

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CO Y NO₂
DEBIDO AL TRÁNSITO VEHICULAR, EN LA PROXIMIDAD A
CENTROS EDUCATIVOS – CERCADO DE TACNA”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

Bach. CLAUDIA VALERIA CÉLIZ CHÁVEZ

Bach. CRISTIAN JORGE CHURA FLORES

TACNA – PERÚ

2024

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CO Y NO₂ DEBIDO
AL TRANSITO VEHICULAR, EN LA PROXIMIDAD A CENTROS
EDUCATIVOS – CERCADO DE TACNA”**

Tesis sustentada y aprobada el 12 de julio de 2024; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mtra. MILAGROS HERRERA REJAS

SECRETARIO : Msc. MARISOL MENDOZA AQUINO

VOCAL : Dr. RICHARD SABINO LAZO RAMOS

ASESOR : Ing. CARMEN ROSA ROMÁN ARCE

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Claudia Valeria Céliz Chávez y Cristian Jorge Chura Flores, egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 70600580 y 47454120 respectivamente, así como Carmen Rosa Román Arce con DNI 42316863; declaramos en calidad de autores y asesor que:

1. Somos los autores de la *tesis* titulado: “*Evaluación de la concentración de CO y NO₂ debido al tránsito vehicular, en la proximidad a centros Educativos – Cercado de Tacna,*” la cual presentamos para optar el Título Profesional de *Ingeniero Ambiental*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la *tesis de investigación*, así como por los derechos asociados a la obra.

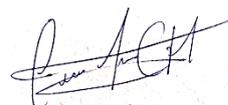
En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis de investigación, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 12 de julio de 2024



Claudia Valeria Céliz Chávez
DNI: 70600580



Cristian Jorge Chura Flores
DNI: 47454120



Carmen Rosa Román Arce
DNI:42316863

DEDICATORIA

A mi madre, que luchó constantemente contra la adversidad y a pesar de ello haber podido apoyarme en todo momento.

A mi padre por sus consejos, su coraje y sus ganas de verme triunfar.

A mi pequeña hermana, por el simple hecho de existir, por hacerme recordar que tengo un motivo más para no rendirme y seguir esforzándome.

A mis abuelos Gerardo y Tomasa, por todo el apoyo brindado durante los momentos difíciles, por siempre querer lo mejor para mí, por enseñarme a valorar todo lo que me dio la vida y por inculcarme esa humildad que solo ustedes conocen.

A mi mejor amiga, la mejor compañera que la vida pudo darme, por estar siempre cuando más lo necesité, por tu gran esfuerzo para hacer esto posible, Claudia.

Cristian Jorge Chura Flores

DEDICATORIA

A mi familia, especialmente a mi madre Patricia Chávez por su sacrificio y esfuerzo constante, por esas amanecidas de arduo trabajo, me has ayudado a confiar y tener fe en mí misma.

A mi padre Eduardo Céliz, que desde el cielo me ilumina y protege para seguir adelante profesionalmente, aunque hayan pasado 16 años de tu partida te sigo extrañando.

A mi hermana Leslie Céliz, por estar presente en cada momento, por brindarme su apoyo incondicional y, especialmente, por sus consejos positivos. Eres la hermana y amiga que necesité y necesito. Aprecio enormemente el regalo de tener a mi preciosa sobrina, "Rosalie".

Claudia Valeria Céliz Chávez

AGRADECIMIENTO

Primeramente, queremos agradecer a Dios, por permitirnos llegar hasta donde estamos.

A nuestra casa de estudios la Universidad Privada de Tacna.

A nuestra directora de escuela y docentes por compartir sus conocimientos y brindarnos su apoyo a lo largo de estos 5 años de estudios.

A nuestros amigos, compañeros, por sus ocurrencias y buenos momentos.

A nuestra asesora, la Ing. Carmen Román, por su paciencia con nosotros y por ser partícipe de la realización y culminación de nuestra tesis.

Claudia Valeria Céliz Chávez

Cristian Jorge Chura Flores

ÍNDICE GENERAL

PAGINA DE JURADOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.2.1 Problema general.....	4
1.2.2 Problemas específicos.....	4
1.3 Justificación e Importancia.....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
1.5 Hipótesis.....	5
1.5.1 Hipótesis General.....	5
1.5.2 Hipótesis Específicos.....	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.2. Bases Teóricas.....	9
2.3. Definición de términos.....	17
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	20
3.1. Diseño de la investigación.....	20
3.2. Acciones y actividades.....	20
3.3. Materiales y/o instrumentos.....	29
3.4. Población y/o muestra de estudio.....	29

