

Contaminación por ozono en cinco sitios de la Zona Metropolitana del Valle de México

Lic. Armando Correa García

**Facultad de Biología, Universidad Michoacana
de San Nicolás de Hidalgo**

Abstract

The sustained increase in ozone levels, beginning in 2015 southwest of Mexico City and the activation of environmental contingencies in May 2024, could have adverse health effects, such as itchy eyes and reduced respiratory function. Therefore, this study analyzed the current status of this pollutant at five monitoring sites in the Metropolitan Area of the Valley of Mexico (MAVM). Overall, an increase in O_3 levels was found in the northwest, northeast, center, and southeast of the MAVM, ranging from 11% to 41%. The average of 0.064 ppm in May 2024 in Pedregal, southwest of the city, coincided with the values recorded in the 1980s.

Keywords: Ozone, environmental contingency, linear regression

Resumen

El incremento sostenido del ozono, a partir del 2015 al suroeste de la ciudad de México y la activación de las contingencias ambientales en mayo 2024, podría tener efectos adversos en la salud, tal como picazón en los ojos y reducción de la función respiratoria. Por ello, en este estudio se analizó la situación actual de este contaminante, en cinco sitios de monitoreo de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). En general, se halló un aumento del O_3 al noroeste, noreste, centro y sureste de la ZMVM en un rango de 11% a 41%. El promedio en mayo 2024 de 0.064ppm en Pedregal, al suroeste de la ciudad coincidió con los valores registrados en la década de los años 80' del siglo pasado.

Palabras clave: Ozono, contingencia ambiental, regresión lineal

Introducción

Al inicio del nuevo milenio, en la

Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se logró la reducción de los niveles de contaminación del aire, por ejemplo, el ozono (O_3) dejó de aumentar, en contraste con la tendencia que tenía al inicio de la década de los años noventa del siglo pasado Programa para el mejoramiento de la calidad del aire de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), (PROAIRE, 2002-2010). Incluso, de 1993 al 2016 se registraron los valores más bajos de O_3 (Riveros, 2016). Asimismo, al suroeste de la ciudad de México en el sitio Pedregal, el O_3 bajó 24% (0.034ppm) del periodo 1987-2022 con respecto al valor de 0.044ppm registrado en 1987 (Correa-García, 2023); pero también se advirtió de un incremento sostenido de 17%, a partir del año 2015.

Por otra parte, la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME, 2024) informó el 23 de mayo la permanencia de la Fase I de contingencia ambiental atmosférica por ozono en la ZMVM. En seguida la (CAME, 2024a) activó el 25 de mayo del 2024 la contingencia ambiental atmosférica por ozono, debido a la estabilidad atmosférica, intensa radiación solar y altas temperaturas por arriba de los 30°C. Este evento, contabilizó la onceava contingencia ambiental declarada en 2024. Acercándose, así a los 12 episodios ocurridos tiempo atrás en 1993 según reporte recibido por (Enciso, 2024). Debido a esto, se analizaron los datos de los contaminantes atmosféricos monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO_2), óxidos de nitrógeno (NO_X), ozono (O_3), dióxido de (SO_2), partículas suspendidas de 10 y 2.5 micras (PM_{10} , $PM_{2,5}$); los parámetros meteorológicos temperatura (TEMP), humedad relativa (HR) y velocidad del viento (WS) de cinco sitios de monitoreo Pedregal (PED), Benito Juárez (BJU), Camarones (CAM), Montecillos (MON)

y Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco (UAX). Ubicadas cada una de estas, en las 5 zonas que comúnmente se divide a la ZMVM en Noroeste (NW), Noreste (NE), Centro (CEN), Suroeste (SW) y Sureste (SE) (Figura, 1)

Lo anterior, fue con el propósito de indagar los factores que influyen en la contaminación por O_3 y determinar la tendencia del promedio anual del O_3 del periodo 1987-2024 en PED-SW; BJU-CEN de 1993 a 2024; CAM-NW 1997-2024; MON-NE y 2011-2024 en UAX-SE. Pues este contaminante secundario es un fuerte oxidante que en altas concentraciones pica en los ojos y reduce la función respiratoria (Xu Li, 2021).

Metodología

Los datos de los contaminantes atmosféricos y meteorología, citados previamente se consiguieron de la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (SMADF). El área de estudio corresponde a la zona noroeste, noreste, centro, suroeste y sureste de la ZMVM (Figura, 1). La información se arregló en una hoja de cálculo por mes y día del año. En seguida, se validó la información bajo el criterio del 75% de suficiencia diaria; es decir, los días que reunieron 18 de 24 registros. De esta forma se determinó el tamaño de la muestra "X" con respecto a la muestra esperada del 100% para el año y mes de 8,760 y 744 datos respectivamente (Tabla, 1).

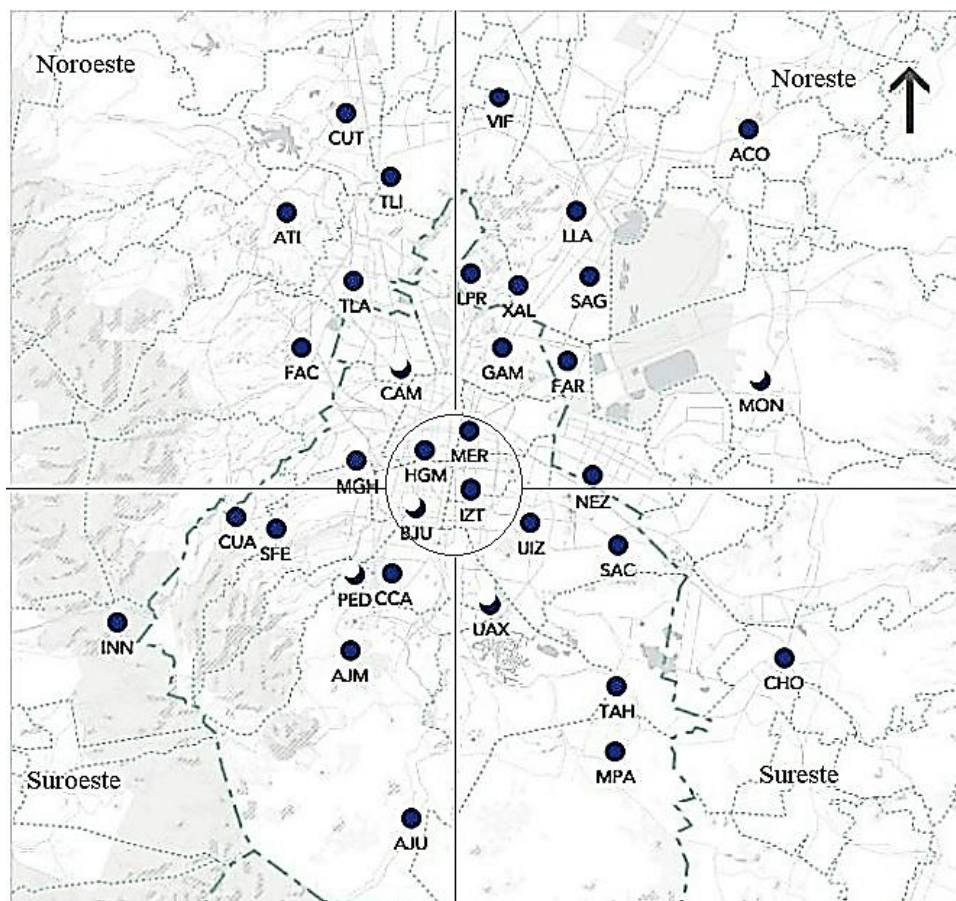


Figura 1: Mapa actual de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) distribuida en el Distrito Federal y estado de México. Fuente: reproducido de la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, (SEDEMA, 2024) y modificada en este estudio. Las estaciones analizadas se representan en media luna tono blanco negro.

