

Calidad del aire en relación a los niveles de concentración del monóxido de carbono

Air quality in relation to carbon monoxide concentration levels

Qualidade do ar em relação aos níveis de concentração de monóxido de carbono

Fabrizio Canales-Manchuria
Universidad Nacional San Agustín de Arequipa
fabcanales@gmail.com

Gelvi Canales-Manchuria
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna
gcanalesm@unjbg.edu.pe

Angel Canales-Gutiérrez
Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Facultad de Ciencias Biológicas. Programa de Ecología
acanales@unap.edu.pe

Resumen

La investigación sobre concentración de monóxido de carbono (CO), se han realizado en tres avenidas del Distrito de Mariano Melgar en 2019. Los objetivos fueron: a) Cuantificar la concentración de monóxido de carbono en los meses de julio, agosto y setiembre en tres Avenidas (Av. Mariscal Castilla, Av. Argentina y Av. Perú) en los horarios (06:00 a 08:00 h y 17:00 a 19:00 h) y b) Comparar la concentración de monóxido de carbono. Se ha utilizado el método de medición *in situ* a través del uso de sensor de CO, en diferentes avenidas, cuadras, meses, horario de muestreo y la elaboración de mapas de reordenamiento vehicular. Los resultados fueron: Existe una mayor concentración de CO en la Avenida Mariscal Castilla con 2.33 mg/m³ de CO y la menor concentración se registró en la Avenida Argentina con 0.37 mg/m³ de CO. La mayor concentración se registró en julio con 1.69 mg/m³ y el horario de la tarde registró mayores concentraciones con 1.59 mg/m³ de CO.

Palabras clave: Calidad del Aire; Contaminación; Monóxido de Carbono.

Abstract

The research on carbon monoxide (CO) concentration was carried out in three avenues of the District of Mariano Melgar in 2019. The objectives were: a) To quantify the concentration of carbon monoxide in the months of July, August and September in three avenues (Mariscal Castilla Avenue, Argentina Avenue and Peru Avenue) during the hours (06:00 to 08:00 h and 17:00 to 19:00 h) and b) To compare the concentration of carbon monoxide. The *in situ* measurement method has been used through the use of CO sensor, in different avenues, blocks, months, sampling schedule and the elaboration of maps of vehicle rearrangement. The results were as follows: There is a higher concentration of CO on Avenida Mariscal Castilla with 2.33 mg/m³ of CO and the lowest concentration was recorded on Avenida Argentina with 0.37 mg/m³ of CO. The highest concentration was recorded in July with 1.69 mg/m³ and the afternoon hours recorded higher concentrations with 1.59 mg/m³ of CO.

Keyword: Qualidade do Ar; Poluição; Monóxido de Carbono.

Resumo

A pesquisa sobre a concentração de monóxido de carbono (CO) foi realizada em três avenidas no Distrito de Mariano Melgar, em 2019. Os objetivos eram: a) quantificar a concentração de monóxido de carbono nos meses de julho, agosto e setembro em três avenidas (Av. Mariscal Castilla, Av. Argentina e Av. Peru) nos horários (06:00 às 08:00 h e 17:00 às 19:00 h) e b) comparar a concentração de monóxido de carbono. O método de medição *in situ* tem sido utilizado através do uso de um sensor de CO, em diferentes avenidas, blocos, meses, horas de amostragem e a elaboração de mapas de rearranjo de veículos. Os resultados foram: Há uma maior concentração de CO na Avenida Mariscal Castilla com 2.33 mg/m³ de CO e a menor concentração foi registrada na Avenida Argentina com 0.37 mg/m³ de CO. A maior concentração foi registrada em julho com 1.69 mg/m³ e as horas da tarde registraram as maiores concentrações com 1.59 mg/m³ de CO.

Palavras-Chave: Qualidade do ar; Poluição; Monóxido de carbono

Introducción

El monóxido de carbono (CO), es un gas contaminante del ambiente, el 80% es generado por los vehículos motorizados y es ampliamente reconocido por ser tóxico para el humano (TÉLLEZ ET AL., 2006). Una de las causas de la concentración del CO, es la combustión interna, se ocasiona cuando hay exceso de combustible por cantidad de aire existente, que no puede quemarse en su totalidad, evacuando hacia el ambiente el CO (FLORES Y SILVA, 2016).

Las estimaciones de emisiones para vehículos automotores en circulación, tales como autos, camiones, taxis y microbuses, que generan compuestos orgánicos volátiles (cov), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno, (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), partículas totales en suspensión (pts) y plomo, que afectan la salud pública (INCHE, 2001). Cuando en el aire aparecen una o varias sustancias extrañas, en determinadas cantidades y durante determinados periodos de tiempo, que pueden resultar nocivas para el ser humano, los animales y las plantas (OMS, 2008), ocasionado por la de emisión por vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza. (Superintendencia de Sociedades,

2016), también la emisión ocasionado por actividad industrial, procesos industriales, entre otros (Superintendencia de Sociedades, 2016).

Las preocupaciones están relacionadas con la calidad del aire que se respira y los efectos que éste tiene sobre su salud, siendo el monóxido en altas concentraciones, las causantes de daños a la salud y medioambiente (QUISPICURO, 2015), por ejemplo la quema de biomasa de la agricultura y su dispersión por los vientos (LIN ET AL., 2009), se puede investigar utilizando observaciones satelitales para monitorear las fuentes de contaminación y el transporte (CLERBAUX ET AL., 2008). Por ejemplo el funcionamiento del Metro de Beijing redujo significativamente las concentraciones de contaminantes del aire de PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂ y CO en más del 155%, 125%, 78%, 110% y 109%, respectivamente (GUO Y CHEN, 2019). Los umbrales de concentración mayores a 50 ppm de CO, se considera tóxico en el medio ambiente (CARBALLO ET AL., 2010), estas exposiciones presentan mayores concentraciones de CO en las estaciones de invierno (HERNÁNDEZ ET AL., 2004) debido al descenso de la temperatura, provocando que el monóxido de carbono se mantenga a niveles bajos de la troposfera, debido a que en invierno las noches son más largas (OMS, 2008).

Sin embargo, a nivel sanguíneo, el CO en concentraciones menores a 35 ppm, ocasiona hipertensión arterial, aparición de arritmias y signos electrocardiográficos de isquemia, déficit en memoria, atención, concentración y alteraciones del movimiento tipo parkinsonismo (TÉLLEZ ET AL., 2006), por tanto, es importante, reducir el riesgo de intoxicación por CO, utilizando detectores de monóxido de carbono (GALADA ET AL., 2009).

La propuesta de uso de combustible renovable y tecnologías, sería la más adecuada (SAAVEDRA, 2014), así como el reordenamiento vehicular por ejemplo de la Av. Abancay en Lima, redujo 62% los niveles de PM_{2,5}; 55% los niveles de PM₁₀; 65% los niveles NO₂; y 82% los de SO₂ (TAPIA y GONZALES, 2018), las variaciones de CO, es por el alto flujo vehicular en horarios de 07:00 a 08:00 y de 17:00 a 18:00 h (HUAMÁN y PÉREZ, 2016).

En los horarios de 07:00 a 8:00, 12:30 a 13:30 h y de 17:00 a 18:00 h y con 12 muestras se registró un porcentaje de humedad promedio de 68% y una velocidad de viento con registro mínimo de 0.13 m/s que permiten al CO se mantenga a niveles próximos de la superficie terrestre (GONZALES, 2016). Los niveles elevados de CO en el medio ambiente aumentan las concentraciones de CO exhalado en la línea de base en los no fumadores. Estos hallazgos añaden pruebas importantes tanto para la comprensión de los resultados de la monitorización del CO (GREGORCZYK-MAGA ET AL., 2019).

