

EVALUACIÓN DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN Y MATERIAL PARTICULADO EN EL AIRE DE PARQUEADEROS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, ECUADOR

EVALUATION OF COMBUSTION GASES AND PARTICULATE MATERIALS IN THE AIR OF PARKING METROPOLITAN DISTRICT OF QUITO, ECUADOR

Jorge López Terán, Ph.D.

 <https://orcid.org/0000-0001-9148-4503>

Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador
jllopez@uce.edu.ec

Jhonny Correa Abril, Mgtr.

 <https://orcid.org/0000-0002-6949-1923>

Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador
jgcorrea@uce.edu.ec

Yulixis Cano, Ph.D.

 <https://orcid.org/0000-0003-4442-9039>

Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador
yulixiscano@gmail.com

José Bermúdez Portero, Ph.D.

Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador
jebermudez@uce.edu.ec

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Recibido: 26 de mayo de 2022

Aceptado: 6 de julio de 2022

RESUMEN

La emisión de gases vehiculares y de material particulado en el aire de las ciudades afectan la calidad del aire y la salud de las personas, situación ligada a las actividades antropogénicas como el transporte vehicular, la actividad industrial y el microclima de cada ciudad. En tal sentido, se determinó la cantidad de gases de combustión y el material particulado producido por automóviles que llegan a dos parqueaderos del Distrito

Metropolitano de Quito (DMQ). La recolección de muestras fue realizada empleando un analizador de gases móvil T. El estudio se realizó durante 21 días del año 2017 en dos parqueaderos de automóviles ubicados en el mercado Comité del Pueblo (Sector Centro) y en el mercado San Francisco (Sector Norte) de la ciudad de Quito (Total= 42 días). Los resultados indican que el sector centro presentó valores elevados de los gases SO₂, NO_x y O₃, mientras que en el sector norte se observaron valores altos en NO₂, CO₂, O₃ y CO. Las concentraciones de Ozono (O₃), resultaron elevadas en el Sector Centro (112,07 µg/m³), muy cerca del límite máximo permisible establecido, así como las de NO_x también se encuentra cerca del límite máximo permisible por la OMS (400 µg/m³). Los datos revelan que a pesar de tener valores significativos de concentración bastante cercanos entre los dos sectores para ciertos gases como el NO_x y NO₂, también existen grandes diferencias entre los valores obtenidos para O₃, CO y NO₂. Con relación al material particulado, los valores en ambos sitios fueron similares, observando valores elevados para PM_{2,5}.

Palabras Claves: particulado atmosférico, gases de combustión interna, contaminación atmosférica

ABSTRACT

The emission of vehicular gases and particulate material to the air of cities affects air quality and human health, this situation is always connected to anthropogenic activities such as vehicular transport, industrial activity and the microclimate of each city. Therefore, the amount of combustion gases and the particulate material produced by cars arriving at parking areas of the Metropolitan District of Quito (DQ) has been assessed. Sample collection was carried out using a mobile T gas analyzer. The study was carried out throughout 42 days of year 2017 in two car parks located at the north and center of the city of Quito. The results indicate that center sector contains high values of SO₂, NO_x and O₃ gases, while the north zone presented high values of NO₂, CO₂ and CO. O₃ concentrations were high in the Central Sector (112.07 µg / m³), very close to the maximum permissible limit established. The NO_x concentration is close to the maximum permissible limit by WHO (400 g/m³). The data revealed that despite having significant concentration values very close between the two sectors for certain gases such as NO_x and NO₂, there are also large differences between the values obtained for the O₃, CO and NO₂ gases. With respect to particulate substance, the values in both sites were similar, perceiving significant high values for PM_{2,5}.

Keywords: atmospheric particulate material, internal combustion gases, air pollution atmospheric.

INTRODUCCIÓN

La exposición a la contaminación atmosférica se encuentra en todos los espacios abiertos y cerrados, pero la mayor concentración de gases contaminantes se produce en sitios urbanos, y esto puede afectar a la población dependiendo de la exposición a la que esté sometida a corto, mediano o largo plazo (Santurtún et al., 2017).

La contaminación atmosférica se puede definir como la presencia de sustancias nocivas en la atmósfera en concentraciones que podrían llegar a provocar daños en la salud de la población o en diferentes ecosistemas (Álvarez, 2011; Uvilla y Yohannessen, 2017). Otra definición general de la contaminación del aire indica que se encuentra contaminado cuando existe una mezcla compleja de contaminantes debido a las numerosas fuentes de emisión de éstos, lo cual hace difícil el estudio de sus efectos en salud. (Onursal y Gautam, 1997; Martínez y Díaz, 2004; Radojevic y Bashkin, 2015).

Los contaminantes varían enormemente, así como su presencia, variabilidad y efectos en la salud, por lo tanto, la EPA (por sus siglas en inglés Environmental Protection Agency) estableció con fines regulatorios, una división, clasificándolos entre contaminantes criterio y contaminantes no criterio (Santurtún et al., 2017).

Las fuentes de emisión de contaminantes pueden ser móviles o estacionarias. La principal fuente móvil de contaminación del aire es el transporte vehicular, mientras que las fuentes estacionarias, pueden ser instalaciones fijas (industrias) que utilizan la quema de diferentes combustibles. También existen otras fuentes, como los incendios forestales y la quema de biomasa o basura y la que proviene de procesos naturales como erupciones volcánicas, tormentas de polvo, entre otras (Carnicer, 2008; WHO, 2016).

Por otro lado, una vez en la atmósfera, los contaminantes emitidos por las diferentes fuentes se transforman y son influenciados por factores ambientales como la temperatura, el pH y la humedad. Estos factores modifican la composición y, por lo tanto, aumenta la toxicidad o propiedades biológicas de la mezcla.

