Contaminación del aire, riesgos para la salud. México DF: UNAM/El Manual Moderno.
- 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.

- 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>
- Kreyszig, E. (1978). *Introductory Functional Analysis with Applications*. New York: University of Windsor.
- 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>
- 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>
- Ministerio de Educación. (24 de Junio de 2021). Ministerio de Educación. Obtenido de <https://educacion.gob.ec/calendario-escolar/>
- Ministerio de Salud Pública. (24 de Junio de 2021). Ministerio de Salud Pública. Obtenido de <https://www.salud.gob.ec/noticias/>
- 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>
- Navarro Pérez, V. (2004). *Análisis de Datos Funcionales. Implementación y Aplicaciones*. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.
- 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)
- Organización Panamericana de la Salud. (3 de Enero de 2005). Contaminación ambiental. Obtenido de <http://www.paho.org>
- Pérez Montilla, A. (2018). *Métodos avanzados de análisis de Datos Funcionales*. Puerto Real: Universidad de Cádiz.
- Pérez Plaza, S. M. (2020). *Estudio y aplicación de técnicas de Análisis de Datos Funcionales de geoposicionamiento*. Puerto Real: Universidad de Cádiz.
- Picón Llamas, D. M. (2019). *Análisis de Datos Funcionales aplicado a datos de temperatura en España*. Valladolid: Universidad de Valladolid.

- Ricoy Lorenzo, C. (2006). Contribución sobre los paradigmas de investigación. *Revista do Centro de Educação*, 11-22.
- 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.
- 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.
- Sanchiz, J. (2014). El ozono atmosférico. *Revista Tiempo y Clima*, 15.
- Torres, W. (2002). *Biología de las especies de oxígeno reactivas*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- U.S Environmental Protection Agency. (2001). *National air quality 2001 status and trends. Carbon Monoxide*. Washington, D.C: EPA.
- Yassi, A., Kjellstrom, T., de Kok, T., & Guidotti. (2002). *Salud Ambiental Básica*. Maxico DF: PNUMA.

© 2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).