Actualmente, los casos de SARS-CoV-2 y las muertes se relacionaron positivamente con los contaminantes ambientales de CO. Un aumento de 1 unidad en el nivel de CO aumentó significativamente el número de casos y de muertes en un 21.3%. La concentración de CO, tiene una asociación positiva con un mayor número de casos diarios de SARS-CoV-2 (AYOUB-MEO ET AL., 2021). El nivel medio de CO en el aire exhalado es significativamente mayor en los fumadores que en los no fumadores (MAGA

ET AL., 2017). La pandemia de COVID-19, está produciendo un importante coste económico y social a nivel mundial, se considera que las restricciones a la movilidad y las medidas de confinamiento aplicadas en todo el mundo ayudan a reducir la contaminación atmosférica. Existe una evidencia, en la pandemia hubo reducción de las emisiones de CO (BARUA y NATH, 2021).

Las mediciones de la exposición al monóxido de carbono fueron significativamente mayores en las escuelas de la ciudad en comparación con la zona rural. Existe un gran impacto de la gestión del tráfico y el modo de transporte en la exposición al monóxido de carbono de los escolares (PAYUS ET AL., 2019), se evidencia que existe una de correlación de Spearman entre las partículas (PM) y el monóxido de carbono y las concentraciones de ozono, siendo necesario tomar medidas de protección (WANG ET AL., 2019), frente al monóxido de carbono (CO), que es el resultado de una combustión incompleta. La tendencia a la baja de la concentración de CO implica la mejora de la eficiencia de la combustión y el éxito de las políticas de control de la contaminación atmosférica en Pekín y sus alrededores (LI ET AL., 2020).

Existe una asociación diaria entre la mortalidad y la contaminación atmosférica, esta es alarmante y hay pruebas consistentes de que la contaminación atmosférica tiene efectos a corto plazo sobre la mortalidad y la morbilidad respiratoria. El monóxido de carbono tiene un efecto significativo en la mortalidad respiratoria total (KHOJASTEH ET AL., 2021). La contaminación, en cualquiera de sus formas (aire, agua o tierra), está afectando a casi todas las formas de vida de la tierra (DASS ET AL., 2021). Los posibles efectos de la exposición a corto plazo al monóxido de carbono (CO) en la mortalidad y en la salud de las concentraciones muy elevadas de CO. Un aumento de 1 mg/m³ en la concentración de CO del día anterior se asociaba con un aumento significativo en la mortalidad diaria (HOEK, 2021).

La contaminación atmosférica es una grave amenaza en todo el mundo y puede causar notables pérdidas a la salud humana, relacionadas con zona comercial, industrial y vehicular. Las concentraciones medias de CO fueron de 1037.62 ± 383.6 µg/m³, 434.62 ± 65 µg/m³, 35.88 ± 1.7 µg/m³, y 6.4 ± 1.95 µg/m³, comercial, industrial y vehicular) (ASLAM ET AL., 2021) presentan altas correlaciones con la presión atmosférica, la humedad relativa, las precipitaciones y la temperatura. La contaminación atmosférica más grave se produjo en invierno, lo que se debió en parte a que las condiciones meteorológicas del invierno eran más desfavorables para la dispersión y dilución de los contaminantes que las de otras estaciones (HU ET AL., 2021). Se comprobó que la variación estacional afecta a los niveles de concentración de CO en interiores y exteriores, con un patrón general de aumento de los niveles desde el otoño hasta el invierno (ELBAYOUMI ET AL., 2014), los casos son más comunes en época de invierno por aumento en el uso de hornos, estufas, calentadores y chimeneas con mal funcionamiento o en espacios poco ventilados (BUHELLI, 2014). La exposición individual a CO, se estimó combinando su volumen respiratorio diario en las estaciones locales de control del aire ambiental (QIU ET AL., 2021).

Los objetivos fueron: a) Cuantificar la concentración de monóxido de carbono en los meses de julio, agosto y setiembre en tres Avenidas (Av. Mariscal Castilla, Av. Argentina y Av. Perú) en los horarios (06:00 a 08:00 h y 17:00 a 19:00 h) del distrito de Mariano Melgar y b) Comparar la concentración de monóxido de carbono obtenida con los Estándares de calidad ambiental

Metodología

Lugar de estudio

La investigación se realizó en el distrito de Mariano Melgar, Arequipa, Perú. Realizando monitoreo de concentración de monóxido de carbono (CO), en tres Avenidas principales que fueron Av. Mariscal Castilla, Av. Argentina y Av. Perú, son las más transitadas por vehículos de transporte público, las tres avenidas tienen similares números de cuadras, donde la Av. Mariscal Castilla tiene 12 cuadras (1367 m), Av. Argentina 14 cuadras (1627 m) y Av. Perú 15 cuadras (1282 m) (Figura 1).

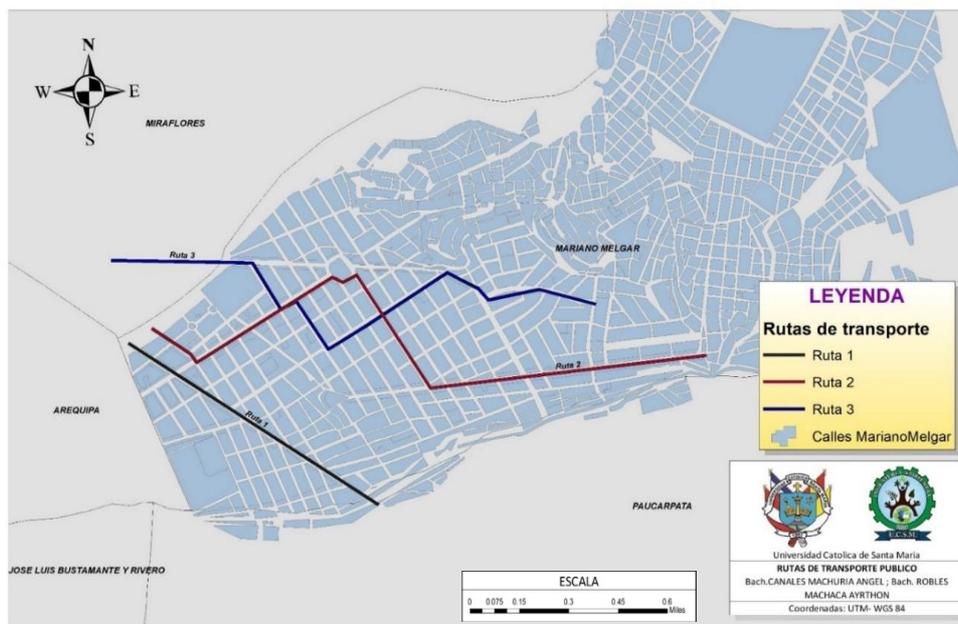


Figura 1: Escenario del sistema de transporte público en las avenidas en estudio.

Los registros de inmisión de monóxido de carbono, en la época de invierno (julio agosto y setiembre), en dos horarios (06:00 a 08:00 h y 17:00 a 19:00 h) y en los días lunes, jueves y domingo, realizando 4 monitoreos por avenida y horario, con un total de 24 monitoreos al día y 72 monitoreos por semana, con un tiempo de cinco minutos por

punto de muestreo, utilizando el equipo el Portátil Aeroqual S500 con calibración de fabrica donde se incorporó el Sensor Electroquímico para CO.