Equipo de monitoreo automático				
Datos		Malo	Regular	Bueno
Horarios		Insuficiente	Suficiente	Aceptable
Válidos				
		<50%	≥50%; <75%	≥75%
Año	No bisiesto	0 a 4,300	4,340 a 6,520	6,530 a 8,760
Año	Bisiesto	0 a 4,340	4,360 a 6,540	6,570 a 8,784
Mes/día	31	0 a 365	369 a 550	560 a 744
Mes/día	30	0 a 350	360 a 535	540 a 720
Mes/día	28	0 a 330	335 a 500	505 a 672
Mes/día	Bisiesto			
	29	0 a 340	345 a 515	520 a 696

Tabla 1: Categorías de desempeño por año-mes de una estación de monitoreo atmosférico. Fuente: Reproducido de (Correa-García, 2023).

Después, se realizaron análisis de correlación y regresión para examinar la relación del O_3 con los demás contaminantes y variables meteorológicas ya mencionadas, y de esta forma proponer un modelo de regresión lineal que explique los cambios del O_3 . Enseguida, se determinó el coeficiente de correlación de Pearson, que es un índice adimensional localizado entre -1,0 y 1,0, el cual refleja el grado de dependencia lineal entre dos conjuntos de datos. Su fórmula se escribe como.

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Por otra parte, si X e Y son dos variables en cuestión, un diagrama de dispersión muestra la localización de los puntos (X, Y) sobre un sistema rectangular de coordenadas. Si todos los puntos del diagrama parecen estar en una recta, la

correlación es lineal entre las variables; sin embargo, aunque las variables estén relacionadas, no siempre se extienden sobre una línea recta y se dice que es una relación no lineal. Una línea recta, es el tipo más sencillo de una curva de ajuste (Spiegel, 1991) su ecuación puede escribirse:

$$Y = a_0 + a_1X \quad (2)$$

Dados cualesquiera dos puntos (X_1, Y_1) y (X_2, Y_2) sobre la recta, se pueden determinar las constantes a_0 y a_1 . La ecuación así obtenida se puede expresar.

$$Y - Y_1 = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}(X - X_1) \quad (3)$$

Donde

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad (4)$$

Se llama la pendiente de la recta y representa el cambio en Y dividido por el correspondiente cambio en X. Cuando la ecuación se escribe en la forma (2), la constante a_1 es la pendiente m. La constante a_0 , que es el valor de Y cuando $X = 0$, se nombra la *Y - intersección*.

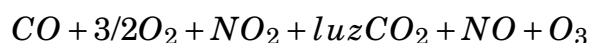
También se realizaron pruebas estadísticas para detectar, si los lotes de datos pertenecen a una distribución normal, y en su caso efectuar el análisis de varianza (ANOVA). Para lograr esto, se utilizó el estadístico Shapiro-Wilks (W); el cual se obtiene en función del valor medio y desviación estándar, calculados a partir de una muestra de datos. Si el estadístico es significativo, entonces la probabilidad de que los datos resulten de una distribución normal podría rechazarse. En caso contrario, se acepta la hipótesis y se efectúa el análisis de varianza (ANOVA) paramétrico. Las medidas de tendencia central que utilizan estos dos análisis son la media aritmética y la mediana respectivamente. Si la muestra de los datos no procede de una población con curva normal, se puede aplicar la prueba (H) de Kruskal-Wallis (Kruskal and Wallis, 1952). Este último análisis, se realizó para detectar diferencias significativas entre las estaciones de monitoreo en estudio, para el mes de mayo y los días de contingencia ambiental del 23 y 25 de mayo, 2024. El software estadístico Infostat versión libre 2008 usado esta investigación, tiene los módulos que efectúan los análisis citados previamente

Resultados

El mejor coeficiente de correlación de Pearson, para ozono hallado en el sitio Pedregal (*PED*), fue con monóxido

de carbono (*CO*) $R=0.90$, $p=0.000$; en Camarones (*CAM*), con los óxidos de nitrógeno (NO_X) $R=-0.56$, $p=0.05$; Benito Juárez (*BJU*), con el dióxido de nitrógeno (NO_2) $R=0.50$, $p=0.04$; Montecillos (*MON*), con humedad relativa (*HR*) $R=-0.42$, $p=0.07$ y en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (*UAX*), con humedad relativa (*HR*) $R=-0.63$, $p=0.07$.

A partir de estos valores, se plantearon los siguientes modelos; en Pedregal, el O_3 aumenta conforme sube el CO con factor de correlación $R=0.80$; $R^2=0.80$, $p<0.0001$ y error estimado en 0.0005ppm. A pesar de que el modelo no alcanzó a explicar el valor observado de 0.037ppm en 2024 (Figura, 2A), el supuesto podría ser válido porque es parecido al reportado en (Correa-García, 2023); Incluso, el cambio mínimo de 0.033ppm estimado para 2023 por dicho autor, casi coincidió con el promedio anual registrado de 0.034ppm por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) en ese año, mientras que el aporte de CO en la formación de O_3 fue explicado por Caselli, (1992) con la siguiente reacción química.



De esta forma, los cambios observados del O_3 , podrían atribuirse a fuentes móviles, que transitan en los alrededores de la caseta de monitoreo, y porque emiten directamente CO a la atmosfera, favoreciendo la formación de ozono. Conviene señalar que esta caseta fue reubicada en 2005 con la toma de muestra a una altura cercana de 11m sobre el nivel del suelo (Correa-García, 2023). Para el año 2025, el O_3 podría bajar a 0.033ppm (Figura, 2A).

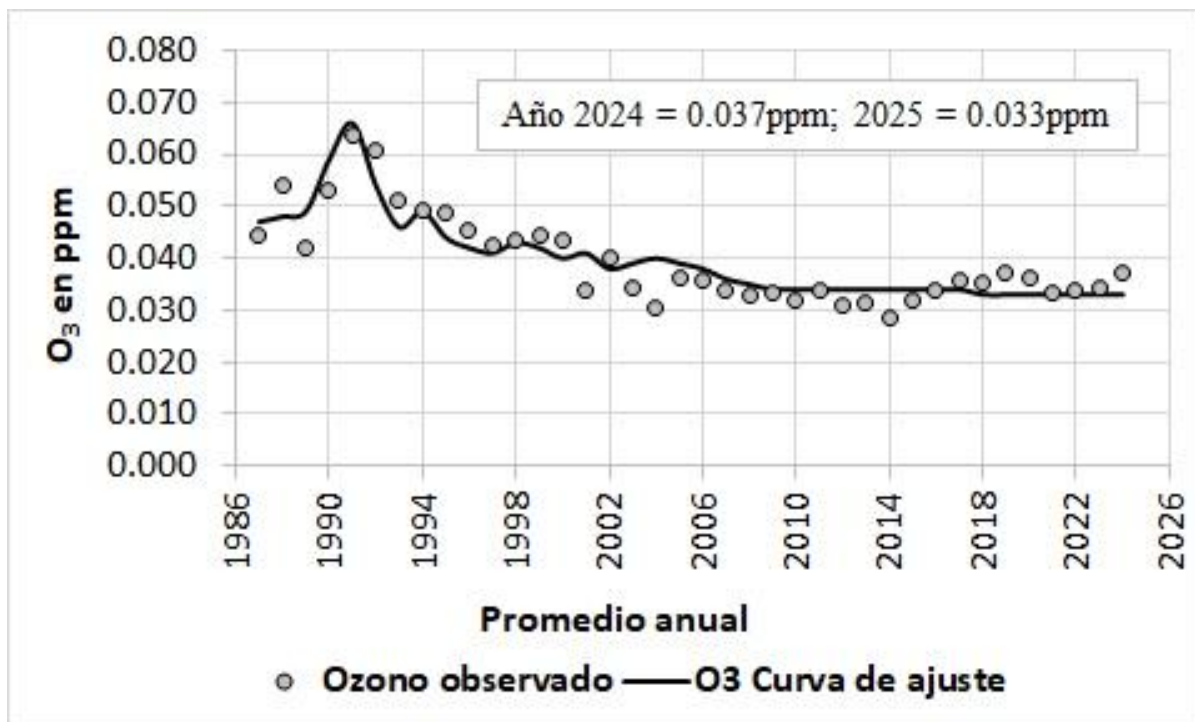
En la estación Camarones el O_3 baja según aumentan los óxidos de nitrógeno