En Ecuador, la contaminación del aire tiene sus causas en las deficiencias de algunos aspectos relacionados con la planificación territorial de los asentamientos humanos, la localización de fábricas e industrias, la utilización de tecnologías obsoletas en las actividades productivas y de transporte, mala calidad de los combustibles, explotaciones mineras a cielo abierto, entre otras (Celi, 2018). En la actualidad el parque automotor en Ecuador se ha incrementado notoriamente en los últimos 5 años en alrededor de un 50% (Celi, 2018), siendo una de las principales causas de la contaminación atmosférica. Esta situación resulta preocupante y requiere atención inmediata debido al deterioro que

padecen muchas ciudades de la sierra ecuatoriana debido a las condiciones geográficas, topográficas, meteorológicas y climáticas, que inducen a la agudización del problema ambiental por la contaminación atmosférica, aumentando los riesgos en la salud de la población, ya que se trata de la particularidad del ámbito de acción conocido como: "ciudades de altura", correspondiente a 2.500 metros sobre el nivel del mar (Celi, 2018; Puerta, 2019).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) el aire limpio es un requerimiento básico de la salud humana y su bienestar, la contaminación del aire continúa representando una significativa amenaza a la salud a nivel mundial (OMS, 2006).

En el país se cuenta con pocas investigaciones sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud de las personas, estos temas no han sido incluidos en los programas de desarrollo urbano y no se han llevado a cabo estudios epidemiológicos relacionados con la contaminación del aire (Jerves y Armijo, 2016; Peña, 2018; Llanes et al., 2018; Moscoso et al., 2019).

En el Informe anual de la calidad del aire en Quito correspondiente al año 2016 se determinó que el mayor problema de contaminación atmosférica se atribuye a las emisiones de material particulado fino (PM_{2,5}) o partículas sedimentables. Estas últimas excedieron el límite permisible de la norma ecuatoriana de calidad del aire casi todos los meses del año en, al menos, una de las estaciones de monitoreo (Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Quito, 2017).

Basados en los antecedentes antes indicados el objetivo principal de este estudio consistió en analizar los niveles de gases de combustión: dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), ozono (O₃) y óxidos de nitrógeno (NO_x), así como la concentración de partículas atmosféricas menores a 2,5 micrones (PM_{2,5}) y a 10 micrones (PM₁₀), en dos parqueaderos cerrados de mercados del Distrito Metropolitano de Quito y comparar los datos obtenidos con los límites permisibles establecidos por la norma de calidad de aire del Ecuador.

REVISIÓN TEÓRICA

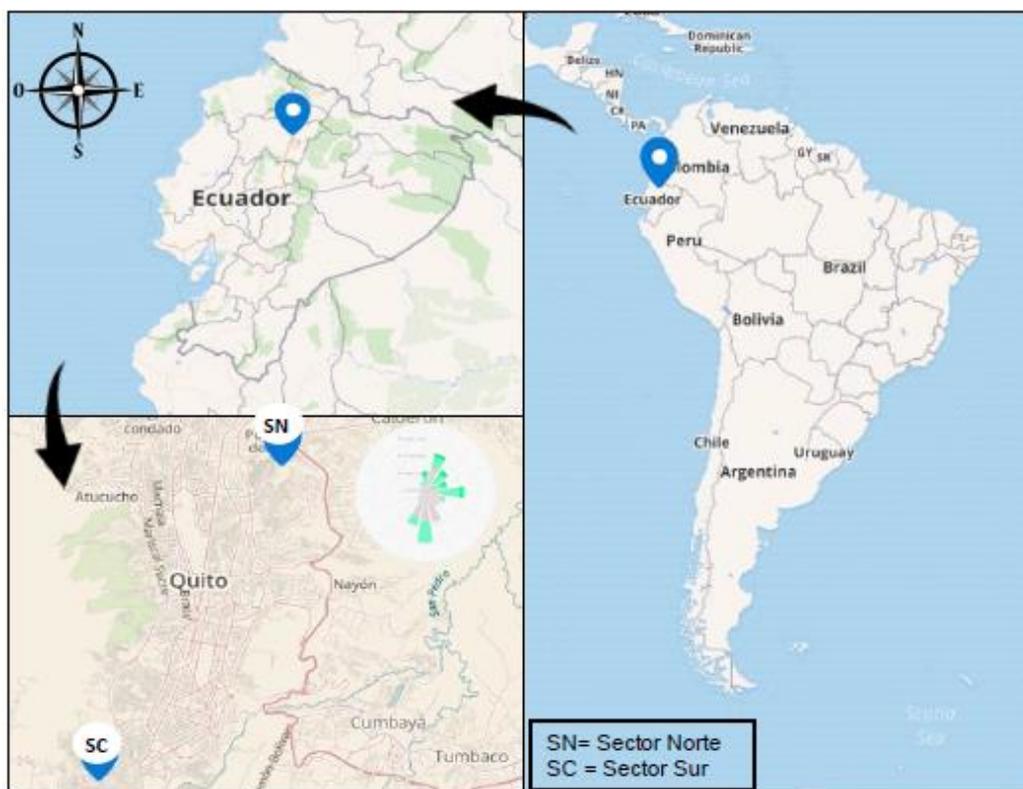
Descripción de los sitios de muestreo

La investigación se realizó en dos puntos del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), siendo estos: el parqueadero del mercado San Francisco (Sector Centro) ubicado en las coordenadas Latitud sur 0°13'11.554", Longitud oeste 78° 31'6.305" y el parqueadero del mercado del Comité del Pueblo (Sector Norte) ubicado en las coordenadas Latitud sur 0°7'16.526", Longitud oeste 78°27'39.551", como se muestra en la Figura 1. Los

parqueaderos antes indicados fueron seleccionados basados en la afluencia de público, facilidad de acceso y el permiso de uso de las instalaciones.

Figura 1

Localización geográfica de los sitios de muestreo: Sector Centro (SC) y Sector Norte (SN).



Fuente: Maphub, 2020.

Recolección de muestras

Para la recolección de gases contaminantes y material particulado producidos por vehículos, se utilizó la unidad de monitoreo móvil T, la cual se ubicó en los dos parqueaderos cerrados de mercados municipales de Quito con la previa autorización de la Agencia de Coordinación Distrital del Comercio (ACDC). La recolección de los datos se realizó durante 21 días continuos en cada parqueadero de forma no simultánea, el periodo de recolección de muestras se realizó durante el período del 17 de septiembre al 07 de octubre 2017 en el Sector Centro y del 7 al 28 de noviembre 2017 en el Sector Norte.