El medidor de gases Aeroqual S500, es un medidor muy preciso para la medición de concentraciones de monóxido de carbono, que funciona con diferentes sensores de medición de gas en el aire, contando con su respectiva calibración de fábrica. La base del monitor permite al usuario emplear varios sensores y cada uno diseñado para medir un gas individual (LIN ET AL., 2015). Este equipo portátil Aeroqual, ha sido aprobado por la Agencia de Protección Ambiental -EPA de Estados Unidos (WILLIAMS ET AL., 2014).

Asimismo, para la elaboración de mapas se ha utilizado el software de ArcGis versión 10.4 usando la data obtenida durante el periodo de investigación sobre monóxido de carbono en el distrito de Mariano Melgar. Para los análisis de datos se utilizó como base de datos el programa EXCEL y para los análisis estadísticos el Programa INFOSTAT versión 2018 con licencia de uso.

Una vez realizada la cuantificación del monóxido de carbono se pudieron elaborar gráficas que aclaren la situación del distrito de Mariano Melgar y se pudieron hacer relaciones.

Se procedió a comparar los datos obtenidos mensuales con los estándares de calidad ambiental como lo expresa el D.S. N°003-2017-MINAM (Tabla 1).

Tabla 1: Estándares de Calidad Ambiental para Monóxido de Carbono

Parámetros	Periodo	Valor (mg/m ³)	Criterios de Evaluación
Monóxido de Carbono	1h	30000	NE más de una vez al año
	8h	10000	Media Aritmética Móvil

Fuente: (Minam, 2017).

Aplicación Estadística

Se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, comparar los datos en forma de rangos y mostrando las diferencias de la concentración de monóxido de carbono (mg/m³) entre las diferentes avenidas, entre los horarios y entre los meses de evaluación

Resultados y discusión

En la avenida Mariscal los registros de concentración de CO (mg/m³) fue más alta en comparación a las avenidas Argentina y Perú, donde hubo mayor registro en el horario de la mañana fue en el mes de setiembre con 2.59 (mg/m³), en el mes de agosto fue menor con 2.33 (mg/m³) y en el mes de julio 1.99 (mg/m³). Asimismo, en el horario de la tarde los registros fueron mayor en el mes de julio con 2.71 (mg/m³), en el mes de setiembre 2.02 (mg/m³) y en el mes de agosto 1.13 (mg/m³) (Figura 2).

Sin embargo, en la avenida Argentina fue menor los registros de concentración de CO (mg/m³), en el horario de la mañana en el mes de julio registró 0.59 (mg/m³), en el mes de agosto 0.37 (mg/m³) y en el mes de setiembre 0.67 (mg/m³). En el horario de la

tarde fue superior a la concentración del horario de la mañana, talvez sea por incremento del incremento de actividades y los transportes vehiculares, en el mes de julio registró 1.47 (mg/m³), en el agosto 0.92 (mg/m³) y en setiembre 1.66 (mg/m³).

La concentración de CO (mg/m³) según los registros en la avenida Perú, fue mayor en el horario de la tarde y en el mes de julio con 1.89 (mg/m³), en el mes de setiembre 1.41 (mg/m³) y en el mes de agosto 1.02 (mg/m³). En el horario de la mañana fue mayor en el mes de julio 1.47 (mg/m³), en el mes de setiembre 0.90 (mg/m³) y finalmente en el mes de agosto 0.84 (mg/m³).

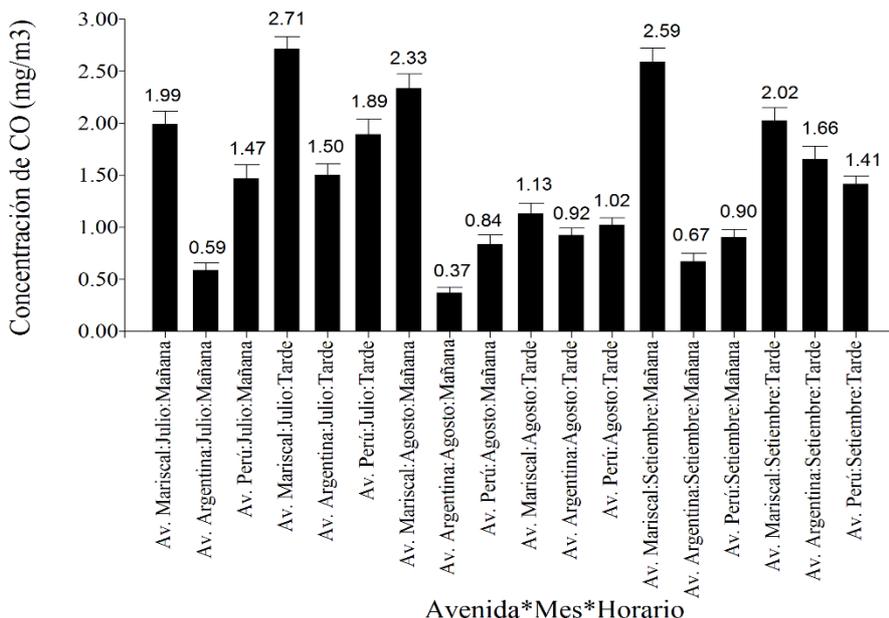


Figura 2: Concentración de monóxido de carbono en del Distrito de Mariano Melgar de Arequipa.

Los registros de CO realizados fueron mayores en la avenida Mariscal, en el mes de julio y setiembre y en el horario de la tarde, seguido por la avenida Perú y con registros menores en la avenida Argentina en el horario de la mañana (Hcal_(0.05) = 786.82; GI= 2; P= 0.0001).

Las variaciones en el incremento de la concentración de monóxido de carbono, en la ciudad de Arequipa, han tenido cambios en los últimos 10 años y se presentaron en los horarios de mañana y tarde (RIVERA, 2016), concordando los resultados obtenidos en la investigación ejecutada. Actualmente los niveles elevados de CO en el medio ambiente aumentan las concentraciones de CO en zonas con alta contaminación (GREGORCZYK-MAGA ET AL., 2019).

También, los casos de SARS-CoV-2 y las muertes se relacionaron positivamente con los contaminantes ambientales como CO, teniendo una asociación positiva con un mayor número de casos diarios de SARS-CoV-2 (AYOUB-MEO ET AL., 2021). Por esta razón el estudio del monóxido de carbono es importante y la toma de decisiones de parte de las autoridades.

La mayor concentración de monóxido de carbono se presenta en la Avenida Mariscal Castilla, la cual está relacionada con el alto tráfico vehicular que circula por dicha avenida, esta situación afecta en una mayor contaminación por CO, mientras que los valores menores se presentan en la Avenida Perú y finalmente en la Avenida Argentina, debido a un menor flujo vehicular tanto en los horarios matutinos como vespertinos. Esta situación de contaminación ambiental por gases, no solo afecta al medio ambiente, sino también a la salud pública (SAAVEDRA, 2014), siendo el parque automotor una fuente de contaminación ambiental de CO (LONDOÑO ET AL., 2011).

Existe la tendencia decreciente de la concentración de CO con relación a las masas de aire contaminado, es más rápida que la de los sectores de donde proceden las masas de aire limpio (LI ET AL., 2020), por esta situación, es necesario realizar monitoreos permanentes sobre dirección y velocidad del viento en la ciudad de Arequipa, con monitoreos durante todo el año. Debido a que existe una asociación diaria entre la mortalidad y la contaminación atmosférica (KHOJASTEH ET AL., 2021).