(NO_X) con factor de determinación $R=0.32$; $R^2=0.25$, $p=0.0452$ y error estimado de 0.076ppm. El modelo podría ser válido porque la relación del O_3 con los NO_X fue documentada para la inhabilitada estación de Azcapotzalco y Lagunilla de la ciudad de México en (Correa-García, 2004). De esta forma, la producción de O_3 podría atribuirse también a fuentes móviles de emisión cercanas a la caseta. En este sitio de monitoreo, la altura de la toma de muestra es de 9m, sobre el nivel del suelo (SEDEMA, 2012) y se encuentra relativamente cerca unos 500m, de la Av. Cuitláhuac; donde años atrás, estuvo instalada la caseta de Cuitláhuac, que solamente medía CO . Así que Camarones, podría considerarse como reemplazo actual de la inhabilitada caseta de Cuitláhuac en 1993. En 2025, el O_3 podría bajar a 0.027ppm (Figura, 2B).

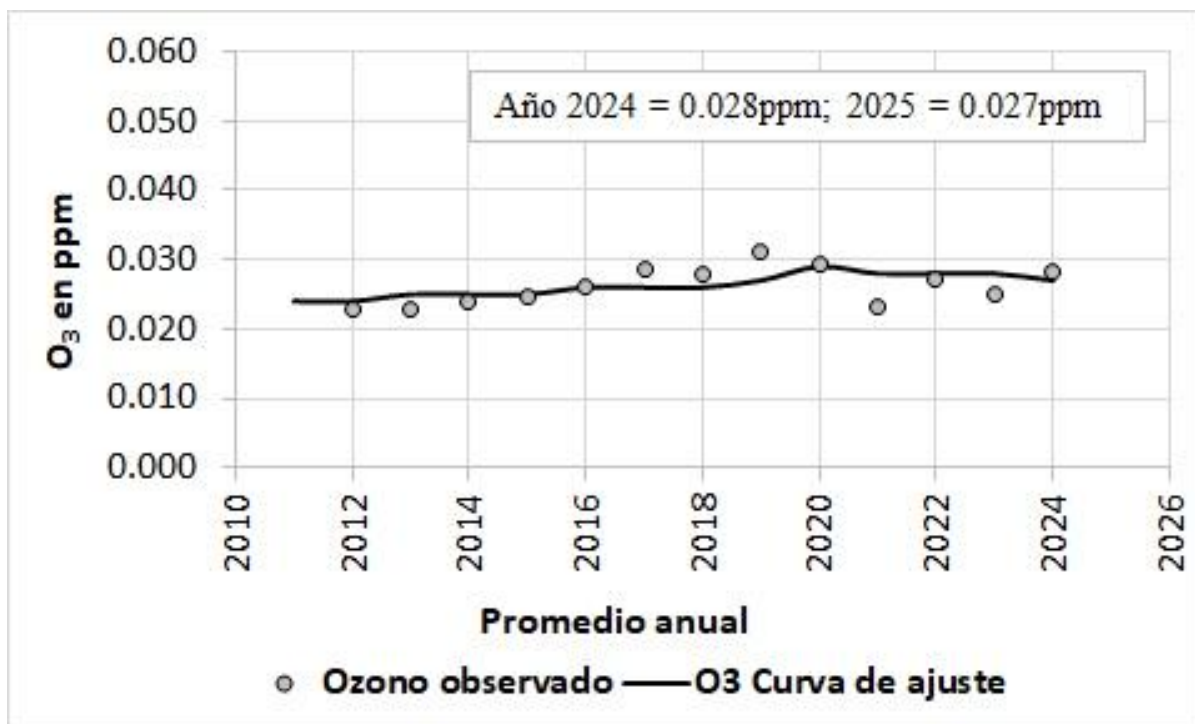
Para la estación Benito Juárez el O_3 aumenta conforme se incrementa el dióxido de nitrógeno (NO_2) con factor de determinación $R=0.25$; $R^2=0.20$, $p=0.0428$ y error estimado de 0.146ppm. El modelo podría ser válido, porque es parecido al reportado en (Correa-García, 2004), para la estación de Xalostoc (XAL) que está ubicada en Ecatepec estado de

México (Figura, 1). Además, el dióxido de nitrógeno (NO_2) que es emitido a la atmosfera principalmente por la industria y fuentes móviles, sobre todo las que utilizan gasolina diésel Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2020); es también precursor del O_3 , y el efecto en la salud de este contaminante ha evidenciado un aumento en la mortalidad total y por causas cardiovasculares y respiratorias cuando se incrementan los niveles de ozono (Borja-Aburto *et al.*, 1997). De manera similar el aumento de NO_2 , coincide con la agravación de síntomas de padecimientos respiratorio, circulatorio, cardiovascular y también con el incremento en la mortalidad (Farías *et al.*, 2017). Así que la producción de O_3 podría atribuirse a fuentes móviles que transitan en los alrededores de la caseta de monitoreo.

