

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE CO Y CO₂ EN LA CIUDAD DE TACNA EN RELACION CON EL PARQUE AUTOMOTOR Y LOS ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE

ANALYSIS AND EVALUATION OF CO AND CO₂ LEVELS IN THE CITY OF TACNA IN RELATION TO THE AUTOMOTIVE PARK AND ENVIRONMENTAL AIR QUALITY STANDARDS

PRESENTADO : 29.06.21

ACEPTADO : 05.11.21

DOI: <https://doi.org/10.47796/ra.2021i20.549>

LEO ULISES MICHAELL TIRADO REBAZA

Investigador Independiente

<http://orcid.org/0000-0002-6599-8866>

leotiradorebaza@gmail.com

ELEOCADIO DIOSINIO TIRADO PAZ

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna - Perú

<http://orcid.org/0000-0002-8825-3146>

etiradop@unjbg.edu.pe

IVAN ANTONY TIRADO REBAZA

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna - Perú

<http://orcid.org/0000-0002-5106-3023>

ivanantony86@gmail.com

FABIOLA MENA CHOQUE

Investigador independiente

<http://orcid.org/0000-0003-0392-9424>

famena.16.96@gmail.com

EDWIN GONZALO MONTÁNCHEZ PICARDO

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna - Perú

<http://orcid.org/0000-0002-8458-2495>

edwin_15_88@hotmail.com

RESUMEN

La contaminación atmosférica en la ciudad de Tacna (Perú), principalmente atribuida a su parque automotor, es una problemática que se viene evidenciando desde hace décadas, y que afecta lentamente a la salud de las personas, animales y al ambiente. La presente investigación buscó determinar en qué medida el horario, los lugares de monitoreo y su interacción influye en los niveles de monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂) en los principales puntos de la ciudad mencionada. Asimismo, se compararon los niveles de CO con

ABSTRACT

Air pollution in the city of Tacna, Peru, mainly attributed to its vehicle fleet, is a problem that has been evident for decades, slowly affecting the health of people, animals and the environment. The present investigation sought to determine to what extent the time of day, the places of monitoring and their interaction influence the levels of carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO₂) in the main points of the aforementioned city. Likewise, CO levels were compared with the Environmental Air Quality Standards according

los Estándares de Calidad Ambiental del Aire según el Decreto Supremo No. 003-2017-MINAM (normativa peruana) y, finalmente, se determinó el grado de asociación entre la cantidad de vehículos motorizados que transitaban por la zona y las concentraciones de estos contaminantes. Se concluyó que existe un efecto significativo del horario, el lugar y su interacción en los niveles de CO y CO₂. Por otro lado, la concentración de CO no superó los Estándares de Calidad Ambiental del Aire. Además, el nivel de CO se asoció de forma positiva y baja a la cantidad de vehículos que transitaban, mientras que la concentración de CO₂ no se asoció con los automóviles.

PALABRAS CLAVE: contaminación atmosférica, CO, CO₂, estándares de calidad ambiental.

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica constituye uno de los obstáculos más difíciles de vencer en nuestro planeta (Andrade et al., 2018), y se encuentra principalmente asociada a las actividades industriales, vehículos motorizados, desechos domésticos, entre otros (Earthgonomic, 2015). Se define como la alteración de los niveles de calidad y pureza del aire (Academia Nacional de Medicina de México, 2015) producida por la introducción de toda forma de energía hacia la atmósfera que cause daños a los recursos biológicos, a los ecosistemas (Llaveras et al., 2019), afecte a la salud de la población (Amable et al. 2017) y al desarrollo económico global (Green et al., 2012).

Más de dos millones de muertes anuales se pueden atribuir a los efectos de la contaminación del aire (Organización Mundial de la Salud, 2002). Algunas causas son el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de

to Supreme Decree No. 003 - 2017 - MINAM (Peruvian regulations) and, finally, the degree of association between the number of motorized vehicles transiting through the area and the concentrations of these pollutants was determined. It was concluded that there is a significant effect of schedule, location and their interaction on CO and CO₂ levels. On the other hand, the concentration of CO did not exceed the Environmental Air Quality Standards. In addition, CO level was positively and weakly associated with the number of vehicles driving, while CO₂ concentration was not associated with automobiles.

KEYWORDS: air pollution, CO, CO₂, Environmental Quality Standards.

carbono (CO₂), distinguidos por la afectación que producen tras su inhalación y por su aporte al efecto invernadero (Acevedo, 2013). El CO y CO₂ son gases inodoros e incoloros generados a partir de la combustión de carbono de forma incompleta y completa, respectivamente. Asimismo, el CO₂ se produce de forma natural a diferencia del CO. Cabe mencionar que el límite máximo de exposición al CO₂ por un periodo de 8 horas es de 5 000 ppm; mientras que el del CO es apenas 50 ppm, según la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos (Corporación Científica Industrial, 2018).