Es necesario considerar las características estacionales y temporales de los factores meteorológicos que afectan a las emisiones de contaminantes atmosféricos, priorizando el control de la contaminación atmosférica urbana basándose en el análisis de los puntos calientes (HU ET AL., 2021). Por ejemplo, en la ciudad de Arequipa, los puntos calientes de contaminación, se ubican en las zonas con mayor congestión vehicular, cerca de los mercados de abastos que posee la ciudad. Los registros con sensores de contaminantes de monóxido de carbono, pueden generar información de control y evaluación de contaminantes de forma continua y en el lugar donde se producen las inmisiones (ESCALONA ET AL., 2012).

Los niveles de CO en los meses de medición no superan los ECA por una diferencia notoria, sin embargo, cabe constatar que el estudio se realizó en horarios de la mañana y horarios de la tarde, para realzar la variación del contaminante.

Cabe mencionar que los niveles de CO, con el paso de los años ha ido incrementado como lo ha mencionado Llanque (2004), hay una tendencia al incremento. Con la generación de la información sobre CO, todavía estamos a tiempo de plantear estrategias de mitigación como el reordenamiento vehicular y que la concentración se mantenga o disminuya a fin de no sobrepasar los ECAs, por tanto, actualmente según los estándares establecidos no hay contaminación por CO en el distrito de Mariano Melgar.

La contaminación del aire es uno de los principales factores que contribuyen a la insalubridad de la ciudad de Arequipa, cuya causa principal es el parque automotor que emite gases como óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de azufre y ozono no superan los estándares de calidad ambiental (ECA) para el aire (APAZA, 2018), sin

embargo, fue incrementando con el tiempo y sobrepasa patrones de calidad de aire según Ministerio de Salud es de (200 mg/m^3) (LLANQUE, 2004). La exposición a corto plazo a los contaminantes atmosféricos tiene efectos adversos sobre la función hepática entre los adultos urbanos. Estos efectos adversos duran más tiempo en las zonas de alta contaminación (QIU ET AL., 2021), es por tal razón, la importancia de realizar monitoreos permanentes sobre la dinámica de contaminación no solamente de monóxido de carbono, sino también de otros contaminantes como partículas $\text{PM}_{2,5}$ y PM_{10} .

Los registros de CO realizados en las cuadras de Mariscal Castilla, presentaron que la menor concentración se da en la octava cuadra siendo 0.94 de CO (mg/m^3) , mientras que la cuadra que presenta mayor concentración es la primera siendo 3.84 de CO (mg/m^3) . En las cuadras 1 y 5 son las que presentaron una mayor concentración de monóxido de carbono y son menores en las cuadras 7 y 8. Esta situación está relacionada con la presencia del parque automotor y zonas de paradero, a mayor presencia del parque automotor, hay una mayor contaminación ambiental (Figura 3).

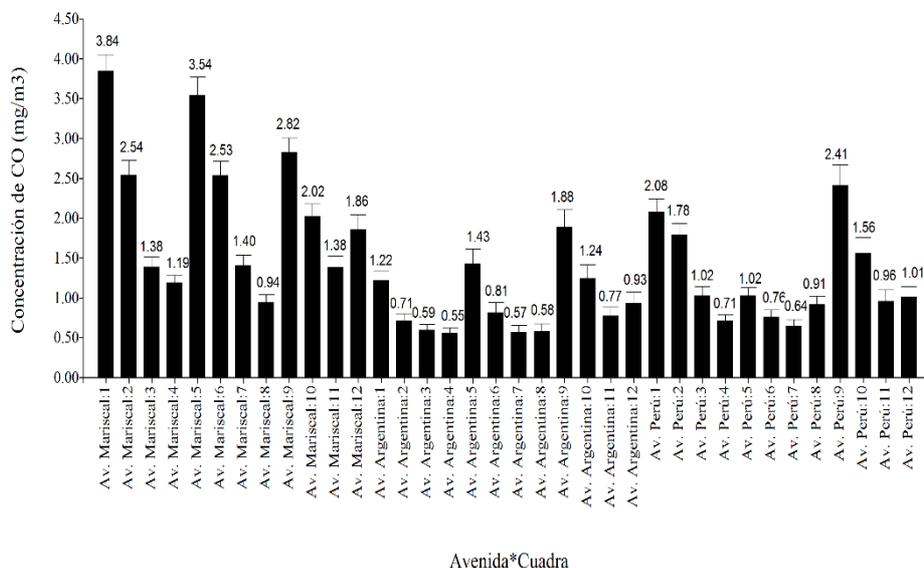


Figura 3: Concentración CO (mg/m^3) de tres avenidas por cuadras monitoreadas en el Distrito de Mariano Melgar de Arequipa.

Los registros de CO realizados en las cuadras de la Avenida Argentina, presentan que las menores concentraciones se dan en la 3, 4, 7 y 8 siendo 0.59 , 0.55 , 0.57 , 0.58 respectivamente de CO (mg/m^3) , mientras que la cuadra que presenta mayor concentración es la 9 siendo 1.88 de CO (mg/m^3) (Figura 3). Los registros de CO realizados en las cuadras de la Avenida Perú, presentan que las concentraciones menores se dan en las cuadras 4, 6 y 7 siendo 0.71 , 0.76 y 0.64 respectivamente de CO (mg/m^3) . Esto es debido

que en la cuadra número nueve se presenta una intersección de dos avenidas, la avenida Argentina y la Av. Perú, en la cual se encuentra un paradero, he de allí que la concentración es mucho mayor en zonas donde haya vehículos motorizados estacionados (mg/m^3). Resalta ver que las dos primeras cuadras de la Av. Perú, se encuentra una empresa que realiza uso de varias cocinas que causa combustión incompleta y se genera CO y la mayor concentración se encuentra en la cuadra número nueve, siendo un paradero fijo de vehículos automotores y además es una intersección de doble vía, donde hay movimiento del flujo vehicular alto (Figura 4).

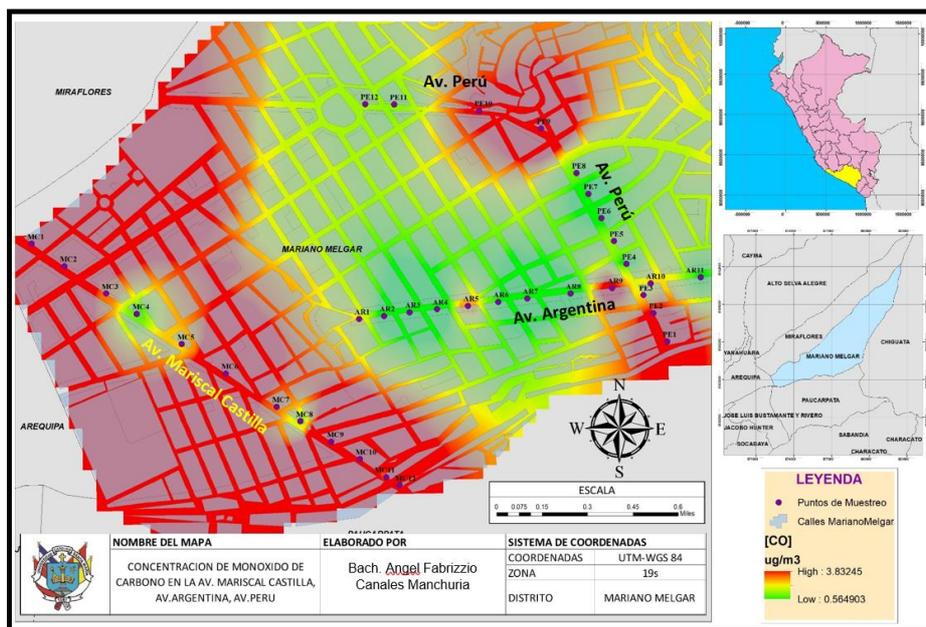


Figura 4: Puntos de muestreo de la concentración de CO por avenidas investigadas.