3.5. Operacionalización de variables	32
3.6. Procesamiento y análisis de datos	32
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	33
4.1. Concentración de CO y NO ₂	33
4.1.1. Concentración de CO	33
4.1.2. Concentración de NO ₂	35
4.2. Relación con el Tránsito Vehicular	37
4.2.1. Cantidad de Tránsito Vehicular - E1	37
4.2.2. Cantidad de Tránsito Vehicular - E2	39
4.2.3. Correlación de CO y Tránsito Vehicular.....	41
4.2.4. Correlación de NO ₂ y Tránsito Vehicular	44
4.3. Cumplimiento de Estándares.....	46
4.3.1. Relación de los Estándares de Calidad con la Concentración de CO	46
4.3.2. Relación de los Estándares de Calidad con la Concentración de NO ₂	48
4.4. Medidas de mitigación.....	49
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	51
5.1. Discusión de Resultados con otras investigaciones	51
5.2. Prueba de Hipótesis.....	54
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXOS	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales efectos producidos por los contaminantes del aire	14
Tabla 2. Frecuencia y Periodo de Monitoreo	21
Tabla 3. Resultados de laboratorio y conversión realizada de CO.....	23
Tabla 4. Resultados de laboratorio y conversión realizada de NO ₂	23
Tabla 5. Datos de los Parámetros Meteorológicos	24
Tabla 6. Estándares de Calidad Ambiental para Aire para CO y NO ₂	26
Tabla 7. Instituciones Educativas ubicadas en el Cercado de Tacna	30
Tabla 8. Estaciones de Monitoreo	31
Tabla 9. Operacionalización de variables de investigación.....	32
Tabla 10. Resultados de la Concentración de CO – E1.....	33
Tabla 11. Resultados de la Concentración de CO - E2	34
Tabla 12. Resultados de la Concentración de NO ₂ – E1	35
Tabla 13. Resultados de la Concentración de NO ₂ – E2	36
Tabla 14. Comparación de la concentración de CO con los ECA	46
Tabla 15. Comparación de la Concentración de NO ₂ con los ECA.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema referencial de los componentes de un tren de muestreo ambiental	20
Figura 2. Rosa de vientos obtenida con la información de la estación meteorológica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann para el mes de septiembre 2023	24
Figura 3. Rosa de vientos obtenida con la información de la estación meteorológica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann para el mes de octubre 2023	25
Figura 4. Diagrama del Proceso de Monitoreo	27
Figura 5. Diagrama del proceso del conteo de vehículos	28
Figura 6. Ubicación de las Estaciones de Monitoreo	31
Figura 7. Niveles de concentración de CO – E1	34
Figura 8. Niveles de concentración de CO – E2	35
Figura 9. Niveles de concentración de NO ₂ – E1	36
Figura 10. Niveles de concentración de NO ₂ – E2.....	37
Figura 11. Horarios con mayor tránsito vehicular del primer día de monitoreo E1P1 ..	38
Figura 12. Horarios con mayor tránsito vehicular del segundo día de monitoreo E1P2	38
Figura 13. Horarios con mayor tránsito vehicular del tercer día de monitoreo E1P3...	39
Figura 14. Horarios con mayor tránsito vehicular del primer día de monitoreo – E2P1	40
Figura 15. Horarios con mayor tránsito vehicular del segundo día de monitoreo - E2P2	40
Figura 16. Horarios con mayor tránsito vehicular del tercer día de monitoreo - E2P3.	41
Figura 17. Correlación del Tránsito Vehicular y CO en la estación uno	42
Figura 18. Correlación del Tránsito Vehicular y CO en la estación dos	43
Figura 19. Correlación del Tránsito Vehicular y NO ₂ en la estación uno.....	45
Figura 20. Correlación del Tránsito Vehicular y NO ₂ en la estación dos	46
Figura 21. Comparación de la Concentración de CO con los ECA – E1	47
Figura 22. Comparación de la Concentración de CO con los ECA – E2.....	47
Figura 23. Comparación de la Concentración de NO ₂ con los ECA – E1.....	48
Figura 24. Comparación de la Concentración de NO ₂ con los ECA – E2.....	49

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.....	66
Anexo 2. Panel Fotográfico	67
Anexo 3. Informe de ensayo 1	70
Anexo 4. Informe de ensayo 2.....	73
Anexo 5. Informe de ensayo 3.....	76
Anexo 6. Cadena de Custodia.....	79

RESUMEN

El objetivo general de esta tesis fue evaluar la concentración de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) debido al tránsito vehicular en la proximidad de centros educativos del Cercado de Tacna. Para determinar las concentraciones de CO y NO₂, se utilizó el método activo para gases ambientales, según lo establecido en el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire. Los monitoreos se realizaron los días 12, 13, 18, 19, 24 y 25 de octubre del año 2023, utilizando dos estaciones: la Estación Uno, ubicada en el Centro Educativo Modesto Basadre, y la Estación Dos, en el Centro Educativo Fe y Alegría. En el Centro Educativo Modesto Basadre, los resultados revelaron concentraciones de monóxido de carbono de 1304,4 µg/m³ en el primer monitoreo, 1312,0 µg/m³ en el segundo monitoreo, y 1303,98 µg/m³ en el tercer monitoreo. En cuanto al NO₂, las concentraciones fueron de 86,96 µg/m³ en el primer monitoreo, 87,47 µg/m³ en el segundo monitoreo, y 86,93 µg/m³ en el tercer monitoreo. Por otro lado, en el Centro Educativo Fe y Alegría, las concentraciones de monóxido de carbono fueron de 1303,77 µg/m³ en el primer monitoreo, 1311,82 µg/m³ en el segundo monitoreo, y 1306,68 µg/m³ en el tercer monitoreo. Las concentraciones de NO₂ fueron de 86,92 µg/m³ en el primer monitoreo, 87,45 µg/m³ en el segundo monitoreo, y 87,11 µg/m³ en el tercer monitoreo. Finalmente, el conteo de vehículos permitió establecer una relación significativa entre ambas variables, indicando que a medida que aumenta la cantidad de tránsito vehicular, también se incrementan las concentraciones de CO y NO₂. En conclusión, los resultados de laboratorio mostraron que las concentraciones no superaron los niveles recomendados por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire.

Palabras clave: concentración de gases CO y NO₂; tránsito vehicular; estándares de calidad de aire.