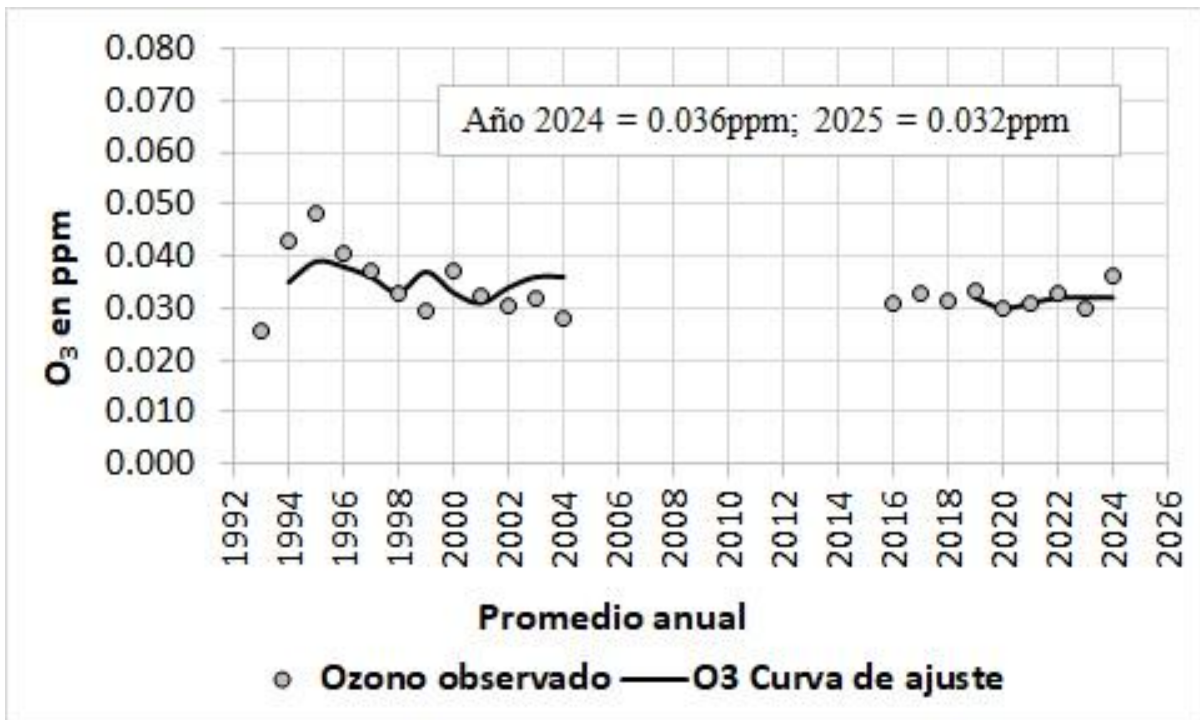
Es importante mencionar, que dicha caseta, quedo fuera de servicio en 2004 (Correa-García *et al.*, 2012); pero en 2016 fue reubicada y modernizada, con la altura de la toma de muestra alrededor de 20m sobre el nivel del suelo, en la misma área deportiva de la Alcaldía Benito Juárez (SEDEMA, 2018). Para 2025, el O_3 podría bajar a 0.032ppm (Figura, 2C).



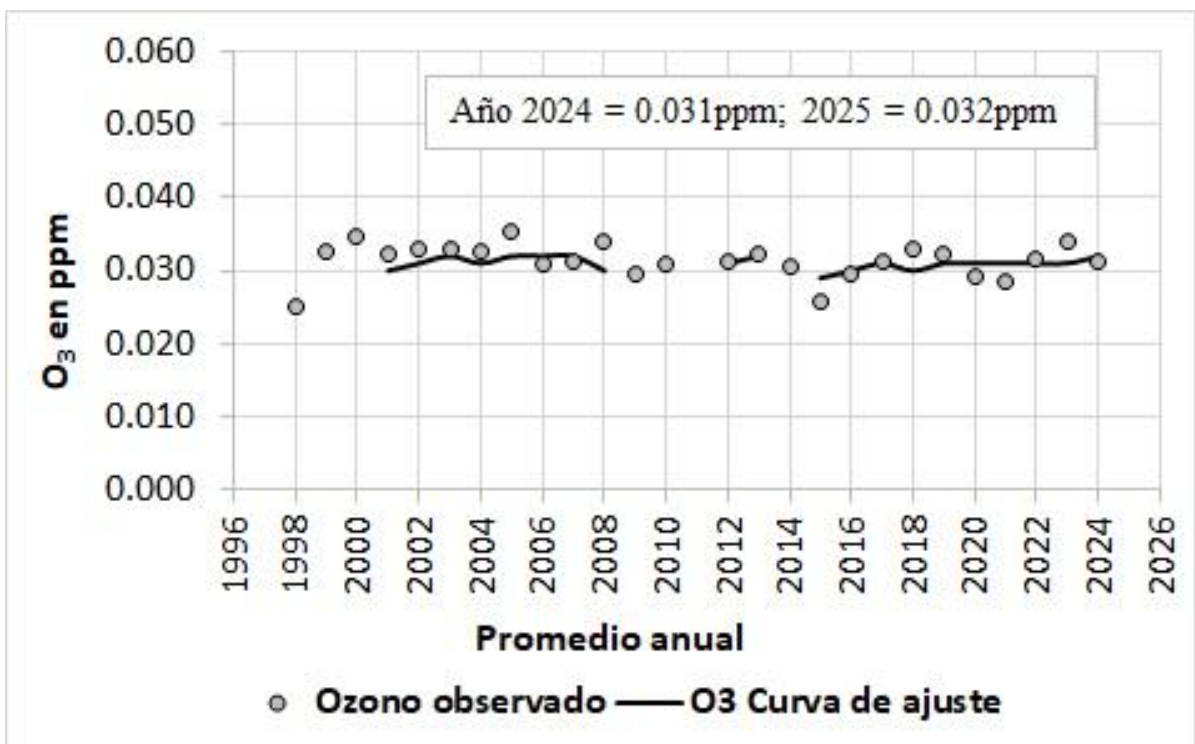
Gráfica (A) Pedregal



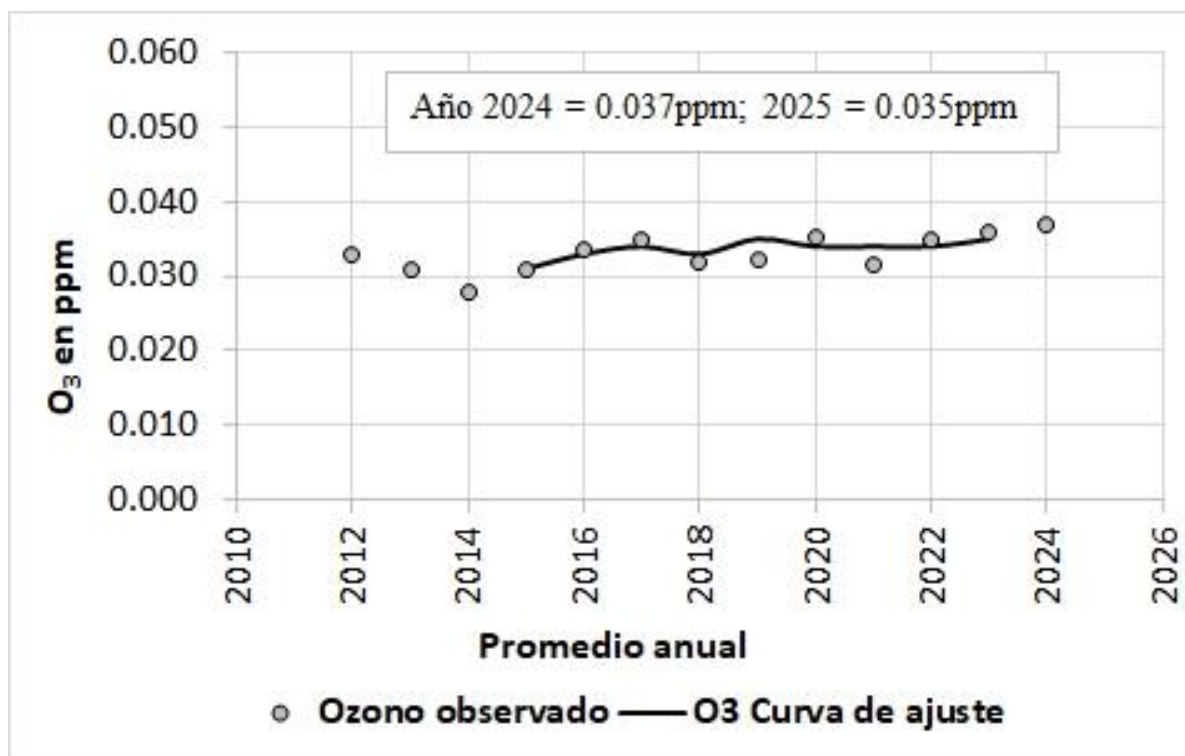
Gráfica (B) Camarones



Gráfica (C) Benito Juárez



Gráfica (D) Montecillos



Gráfica (E) UAX

Figura 2. Modelo de regresión para ozono y valor estimado para el año 2025 en varios sitios de monitoreo de la RAMA de la ciudad de México.