Pese a la resiliencia de los seres humanos, un exceso de dichos contaminantes en el ambiente puede provocar efectos irreversibles y serios en su salud (Estrada et al., 2016) que varían desde una irritación de ojos, garganta, piel, sofocación, enfermedades cardiovasculares y respiratorias como asma, pulmonía, bronquitis, muerte por insuficiencia cardiorrespiratoria (Ubilla et al., 2017). Otros estudios revelaron que elevadas concentraciones de estos gases pueden afectar

a las madres gestantes causando partos prematuros y bajo peso de los bebés al nacer (Souza, 2015). Más de la mitad de los casos reportados se han dado en países en vías de desarrollo (Organización Mundial de la Salud, 2002), cuyos niveles de contaminación atmosférica también resultan ser altos.

El mayor porcentaje de CO y CO₂ producido mundialmente tiene como fuentes generadoras a los vehículos automotores y procesos industriales (Fajardo et al., 2006; Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2005), probables responsables de la mayor parte del calentamiento observado durante los últimos 50 años (Intergovernmental Panel of Climate Change, 2007), ya que contribuyen a la destrucción de la capa de ozono y favorecen la manifestación de lluvias ácidas (Oliver et al., 2018). Pese a tratarse de gases de importancia, en el Perú, los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Aire —los cuales establecen la concentración pertinente de ciertos contaminantes en el ambiente— solo regulan los niveles de CO, mas no, los niveles de CO₂. Sin embargo, los Límites Máximos Permisibles (LMP), los cuales garantizan el manejo ambiental de ciertas actividades económicas, sí consideran ambos contaminantes.

Actualmente, Tacna cuenta con un crecimiento vehicular anual del 7.51 %, producto del crecimiento poblacional que se está dando en la ciudad, lo cual podría estar coadyuvando al proceso de polución atmosférica (Superintendencia Nacional de Registros Públicos, 2017). Según el Ministerio del Ambiente del Perú (2013), una de las principales fuentes de contaminación en la ciudad de Tacna es el parque automotor, por lo que un plan de contingencia se vuelve prioritario a fin de proteger la salud de la población y el ambiente. Para ello, cual es crucial responder qué contaminantes se deben controlar, cómo y hasta qué punto (Mendoza,

2014) a fin de evitar la reducción de la esperanza de vida (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2011). Concomitante a esto, la presente investigación surge de la necesidad de conocer si el parque automotor es el principal responsable de la contaminación atmosférica en la ciudad de Tacna, por lo cual, se estableció una correlación que permitió evidenciar ello.

La investigación tuvo como objetivos:

(1) Determinar de qué manera el horario, el lugar de monitoreo y su interacción influyen en los niveles de CO y CO₂ en los principales puntos de la ciudad de Tacna;

(2) Comparar los niveles de CO con los Estándares de Calidad Ambiental del Aire según el Decreto Supremo No. 003-2017- MINAM;

(3) Determinar el grado de asociación entre la cantidad de vehículos motorizados y la calidad del aire.

MATERIALES Y MÉTODOS

Metodología de la Investigación

Para llevar a cabo el presente trabajo, se consideró el tipo de investigación básica con la finalidad de dar un diagnóstico de los niveles de CO y CO₂ en la ciudad de Tacna. Asimismo, se pretendió monitorear la concentración de metano (CH₄), sin embargo, los despreciables valores obtenidos en los puntos de monitoreo escogidos provocaron la declinación de dicha idea.

Área y Tiempo de Ejecución

La evaluación se realizó en 5 puntos diferentes de la ciudad de Tacna, durante los meses de noviembre y diciembre del 2019, por ser en estos meses en los que se evidencia una mayor proliferación de la flota vehicular debido a la cercanía de las festividades internacionales,

nacionales y locales. Cabe acotar que el estudio se realizó durante la época seca, pues en esta temporada la concentración de gases atmosféricos llega a sus más altos niveles, lo cual resultaría favorable para la investigación, considerando que se pretende conocer si en algún momento del año se están superando los Estándares de la Calidad Ambiental del Aire en la ciudad de Tacna. Asimismo, se debe considerar que, en dichos meses, la presencia de potentes vientos y lluvias es mínimo por lo que la dispersión de las partículas de CO y CO², también lo es.

Durante la pesquisa no se presenciaron precipitaciones. La temperatura aproximadamente varió desde 13.1 °C a 25.7 °C (National Aeronautics and Space Administration, 2020). En la Tabla 1 se precisa a mayor detalle la localización de los lugares monitoreados, los cuales fueron escogidos debido a su reconocida y característica concurrencia vehicular en la ciudad de Tacna, previa a la pandemia provocada por el Coronavirus.