ABSTRACT

The general objective of this thesis was to evaluate the concentration of carbon monoxide (CO) and nitrogen dioxide (NO₂) due to vehicular traffic in the vicinity of educational centers in Cercado de Tacna. To determine the concentrations of CO and NO₂, the active method for environmental gases was used, as established in the National Protocol for Monitoring Environmental Air Quality. The monitoring was carried out on October 12, 13, 18, 19, 24 and 25, 2023, using two stations: Station One, located at the Modesto Basadre Educational Center, and Station Two, at the Fe y Alegría Educational Center. At the Modesto Basadre Educational Center, the results revealed carbon monoxide concentrations of 1304.4 µg/m³ in the first monitoring, 1312.0 µg/m³ in the second monitoring, and 1303.98 µg/m³ in the third monitoring. For NO₂, concentrations were 86.96 µg/m³ at the first monitoring, 87.47 µg/m³ at the second monitoring, and 86.93 µg/m³ at the third monitoring. On the other hand, at the Fe y Alegría Educational Center, carbon monoxide concentrations were 1303.77 µg/m³ at the first monitoring, 1311.82 µg/m³ at the second monitoring, and 1306.68 µg/m³ at the third monitoring. NO₂ concentrations were 86.92 µg/m³ at the first monitoring, 87.45 µg/m³ at the second monitoring, and 87.11 µg/m³ at the third monitoring. Finally, the vehicle count allowed establishing a significant relationship between both variables, indicating that as the amount of vehicular traffic increases, CO and NO₂ concentrations also increase. In conclusion, the laboratory results showed that the concentrations did not exceed the levels recommended by the Environmental Quality Standards (EQS) for air.

Keywords: concentration of CO and NO₂ gases; vehicular traffic; air quality standards.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el tránsito vehicular plantea un desafío ambiental significativo, y en el cercado de Tacna, existen centros educativos ubicados en avenidas principales, expuestos a contaminantes atmosféricos producto de la combustión de vehículos a motor. El crecimiento poblacional, así como el incremento del tránsito vehicular, ha llevado a un aumento en la emisión de contaminantes atmosféricos, entre los que se destacan el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂). Estos contaminantes representan una amenaza debido a su impacto en la calidad del aire y en la salud de quienes se encuentran expuestos, en este caso, los estudiantes y el personal educativo.

La exposición prolongada a niveles elevados de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) ha sido vinculada con diversos problemas de salud, incluyendo efectos adversos en el sistema respiratorio, cardiovascular y el desarrollo cognitivo en niños. Estudios han demostrado que los niños asmáticos son particularmente susceptibles a los efectos del NO₂, lo que puede llevar a un aumento en la frecuencia de exacerbaciones asmáticas. Además, la exposición a estos contaminantes se ha asociado con el deterioro del desarrollo cognitivo, afectando negativamente el rendimiento académico y el desarrollo neurológico de los niños (UNICEF, 2022; Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2017; Ministerio de Sanidad, 2019).

El propósito del estudio es evaluar la concentración de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) debido al tránsito vehicular en la proximidad a centros educativos del cercado de Tacna, con el fin de tener un panorama actual de los niveles de concentración a los que se está expuesto en las zonas de estudio y verificar si se encuentran dentro de lo aceptable según los ECA. Esto significa que las emisiones generadas no deben representar un riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Además, se analizó la cantidad de tránsito vehicular y su influencia en la concentración de CO y NO₂, lo que permitió una evaluación integral de la calidad del aire.

El estudio se enfoca en la evaluación de las concentraciones de CO y NO₂ en puntos específicos. Entre las limitaciones del estudio se incluyen las variaciones en las condiciones meteorológicas y la disponibilidad de datos históricos para detectar tendencias a largo plazo. En cuanto al diseño, es de tipo no experimental, ya que solo se observa el fenómeno o el problema planteado.

El trabajo de investigación se organiza en base a los objetivos propuestos y se divide en cuatro etapas. Primero, se presentan antecedentes relevantes sobre la contaminación del aire y la importancia de monitorear las emisiones vehiculares. Luego, se describe la metodología utilizada para la recolección y análisis de datos. A continuación, se exponen los resultados obtenidos y su discusión. Finalmente, se plantean conclusiones basadas en los resultados y se ofrecen recomendaciones para futuras investigaciones y la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del problema

En las ciudades alrededor del mundo, tanto grandes como pequeñas, la contaminación del aire constituye una problemática. Entre los principales contaminantes del aire se encuentran el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂), ambos resultantes de las emisiones vehiculares. Estos contaminantes no solo deterioran la calidad del aire, sino que también representan una seria amenaza para la salud pública, especialmente en áreas densamente pobladas y transitadas.

En el departamento de Tacna, las autoridades competentes enfrentan el desafío de gestionar la calidad del aire en medio de un creciente tránsito vehicular. La proximidad de centros educativos a vías con alto flujo de vehículos genera preocupación debido a la exposición de estudiantes y personal educativo a altos niveles de CO y NO₂.

En 2019, la Organización Mundial de la Salud (OMS) informó que aproximadamente el 37 % de las muertes prematuras vinculadas a la contaminación del aire exterior fueron atribuidas a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares. Además, el 18 % de estas muertes se debieron a enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, mientras que el 23 % fueron causadas por infecciones respiratorias agudas. Por último, el 11 % de las muertes se relacionaron con cáncer de las vías respiratorias.

Este panorama global se refleja a nivel local, donde la calidad del aire en el Cercado de Tacna puede no cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire, exponiendo a la población a riesgos significativos. Estos estándares establecen los niveles de concentración que no representan un riesgo significativo para la salud de las personas ni para el medio ambiente.

Por lo tanto, es imprescindible evaluar la concentración de CO y NO₂ en la proximidad a centros educativos del cercado de Tacna. Esto permitirá determinar si las emisiones vehiculares representan una amenaza para la salud y el medio ambiente. Además, los resultados obtenidos contribuirán a las políticas de transporte y planificación urbana existentes, proporcionando información valiosa para el desarrollo de medidas de control y estrategias de mitigación.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es la concentración de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) debido al tránsito vehicular en la proximidad a centros educativos del Cercado de Tacna?