En la estación Montecillos, antes nombrada Chapingo el O_3 baja conforme sube la humedad relativa con factor de determinación $R=0.17$; $R^2=0.13$ y $p=0.0669$. No obstante, la no significancia de la variable, el supuesto podría ser correcto, debido a que la asociación de la humedad relativa y otras variables meteorológicas con ozono ha sido documentada en (Fast & Zhong, 1998 en Correa-García, 2004). Además, la caseta se ubica en una zona rural en el campo agrícola experimental al nivel del suelo, del Colegio de Posgraduados de la Universidad de Chapingo, por la carretera México-Texcoco Km 36.5 Montecillos (Correa-García *et al.*, 2012). Para el 2025 el O_3 podría subir a 0.032ppm (Figura, 2D).

En la estación Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, también el O_3 baja conforme sube

la humedad relativa con factor de determinación $R=0.39$; $R^2=0.31$ y $p=0.0708$. No obstante, la no significancia de la variable, el supuesto podría ser correcto y la explicación es la misma que se abordó anteriormente en la estación Montecillos. Pero con la diferencia de que la altura de la toma de muestra es de alrededor de 20m sobre el nivel del suelo (SEDEMA, 2018). Para el 2025 el O_3 podría bajar a 0.035ppm (Figura, 2E).

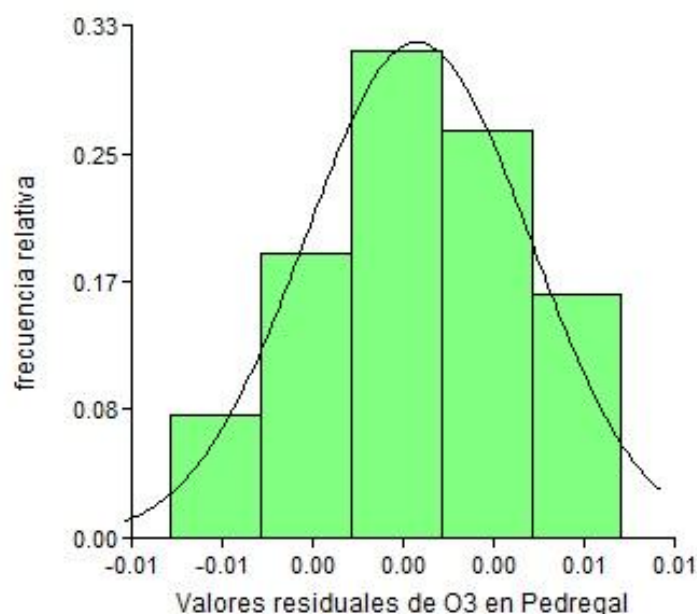
Discusión

Los coeficientes de correlación fueron aceptables en Pedregal y Benito Juárez, en Camarones estuvo por debajo de $R=0.5$, mientras que en Montecillos y la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, fue menor a $R=0.4$ y no significativos. A pesar de esto, los valores estimados en ambos sitios describieron curvas de ajuste aceptables

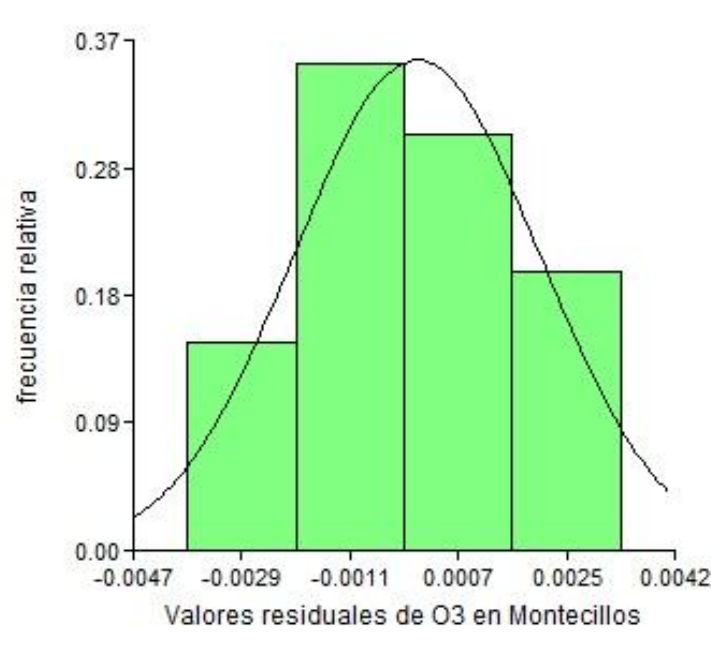
(Figura, 2D-E), junto con los demás sitios de muestreo (Figura, 2A-B y C). Asimismo, la (Figura, 3) presenta los valores residuales de O_3 , los cuales indicaron que en Pedregal y Montecillos se ajustaron bien a una distribución normal (Figura, 3A-B). Estos resultados fueron parecidos con los otros modelos propuestos, pero no se asignan en ningún apartado debido a lo amplio y extenso del estudio. Por otra parte, la (Tabla, 2) presenta el resumen estadístico de las concentraciones por año-mes, y del 20 al 31 de mayo, que incluye, la fase I y la contingencia ambiental declarada el 23 y 25 de mayo respectivamente por la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME, 2024-2024a).

Como se puede apreciar, al nivel de año el muestreo fue suficiente en BJU, CAM

y UAX (Tabla, 2A); pero al nivel mensual, el monitoreo ahora fue suficiente en CAM, MON y PED (Tabla, 2B). En cambio, al tomar la serie de tiempo del 20 al 31 de mayo, el sitio CAM quedó eliminado, debido al muestreo por debajo del 50% y BJU, MON y PED tuvieron un muestreo regular (Tabla, 2C); quedando solamente la UAX con un monitoreo aceptable. No obstante, lo anterior, el promedio anual de O_3 de 0.036ppm en BJU (Tabla, 2A), se aproximó bien al valor observado de 0.038ppm en el 2000 reportado en (Correa-García, 2004), mientras que la cifra de 0.037ppm en PED (Tabla, 2A), fue ligeramente superior al promedio anual de 0.036ppm observado en los años 2005-2006, 2017 y 2020, pero igual al registrado en el año 2019 de 0.037ppm documentado en (Correa-García, 2023).



Gráfica (A) Pedregal



Grafica (B) Montecillos

Figura 3. Histogramas de los valores residuales obtenidos del modelo anual de O_3 en dos sitios de monitoreo de la RAMA.

Más aun, el promedio mensual de superior al promedio de 0.063ppm 0.064ppm de O_3 visto en PED (Tabla, obtenido en mayo de 1990; pero igual con 2B), coincidió con los observados en abril de 1990 con 0.064ppm informado mayo de 1987-88 y fue ligeramente en (Correa-García, 2023).