También los vientos son factores que están relacionados con la dirección y velocidad del viento que ocurren en agosto y noviembre y que pueden llegar de 8.34 km/h en el horario de las 22:00 a 07:00 h (LLANQUE, 2004).

Las emisiones de CO, se ocasionan en lugares como las estaciones de transporte, lugares de trabajo, tiendas de comestibles y farmacias, comercio minorista y recreación, y parques aumentan las emisiones (BARUA y NATH, 2021), por esta razón el estudio se realizó en zonas con alto tráfico vehicular como son las avenidas Perú, Argentina, Mariscal Castilla.

Los niños son más vulnerables a la contaminación atmosférica, debido a que pasan la mayor parte del tiempo en la escuela y su sistema respiratorio, aún en desarrollo, les hace más susceptibles, los vehículos en movimiento tienen más efectos en la contaminación que los vehículos en reposo y los vehículos ligeros (PAYUS ET AL.,

2019). Esta situación, permite acciones inmediatas para que la concentración de CO, no sobrepase los ECAs, aún estamos a tiempo para tomar decisiones. También, las partículas están asociadas a la concentración de monóxido de carbono y las concentraciones de ozono (WANG ET AL., 2019).

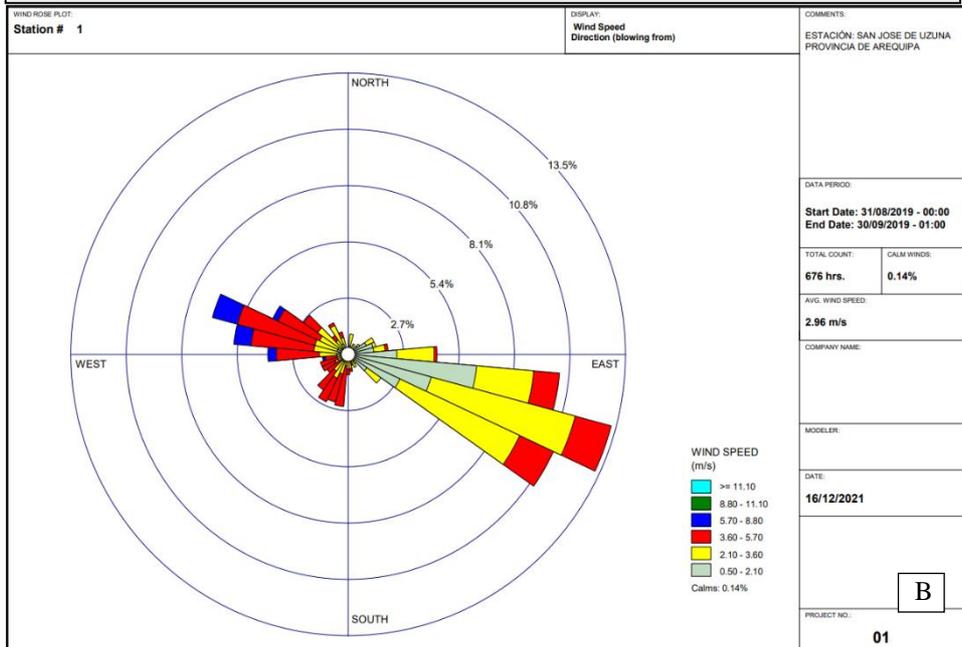
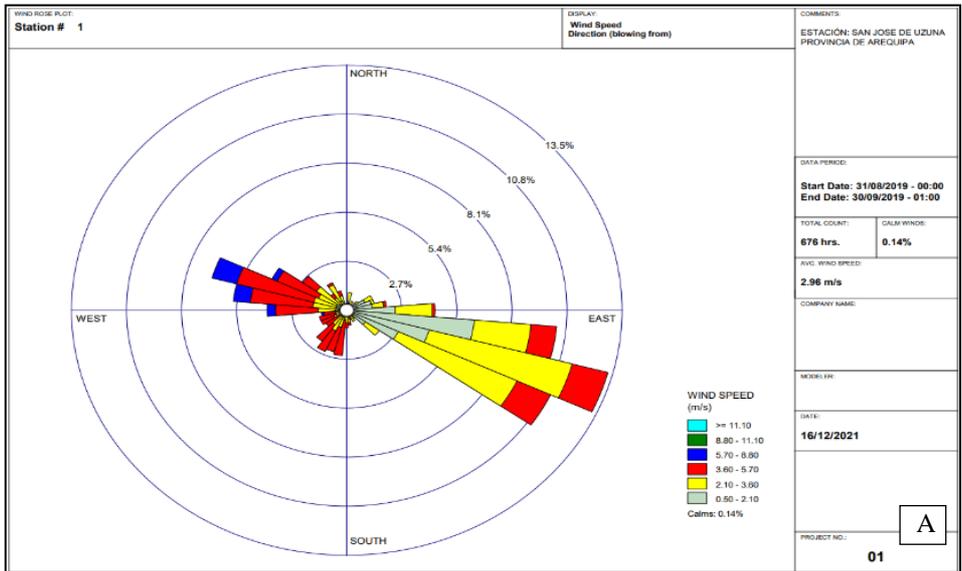
La ciudad de Arequipa, con una cantidad de personas y vehículos con tendencia de incremento, donde en el año 1996, con 625.658 habitantes los niveles de concentración CO, ascendía a un promedio de 25 PPM/h, mientras que, en el año 2000, con 870 000 habitantes, ascendía a 28 PPM/h (LLANQUE, 2004). Las exposiciones de CO están influenciadas por el tipo de combustible y trabajo desempeñado (CARBALLO ET AL., 2010), estas exposiciones son mayores en la estación de invierno, las lluvias y los vientos predominantes, transportan y diluyen a este gas a otras zonas, siendo los elementos climáticos los principales responsables de la concentración, el tiempo de permanencia, el transporte, la combinación y dilución de este gas (HERNÁNDEZ ET AL., 2004). Las fuentes móviles son las que generan una mayor contaminación atmosférica de los gases y partículas como CO (LONDOÑO ET AL., 2011).

Los resultados mostraron relación significativa, entre los días con inversión térmica de gran espesor y duración con la acumulación de contaminantes, lo cual provoca que se incrementen los índices de contaminación en la zona.

El mes de julio tuvo una temperatura promedio de 15.86 °C y con una velocidad promedio de viento de 2.96 m/s con dirección Sur-Este (SENAMHI, 2019), esto indica que al haber una temperatura más baja ocasiona que los contaminantes permanezcan en el suelo por la menor densidad existente, y al no existir mucha intensidad en la velocidad del viento, las partículas no se dispersan lo suficiente una de otra, contrastando la razón por la cual este mes presenta mayores concentraciones de CO que los otros meses (Figura 5A).