1.2.2 Problemas específicos

- a. ¿Cuáles son las concentraciones de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) en los centros educativos seleccionados del Cercado de Tacna?
- b. ¿Qué relación existe entre las concentraciones de CO y NO₂ y el tránsito vehicular en la proximidad de estos centros educativos?
- c. ¿Cumplen las concentraciones de CO y NO₂ en estas áreas con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire?
- d. ¿Qué estrategias de mitigación se pueden implementar para reducir la exposición a CO y NO₂ en los centros educativos del Cercado de Tacna?

1.3 Justificación e Importancia

La importancia de esta investigación radica en la evaluación de la concentración de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) debido al tránsito vehicular en la proximidad a centros educativos del Cercado de Tacna. Este estudio se enfoca en dos instituciones educativas, la I.E. Modesto Basadre y la I.E. Fe y Alegría, las cuales han sido identificadas como puntos de monitoreo debido a su cercanía a vías con alto tránsito vehicular.

La contaminación del aire es un problema global que afecta tanto a grandes como a pequeñas ciudades. Entre los principales contaminantes del aire se encuentran el CO y el NO₂ que provienen de las emisiones vehiculares. Estos contaminantes no solo deterioran la calidad del aire, sino que también representan una amenaza significativa para la salud pública.

En el departamento de Tacna, se enfrenta el desafío de gestionar la calidad del aire debido al creciente tránsito vehicular. La exposición de estudiantes y personal educativo a altos niveles de CO y NO₂ puede desencadenar graves problemas de salud a corto, mediano y largo plazo. En 2019, la Organización Mundial de la Salud (OMS) informó que un porcentaje significativo de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación del aire se deben a enfermedades cardiovasculares, pulmonares y respiratorias, lo que afirma la necesidad urgente de abordar esta problemática.

Los resultados de este estudio constituirán una base sólida para la implementación de medidas de control y estrategias de mitigación. Además, proporcionarán información actualizada para evaluar la calidad del aire en relación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), cuyo objetivo es proteger la salud humana y el medio ambiente. La mejora de la calidad del aire no solo protegerá la salud de la comunidad educativa, sino que también contribuirá al bienestar general de la población del Cercado de Tacna.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Evaluar la concentración de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) debido al tránsito vehicular en la proximidad a centros educativos – Cercado de Tacna.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a. Medir las concentraciones de CO y NO₂ alrededor de los centros educativos seleccionados, siguiendo la normativa vigente.
- b. Analizar la relación entre las concentraciones de CO y NO₂ y el tránsito vehicular.
- c. Comparar los niveles de concentración de CO y NO₂ con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire, evaluando su cumplimiento.
- d. Proponer medidas de mitigación para reducir las concentraciones de CO y NO₂ en los centros educativos evaluados.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General

La concentración de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) debido al tránsito vehicular en la proximidad de los centros educativos del Cercado de Tacna supera los estándares de calidad del aire.

1.5.2 Hipótesis Específicos

- a. Las concentraciones de CO y NO₂ en los puntos monitoreados alrededor de los centros educativos cumplen con la normativa vigente.
- b. Existe una correlación positiva significativa entre la cantidad de tránsito vehicular y las concentraciones de CO y NO₂ alrededor de los centros educativos.

- c. Las concentraciones de CO y NO₂ en la proximidad a los centros educativos no superan los niveles permitidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire.
- d. La implementación de medidas de mitigación basadas en los resultados obtenidos reducirá significativamente las concentraciones de CO y NO₂ en los alrededores de los centros educativos evaluados.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

De acuerdo con el análisis realizado de la revisión bibliográfica se ha considerado las siguientes investigaciones:

En primer lugar, está el estudio de Aguirre (2021) quien desarrollan la investigación sobre de la concentración de monóxido de carbono, asociado a la alta congestión vehicular en el distrito de Ilo, para llevar a cabo esta investigación se utilizó el equipo de tren de muestreo para CO y el "Protocolo de Monitoreo de la Calidad de Aire y Gestión de los Datos" para determinar la cantidad de monóxido de carbono en la atmósfera. Para evaluar los resultados obtenidos, se empleó el D.S. N°003-2017 MINAM, que establece los Estándares de Calidad Ambiental para Aire. Como resultado del estudio, se determinó que la concentración de monóxido de carbono en el aire era inferior a $624,583 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el nivel más alto registrado en los vehículos fue del 0,2 % de monóxido de carbono, concluyendo que las concentraciones de monóxido de carbono en las zonas de estudio no sobrepasan el estándar de calidad ambiental.

Justo (2021), en su tesis propuso como objetivo principal evaluar la calidad del aire en función de los niveles de concentración de estos gases. La metodología empleada en la investigación se realizó mediante la guía del D.S. N°010-2019-MINAM "Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Aire", tomando en cuenta 9 estaciones de monitoreo o puntos críticos, y utilizando el tren de muestreo (EYLECS-TM03). Los resultados obtenidos fueron evaluados y comparados con las medidas aceptables establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y lo establecido por R.M. N°181-2016-MINAM "Índice de Calidad de Aire (INCA). Se concluyó que la calidad del aire se encontraba dentro de los niveles permitidos para la concentración de NO_2 , CO y O_3 . Sin embargo, se observaron niveles elevados de concentración de SO_2 , lo que podría acarrear complicaciones a corto, mediano o largo plazo para la población.