La unidad móvil almacenó los datos obtenidos, teniendo un sistema de emergencia ante fallos de energía eléctrica. Antes de iniciar la recolección de datos, se evaluó el lugar de análisis durante una semana, con la finalidad de determinar la mejor ubicación de la unidad móvil en los sitios de muestreo y se establecieron los protocolos de calibración siguiendo las especificaciones del equipo, control de datos y verificación diaria del funcionamiento.

La recolección de las muestras de aire se realizó empleando una estación móvil automática de monitoreo de calidad de aire ambiental (unidad móvil T), de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador (FIQ-UCE) (ver Figura 2), provista de los siguientes equipos:

- Analizador de SO₂ modelo T100 marca TELEDINE.
- Analizador de analizador de NO₂, NO_x, NO, y de O₃, modelo T204 marca TELEDINE.
- Analizador de CO modelo T300 marca TELEDINE.
- Analizador de material particulado PM₁₀ modelo DUST SENTRY PM₁₀ marca AEROQUAL.
- Analizador de material particulado PM_{2,5} modelo DUST SENTRY PM_{2,5} marca AEROQUAL.
- Multicalibrador dinámico de gas (T700).

Figura 2

Estación móvil automática de muestreo de la FIQ-UCE.



Se evaluaron las concentraciones de todos los gases de combustión mencionados, así como las concentraciones de material particulado atmosférico menor a 2,5 micrones (PM_{2,5}) y el material particulado menor a 10 micrones (PM₁₀). En la tabla I se indican los parámetros analizados y la metodología empleada en cada caso.

Tabla 1

Parámetros evaluados y métodos analíticos empleados en el equipo móvil T.

Parámetro	Periodo	Método	Referencia
SO ₂	24 horas	Fluorescencia Ultravioleta	http://eservices.teledyne-api.com/products/T204.asp
NO ₂	1 hora	Quimioluminiscencia	http://eservices.teledyne-api.com/products/T204.asp
PM _{2,5}	24 horas	Separación Inercial/ Filtración	https://www.aeroqual.com/product/dust-sentry-pm2-5-monitor
PM ₁₀	24 horas	Separación Inercial/ Filtración	https://www.aeroqual.com/product/dust-sentry-pm10-monitor
CO	1 hora	Infrarrojo no dispersivo	https://www.directindustry.es/prod/teledyne-advanced-pollution-instrumentation/product-22283-563575.html
O ₃	8 horas	Fotometría de Absorción	http://eservices.teledyne-api.com/products/T204.asp
NO _x	1 hora	Quimioluminiscencia	http://eservices.teledyne-api.com/products/T204.asp

METODOLOGÍA

Análisis de SO₂

Se utilizó el analizador de SO₂ modelo T100 marca TELEDINE. Este modelo utiliza el principio de fluorescencia UV, junto con una interfaz de usuario para proporcionar mediciones fáciles, precisas y fiables de SO₂.

Análisis de NO, NO₂, NO_x y O₃

Se utilizó el analizador modelo T204 marca TELEDINE. Este modelo combina la tecnología de medición de NO-NO₂-NO_x por quimioluminiscencia con un banco de ozono, usando absorción UV. El modelo T204 se emplea para el monitoreo de cuencas aéreas urbanas, estudios de tráfico o monitoreo independiente de NO_x/O₃.

Análisis de CO

Se utilizó el analizador de CO modelo T300 marca TELEDINE. El modelo T300 mide gamas bajas de monóxido de carbono comparando la energía infrarroja absorbida por una muestra y la absorbida por un gas de la referencia según la ley de Beer-Lambert.

Análisis del material particulado

La presencia de material particulado PM10 se estudió empleando el analizador de PM10 modelo DUST SENTRY PM10 marca AEROQUAL. El cual es un instrumento modular de monitoreo de la calidad del aire para la medición específica de partículas y polvo. Proporciona una medición de partículas en tiempo real de PM10 utilizando un nefelómetro de dispersión de luz cercano y un ciclón de corte de alta precisión, con un rango de medición de 0-60,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En el caso del material particulado PM2,5, se utilizó el analizador de PM2,5 modelo DUST SENTRY PM2,5 marca AEROQUAL, que consiste en un instrumento modular de monitoreo de la calidad del aire para la medición específicas de partículas y polvo. Proporciona una medición de partículas en tiempo real de PM2,5 utilizando un nefelómetro de dispersión de luz cercano y un ciclón de corte de alta precisión, con un rango de medición de 0-60,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Multicalibrador dinámico de gas (T700)

Es un calibrador por microprocesador para los analizadores de gas de precisión, el cual usa reguladores altamente exactos de flujo total combinados con fuentes comprimidas de gases estándar, los estándares de la calibración se proporcionan para múltiples puntos y las calibraciones se dan usando hasta 4 fuentes del gas.

Procedimiento para la recolección de muestras

Previo a la movilización del equipo de monitoreo de gases, los mismos se aseguraron para mantenerlos estables y descartar algún daño o descalibración. En cada uno de los sitios seleccionados para la recolección de las muestras, una vez instalado el equipo, se acoplaron los detectores de material particulado (2,5 y 10 ppm) realizando las conexiones eléctricas respectivas. Posteriormente se aplicó el protocolo de calibración y de funcionamiento del equipo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados promedios obtenidos para cada parámetro analizado en el aire atmosférico de los dos sectores, centro y norte del Distrito Metropolitano de Quito se resumen en las tablas II y III. Observando los datos en las tablas antes mencionados, se puede indicar que el sector centro fue el que presentó valores más elevados estadísticamente significativos ($p < 0,01$) de las concentraciones SO_2 , NO_x , O_3 y PM_{10} , mientras que la zona norte mostró valores altos en NO_2 y CO .