Se realizó un total de 15 monitoreos en cada punto, tanto para el CO (µg/m³) como para el CO₂ (µg/m³), en un periodo de 5 días, a las 7:00 h, 12:30 h y 18:00 h, por ser horarios en los que hay una mayor concurrencia vehicular (“horas punta”). Cabe resaltar que la investigación se realizó únicamente durante días hábiles, ya que al caracterizarse estos por poseer una actividad intensa es cuando resulta más susceptible exceder los Estándares de Calidad Ambiental nacionales (Blanchard et al., 2003). El monitoreo para cada contaminante tuvo una duración de 7 minutos en los que un gasómetro Aeroqual (serie 500) permitió registrar 6 valores del nivel de ambos contaminantes. Asimismo, durante este periodo, empleando la técnica de observación por simple inspección, se contabilizaron los vehículos motorizados (autos particulares, combis, taxis, camiones, buses, motocicletas,

etc.) que transitaban por la zona durante el levantamiento de datos para poder establecer la correlación correspondiente.

Tabla 1. Coordenadas de los Lugares de Estudio

Lugar	Coordenadas
Intersección de la av. Coronel Mendoza con la av. Pinto.	18° 00' 12" S 70° 14' 34" O
Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann	18° 01' 24" S 70° 14' 57" O
Mercado Central	18° 00' 42" S 70° 14' 46" O
Mercado Miguel Grau	18° 00' 09" S 70° 15' 36" O
Institución Educativa Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa	18° 01' 00" S 70° 15' 12" O

Fuente: Elaboración propia

Normativa Legal Vigente

Los Estándares de Calidad Ambiental del aire según el Decreto Supremo No. 003-2017-MINAM incluyen (en su anexo) una serie de parámetros entre los cuales se encuentra que el CO debe tener una media aritmética por debajo de los 10 000 µg/m³. El CO₂ no forma parte de dicha nómina, por lo cual la comparación solo se realizó con el monóxido de carbono (CO). Cabe resaltar que algunos de los Límites Máximos Permisibles para sectores como la minería, metalurgia, hidrocarburos y demás sí comprenden a ambos gases; sin embargo, realizar una comparación con estos valores no es la naturaleza de la presente investigación, ya que esta se enfocó únicamente en el sector vehicular.

Procesamiento y Análisis de Datos

Para el procesamiento y análisis de datos, se utilizó los programas estadísticos

Statgraphics Centurion XVI, IBM SPSS Statistics 25 y Excel 2013.

Inicialmente se consideró la realización de un análisis de varianza trifactorial; empero, tras la realización de la prueba de normalidad de Kolmogorov Smirnov empleando IBM SPSS Statistics 25, se evidenció con un 95% de confianza que la variable *cantidad de vehículos* no seguía una distribución normal, por lo que se decidió analizarla por separado a partir de una estadística no paramétrica correlacional: Rho de Spearman, para determinar si se encontraba asociada con los niveles de CO y CO₂. Mientras que, para entablar una asociación y hallar diferencias significativas entre las medidas recolectadas en los distintos lugares y horarios de monitoreo, y observar la interacción de ambas respecto a las concentraciones de los contaminantes en estudio, se aplicó un análisis de varianza bifactorial con ayuda del software estadístico Statgraphics Centurion XVI, según la leyenda que se presenta a continuación.

Para la variable lugar de estudio:

- (1): Intersección de la av. Coronel Mendoza con la av. Pinto
- (2): Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann
- (3): Mercado Central
- (4): Mercado Miguel Grau
- (5): Institución Educativa Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa

Para la variable horario de monitoreo:

- (1): 7:00 h
- (2): 12:30 h
- (3): 18:00 h

A su vez, se utilizó Excel 2013 para realizar un gráfico que permitió dilucidar si se

estaban, o no, excediendo los Estándares de Calidad Ambiental del aire, únicamente para el CO, debido a que en el Perú no existe una normativa que regule el nivel de CO₂ ambiental.

RESULTADOS

Determinación de los Niveles de CO y CO₂

Se determinaron los niveles de CO y CO₂ en los 5 puntos de estudio en los 3 horarios escogidos. Se siguió el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire (2019).

En la Tabla 2, se presenta el análisis de varianza obtenido para el nivel de CO, y evidencia que existen diferencias significativas entre los lugares de estudio y los horarios en los que se realizaron los monitoreos, con valores -P por debajo de 0.0000 y 0.0035, respectivamente. Asimismo, se evidenció una interacción significativa entre ambas variables, arrojando un valor -P menor a 0.0000. Este análisis estadístico también permite dilucidar que tanto el lugar como el horario y la interacción de ambos tienen efecto en el nivel de CO. Esto se puede aseverar con un 95 % de confianza.