Valeriano (2021) llevó a cabo un estudio para investigar la relación entre las variables meteorológicas y la dispersión espacio-temporal de los contaminantes atmosféricos ($\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2 , O_3) en el distrito de Pacocha, Moquegua. Uno de sus objetivos fue determinar la concentración de dichos gases. Para ello, se utilizaron estadísticas de monitoreo de calidad del aire de la estación de la UNAM en Moquegua. En el estudio se emplearon herramientas como el software Rstudio para realizar correlaciones de Spearman y Pearson, el paquete OpenAir-R para la creación de

gráficos de variabilidad temporal, y HYSPLIT para el análisis de retrotrayectorias. Los resultados señalaron que la actividad económica y los eventos meteorológicos presentaron una relación directa tanto en días laborables como no laborables. Además, se concluyó que, durante los años 2019 y 2020, las concentraciones de PM_{10} , $PM_{2.5}$, SO_2 , NO_2 y O_3 mostraron una correlación con las variaciones de las variables meteorológicas.

La investigación realizada por Muñoz et al. (2021), resalta la creciente preocupación por el impacto del aumento del tráfico vehicular en la calidad del aire y, en consecuencia, en la salud pública. El estudio destaca cómo el incremento del parque automotor conlleva una mayor emisión de gases contaminantes. Estos, mediante una exposición prolongada, pueden provocar una serie de enfermedades respiratorias y pulmonares, con consecuencias potencialmente graves e irreversibles. Además, se hace hincapié en la necesidad de abordar la falta de conciencia ambiental y una adecuada planificación del desarrollo vial para mitigar los efectos nocivos sobre la salud pública. La investigación, que revisó críticamente 48 artículos publicados entre 2004 y 2020, provenientes de diversas fuentes de información como Scopus, Scielo, Dialnet, Science Direct y Latindex, subraya la importancia de adoptar medidas efectivas para reducir la contaminación atmosférica y proteger la salud de la población.

Córdoba (2019) llevó a cabo una investigación para determinar la concentración y el índice de calidad de aire de combustión del monóxido de carbono y dióxido de azufre del flujo vehicular en Pariachi y Huaycán, con el propósito de comparar y verificar su cumplimiento con lo establecido por el D.S N° 003-2017 MINAM Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Aire, así como con el Índice de Calidad de Aire (INCA). El monitoreo se realizó en la zona residencial de Pariachi, específicamente en el sector 4, entrada Huaycán, y en la Asociación de Viviendas Civil Pariachi, sector 3. Los equipos de monitoreo se instalaron en dos casas de tres pisos. Los resultados obtenidos no superaron el nivel de referencia establecido por los ECA para aire. Del mismo modo, al compararlos con el Índice de Calidad de Aire (INCA), se encontró que no excedían el valor estándar, clasificando la calidad de aire en color verde, lo que indica una buena calidad.

Por otro lado, en un estudio realizado por García (2019) se evaluó la concentración de CO , NO_2 y SO_2 en el aire debido al tráfico vehicular en el distrito de Morales. Uno de los objetivos principales fue determinar la relación entre el tráfico vehicular y la concentración de estos gases. Las concentraciones fueron comparadas con los valores establecidos por el D.S N°003-2017-MINAM, que establece los Estándares Nacionales de Calidad para Aire. Para llevar a cabo el monitoreo, se verificó

el correcto funcionamiento del equipo, se revisaron estudios previos en la zona, se identificaron las instalaciones adecuadas y se establecieron los puntos de muestreo. Los resultados obtenidos revelaron una relación directa entre la concentración de CO y el flujo vehicular, lo que indica que, a mayor flujo vehicular, mayores son las concentraciones de CO. Sin embargo, los resultados de las concentraciones de NO₂ y SO₂ mostraron lo contrario, ya que sus concentraciones no fueron cuantificables.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Contaminación del aire

Los especialistas Wark y Warner (2002), mencionan que la contaminación del aire se origina debido a la presencia de uno o varios contaminantes en cantidades y con una duración tales que pueden afectar la calidad de vida de las personas, así como causar serios daños a las plantas, los animales y el medio ambiente.

Los doctores Sánchez y Porta (2018) determinaron que la contaminación atmosférica se encuentra en constante cambio debido a las actividades humanas y a las condiciones meteorológicas. Las principales actividades humanas que perjudican al medio ambiente están relacionadas a la quema de combustibles fósiles y al crecimiento industrial que se ha venido dando en los últimos años.

Un estudio reveló que más del 99 % de la población mundial respira aire contaminado que supera los límites recomendados y donde los países más expuestos son los de mediana y baja economía (ONU, 2022).

El aire, esencial para la vida en el planeta, se contamina con diversas sustancias de composición distinta a la natural, lo que altera las concentraciones de sus componentes primarios. Las fuentes de contaminación pueden ser tanto naturales como antropogénicas (Aguilar, 2019).

- a. Fuentes Naturales:** Estas pueden ser la emisión de gases, cenizas volcánicas, esporas y polen de plantas, bacterias y hongos.
- b. Fuentes Antropogénicas:** Estas son producto de la acción del hombre y representan un riesgo potencial para la calidad del aire.

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2014), menciona que los contaminantes atmosféricos alteran la composición fisicoquímica y biológica de la atmósfera, haciéndola poco propicia para las actividades humanas y para la vida misma.

El origen de los contaminantes atmosféricos es:

- a. Físico:** Es cuando se crean gases o partículas, ya sea por la naturaleza o por el ser humano. Las actividades humanas que implican el uso de arena, producción de detergentes y poliuretano, son la principal fuente de contaminación física.
- b. Químico:** A diferencia de la contaminación del aire en su estado natural, la contaminación química se produce como resultado de procesos industriales o de la actividad humana (quema o combustión).
- c. Biológico:** Aquí intervienen las personas y animales contaminados por microorganismos como virus, bacterias y hongos que son transportados por el aire.

2.2.2. Calidad del aire

El MINAM (2017), define a este término como la composición e idoneidad del aire para diferentes aplicaciones. Los factores que determinan la calidad del aire están formados por una gran variedad de compuestos, entre los más comunes tenemos el nitrógeno, el oxígeno y el hidrógeno. Sin estos elementos la vida tal y como la conocemos no sería posible.