Dichos resultados pueden ser atribuidos, a la infraestructura que presentan las instalaciones de los parqueaderos de mercados municipales, pues al delimitar la zona del parqueadero a un subsuelo con poca ventilación, la tendencia de acumulación de los gases contaminantes y partículas por efecto de la combustión de motores es inevitable.

Tabla 2

Resultados del monitoreo del aire en el Sector Centro, parqueadero del Mercado “San Francisco” del DMQ (n = 21 días; 2017).

Parámetro	Media de valores registrado	σ	σ^2	Constante (k)	Límite máximo permisible	Criterio de evaluación
So ₂ (µg/m ³) (24 horas)	8,4	2,33	5,44	--	250,00	NE más de 7 veces al año.
No ₂ (µg/m ³) (1 hora)	33,4	13,18	173,65	--	200,00	NE más de 24 veces al año
Pm _{2,5} (µg/m ³) (24 horas)	6,32	4,98	24,75	--	100,00	NE más de 24 veces al año
Pm ₁₀ (µg/m ³) (24 horas)	9,21	6,86	47,12	3,5	50,00	NE más de 7 veces al año.
Co(mg/m ³) (1 hora)	2,84	4,30	18,45	--	300000,00	NE más de 1 vez al año
O ₃ (µg/m ³) (8 horas)	112,07	1,18	0,02	12,5	100,00	NE más de 24 veces al año
Nox (µg/m ³) (1 hora)	130,93	111,3	123,84	4,0	400,00	NE más de 24 veces al año
No (µg/m ³) (1 hora)	106,41	99,35	98,7	3,0	200,00	NE más de 24 veces al año

Tabla 3

Resultados del monitoreo del aire en el Sector Norte, parqueadero del Mercado del “Comité del Pueblo” del DMQ (n = 21 días; 2017).

Parámetro	Media de valores registrado	σ	σ^2	Constante (k)	Límite máximo permisible	Criterio de evaluación
SO ₂ (µg/m ³) (24 horas)	3,8	2,24	5,01	--	250,00	NE más de 7 veces al año.
NO ₂ (µg/m ³) (1 hora)	27,76	13,18	173,65	--	200,00	NE más de 24 veces al año
PM _{2,5} (µg/m ³) (24 horas)	10,7	5,14	26,38	--	100,00	NE más de 24 veces al año
PM ₁₀ (µg/m ³) (24 horas)	12,65	7,20	51,80	3,5	50,00	NE más de 7 veces al año.
CO (mg/m ³) (1 hora)	2,92	4,72	22,32	--	300000,00	NE más de 1 vez al año
O ₃ (µg/m ³) (8 horas)	5,97	1,18	1,40	12,5	100,00	NE más de 24 veces al año
fNO _x (µg/m ³) (1 hora)	182,3	141,14	199,84	4	400,00	NE más de 24 veces al año
NO (µg/m ³) (1 hora)	153,83	127,73	163,70	3	200,00	NE más de 24 veces al año

Es importante destacar, que los valores encontrados de los contaminantes evaluados tanto de los gases como del material particulado en el presente trabajo están dentro de los límites y en concordancia con los observados en otros estudios (Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Quito, 2017)

En el informe de la Red de Monitoreo del Aire de Quito (REMMAQ) para el año 2016, el SO₂ presentó promedios anuales altos solo en el valle de los Chillos, ello debido a la presencia en ese sector de la termoeléctrica Guangopolo, entidad que emite grandes cantidades de este gas; en las demás estaciones hubo una tendencia decreciente. Sobre el estado de este contaminante en lo que tiene que ver con los promedios de medición de corto plazo 24 horas, la información no registra ninguna alteración a la norma de concentraciones mayores 350 µg/m³ en todo el período del informe (Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Quito, 2017).

Por otra parte, la concentración de ozono en el Sector Centro, presentó valores elevados (112,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), esto probablemente se deba a las temperaturas elevadas del ambiente del sitio de recolección de muestras y a la acumulación de los precursores por la falta de ventilación en el parqueadero, lo que permiten las reacciones entre óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, elevando de esta manera se forma este contaminante secundario y por consiguiente las concentraciones del O_3 se encontraron muy cerca del límite máximo permisible establecido (ver tabla II), lo cual coincide con lo reportado en el informe del año 2016 elaborado por REMMAQ (Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Quito, 2017).

Para este gas en términos de la variación octohorario, es decir, durante 8 horas continuas de evaluación, observada (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el informe de REMMAQ del año 2016, se puede apreciar que se incumple la norma en los sectores de carapungo y el centro histórico de Quito, lo cual según la OMS, indica que podrían presentarse efectos fisiológicos e Inflamatorios en los pulmones de niños y adultos jóvenes sanos que hacen ejercicios por los sectores (OMS, 2006; Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Quito, 2017).

Adicionalmente, en la tabla III se puede observar que en el Sector Norte el promedio de las concentraciones de ozono fue 5,97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, este valor tan bajo se puede deber a que este parqueadero tiene buen sistema de ventilación lo que no permite la acumulación de los precursores de este contaminante secundario.

Además, la capa atmosférica en contacto directo con la superficie terrestre sufre variación durante el día, provocada por los procesos de calentamiento superficial diurno y enfriamiento nocturno, como es de esperarse, esto afecta las concentraciones de los contaminantes a nivel del suelo (López et al., 2010), en tal sentido, en el que se produce un descenso progresivo de dichos niveles hasta alcanzar los promedios mínimos.

El análisis estadístico reveló que existen diferencias significativas ($p < 0,01$) entre las concentraciones promedio encontradas en los dos sitios de recolección de muestras, indicando que las concentraciones máximas de O_3 son significativamente más altas en el Sector Centro.

En las figuras 3, 4, 5 y 6 se grafican los datos obtenidos para cada una de las variables estudiadas, donde se observa de manera más clara los resultados de los dos sitios de muestreo, cuyos datos fueron representados para una semana y el día más representativo fue el día sábado.