Tabla 2. Análisis de Varianza para Nivel de CO - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Lugar	3.31699E8	4	8.29247E7	40.36	0.0000
B: Horario	2.37728E7	2	1.18864E7	5.79	0.0035
Interacciones					
AB	1.24564E8	8	1.55704E7	7.58	0.0000
Residuos	5.23866E8	255	2.05438E6		
Total (corregido)	1.0039E9	269			

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 3 presenta la prueba de múltiples rangos LSD de Fisher para determinar qué lugar tuvo una mayor concentración de CO durante el monitoreo de la calidad ambiental. En ella se manifiesta, con un 95 % de confianza, que se registraron diferencias significativas en los niveles de CO de los 5 lugares de estudio, y que la mayor concentración se encontró en el punto (5), Institución Educativa Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, con una media de 4700.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; mientras que el menor valor se registró en el punto (4), Mercado Miguel Grau, con una media de 1499.64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

El valor promedio de CO para el presente estudio fue de 2697.98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 3. Pruebas de Múltiples Rangos LSD de Fisher para el Nivel de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por Lugar de estudio

Lugar	Casos	Media LSD	Grupos Homogéneos
4	54	1499.64	A
2	54	2055.74	B
3	54	2135.74	B
1	54	2698.37	C
5	54	4700.46	D

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4 presenta la prueba de múltiples rangos LSD de Fisher para determinar durante qué horario se registró la mayor concentración de CO durante el monitoreo de la calidad ambiental. A partir de los datos, con un 95 % de confianza, se avala que se registraron diferencias significativas en los niveles de CO durante los monitoreos a distintas horas día. La mayor concentración se produjo durante el horario (1), 7:00 h, con una media de 2992,93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, seguida por el horario (2), 12:30 h, con una media de 2593,72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; mientras que el menor valor promedio fue el registrado en el horario (3), 18:00 h, con 2267,31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 4. Pruebas de Múltiples Rangos LSD de Fisher para el Nivel de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por Horario de monitoreo

Horario	Casos	Media LSD	Grupos Homogéneos
3	90	2267.31	A
2	90	2593.72	A B
1	90	2992.93	B

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5 se presenta el análisis de varianza obtenido para el nivel de CO₂. Se demuestra que existen diferencias significativas entre los lugares de estudio y los horarios en lo que se realizaron los monitoreos. El resultado arroja valores -P menor a 0.0065 y 0.0000, respectivamente.

Asimismo, se evidenció una interacción significativa entre ambas variables, con un Valor -P por debajo de 0.0000. Esto se puede aseverar con un 95 % de confianza.

Tabla 5. Análisis de Varianza para el Nivel de Co₂ - Suma de Cuadros Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Lugar	7.69506E9	4	1.9237E9	3.65	0.0065
B: Horario	1.11939E10	2	5.59695E9	10.63	0.0000
Interacciones					
AB	3.5542E10	8	4.44275E9	8.44	0.0000
Residuos	1.34259E11	255	5.26504E8		
Total (corregido)	1.8869E11	269			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Pruebas de Múltiples Rangos LSD de Fisher para el Nivel de CO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por Lugar de estudio

Lugar	Casos	Media LSD	Grupos Homogéneos
3	54	670 060	A
5	54	670 707	A B
4	54	671 926	A B
1	54	679 171	B C
2	54	683 536	C

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 6 presenta la prueba de múltiples rangos LSD de Fisher para determinar qué lugar tuvo una mayor concentración de CO₂ durante el monitoreo de la calidad ambiental. Aquella manifiesta, con un 95 % de confianza, que se registraron diferencias significativas en

los niveles de CO₂ de los 5 lugares de estudio, hallándose la mayor concentración en el punto (2), Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, con una media de 683 536 µg/m³; mientras que el menor valor se registró en el punto (3), Mercado Central, con una media de 670 060 µg/m³. El valor promedio de CO₂ para el presente estudio fue de 675 080 µg/m³.

Tabla 7. Pruebas de Múltiples Rangos LSD de Fisher para el Nivel de CO₂ (µg/m³) por Horario de monitoreo

Horario	Casos	Media LSD	Grupos Homogéneos
3	90	669 617	A
2	90	671 502	A
1	90	684 121	B

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7 presenta la prueba de múltiples rangos LSD de Fisher para determinar durante qué horario se registró la mayor concentración de CO₂ durante el monitoreo de la calidad ambiental. Aquella avala, con un 95 % de confianza, que se registraron diferencias significativas en los niveles de CO₂ durante los monitoreos a distintas horas día. Se halló mayor concentración durante el horario (1), 7:00 h, con una media de 684 121 µg/m³, seguida por el horario (2), 12:30 h, con una media de 671 502 µg/m³; mientras que el menor valor promedio fue el registrado en el horario (3), 18:00 h, con 669 617 µg/m³.