Estación de monitoreo/zona	BJU	CAM	MON	PED	UAX	BJU	CAM	MON	PED	UAX
	Centro	Noroeste	Noreste	Suroeste	Sureste	Centro	Noroeste	Noreste	Suroeste	Sureste
Núm. Datos	6,167	6,306	6,618	7,207	6,012	624	466	539	533	625
Valor Medio	0.036	0.028	0.031	0.037	0.037	0.059	0.050	0.053	0.064	0.064
Desvest	0.033	0.030	0.027	0.030	0.033	0.038	0.040	0.031	0.036	0.040
Mediana	0.027	0.016	0.025	0.028	0.026	0.054	0.043	0.054	0.055	0.060
Valor mínimo	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.006	0.004
Valor máximo	0.165	0.155	0.134	0.171	0.176	0.160	0.155	0.125	0.168	0.174
Muestreo en %	70	72	75	82	68	84	63	72	72	84
Año 2024 = 8,784 datos (A)						Mayo 2024 = 744 datos (B)				
Estación de monitoreo/zona	BJU	CAM	MON	PED	UAX					
	Centro	Noroeste	Noreste	Suroeste	Sureste					
Núm. Datos	181	92	183	176	229					
Valor medio	0.057	0.045	0.048	0.063	0.062					
Desv. Est	0.040	0.038	0.034	0.038	0.042					
Mediana	0.050	0.037	0.047	0.053	0.051					
Valor mínimo	0.003	0.001	0.001	0.010	0.004					
Valor máximo	0.152	0.125	0.112	0.160	0.174					
Muestreo en %	63	32	64	61	80					
Mayo 20-31 2024 =288 datos (C)						Nota: Para interpretar los tonos véase la (Tabla, 1)				

Tabla 2: Resumen estadístico del promedio por año-mes y la contingencia ambiental por O_3 declarada el 23 y 25 de mayo 2024 en el Valle de México.

Esta última descripción, podría corroborar la tendencia regresiva del ozono a valores observados en la última década de los años noventa del siglo pasado, e inicios del nuevo milenio reportado en (Correa-García, 2023). Por otra parte, los resultados obtenidos del ANOVA no paramétrico podrían confirmar que la contaminación por O_3 en mayo 2024, fue más alta en el corredor sureste-suroeste e intermedia en el centro de la ciudad y estado de México por el rumbo a Texcoco (Tabla, 3A, Figura, 1), siendo menos contaminada la zona noroeste de la ciudad de México (CAM). En cambio, la evaluación del 20 al 31 de mayo, se redujo a 4 estaciones de monitoreo, por la eliminación del sitio CAM, debido a la insuficiencia de datos <50%, quedando el estado de México (MON) bien diferenciado con menos contaminación; en tanto que, el centro (BJU), sureste (UAX) y suroeste (PED) del área metropolitana de la ciudad de México, la contaminación fue alta y homogénea en dichos sitios (Tabla, 3B, Figura, 1); nótese que el muestreo a este nivel, predominó como suficiente, tal como se describió para la (Tabla, 2). Esta última descripción, sugiere que aún en las contingencias ambientales podrían faltar datos, o discontinuidad en las mediciones de O_3 .

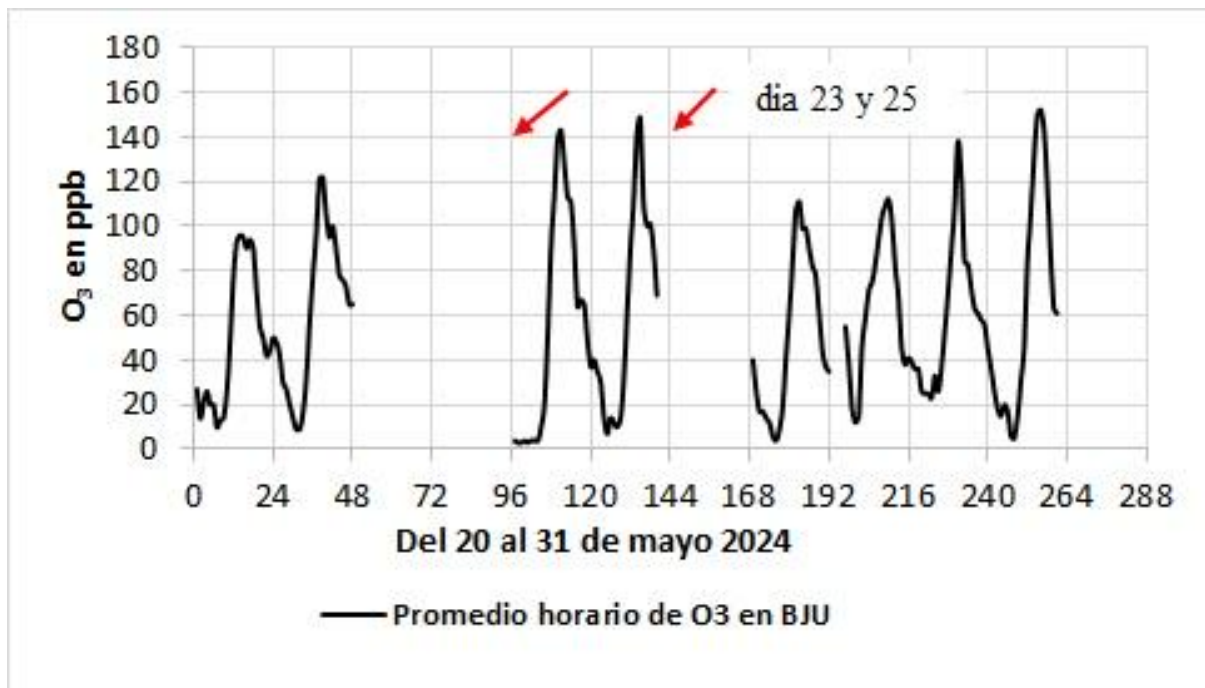
Por ejemplo, la (Figura, 4) presenta las concentraciones horarias de O_3 del

20 al 31 de mayo, 2024, que incluye los días de la contingencia el 23 y 25 de mayo (indicado con flechas). En términos generales, se puede observar la discontinuidad de mediciones de O_3 antes y durante los eventos en 3 de 4 sitios de monitoreo (Figura, 4A, B y C); siendo la UAM Xochimilco, el sitio donde se alcanzó el valor máximo de 0.174ppm el día 25 reportado por la (CAME, 2024a). Pese a esto, faltaron datos el día 24 de mayo (Figura, 4D). Este vacío de datos se debió a la eliminación de los valores -99 que son comunes hallarlos en las bases de datos de la RAMA (Correa-García, 2004); su eliminación, forman parte del proceso de validación empleado en este estudio, pues indican que no hubo registro. Sin embargo, estas interrupciones, podrían enmascarar la causa de los datos faltantes, como una falla, mantenimiento o calibración del equipo de monitoreo, y su efecto en las siguientes mediciones.