La calidad del aire debe ser atendida por todos los niveles de gobierno, estos son responsables de recopilar datos sobre la contaminación atmosférica y determinar los riesgos que supone para la salud humana. La calidad del aire puede medirse con equipos especializados, lo que nos permite comprender los efectos de la contaminación en nuestro medio ambiente.

Se refiere a la composición e idoneidad de este para determinadas aplicaciones. La calidad del aire está determinada por la presencia o ausencia de diversas sustancias y sus concentraciones. Las autoridades a nivel local, regional y nacional son responsables de recopilar datos y evaluar la contaminación del aire para proteger a la población.

El especialista Velandia (2015), nos menciona que debemos tener en cuenta la composición del aire, la presencia de sustancias tóxicas y su nivel de concentración, ya

que estos factores tienen un gran impacto en la salud de los seres vivos. Estas concentraciones no pueden superar los niveles máximos permitidos, de ser así, podría perjudicar al medio ambiente y a la salud de las personas.

2.2.3. Gestión de la calidad del aire

Es un conjunto de políticas y estrategias implementadas para controlar y mejorar la calidad del aire en una determinada región. Este proceso implica la identificación de fuentes de contaminación, la implementación de tecnologías de reducción de emisiones y el establecimiento de normas y regulaciones para mantener los niveles de contaminantes dentro de los límites seguros.

- a. Monitoreo y Evaluación:** La primera etapa en la gestión de la calidad del aire es el monitoreo y la evaluación de los niveles de contaminantes en el aire. Este proceso incluye el uso de diversos métodos de muestreo y análisis, como los métodos activos, pasivos y automáticos. Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), los métodos de referencia (FRM) son considerados el estándar técnico más riguroso para asegurar la precisión y comparabilidad de los datos (EPA, 2017).
- b. Tecnologías de Control:** Existen diversas tecnologías para reducir las emisiones de contaminantes, tales como los filtros de partículas, sistemas de desulfurización y catalizadores de reducción selectiva. La elección de la tecnología depende del tipo y la fuente del contaminante.
- c. Políticas y programas de reducción de emisiones:** Los gobiernos implementan programas específicos para reducir las emisiones de sectores clave como el transporte, la industria y la agricultura. Estos programas incluyen incentivos para el uso de tecnologías limpias, regulaciones más estrictas y campañas de concienciación pública.
- d. Evaluación de impacto y mejora continua:** La gestión de la calidad del aire requiere una evaluación continua para identificar áreas de mejora y adaptar las políticas y tecnologías en función de los resultados obtenidos.

2.2.4. Principales contaminantes

Según Caminos et al. (2007), las emisiones producidas por automóviles son parte de las fuentes antropogénicas de contaminación, las cuales se pueden dividir en dos grandes grupos:

- a. Fuentes móviles:** Estas liberan gases nocivos mientras están en movimiento. El transporte público en las ciudades, incluidos autobuses, camiones, coches, aviones, barcos, etc., forma parte de esta categoría de generadores.
- b. Fuentes fijas:** Son aquellas fuentes estacionarias como las centrales termoeléctricas, fábricas, etc.

Los investigadores Hidrovo et al. (2016) señalan que el parque automotor desempeña un papel central en la degradación ambiental global y es responsable del actual efecto invernadero en nuestro planeta. Tanto los vehículos de gasolina como los de diésel emiten gases perjudiciales como el monóxido de carbono y el dióxido de nitrógeno, contribuyendo así a la contaminación atmosférica. Esta contaminación ha generado impactos negativos significativos en la salud humana, manifestándose en reacciones alérgicas, fatiga, irritabilidad, insomnio y enfermedades respiratorias y digestivas, entre otras.

La gravedad del problema de la contaminación del aire se evidencia en las estimaciones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), que indican que aproximadamente 7 millones de personas en todo el mundo fallecen anualmente debido a esta causa. Según un estudio del Comité de Gestión de la iniciativa del Aire Limpio, el parque automotor en el Perú es responsable del 70 % de la contaminación del aire, mientras que el resto proviene de actividades comerciales, ciudadanos e industrias.

En Perú, la antigüedad promedio de los vehículos es de 13,6 años, una de las cifras más altas en Latinoamérica, lo cual tiene un impacto directo en la calidad del aire. Según la Organización Mundial de la Salud (2022), la exposición prolongada a la contaminación del aire generada por el parque automotor puede aumentar el riesgo de enfermedades crónicas y reducir la calidad de vida de las personas.

2.2.5. Salud pública y contaminación del aire

Placeres et al. (2006) mencionan que la exposición a contaminantes ambientales, incluso a niveles bajos, está asociada con casos de asma y deterioro de la función pulmonar en niños y adolescentes. Los contaminantes que más afectan a la salud provienen de emisiones primarias generadas por vehículos automotores que emiten dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y ozono.

Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2016), la contaminación atmosférica es causada por la presencia de sustancias tóxicas, principalmente como resultado de la actividad humana. Estos gases y sustancias químicas tienen diversos efectos sobre los ecosistemas y los seres vivos.

Las principales consecuencias de la contaminación del aire incluyen:

- a. Impacto significativo en la evolución de las plantas, ya que interfiere con el proceso de fotosíntesis, lo cual en muchos casos limita su crecimiento y su capacidad para purificar el aire respirado por los seres vivos.
- b. La lluvia ácida, el agotamiento de la capa de ozono, el calentamiento global y el efecto invernadero están vinculados al aumento de la concentración de gases atmosféricos.
- c. La combustión de combustibles fósiles contribuye considerablemente a la contaminación atmosférica, lo cual puede resultar en la formación de lluvia ácida, perjudicial para los suelos, el agua y la cadena alimentaria.