Se utilizó el análisis estadístico de correlación de los gases y el material particulado, con el fin de encontrar la asociación entre los mismos, y, por lo tanto, las posibles fuentes de contaminantes gaseosos y la reacción que ocurre en la atmósfera. Se encontró una correlación estadísticamente significativa ($r \geq 0,85$; $p < 0,01$) entre las concentraciones de PM_{2,5} y PM₁₀, lo que sugiere fuente común de contaminación, un comportamiento similar se observó entre las concentraciones PM_{2,5} y NO.

Figura 3

Concentraciones de los gases contaminantes y material particulado medidos en el parqueadero del Sector Centro del DMQ semanalmente.

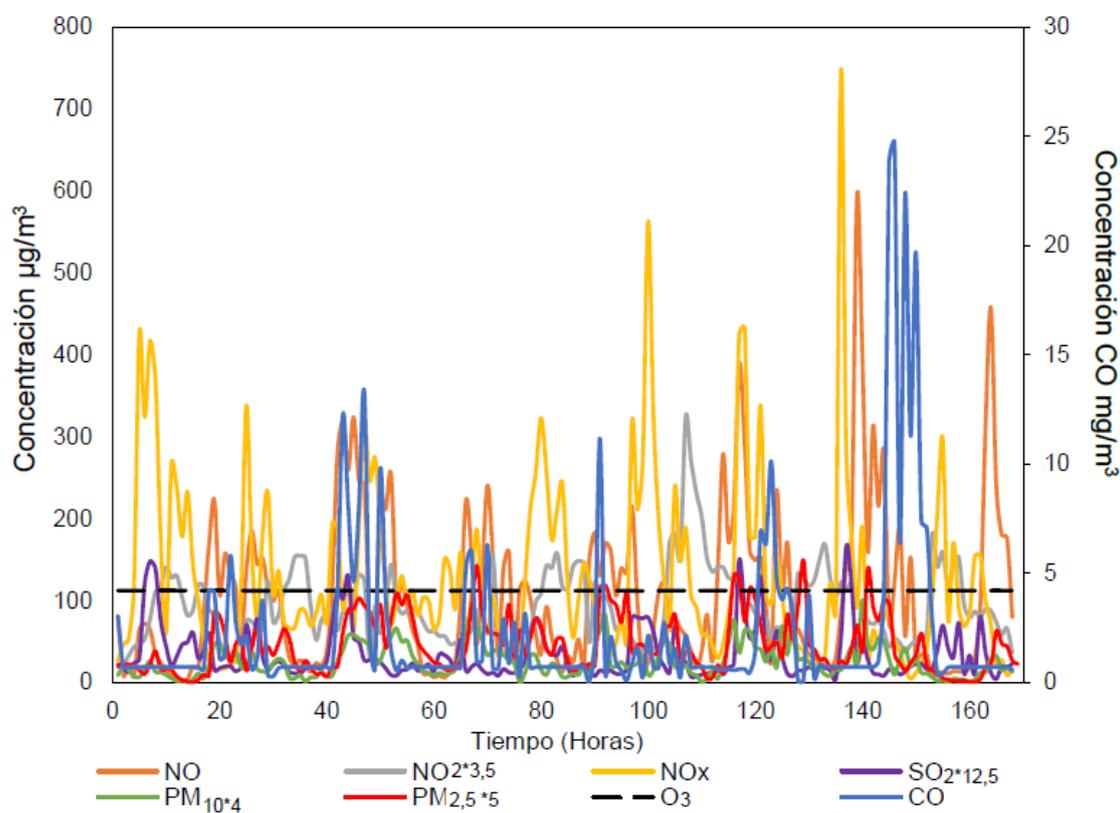


Figura 4

Concentración de los gases contaminantes y material particulado medidos en el Sector Centro, (n = 21 días; 2017) del DMQ durante el sábado.

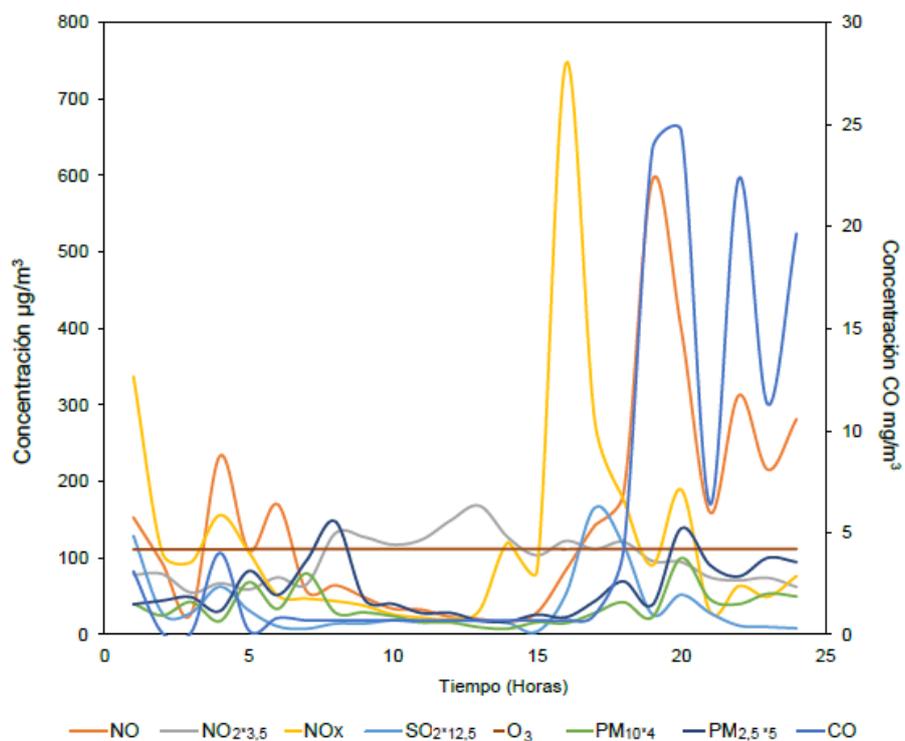


Figura 5

Concentración de los gases contaminantes y material particulado medidos en el Sector Norte del DMQ durante una semana, (n = 21 días; 2017).