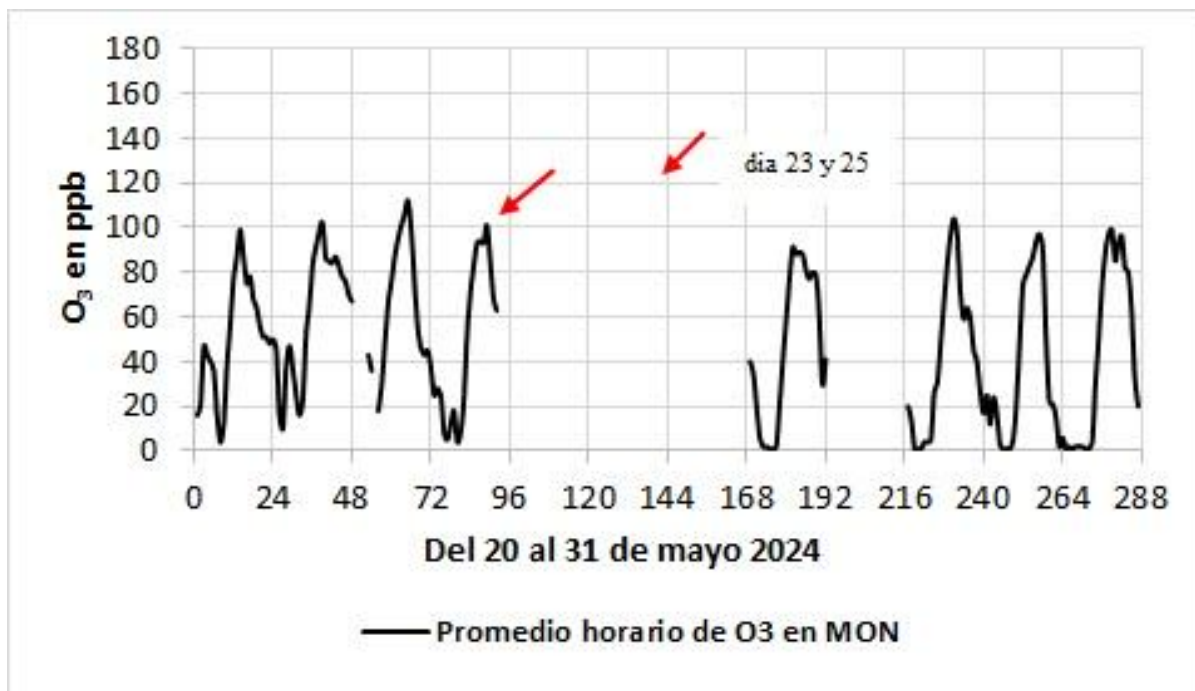
Es decir, que las circunstancias de ¿cómo se genera la información de la RAMA? se encuentra en la base de datos cruda, la cual no es compartida, porque su uso es de control interno, y la base de datos publica está disponible en <http://www.calidadaire.df.gob.mx.>, porque no contiene dicha información. Por ende, los resultados obtenidos en este estudio es lo más cercano a la realidad.

Estación de monitoreo/zona	BJU Centro	CAM Noroeste	MON Noreste	PED Suroeste	UAX Sureste	BJU Centro	CAM Noroeste	MON Noreste	PED Suroeste	UAX Sureste
Núm. Datos	6,167	6,306	6,618	7,207	6,012	624	466	539	533	625
Valor Medio	0.036	0.028	0.031	0.037	0.037	0.059	0.050	0.053	0.064	0.064
Desvest	0.033	0.030	0.027	0.030	0.033	0.038	0.040	0.031	0.036	0.040
Mediana	0.027	0.016	0.025	0.028	0.026	0.054	0.043	0.054	0.055	0.060
Valor mínimo	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.006	0.004
Valor máximo	0.165	0.155	0.134	0.171	0.176	0.160	0.155	0.125	0.168	0.174
Muestreo en %	70	72	75	82	68	84	63	72	72	84
Año 2024 = 8,784 datos (A)					Mayo 2024 = 744 datos (B)					
Estación de monitoreo/zona	BJU Centro	CAM Noroeste	MON Noreste	PED Suroeste	UAX Sureste					
Núm. Datos	181	92	183	176	229					
Valor medio	0.057	0.045	0.048	0.063	0.062					
Desv. Est	0.040	0.038	0.034	0.038	0.042					
Mediana	0.050	0.037	0.047	0.053	0.051					
Valor mínimo	0.003	0.001	0.001	0.010	0.004					
Valor máximo	0.152	0.125	0.112	0.160	0.174					
Muestreo en %	63	32	64	61	80					
Mayo 20-31 2024 =288 datos (C)					Nota: Para interpretar los tonos véase la (Tabla, 1)					

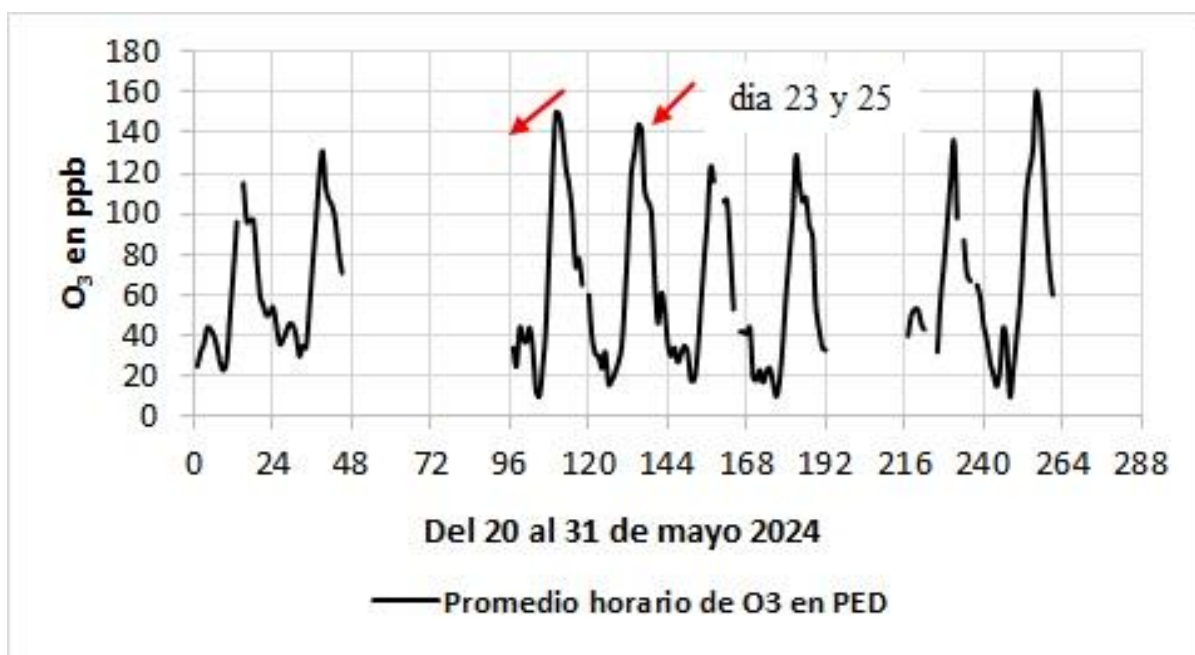
Tabla 3: Resumen ANOVA no paramétrico Kruskal-Wallis para detectar cambios en la mediana mensual de O_3 en ppm entre sitios de muestreo de la ciudad de México y estado de México. Los sitios en diferentes casillas son distintos con nivel de significación mínimo de 99%.



Gráfica (A) Benito Juárez



Gráfica (B) Montecillos



Gráfica (C) Pedregal



Gráfica (D) UAM Xochimilco

Figura 4. Contingencia Ambiental en la ZMVM por O_3 declarada por la Comisión Ambiental de la Megalópolis el 23 y 25 de mayo, 2024 a las 20:00hrs y 14:00hrs respectivamente de la Ciudad de México.

Por ello, la falta de datos deriva en dudas sobre la veracidad del evento y originan una guía incierta sobre los efectos del O_3 en la salud pública, tal como ocurrió en el pasado, con la contingencia ambiental decretada el 30-31 de diciembre en 1992 y 18-19 de septiembre en el año 2002, las cuales fueron documentadas en (Correa-García, 2004).