El mes de agosto la temperatura promedio de 16.3°C, fue mayor que en julio y teniendo una velocidad de viento promedio mayor de 3.17 m/s, con una dirección de viento al Sur-Este incidiendo en tener una mayor dispersión de los contaminantes de la zona debido al porcentaje del tiempo que incide el viento hacia la zona Sur Este con un registro de 14.2%. Además, el incremento de la temperatura ha ocasionado que las partículas estén más dispersas unas que otras (Figura 5B).

Por otro lado, el mes de setiembre presenta una temperatura promedio de 16.97°C siendo más alta a comparación de los otros meses y con una velocidad de viento promedio de 2.96 m/s, similar al mes de julio, teniendo en cuenta que los registros fueron de 10.8% del tiempo, esta situación ha provocado una menor dispersión de contaminantes debido a la baja intensidad del mismo, y por consiguiente las partículas de CO permanecieron a nivel del suelo a pesar de que hubo una mayor temperatura (Figura 5C).



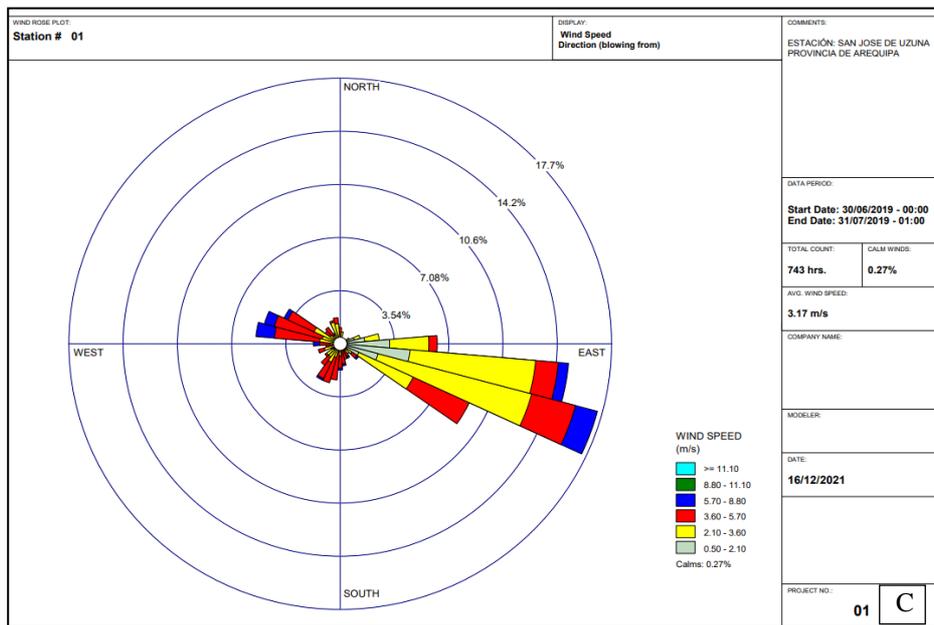


Figura 5: Rosas de vientos por meses A. julio, B. agosto, C. setiembre.

Los meses con presencia importante de inversiones térmicas y contaminación elevada ocurrieron durante las estaciones de invierno y primavera (noviembre-mayo). En estudios realizados en España-Valencia, se han encontrado patrones de concentración de monóxido, más altos en invierno, registrando 9 mg/m^3 (BALLESTER, 2005), coincidiendo con la teoría de que la época de invierno se presenta mayores concentraciones de monóxido de carbono en los estudios realizados en Arequipa.

Asimismo, en otros estudios se ha comprobado que existe un incremento de los niveles de concentración de CO desde el otoño hasta el invierno (ELBAYOUMI ET AL., 2014), debido al aumento de uso de hornos, estufas y calentadores (BUHELLI, 2014). Este mismo comportamiento de las concentraciones de CO, se manifiesta en la ciudad de Arequipa, específicamente en el distrito de Mariano Melgar, por esta situación se realizó la investigación en invierno, donde la temperatura disminuye, es probable también el uso de estufas y otros equipos por parte de las familias, que influyan en un incremento en la concentración de CO. Por lo que las inversiones térmicas fuertes han sido factor en elevados índices de contaminación en la ZMG (GARCÍA ET AL., 2012).

En Bogotá se han registrado concentraciones alta de monóxido de carbono en las avenidas principales, presentando valores entre 11.45 a 22.90 mg/m^3 (OLAYA, 1985), siendo estos registros mucho mayores encontrados en nuestra investigación, la diferencia es probable que sea por la mayor cantidad de vehículos y población que posee la ciudad de Bogotá. Por consiguiente, se debe incluir la aplicación de una estrategia integrada de

control de múltiples contaminantes, siendo la época de invierno la que produce una mayor riesgo (ASLAM ET AL., 2021).

En invierno el desplazamiento de frentes fríos, existe un proceso de inversión térmica donde se invierte el aire caliente se coloca por encima de una capa de aire frío, a consecuencia de que se forma una especie de techo o capa a una temperatura cálida, en donde se detienen los contaminantes (SEMADET, 2014), es probable por esta situación de la combinación de aire frío y temperatura caliente, en julio se haya registrado una mayor concentración de monóxido de carbono. Por tanto, inferimos la dinámica del movimiento de los gases, no es estática, debido a las variaciones de dirección y velocidad de viento, que ocurren en la mañana y tarde son diferentes en la ciudad de Arequipa. Según los datos, de la estación meteorológica de la Pampilla, se registró para agosto una mayor temperatura (24.86°C), también la velocidad del viento (km/h), fue mayor (11.4 km/h), esta situación influyó en la dispersión de la concentración de monóxido de carbono (SENAMHI, 2019).

Sin embargo, las concentraciones de CO están por debajo del ECA, eso no implica que no se debe tomar en cuenta las alternativas de solución, tanto las autoridades y la ciudadanía, deben exigir propuesta de mitigación, debido a que con el tiempo las concentraciones irán en aumentando y la calidad del aire y la salud se verán afectadas (QUISPICURO, 2015), más aún si existe quema de biomasa de la agricultura y con la ayuda de los vientos se dispersa más CO (LIN ET AL., 2009).

Conclusión

Al término de la investigación se demostró que la concentración de CO se ve variada de acuerdo a los horarios de medición, siendo así el horario vespertino el que presenta mayores niveles de contaminación. Asimismo, demostró que el mes de julio mayor concentración de CO debido a las festividades y las vías que presentan mayor número de paraderos o intersecciones, son las que presentan mayores niveles de contaminación.

Referencias

APAZA, Rosali. Impacto de la Contaminación Ambiental en la Salud de la Población de Arequipa Metropolitana en el Periodo 2013 – 2017. 2018. Tesis Pregrado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6824/ECapcar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ASLAM, Afifa; MUHAMMAD, Ibrahim; ABID, Mahmood; MUHAMMAD, Mubashir, HASAAN, Sipra; IMRAN, Shahid, SHHLA, Ramzan; MOHD, Latif; MUHAMMAD, Tahir; PAU, Show. Mitigation of particulate matters and integrated approach for carbon monoxide remediation in an urban environment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, V. 9, núm. 4, mayo-agosto. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105546>

AYOUB-MEO, Sultan., ADNAN, Abdulelah, SAMI, Waqas, & HOANG, Thanh. Effect of environmental pollution PM2.5, carbon monoxide, and ozone on the incidence and mortality

due to SARS-CoV-2 infection in London, United Kingdom. *Journal of King Saud University - Science*, London. n.33, 16 feb. 2021. Disponible en <<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101373>>. Consultado el: 02 de mayo. 2022.