Según Placeres et al. (2006), la exposición a gases contaminantes, incluso a niveles bajos, está asociada con casos de asma y deterioro de la función pulmonar en niños y adolescentes. Los contaminantes que más afectan a la salud provienen de emisiones primarias generadas por vehículos automotores que emiten dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y ozono.

El incremento poblacional, la urbanización, la congestión vehicular y los costos asociados para su gestión y control son factores determinantes en la contaminación del aire que se está generando diariamente (Tapia et al., 2018).

Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022) indica que los contaminantes más preocupantes para la salud pública son las partículas en suspensión, el monóxido de carbono, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.

Tabla 1*Principales efectos producidos por los contaminantes del aire*

Tipo de contaminante	Animales /ser humano	Materiales
Partículas	<ul style="list-style-type: none"> - Irritación de las membranas Internas en las vías respiratorias. - Disminución de la capacidad respiratoria. 	<ul style="list-style-type: none"> - Erosión por abrasión en edificios. - Deposición sobre edificios.
Compuesto de azufre. SO ₂ , SO ₂ , H ₂ S	<ul style="list-style-type: none"> - El SO₂ produce irritación en las mucosas y en los ojos. - El H₂S produce malos olores. 	<ul style="list-style-type: none"> - El SO₂ en la caliza provoca su demolición. En el papel causa su amarilleo y en el cuerpo perdida de flexibilidad y resistencia. En los metales provoca corrosión.
Compuestos orgánicos. Hidrocarburos (COV, PCB, Dioxinas y furanos)	<ul style="list-style-type: none"> - Producen irritación de los ojos y de las vías respiratorias. - PCB y dioxinas alteran el sistema reproductor. - Dioxinas y furanos poseen efectos cancerígenos y mutagénicos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Efectos en menor grado que los ocasionados por los oxidantes fotoquímicos.
Óxidos de nitrógeno. NO ₂ , NO, N ₂ O	<ul style="list-style-type: none"> - El NO₂ produce enfermedades de las vías respiratorias, agravamiento de procesos asmáticos. Es toxico para algunas especies. - Irritaciones oculares, de garganta, cefaleas. 	<ul style="list-style-type: none"> - El NO₂ produce perdida de color en los tejidos de la ropa.
Óxidos de carbono. CO ₂ , CO	<ul style="list-style-type: none"> - El CO es toxico, interfiere en el transporte de oxígeno a las células. 	<ul style="list-style-type: none"> - Efectos poco significativos.
Compuestos halogenados. Cl ₂ , HCl, HF, CFC, Metales pesados	<ul style="list-style-type: none"> - El cloro es toxico y provoca irritación en las mucosas. - El HF se acumula en los huesos. - El plomo produce insuficiencia respiratoria, alteraciones neurológicas y renales. - El cadmio ocasiona problemas respiratorios y cardiovasculares. - El mercurio, daños en el sistema nervioso central y riñones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Efectos no determinados o encontrados. - Efectos no determinados o encontrados.

Oxidantes fotoquímicos. Ozono (O ₃)	- Por su alta capacidad oxidante, provoca irritaciones en nariz y garganta; asimismo produce fatiga y falta de coordinación.	- Producen desintegración del caucho y corrosión de metales.
--	--	--

Nota. Se expresa la relación entre el elemento contaminante y la afectación en los seres humanos y animales; así como en los tipos de materiales. McGraw Hill (2010).

2.2.6. Protocolo nacional de monitoreo de la calidad ambiental del aire

El Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019), aprobó el Decreto Supremo 010 2019-MINAM, donde:

- a. Define criterios para el diseño de redes y estaciones de monitoreo, garantizando operaciones eficaces y planificación técnica.
- b. Describe métodos de medición y parámetros basados en normas nacionales e internacionales.
- c. Establece criterios para la selección de métodos de medición, incluyendo alternativas y parámetros no regulados.
- d. Detalla acciones de operación, mantenimiento y calibración de sistemas de medición. Desarrolla requisitos técnicos para el procesamiento y reporte de información de calidad del aire.
- e. Establece acciones de aseguramiento y control de calidad, incluyendo auditorías. Orienta las acciones de monitoreo para informar decisiones y políticas públicas.

2.2.7. Métodos de monitoreo de la calidad del aire según su tecnología

Según las Guías de la Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se identifican cuatro tipos principales de sistemas para el monitoreo de la calidad del aire:

- a. Sistemas manuales pasivos
- b. Sistemas manuales activos
- c. Sistemas automáticos
- d. Sensores remotos

El Protocolo nacional de monitoreo de la calidad ambiental del aire, se centra exclusivamente en los sistemas manuales pasivos, activos y automáticos, ya que son los más empleados en redes de monitoreo a nivel nacional.

2.2.8. Método activo para gases ambientales

El presente estudio utiliza el sistema manual activo, específicamente el método activo para gases ambientales, el cual se basa en un tren de muestreo ambiental compuesto por un conjunto de impingers o frascos colectores, cada uno destinado a un gas específico. Los impingers tienen dos conexiones: una para la entrada de aire y otra para la salida del aire, que lo transporta hacia el dispositivo de control, el medidor de flujo y la bomba de succión. En cada impinger se vierte una cantidad específica de sustancia líquida absorbente, que actúa como medio de captura y se selecciona según el analito que se desea medir. Para calcular la concentración del gas de interés, se divide la masa del gas ambiental entre el volumen de la muestra, el cual se obtiene multiplicando el flujo del equipo por el periodo específico de muestreo (EPA, 2017).