Conclusiones

La contaminación por ozono en la estación Pedregal, al suroeste de la ciudad de México bajó 17% (0.037ppm) en 2024 con respecto al valor registrado de 0.044ppm en 1987, pero se advierte de un incremento sostenido de 28% en los últimos 10 años, con tendencia regresiva a promedios anuales observados al inicio del nuevo milenio. El promedio alcanzado en mayo 2024 de 0.064ppm, mostró una marcada regresión a los valores registrados, desde que se inició el monitoreo a fines de la década de los años 80' del siglo pasado.

La contaminación por ozono en la estación Benito Juárez (Centro) subió 41% (0.036ppm) en 2024, con respecto al valor registrado de 0.026ppm en 1993. También mostró tendencia regresiva a concentraciones anuales observadas a finales de la década de los años 90' del siglo pasado e inicio del nuevo milenio. Por lo que esta y la descripción anterior, podrían ser un indicador de que la contaminación por ozono otra vez representa un problema ambiental en la capital del país.

La contaminación por ozono en la estación Camarones (Noroeste) aumentó 22% (0.028ppm) en 2024, con respecto al valor registrado de 0.023ppm en 2012. En la estación Chapingo /Montecillos, al noreste de la ciudad, en el estado de México subió 24% (0.031ppm) con respecto al valor observado de 0.025ppm en 1998. En la estación Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Xochimilco, al sureste de la ciudad subió 11% (0.037ppm) con respecto al valor registrado de 0.033ppm en 2012.

Los factores que influyeron en las concentraciones de O_3 , según los diferentes periodos de tiempo, fueron principalmente la humedad relativa, óxidos de nitrógeno (NO_X), dióxido de nitrógeno (NO_2) y monóxido de carbono (CO), los cuales parecen razonables según la ubicación de las estaciones de monitoreo, mientras que la altura de la toma de muestra en un rango del nivel del suelo hasta los 20m de altura, no parecen tener influencia en los niveles de O_3 .

Los valores de O_3 esperados al 2025, no están exentos de fallar, debido a la discontinuidad en las mediciones, los procesos de mantenimiento y calibración de los analizadores de O_3 , pero pueden considerarse como una guía de referencia.

La interrupción en las mediciones de O_3 antes y durante las emergencias ambientales, al menos en cinco estaciones de monitoreo, podrían proporcionar una guía efímera sobre los efectos adversos del O_3 en la salud pública. Se recomienda a las autoridades encargadas del monitoreo atmosférico, garantizar la confiabilidad de la información.

Agradecimientos

A la Dra. Georgina Carbajal de la Torre, de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) y al Dr. Enrique Rico Arzate, de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industria Extractiva ESIQIE del Instituto Politécnico Nacional. Por sus comentarios y sugerencias en este

estudio.

Referencias

- [1] Balzarini MG, González L, Tablada M, Casanoves F, Di Rienzo JA, Robledo CW (2008). Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- [2] Borja-Aburto, V., Loomis, D., Bangdiwala, S. Shy, C., Rascon-Pacheco, R. Ozone, Suspended Particulates, and Daily Mortality in Mexico City, American Journal of Epidemiology, 1997; 145: 258-268
- [3] Caselli, M. (1992). La Contaminación Atmosférica. Causas y fuentes. Efectos sobre el clima, la vegetación y los animales. Siglo XXI Editores. México, DF, México.
- [4] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2020). Efectos de las cuarentenas y restricciones de actividad relacionadas con el COVID-19 sobre la calidad del aire en las ciudades de América Latina y el Caribe. Pp. 1-12., Julio del 2020 Copyright © Naciones Unidas, 2020. <http://www.cepal.org>.
- [5] Comisión Ambiental de la Megalópolis CAME. (2024a). Se activa contingencia ambiental atmosférica por ozono en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Comunicado de Prensa 25 de mayo, 2024 14:00hrs. <https://www.gob.mx/comisionambiental/prensa/se-activa-contingencia-ambiental-atmosferica-por-ozono-en-la-zona-metropolitana-del-valle-de-mexico-zmvm-366013>

- [6] Comisión Ambiental de la Megalópolis CAME. (2024). Se mantiene la Fase I de contingencia ambiental atmosférica por ozono en la ZMVM. Comunicado de Prensa 23 de mayo, 2024 20:00hrs.
- [7] Correa-García, A. (2023). Evaluación de ozono y temperatura al suroeste de la ciudad de México. *Conciencia Tecnológica*. Número 66, Julio-diciembre 2023. Publicado en Mayo, 2024. Pp. 23-33 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94477589003>
- [8] Correa-García, Rico A, Coronado M. (2012). Análisis y Evaluación de la Contaminación del Aire del Valle de México. Un cuarto de siglo monitoreando la atmósfera de la Cuenca de México. Julio 17, 2012. Pp. 307. Editorial Académica Española. Printed in the U.K. ISBN: 978-3-659-02520-4.
- [9] Correa-García, A. (2004). Contaminantes Atmosféricos en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Universidad Autónoma Metropolitana Instituto Politécnico Nacional. Pp. 280. Impreso en México, DF. México. Primera edición 2004. Primera reimpresión Noviembre, 2009. ISBN 970-36-0349-2, ISBN 970-36-0199-5
- [10] Enciso, L. A. (2024). Activan la contingencia ambiental número 11 del año en el valle de México. Publicado el 31 de mayo 2024 09:30 <https://www.jornada.com.mx/autores/ang%c3%a9licaencisol>. <https://www.jornada.com.mx/noticia/2024/05/31/capital/activan-la-contingencia-ambiental-numero-11-del-ano-en-el-valle-de-mexico-4782>
- [11] Farias A, Hoek G, Monteiro A. Effects of NO₂ exposure on daily mortality in Sao Paulo, Brazil. *Environ Res.* 2017; 159:539-44. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.041>
- [12] Fast, Jérôme D. y Shiyuan Zhong. (1998). "Meteorological factors associated with inhomogeneous ozone concentrations in the Mexico City basin", *Journal of Geophysical Research*, vol. 103, núm. D15, pp. 18,927-18,946.
- [13] Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. (PROAIRE, 2002-2010). Comisión Ambiental Metropolitana.
- [14] Riveros, G.H. (2016). "Contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana del Valle de México" *Ciencia*, núm. 4., volumen 68 • octubre-diciembre de 2016. Pp. 86-87. Correspondencia. Carta al editor de la revista *Ciencia*
- [15] Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (SMADF). Gobierno de México. Bases de datos públicos. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27YqBhnmI=%27>
- [16] Secretaria del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA). (2024). Calidad del aire en la Ciudad de México, Informe 2021. Dirección General de Calidad del Aire, Dirección de Monitoreo de Calidad del Aire. Disponible en <http://www.calidadaire.df.gob.mx>.
- [17] Secretaria del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA). (2018). Sistema de monitoreo atmosférico de la ciudad de

- México. Ambient Air Quality Monitoring Audit Repor. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire. Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. 2018, Pp. 72. Mexico City Audit 2018. Disponible en <http://www.calidadaire.df.gob.mx>.
- [18] Secretaria del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA). (2012). Audit of ambiente air monitoring stations for the sistema de monitoreo atmosférico de la ciudad de México. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire. Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. 2012, Pp. 57. Mexico City Ambient Air Monitoring Audit 2012. Disponible en <http://www.calidadaire.df.gob.mx>.
- [19] Spiegel, Murray, R. (1991) Estadística. Segunda Edición. Editorial McGraw-Hill. Impreso en España.
- [20] Xu Li Owen. (2021). Relationship Between Air Quality and the Number of Acute Respiratory Disease Infections in Mexico City. IJRP 2021, 81(1), 15-22; doi: .10.47119/IJRP100811720212118