BALLESTER, Ferran. Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública*, Valencia, v.79, núm. 2, pág. 159-175. Marzo-abril. 2005. Disponible en <http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200005&lng=es&tlng=es>. Consultado el: 20 de agosto de 2021

BARUA, Suborna.; NATH, Shobod. The impact of COVID-19 on air pollution: Evidence from global data. *Journal of Cleaner Production*, Reino Unido, n.298, 8 march. 2021. Disponible en <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126755>>. Consultado el: 03 de mayo de 2022.

BUCELLI, Herminia.; FERNÁNDEZ, Ramón.; RUBINOS, Gemma.; MARTÍNEZ, Cristina.; RODRÍGUEZ, Francisco.; CASAN, Pere. Niveles elevados de carboxihemoglobina: fuentes de exposición a monóxido de carbono. *Archivos de Bronconeumología*, España, v.50, núm.11, pág. 465-468, 6 de mayo. 2014. Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.arbres.2014.03.00503005>>. Consultado el: 02 de mayo de 2022

CARBALLO, Belén.; RODRÍGUEZ, José.; LÓPEZ, Jorge.; ORDÁS, Concepción.; PERNÍA, Raúl.; VILLA, José. Exposure to Carbon Monoxide in Wildland Firefighters during Wildfires Suppression. *Rev Esp Salud Publica*, España, v. 84, núm. 6, pág. 799-807, noviembre-diciembre. 2010. Disponible en <<https://doi.org/10.1590/s1135-57272010000600010>>.

DASS, Anuli.; SRIVASTAVA, Smriti.; CHAUDHARY, Gopal. Air pollution: A review and analysis using fuzzy techniques in Indian scenario. *Environmental Technology and Innovation*, Países Bajos, v.22, mayo. 2021. Disponible en <<https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101441>>. Consultado el: 02 de mayo de 2022.

ELBAYOUMI, Maher.; RAMBI, Nor.; YUSOF, Noor.; MADHOUN, Wesam. The effect of seasonal variation on indoor and outdoor carbon monoxide concentrations in Eastern Mediterranean climate. *Atmospheric Pollution Research*, Países Bajos, v.5, núm.2, pág. 315-324, abril. 2014. Disponible en <<https://doi.org/10.5094/APR.2014.037>>. Consultado el: 03 de mayo de 2022.

ESCALONA, Luís.; MANGANIELLO, Lisbeth.; LÓPEZ, Martha.; VEGA, Cristóbal. Los sensores químicos y su utilidad en el control de gases contaminantes. *Revista Ingeniería UC*, Venezuela, v.19, n.1, pág. 74-88, enero-abril. 2012.

FLORES, Juan.; SILVA, Byron. Desarrollo de una base de datos del mecanismo de formación de monóxido de carbono e hidrocarburos no combustionados de los vehículos pertenecientes al parque automotor de la ciudad de cuenca. Julio de 2016. Tesis de grado en Ingeniería Mecánica Automotriz, Universidad Politécnica Salesiana Sede Matriz Cuenca, Cuenca. Disponible en <<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12748/1/UPS-CT006609.pdf>>. Consultado 2 de mayo de 2022.

GARCÍA, M., RAMÍREZ SÁNCHEZ, H. U., ULLOA GODÍNEZ, H., ARIAS, S., & PÉREZ, A. Las inversiones térmicas y la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana de Guadalajara (México). *Investigaciones Geográficas*, México, núm. 8, pág. 9–29. 10 de octubre de 2012. Disponible en <<https://doi.org/10.14198/ingeo2012.58.01>>. Consultado 2 de mayo de 2022.

GREGORCZYK-MAGA, Iwona.; MAGA, Mikolaj.; WACHSMANN, Agnieszka., JANIK, Maciej.; CHRZASTEK-JANIK, Olga.; BAJKOWSKI, Mateusz.; PARTYKA, Lukasz.; KOZIEJ, Mateusz. Air pollution may affect the assessment of smoking habits by exhaled carbon monoxide measurements. *Environmental Research*, Estado Unidos, v. 172, pág. 258–265, mayo. 2019. Disponible en <<https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.01.063>>.

GUO, Shihong.; CHEN, Liqiang. Can urban rail transit systems alleviate air pollution? Empirical evidence from Beijing. *Growth and Change*, China, v.50, n.1, pág.130–144. Disponible en <<https://doi.org/10.1111/grow.12266>>.

HERNÁNDEZ, Julio.; MADRIGAL, Delfino.; MORALES, Carlos. Comportamiento del monóxido de carbono y el clima en la ciudad de Toluca, de 1995 a 2001. *Ciencia Ergo Sum*, México, v. 11, núm. 3, pág. 263–274. 21 de julio. 2004. Disponible en <<https://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/38028/7199-73-22621-1-10-20171013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

HOEK, Gerard. 2021. Carbon monoxide’s potential comeback as a key air pollutant. *Lancet Planetary Health*, v.5, núm. 4, pág. e177–e178, abril. 2021. Disponible en <[https://doi.org/10.1016/s2542-5196\(21\)00052-8](https://doi.org/10.1016/s2542-5196(21)00052-8)>.

HU, Mengmeng.; WANG, Yafei.; WANG, Shuang.; JIAO, Mengyu.; HUANG, Guohe.; XIA, Beicheng. Spatial-temporal heterogeneity of air pollution and its relationship with meteorological factors in the Pearl River Delta, China. *Atmospheric Environment*, Reino Unido, v.254, 1 junio. 2021. Disponible en <<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118415>>. Consultado en 04 de mayo de 2022.

HUAMÁN, Luz.; PÉREZ, Jackson. Evaluación e interpretación de la calidad del aire por gases de combustión (SO₂ y CO) en el sector Cercado y Los Jardines, Tarapoto–San Martín 2015. *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, Perú, v.2, n.1, enero-julio. 2016. Disponible en <https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/630>. Consultado el 03 de mayo de 2022.

INCHE, Jorge. Estimación de emisiones en vehículos en circulación. *Industrial Data*, Perú, v.4, núm. 1, pág. 11–16. 2001. Disponible en <<https://doi.org/10.15446/dfj.n15.50535>>. Consultado el 04 de mayo de 2022.

KHOJASTEH, Davood.; GOUDARZI, Gholamreza.; TAGHIZADEH-MEHRJARDI, Ruhollah.; ASUMADU-SAKYI, Aakwasi.; FEHRESTI-SANI, Masoud. Long-term effects of outdoor air pollution on mortality and morbidity–prediction using nonlinear autoregressive and artificial neural networks models. *Atmospheric Pollution Research*, China, v. 12, núm. 2, pág. 46–56, febrero. 2021. Disponible en <<https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.10.007>>.

LI, Yingruo.; MA, Zhiqiang.; HAN, Thingting.; QUAN, Weijun.; WANG, Junxia.; ZHOU, Huaigang.; HE, Di.; DONG, Fan. Long-term declining in carbon monoxide (CO) at a rural site of Beijing during 2006–2018 implies the improved combustion efficiency and effective emission control. *Journal of Environmental Sciences*, China, v.115, pág. 432-442, mayo. 2022. Disponible en <<https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.11.011>>.

LIN, C.; GILLESPIE, J.; SCHUDER, M.; DUBERSTEIN, W.; BEVERLAND, I.; HEAL, M.; Evaluation and calibration of aeroqual series 500 portable gas sensors for accurate measurement of ambient ozone and nitrogen dioxide. *Atmospheric Environment*, Reino Unido, v.100, pág. 111-116, enero. 2015.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.002>>.