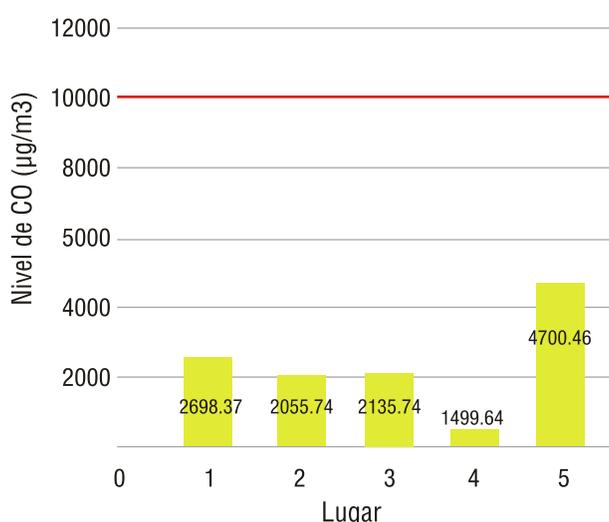
Comparación de los Niveles de CO con los Estándares de Calidad Ambiental del Aire

Se compararon los valores registrados de CO de los 5 puntos de estudio con los Estándares de Calidad Ambiental del Aire del Perú (Figura 1).

La Figura 1 evidencia que en la ciudad de Tacna no se superan los Estándares de Calidad Ambiental del Aire promulgados en el año 2017,

los cuales exigen que la media aritmética de valores determinados no supere los 10 000 µg/m³ de CO; incluso, se aprecia que el punto de mayor concentración se ubica por debajo de la mitad de lo exigido por ley. El promedio de valores obtenidos de CO en los 5 lugares fue de 2697.98 µg/m³, lo cual representa el 26.97 % del valor permitido por el Estándar de Calidad Ambiental.

Figura 1. Comparación de los niveles CO (µg/m³) en los lugares de estudio con los Estándares de Calidad Ambiental del Aire

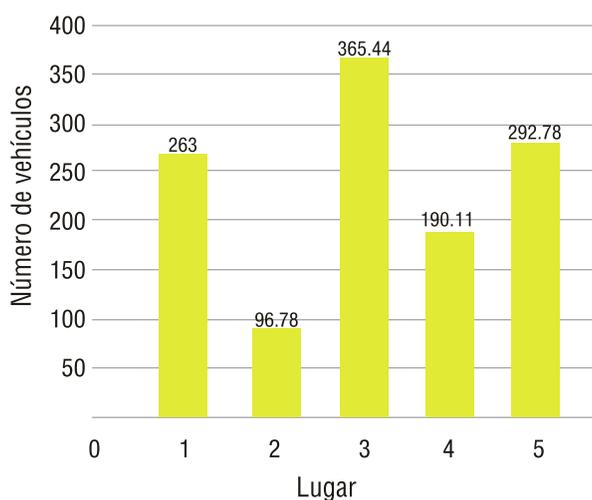


Fuente: Elaboración propia

Determinación del Grado de Asociación entre la Cantidad de Vehículos Motorizados y la Calidad del Aire

Se determinaron los promedios de vehículos contabilizados por lugar de estudio (Figura 2).

La Figura 2 evidencia que el lugar en el que hubo una mayor congregación de vehículos automotores durante los monitoreos realizados fue el (3), Mercado Central, con un promedio de 365.44; mientras que el lugar donde se presenció una menor circulación de vehículos fue el punto (2), Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann con un promedio de 96.78.

Figura 2. Promedio de Número de Vehículos Automotores Contabilizados por Lugar de Estudio

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 8 muestra una correlación estadística significativa con un valor menor a 0.000 y establece una correlación de 0.263 entre las variables número de vehículos y nivel de CO, lo cual se traduce en una correlación positiva y baja.

Tabla 8. Correlación de Rho de Spearman entre el Número de Vehículos y el Nivel de CO

Variables	Número de vehículos y Nivel de CO
Correlación de Rho de Spearman	0.263
Significancia (bilateral)	0.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Correlación de Rho de Spearman entre el Número de Vehículos y el Nivel de CO₂

Variables	Número de vehículos y Nivel de CO ₂
Correlación de Rho de Spearman	-0.062
Significancia (bilateral)	0.314

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 9 muestra una correlación estadística no significativa con un valor -P menor a 0.314, y establece una correlación de -0.062 entre las variables número de vehículos y nivel de CO₂, lo cual evidencia que no hay una correlación entre las variables analizadas.