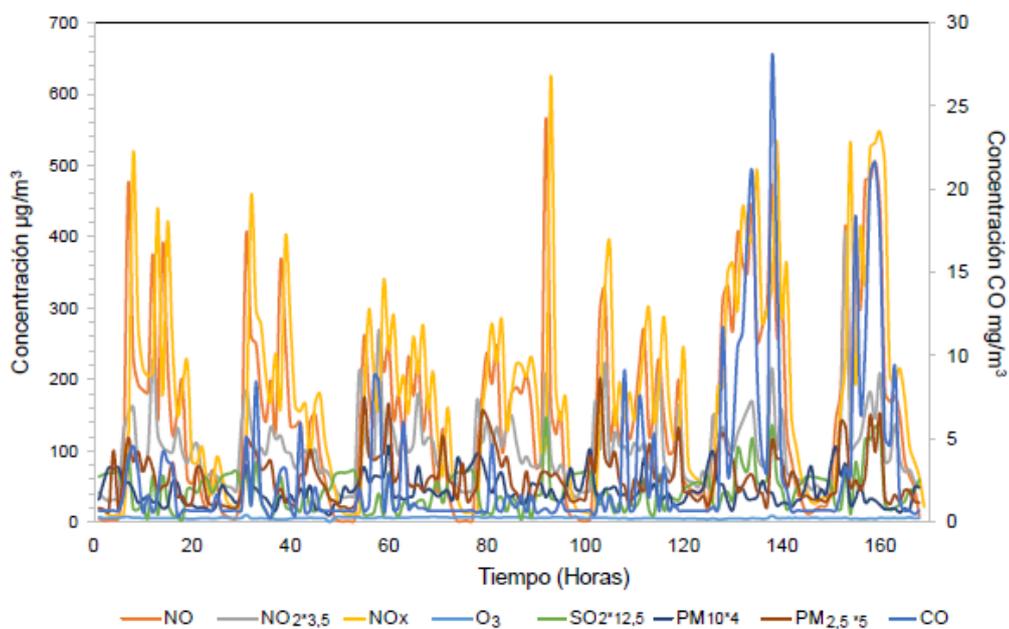
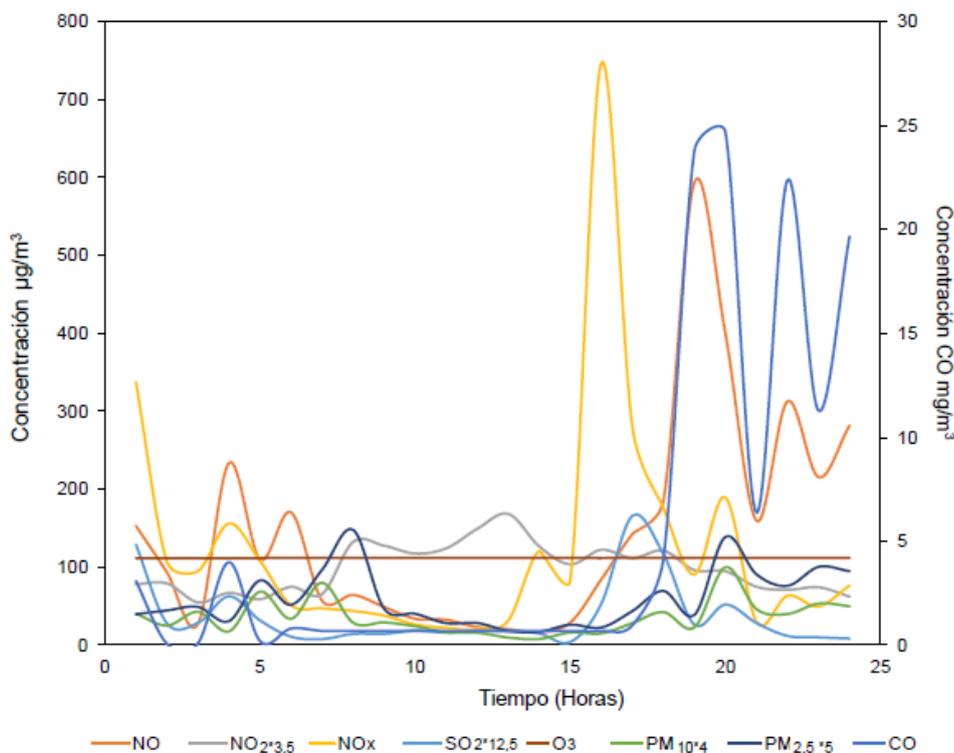


Figura 6

Concentración de los gases contaminantes y material particulado medidos en el Sector Norte, (n = 21 días; 2017) del DMQ durante el sábado.



Al comparar las concentraciones de concentraciones de CO, NO₂, NO_x y O₃ se observan los coeficientes inversamente significativos ($r = - 0,53$, $- 0,56$ y $- 0,96$, respectivamente). Esto se puede explicar debido a que las concentraciones de CO y NO, NO_x son emitidas desde el comienzo del día, con el aumento de la densidad del tráfico vehicular, y estas tienden a acumularse, estos gases de combustión comienzan a reaccionar entre sí permitiendo la formación de ozono, en todos los casos la anticorrelación se mantiene lo que conlleva al decrecimiento de las concentraciones de los precursores presentes en la atmósfera urbana.

Por otra parte, para la concentración de NO_x se puede observar que está cerca del límite máximo permisible por la OMS (400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), este valor elevado, de igual forma, puede ser producto por las altas temperaturas que se presentaron en Quito durante el monitoreo de gases, lo que puede causar un incremento en las enfermedades e infecciones respiratorias (OMS, 2006).

Con respecto a los valores de NO_x indicados por los informes de REMMAQ para el año 2016 los valores en todas las estaciones fueron bajos en comparación con el límite fijado en la norma ecuatoriana de calidad del aire de 100 µg/m³ y no superan lo establecido por la OMS cuyo valor máximo es de 40 µg/m³. (OMS, 2006; Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Quito, 2017).