LLANQUE, Josué. Efectos de la Contaminación Atmosférica en el clima urbano y calidad ambiental de Arequipa. *Cuadernos de Investigación Urbanística*, Perú, n.37, pág. 95–106. 2004. Disponible en <<http://polired.upm.es/index.php/ciur/article/view/931/946>>.

LONDOÑO, James.; CORREA, Mauricio.; PALACIO, Carlos. Estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes móviles en el área urbana de envigado, Colombia. *Revista EIA*, Colombia, núm. 16, pág. 149–162, diciembre. 2011. Disponible en <<http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n16/n16a12.pdf>>.

MAGA, Mikolaj.; JANIK, Maciej.; WACHSMANN, Agnieszka.; CHRZĄSTEK-JANIK, Olga.; KOZIEJ, Mateusz.; BAJKOWSKI, Mateusz.; MAGA, Pawel.; TIRAK, Katarzyna.; WÓJCIK, Krzysztof.; GREGORCZYK, Iwona.; NIŻANKOWSKI, Rafal. Influence of air pollution on exhaled carbon monoxide levels in smokers and non-smokers. A prospective cross-sectional study. *Environmental Research*, Estado Unidos, v.152, pág. 496–502, enero-octubre, 2017. Disponible en <<https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.09.004>>.

MINAM. (Ministerio del Ambiente). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias (Decreto Supremo N°003-2017). 2017. Disponible en <<http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Proyecto-de-DS-ECA-AIRE.pdf>>. Consultado el: 05 de mayo de 2022.

OLAYA, German. Evaluación de la Contaminación por Monóxido de Carbono en Bogotá. *Revista Ingeniería e Investigación*. Colombia, pág. 80-84. 1982. Disponible en <<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/34329>>.

OMS. (Organización Mundial de la Salud). Monóxido de carbono. 2008. Disponible en <<https://apps.who.int/mediacentre/news/releases/2014/indoor-air-pollution/es/index.html>>. Consultado el: 06 de mayo de 2022.

PAYUS, C.M.; VASU-THEVAN, A.T.; SENTIAN, J. Impact of school traffic on outdoor carbon monoxide levels. *City and Environment Interactions*, v.4, diciembre. 2019. Disponible en <<https://doi.org/10.1016/j.cacint.2020.100032>>.

QIU, Weihong.; ZHOU, Yun.; HE, Hen.; WANG, Bin.; MU, Ge.; ZHOU, Min.; MA, Jixuan.; ZHANG, Zhuang.; CAO, Limin.; XIAO, Lili.; YUAN, Jing.; CHEN, Weihong. Short-term effects of air pollution on liver function among urban adults in China.

Atmospheric Environment, China, v.245, 15 de enero. 2021.

<<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.118011>>.

QUISPICURO, Violeta. Descripción de los efectos de los óxidos de carbono (CO₂ y CO) en ambientes interiores y exteriores. *Revista de Investigación Universitaria*, Perú, v.4, núm. 1, pág. 11-15, enero-julio. 2015. Disponible en <<https://doi.org/10.17162/riu.v4i1.605>>.

RIVERA, Lizardo. Planeación y Desarrollo Documental de un Proceso de Homologación para la Empresa Transporte Arequipa S.A.C 2015. 2016. Tesis de Grado de Ingeniero Industrial, Universidad Católica San Pablo, Arequipa, 15 de marzo del 2016. Disponible en <https://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/14902/1/RIVERA_TEJADA_LIZ_PLA.pdf>.

SAAVEDRA, Juan. Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generados en un ambiente de tráfico vehicular. 2014. Tesis de Grado de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Disponible en <<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1872/T01-S33-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

SEMADET (Secretaria de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial). ProAire Jalisco 2014 – 2020, México. Disponible en

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/418381/13_ProAire_Jalisco.pdf>.

Consultado el: 06 de mayo de 2022.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). Datos

Hidrometeorológicos del año 2019. Perú. 2019. Disponible en

<<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>>. Consultado el: 06 de mayo de 2022.

Superintendencia de Sociedades. Programa: Control de Emisiones Atmosféricas y Ruido:

Sistema de Gestión Integrado. 31 de mayo. 2016. Disponible en

<https://www.supersociedades.gov.co/nuestra_entidad/Planeacion/SGI/Documentos%20Infraestructura%20Fisica/Documentos/GINF-PRO-004%20Programa%20Control%20de%20Emisiones%20Atmosfericas%20y%20Ruido.pdf>.

Consultado el: 06 de mayo de 2022.

TAPIA, Vilma; CARBAJAL, Luz.; VÁSQUEZ, Vanessa.; ESPINOSA, Rocío, VÁSQUEZ-VELÁSQUEZ, Cinthya, STEENLAND, Kkyle.; GONZALES, Gustavo. Reordenamiento vehicular y contaminación dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en Lima, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, Perú. v.35, núm.2, pág. 190–198, abril-junio. 2018. Disponible en <<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3250.190>>.

TÉLLEZ, Jairo.; RODRÍGUEZ, Alba.; FAJARDO, Álvaro. Contaminación por monóxido de carbono: Un problema de salud ambiental. *Revista de Salud Pública*, Bogotá, v.8, núm.1, pág. 108–117, abril. 2006. Disponible en <<https://doi.org/10.1590/s0124-00642006000100010>>.

WANG, Zongshaung.; LV, Jungang.; TAN, Yufei.; GUO, Min.; GU, Yanyue.; XU, Shu.; ZHOU, Yuhua. Temporospatial variations and Spearman correlation analysis of ozone concentrations to nitrogen dioxide, sulfur dioxide, particulate matters and carbon monoxide

in ambient air, China. *Atmospheric Pollution Research*, China, v.10, núm. 4, pág. 1203–1210. 2019. Disponible en <<https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.02.003>>.

WILLIAMS, R.; KILARU, V.; SNYDER, E.; KAUFMAN, A.; DYE, T.; RUTTER, A.; RUSSELL, A.; HAFNER, H. *Air Sensor Guidebook*; *United States Environmental Protection Agency*, Washington DC. 2014. Disponible en https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_Report.cfm?Lab=NERL&dirEntryId=277996>. Consultado el:05 de mayo de 2022.

Fabrizio Canales-Manchuria

Ingeniero ambiental. Egresado de la Maestría en Seguridad y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Dirección: Urbanización La Rinconada Juliaca s/n

Correo electrónico: fabcanales@gmail.com

Orcid: 0000-0003-2013-5722

Gelvi Canales-Manchuria

Magister en Gestión Ambiental y Auditoria en la Universidad de San Agustín. Actualmente docente Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna

Dirección: Av. Las Torres C-8 Alto Selva Alegre Arequipa

Correo electrónico: gcanalesm@unjbg.edu.pe

Orcid: 0000-0001-8099-4276

Angel Canales-Gutiérrez

Doctor en Ciencia y Tecnología Medioambientales en la Universidad de San Agustín de Arequipa y Magister de en Manejo de Vida Silvestre de la Universidad Nacional de Costa Rica. Actualmente docente investigador calificado por CONCYTEC como RENACYT, del Programa de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Ganador de proyectos de investigación convocados por CONCYTEC, con publicaciones en revista indexadas como SCOPUS y WOS.

Dirección: Jr. Ramis 115 Puno

Correo electrónico: acanales@unap.edu.pe

Orcid: 0000-0002-3096-1705

Recebido para publicação em maio de 2022.
Aprovado para publicação em dezembro de 2022.