DISCUSIÓN

Aunque se cuenten con estaciones de monitoreo de la calidad ambiental en la ciudad de Tacna, no se ha llevado a cabo una crítica acerca de los resultados que se obtienen dentro de estas y, mucho menos, se ha buscado una posible explicación a lo que se viene manifestando. Hay que aceptar que los países latinoamericanos han realizado muy pocas investigaciones relacionadas a los efectos provocados por la contaminación del aire, por lo que estos aspectos nunca son incluidos en programas de desarrollo social ni se pretenden realizar estudios epidemiológicos en este campo (Hernández et al., 2010). He allí la importancia de la presente investigación que se preocupa por determinar si los horarios y lugares hacen variar los niveles de CO y CO₂; por comprobar si se están superando los Estándares de Calidad Ambiental del Aire y si el tránsito de la flota vehicular de la ciudad de Tacna está asociado significativamente a las concentraciones de CO y CO₂ (o si puede haber otros factores que se encuentren influyendo en ello). Asimismo, la investigación hace hincapié en que se requiere con urgencia una regulación del CO₂ ambiental, puesto que no es suficiente que se encuentre normado únicamente para ciertas actividades.

Arcaya (2015) evidenció que en la Estación de Monitoreo del Gran Hotel Tacna se registraron valores por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental del Aire para CO. El autor halló un promedio de 302.79 µg/m³ del contaminante en mención. Este valor se encontró por debajo del promedio de 2697.98

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ encontrado en la actual investigación, lo cual se debe a que el presente monitoreo se realizó directamente en el parque automotor, mientras que la Estación del Gran Hotel Tacna se encuentra al interior de dicho recinto y relativamente lejos de los vehículos promotores de la generación del CO.

Actualmente, no existe una normativa nacional o local que regule los niveles de CO_2 en el medio ambiente que no sea para actividades específicas (Límites Máximos Permisibles). Esto no sucede así en otros países; un claro ejemplo de ello es España, donde, a través del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España (1997), se estipula que en áreas urbanas es aceptable encontrar valores de hasta $1\,007\,913.36\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ de este contaminante, lo cual se halla por debajo del promedio registrado en la actual investigación (con un valor de $675\,080\ \mu\text{g}/\text{m}^3$); ello se puede atribuir al hecho de que en los países europeos, la cantidad de fábricas y vehículos es mucho más numerosa respecto a la ciudad de Tacna.

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018), la concentración de CO en la Estación de Monitoreo de Ate varió desde $1504.2\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta los $4604.6\ \mu\text{g}/\text{m}^3$; este último es el mayor valor reportado y sucede a las 9:00 h. Asimismo, en la Estación de San Juan de Lurigancho, los niveles de CO oscilaron entre $848.7\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $3435\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, cuyo último valor es el más elevado y fue reportado a las 6:00 h. Ambos antecedentes corroboran lo determinado en la actual investigación, debido a que el mayor nivel de CO se registró también en horario diurno en la ciudad de Tacna con un promedio de $2992.93\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto nos permite dilucidar que el aumento acelerado y envejecimiento del parque automotor de la ciudad de Tacna, sumado a la promoción fiscal del consumo de combustibles de mala calidad (Defensoría del Pueblo, 2005), podría estar influyendo en los resultados; pese a ello, no se está excediendo lo estipulado en la norma

peruana vigente. García (2008) también pudo comprobar que los niveles de concentraciones de ciertos contaminantes atmosféricos, incluido el CO, se encontraron muy por debajo de los valores permitidos a nivel nacional en una investigación que realizó en el Centro Histórico de Lima, ciudad con el mayor índice de contaminación en América Latina (World Health Organization, 2014), por lo que se puede inferir que la ciudad de Tacna tampoco los exceda.

En el actual estudio, el lugar en el que se reportó un mayor promedio de CO_2 fue la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, lo cual podría deberse a que en el punto de monitoreo no existen árboles o áreas verdes que puedan absorber este contaminante atmosférico (Peris, 2016). Ello manifiesta diferencias significativas en comparación con el menor promedio de concentración de dióxido de carbono (registrado en el Mercado Central), ya que este punto se encontraba muy cerca de los árboles de la Alameda de la avenida Bolognesi, los cuales pudieron contribuir a la reducción de los niveles de contaminación. A partir de esto se podría explicar que no se haya determinado una correlación entre los niveles de CO_2 y la cantidad de vehículos que transitaban en el momento de monitoreo (valor correlativo de Rho de Spearman de -0.062 ; $p < 0.314$).

En cuanto al CO, la Institución Educativa Gregorio Albarracín Lanchipa fue la que registró el mayor promedio de concentración de este contaminante. Esto presenta diferencias significativas respecto al punto de monitoreo ubicado en el Mercado Miguel Grau, lo que se explicaría debido a que la institución educativa era bastante transitada durante los horarios de monitoreo, tenía turnos de entrada y salida de sus aulas por lo que había una proliferación vehicular considerable; a diferencia del Mercado Grau, en el que se transitaba abrumadoramente durante la mañana, aunque esto iba decayendo a medida que trascurría el

día. De allí que se pueda explicar que se haya encontrado una asociación positiva y baja (valor correlativo de Rho de Spearman de 0.263; $p < 0.000$) entre la cantidad de vehículos que transitaban con los niveles de CO, aunque también podrían influir otras fuentes de contaminación en estos resultados.