En relación al CO, los valores obtenidos fueron muy similares en ambos sitios de muestreos (Ver tablas 1 y3), no existiendo diferencias significativas entre los dos sitios de muestreo ($p < 0,01$), indicando esta fuente común de CO para ambos sitios de recolección de muestras, la cual puede ser atribuida al tráfico vehicular presente en ambos sitios de muestreo.

Al comparar los valores de varianza y desviación estándar obtenidos en los dos sitios seleccionados, se observa que a pesar de tener valores bastante cercanos entre los dos sectores para ciertos gases como el NO_x, NO₂ y O₃, también existen grandes diferencias estadísticamente significativa ($p=0,01$) para los valores obtenidos de los gases CO y SO₂, lo que indica que existe un tráfico de vehículos diferentes ya que en la zona norte, donde todos los valores son más elevados, se debe a que los vehículos en su mayoría son diésel y tienen mayor afluencia, así como también menor ventilación. Está marcada diferencia en la emisión de gases contaminantes en los diferentes sectores, (Ver tablas 2 y3) tomando en consideración los efectos negativos que causa cada gas en el ser humano, deben ser analizados, sobre todo el personal de seguridad que hace presencia por mínimo las ocho horas laborales en dichos espacios (OMS, 2006).

En las tablas II y III, así como también en las Figuras 3, 4, 5 y 6 se observan que la concentración de los gases analizados presenta grandes variaciones entre los valores máximos y mínimos obtenidos, por lo que existen fluctuaciones de las concentraciones de los gases y material particulado por las noches, lo que es lógico debido a la baja o nula cantidad de vehículos que circulan en el parqueadero. Sin embargo, los valores mínimos de los gases analizados no llegaron a tener un valor de cero, lo que indica que existe residuos remanentes de contaminantes que no se disipan durante el día y quedan almacenados en el espacio del parqueadero por las noches (OMS, 2006).

Con respecto a los valores del material particulado, que se detallan en las tablas II y III, se puede señalar que entre los dos sitios evaluados no hay diferencias estadísticamente significativas ($p=0,01$), sugiriendo esto que las concentraciones obtenidas pueden provenir de una fuente común que podría ser el tráfico vehicular, ventilación inadecuado de los parqueaderos lo que permite la acumulación de este contaminante atmosférico. En relación con la concentración de material particulado en el informe elaborado por REMMAQ para el periodo 2016, en referencia al PM_{2,5} se supera el límite de la norma ecuatoriana de calidad

del aire. Los niveles observados estarían asociados de acuerdo con la OMS, a un riesgo de mortalidad a largo plazo para la salud humana (OMS, 2006; MAE, 2011; Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Quito, 2017).

Según lo reportado por algunos autores se puede utilizar la relación entre las concentraciones de PM_{2,5} y PM₁₀ (PM_{2,5} / PM₁₀) como una herramienta que permite relacionar las posibles fuentes de las partículas inhalables en la zona evaluada, si el valor de esta relación es inferior a 0,3 se asume que el sitio evaluado se encuentra bajo la influencia directa de polvo suspendido o erosión y si es mayor a este valor se relaciona con los diferentes procesos de combustión que forman partículas secundarias con diámetro $\leq 2,5 \mu\text{m}$ (Chang y Yao X.. 2008).

La relación PM_{2,5} / PM₁₀ en el Sector Centro del DMQ, durante el periodo evaluado fue 0,80 y en el Sector Norte fue 0,61; lo que sugiere la influencia directa de fuentes de combustión; se esperaba este comportamiento debido a que, en los sectores evaluados en estudio, como se mencionó anteriormente, se encuentra altamente influenciada por el tráfico vehicular.

Recientemente se ha publicado un trabajo sobre el impacto a corto plazo de la contaminación del aire, debido al material particulado en la salud. El estudio incluyó datos de 24 países y 650 ciudades, encontrando que la emisión de gases de escape de los motores de combustión interna que poseen los vehículos, son la principal causa para la generación de estas partículas, y que afecta a un porcentaje de la población.

La concentración media anual de PM_{2,5} en 500 ciudades superó los 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los autores vinculan un incremento diario de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con un aumento del 0,68 % de la mortalidad diaria por todas las causas y con una subida del 0,55 % y del 0,74 % de la mortalidad por problemas respiratorios y cardiovasculares, respectivamente. Los principales afectados fueron las personas mayores o con patologías previas, donde la contaminación fue el agente detonante de las enfermedades. (Liu et al., 2019).

Por otra parte, los datos muestran que la concentración media anual de PM₁₀ en 600 ciudades fue de 56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre 1986 y 2015. Un incremento diario de 10 microgramos se asocia con un aumento del 0,44 % de las muertes diarias por todas las causas, con una subida del 0,47 % de la mortalidad por problemas respiratorios y con un 0,36 % más de fallecimientos por patologías cardiovasculares (Liu et al., 2019).

La contaminación atmosférica tiene serias repercusiones en la salud de sus habitantes, especialmente en las zonas urbanas. También tiene impactos económicos considerables ya que provocan el aumento de los costos médicos y la reducción de la productividad debido al ausentismo laboral. En el caso del presente estudio, el contaminante más problemático en el Distrito Metropolitano de Quito, en cuanto a la salud humana, siguen siendo material particulado PM_{2,5} y el ozono. (Armijo et al., 2015; Raysoni et al., 2016; Cevallos et al., 2017).

CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos, a pesar de observar valores de los gases de combustión por debajo de los valores límites permitidos, se debe considerar la necesidad de mantener un análisis continuo de los gases de combustión en diferentes sitios del Distrito Metropolitano de Quito, ya que se evidenció una diferencia significativa entre los dos sitios de muestreos estudiados. En el caso del material particulado, y sobre todo en lo que respecta al material particulado PM_{2,5}, se debe realizar un control en los parqueaderos de mercados y centros comerciales, puesto que se observa una tendencia a su incremento, sobre todo en horas críticas los niveles superan los valores permisibles establecidos, pudiendo generar un efecto directo sobre la salud de los individuos que frecuentan o trabajan en estos sitios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aeroqual. (2020). Dust Sentry PM_{2.5} Dust Monitor Recuperado de: <https://www.aeroqual.com/product/dust-sentry-pm2-5-monitor> (accedido el 10-01-2020).
- Aeroqual. (2020). Dust Sentry PM₁₀ Dust Monitor. Recuperado de: <https://www.aeroqual.com/product/dust-sentry-pm10-monitor> (accedido el 10-01-2020).
- Álvarez, E. (2011). Contaminación Ambiental Generada por la Emisión de Gases. Trabajo de pregrado. Universidad Militar de Nueva Granada. Bogotá. Colombia.
- Armijo, R.; Weigel, M.; Myers, O.; Li, W.; Racines, M.; Berwick, M. (2015). Residential exposure to urban traffic is associated with increased carotid intima-media thickness in children. *Journal of Environmental and Public Health*. 2015, 1-11.
- Carnicer, J. (2008). Modulo I. Contaminacion ambiental. Contaminación Atmosférica. Máster en Ingeniería medioambiental y gestión del agua. http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45259/componente45257.pdf (accedido el 22-12-2019).

- Chang C., Yao X. (2008). Review Air pollution in mega cities in China. *Atmospheric Environment*. (42): 1–42
- Celi, S. (2018). Análisis del sistema de transporte público privado de la ciudad de Quito – Ecuador. *Revista Espacios*. 39 (19), 1-10.
- Cevallos V.; Diaz, V.; Sirois, C. (2017). Particulate matter air pollution from the city of Quito, Ecuador, activates inflammatory signaling pathways in vitro. *Innate Immunity*. 23 (4), 392-400.
- Directindustry. (2020). Analizador de gas T300. Recuperado de: <https://www.directindustry.es/prod/teledyne-advanced-pollution-instrumentation/product-22283-563575.html> (accedido el 10-01-2020).
- Jerves, R.; Armijo, F. (2016). Análisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Cuenca – Ecuador. *La Granja*. 23 (1), 25-34.
- Liu C., 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 García, M. Pascal, M. Stafoggia, M. Scortichini, M. Hashizume, Y. Honda, M. Hurtado-Díaz, J. Cruz, B. Nunes, J.P. Teixeira, H. Kim, A. Tobías, C. Íñiguez, B. Forsberg, C. Åström, M.S. Ragettli, Y.-L. Guo, B.-Y. Chen, M.L. Bell, C.Y. Wright, N. Scovronick, R.M. Garland, A. Milojevic, J. Kyselý, 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. Gasparrini, and H. Kan. 2019. Ambient Particulate Air Pollution and Daily Mortality in 652 Cities. *N. Engl. J. Med.* 381(8), 705-715. LLanes, E.; Rocha, J.; Peralta, D.; Leguisamo, J. (2018). Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura. Caso de estudio Quito, Ecuador. *Enfoque UTE*. 9 (2), 149-158.
- López J., Andressen, R. y Lugo A. (2010). Patrones de vientos troposféricos en la cuenca del lago de Maracaibo, Venezuela. *Terra*. Vol. XXVI (39): 13-30.
- Maphub (2020). Recuperado de: <https://maphub.net/map>. (Accedido el 10-05-2020).
- Martínez, E. y Díaz, Y. (2004). Contaminación atmosférica. Volumen 45 Colección Ciencia y Técnica. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. Murcia. España.
- Ministerio del Ambiente (MAE). (2011). Norma ecuatoriana de calidad del aire. Acuerdo ministerial No. 50. Quito. Ecuador.
- Moscoso, D.; Narváez, M.; Monroy, L.; Espinoza, C.; Astudillo, A. (2019). Efecto fitotóxico del material particulado PM10 recolectado en el área urbana de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *ITECKNE* 16 (1), 12-20.

- Onursal, B. y Gautam, S. (1997). Contaminación atmosférica por vehículos automotores. Experiencias recogidas en siete centros urbanos de Washington, D.C. Banco Mundial. Departamento Técnico. Washington. USA.
- Organización Mundial de la Salud. (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Ginebra. Suiza.
- Peña, S. (2018). Impacto de la contaminación atmosférica en dos principales ciudades del Ecuador. *Universidad y Sociedad*. 10 (2), 285-288.
- Puerta, C. (2019). Determinación de la concentración de contaminantes del aire a filo de calle en el Centro Histórico de Quito y el Valle de los Chillos. Tesis pregrado. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Central del Ecuador. Quito. Ecuador.
- Radojevic, M. y Bashkin, V. (2015). *Practical Environmental Analysis*. Royal Society of Chemistry. London. UK.
- Raysoni, A.; Armijos, R. Weigel, M.; Montoya, T.; Eschanique, P.; Racines, M.; Li, W. (2016). Assessment of indoor and outdoor PM species at schools and residences in high altitude Ecuadorian urban center. *Environ. Pollut.* 214, 668-679.
- Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Quito. (2017). Informe de la calidad del aire 2016. Distrito Metropolitano de Quito. Secretaria de Ambiente Alcaldía de Quito. Quito. Ecuador.
- Rosa de los vientos del Distrito Metropolitano de Quito. https://www.meteoblue.com/es/tiempo/archive/windrose/quito_ecuador_3652462. (Accedido el 10-05-2020).
- Santurtún, A.; Rasilla, D.; Riancho, L.; Zarrabeitia, M. (2017). Análisis de la relación entre la enfermedad pulmonar obstructiva crónica y los contaminantes atmosféricos atendiendo al origen y trayectoria de las masas de aire en el Norte de España. *Archivos de Bronco neumología*. 53 (11), 616-621.
- Teledyne. (2020). <http://eservices.teledyne-api.com/products/T204.asp> (accedido el 10-01-2020).
- Ubilla, C y Yohannessen, K. (2017). Contaminación Atmosférica Efectos en la Salud Respiratoria en el Niño. *Revista Médica Clínica Las Conde*. 28 (1), 11-118.
- World Health Organization. (2016). *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. Geneva. Switzerland.