Reforzando esta idea, Ovando (2010) afirma que los gases producidos por el motor de combustión interna de los vehículos son responsables del 87 % de emisiones de CO y del 25 % de emisiones de CO₂.

Por otro lado, en la ciudad de Huancayo, el 58.7 % de emisiones de CO es producido por automóviles, mientras que el 39.6 % es generado por las motocicletas (Hilario, 2017) por lo que disponer de sistemas de filtrado que permitan extraer los gases de escape mediante un mantenimiento preventivo se vuelve prioritario (Servicio de Medio Ambiente de España, 2008), a fin de reducir la contaminación atmosférica y contribuir con el cuidado de nuestro planeta.

Hay que destacar que actualmente no se están superando los Estándares de Calidad Ambiental del Aire para el CO en la ciudad de Tacna, lo cual es bastante rescatable y positivo; sin embargo, los tacneños deben mantenerse permanentemente vigilantes a esta temática, ya que no hacerlo podría afectar su propia salud y bienestar.

Si bien es cierto, existen diversos gases de efecto invernadero, pero por tratarse del sector vehicular, se decidió ahondar únicamente en el CO y CO₂, pues son algunos de los principales contaminantes que aportan los automóviles. Es recomendable realizar monitoreos y observar cómo podrían influir las estaciones del año en las concentraciones de estos gases. Asimismo, el material particulado y el ruido, son otros dos factores contribuyentes de la contaminación atmosférica que debe ser

diagnosticado en futuras investigaciones a fin de velar por la calidad ambiental de la ciudad de Tacna.

CONCLUSIONES

- El promedio de nivel de CO en los 5 lugares de estudio fue de 2697.98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; mientras que el de CO₂, fue de 675 080 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. También se encontró que el momento de mayor concentración de ambos contaminantes fue a las 7:00 h. Asimismo, se determinó que existe un efecto hacia los niveles de CO y CO₂, proveniente del horario, el lugar en el que se llevó a cabo el monitoreo y la interacción de ambos.
- Los Estándares de Calidad Ambiental del Aire en el Perú exigen que no se supere los 10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de CO, lo cual se cumple en la ciudad de Tacna, considerando que durante el estudio se calculó un promedio de 2697.98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de dicho contaminante. El CO₂ no está contemplado en los Estándares de Calidad Ambiental del Aire en el Perú, sin embargo, debería contemplarse, teniendo en cuenta que uno de los principios de la toxicología explica que toda sustancia puede llegar a ser letal a cierta concentración; es por ello que existen Límites Máximos Permisibles para ciertas actividades en las que sí lo contemplan, y es una deuda momentánea su inclusión dentro de los Estándares de Calidad Ambiental.
- El grado de asociación entre la cantidad de vehículos automotores y el nivel de CO tuvo una correlación positiva y baja (valor correlativo de Rho de Spearman de 0.263; $p < 0.000$). Por otro lado, la correlación entre el nivel de CO₂ y la cantidad de vehículos automotores no evidenció una correlación significativa

(valor correlativo de Rho de Spearman de -0.062; $p < 0.314$). Si bien es cierto, la naturaleza de la presente investigación no permite establecer una relación de causalidad, estos resultados dejan entrever que no necesariamente estos dos gases son únicamente generados por la flota vehicular de la ciudad de Tacna; también puede deberse a la contaminación proveniente de establecimientos comerciales como pollerías, anticucherías, restaurantes, fábricas cercanas de diversa índole, etc., pues se debe considerar que los contaminantes pueden transportarse. Sin embargo, en próximos estudios, deberá considerarse también el factor vegetación en los puntos de monitoreo, pues también pudieron haber influido en estos hallazgos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Academia Nacional de Medicina de México. (2015).** La contaminación del aire y los problemas respiratorios. Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM, 58 (5): 44. ISSN: 2448-4865.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422015000500044
- Acevedo, J., Bocarejo, J., Galarza, D., Peroza, A., Tyler, N., Velásquez, J. (2013).** Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia. Universidad de los Andes, 5.
- Amable, I., Méndez, J., Bello, B., Benítez, B., Escobar, L., Zamora, R. (2017).** Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud. Revista Médica Electrónica. 39(5): 1160. ISSN: 1648-1824.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242017000500017
- Andrade, K., Sevilla, N. (2018).** Polución del aire generado por los automotores e incidencia en niños/as de la Esc. Eugenio Espejo del Cantón Milagro. [Tesis de licenciatura, Universidad Estatal de Milagro]. Ecuador.
- Arcaya, P. (2015).** Análisis del sistema de transporte público y la contaminación del aire de los vehículos livianos en la ciudad de Tacna - 2014. [Tesis de Maestría, Universidad Privada de Tacna].
- Blanchard C., y Tanenbaum, S. (2003).** Differences between weekday and weekend air pollutant levels in Southern California. Journal of the Air and Waste Management Association, 53(7): 816-828.
<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10473289.2003.10466222?needAccess=true>
- Corporación Científica Industrial (30 de abril del 2018).** Monóxido de Carbono vs. Dióxido de Carbono. IMPROMAK.
<https://www.impomak.com/03/wp-content/uploads/2018/05/Arti%CC%81culoISC-CO-vs-CO2.pdf>
- Defensoría del Pueblo. (2005).** La calidad del aire en Lima y su impacto en la salud y vida de sus habitantes. Gobierno del Perú.
- Earthgonomic. (18 de junio del 2015).** Impacto ambiental del crecimiento demográfico.
<http://earthgonomic.com/noticias/poblacion/>
- Estrada, A., Gallo, M., Nuñez, E. (2016).** Contaminación ambiental, su influencia en el ser humano, en especial: El sistema reproductor femenino. Universidad y Sociedad: Revista Científica de la Universidad Cienfuegos, (8), 86. ISSN: 2218-3620.
<http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v8n3/rus10316.pdf>
- Fajardo, A., Rodríguez, A., J Téllez. (2006).** Contaminación por Monóxido de carbono: Un

problema de salud ambiental. *Revista de Salud Pública*, 8 (1): 108. ISSN: 0124-0064. <https://www.redalyc.org/pdf/422/42280110.pdf>.

García, V. (2008). Evaluación del grado de contaminación del aire en el Centro Histórico de Lima. *Anales científicos de la Universidad Nacional Agraria La Molina*, 1-11. ISSN: 2519-7398.

<https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/actu/article/view/992>.

Green, J., Sánchez, S. (2013). La Calidad del Aire en América Latina: Una visión panorámica. *Clean Air Institute*, (12), 23.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2005). La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. *Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático*.

Hernández, M., Encalada, M., y Molina, S. (2010). Plan Nacional de Calidad del Aire. Ministerio del Ambiente de Ecuador, COSUDE.

Hilario, N. (2017). Emisiones contaminantes de vehículos del Distrito de Huancayo. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional del Centro del Perú].

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). Estadísticas Ambientales. Informe Técnico No. 03: 2018. Autor.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España. (1997). Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de los lugares de trabajo. INSHT.

Intergovernmental Panel on Climate of Change. (2007). Informe del Grupo de Trabajo I-Base de las Ciencias Físicas. RT.4 Comprensión y Atribución del Cambio Climático. IPCC.

Lliveras, E., Martínez, J. (2018). Contaminación atmosférica. [Tesis de Maestría, Universidad Tecnológica de La Habana]. Repositorio.

Mendoza, M. (2014). Valoración de contaminantes del aire generada por fuentes móviles para la gestión de la calidad del aire en el cercado de Tacna. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio.

Ministerio del Ambiente del Perú. (2013). Informe Nacional de la Calidad del Aire. MINAM.

Ministerio del Ambiente del Perú. (2017). Decreto Supremo No. 003-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias. MINAM.

National Aeronautics and Space Administration. (2020). Weather Analysis & Prediction. Space Flight Center, NASA.

Oliver C., Cuadrat, J. (2018). La contaminación atmosférica en Zaragoza y su importancia en prensa digital. [Tesis de licenciatura, Universidad de Zaragoza]. Repositorio.

Organización Mundial de la Salud. (2012). Informe sobre la salud en el mundo. Reducir los riesgos y promover una vida sana. OMS.

Ovando, R. (2010). Los gases de efecto invernadero. En contaminación atmosférica por bióxido de carbono emitido por vehículos automotores en la ciudad de Torreón. *Universidad Antonio Narro*, 22-31.

Peris, B. (2016). Carácter sumidero de CO₂ de los Albaricoques de la Comunidad Valenciana. *Revista Digital de Medio Ambiente Ojeando la agenda*, (43), 1.

Servicio de Medio Ambiente de España. (2008). Guía de buenas prácticas ambientales talleres mecánicos. Cámara A Coruña.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2011). Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2011. SENAMHI.

Souza, J. (2015). Contaminación del aire y salud reproductiva. En XXIV Reunión Bianual de la Asociación Latinoamericana de Investigación en Reproducción Humana.

Superintendencia Nacional de Registros Públicos. (2017). Inscripción de compraventas de vehículos creció en 17 departamentos. SUNARP.

Ubilla, C., Yohannessen, K. (2017). Contaminación atmosférica: efectos en la salud respiratoria en el niño. Revista Médica Clínica Los Condes. 28(1): 111. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864017300214>

World Health Organization. (2014). Ambient (outdoor) air pollution in cities database 2014. WHO.