2.2.9. Método equivalente

Es un método clasificado según su grado de exactitud. Además de los métodos activos, pasivos o automáticos, los métodos de monitoreo pueden clasificarse según su precisión en métodos de referencia o métodos equivalentes. Los métodos de referencia (FRM, por sus siglas en inglés Federal Reference Method), según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), representan el estándar técnico más riguroso en los sistemas de monitoreo de contaminación atmosférica, garantizando la precisión y la comparabilidad de los datos recolectados entre diferentes ubicaciones y redes de monitoreo (MINAM, 2019).

Por otra parte, a nivel internacional, se revisan, evalúan y aprueban métodos equivalentes (FEM, por sus siglas en inglés Federal Equivalent Method) para fomentar la innovación y el desarrollo de nuevas tecnologías. Estos métodos ofrecen una precisión comparable a los FRM y se basan en tecnologías de muestreo y/o análisis distintos (MINAM, 2019).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Calidad del aire

La calidad del aire se refiere a la condición y composición del aire en relación con su idoneidad para soportar la salud humana y mantener los ecosistemas. Se evalúa mediante la medición de contaminantes atmosféricos como partículas, gases y compuestos orgánicos volátiles (OMS, 2019).

2.3.2. Contaminación atmosférica

Se refiere a la presencia en el aire de sustancias o elementos que pueden poner en riesgo la salud humana, afectar el medio ambiente y alterar los ecosistemas (OMS, 2022).

2.3.3. Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Presenta un color marrón-rojizo y se le considera un contaminante potencial del aire. Se forma principalmente durante la combustión a alta temperatura en motores de combustión interna y procesos industriales. Es irritante para los pulmones y puede contribuir a la formación de ozono troposférico (López, 2009).

2.3.4. Emisión

La emisión se refiere a la liberación de contaminantes o sustancias químicas al medio ambiente, específicamente al aire, desde una fuente determinada. Estas fuentes pueden ser diversas, incluyendo plantas industriales, vehículos automotores, actividades domésticas, entre otras (Malagón, 2011).

2.3.5. Emisiones vehiculares

Las emisiones vehiculares son los gases y partículas liberados por los vehículos motorizados como resultado de la combustión de combustibles. Estas emisiones contribuyen a la contaminación del aire y pueden incluir compuestos nocivos como óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y partículas en suspensión (Saavedra, 2014).

2.3.6. Estándar de Calidad Ambiental (ECA)

Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o

suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente (MINAM, 2017).

2.3.7. Inmisión

La inmisión es la concentración de contaminantes presentes en el aire ambiente en un lugar y tiempo específicos, que resulta de las emisiones de diversas fuentes y las condiciones atmosféricas. Es una medida de la calidad del aire que respiramos y afecta directamente a la salud humana y al medio ambiente (Malagón, 2011).

2.3.8. LMP

Son límites establecidos para las emisiones de contaminantes específicos desde fuentes determinadas, como vehículos o industrias. Su objetivo principal es regular la cantidad de contaminantes que pueden ser emitidos por una fuente específica para controlar la contaminación en su origen (MINAM, 2021).

2.3.9. Monitoreo ambiental

Consiste en la recolección sistemática de datos para evaluar y entender la calidad del medio ambiente, incluyendo el aire, agua y suelos. Este proceso utiliza técnicas y equipos especializados para medir la concentración de contaminantes y evaluar su impacto en la salud humana y el ecosistema (González, 2019).

2.3.10. Monóxido de Carbono (CO)

Es un gas incoloro e inodoro producido por la combustión incompleta de materiales orgánicos. En concentraciones elevadas, puede resultar altamente tóxico para los seres humanos, afectando negativamente la función del sistema respiratorio y cardiovascular (EPA, 2023).

2.3.11. OMS

Es la abreviatura de la Organización Mundial de la Salud, una agencia especializada de las Naciones Unidas responsable de la salud pública internacional. Proporciona orientación científica y técnica sobre temas de salud global, incluyendo la calidad del aire y sus efectos en la salud humana (OMS, 2022).

2.3.12. ONU

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) es una entidad internacional fundada en 1945 con el objetivo de promover la paz y la seguridad mundial, fomentar relaciones amistosas entre las naciones, impulsar la cooperación internacional en asuntos económicos, sociales, culturales y humanitarios, y defender los derechos humanos (ONU, 2017).

2.3.13. Políticas de Transporte y Planificación Urbana

Son estrategias gubernamentales diseñadas para gestionar eficazmente el transporte público y privado en entornos urbanos, con el objetivo de minimizar la congestión vehicular, reducir las emisiones contaminantes y mejorar la calidad del aire (Martín, 2019).

2.3.14. Salud Pública

Se centra en la protección y mejora de la salud de las comunidades y poblaciones a través de la prevención de enfermedades, la promoción de estilos de vida saludables y la gestión de riesgos ambientales y sociales (Ponce, et al., 2017).

2.3.15. Tránsito vehicular

Es el movimiento de vehículos en las vías públicas, incluyendo automóviles, camiones, autobuses y motocicletas. Es una fuente significativa de contaminación atmosférica debido a las emisiones generadas durante la combustión de combustibles fósiles (Muñoz, et al., 2021).

2.3.16. Tren de nuestro modelo TM100D7G

Este modelo es un equipo utilizado en el monitoreo de la calidad del aire para recolectar muestras representativas de contaminantes atmosféricos. Sus componentes esenciales son los frascos drechsel, filtro, medidor de flujo y trampas de solución (ECOSISTEM S.A.C., 2010).

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es de tipo no experimental, al tener las variables definidas no se realiza una manipulación de estas, solo se observa el fenómeno o el problema (Concentración de CO y NO₂, debido al tránsito vehicular, en la proximidad a centros educativos – Cercado de Tacna).

3.2. Acciones y actividades

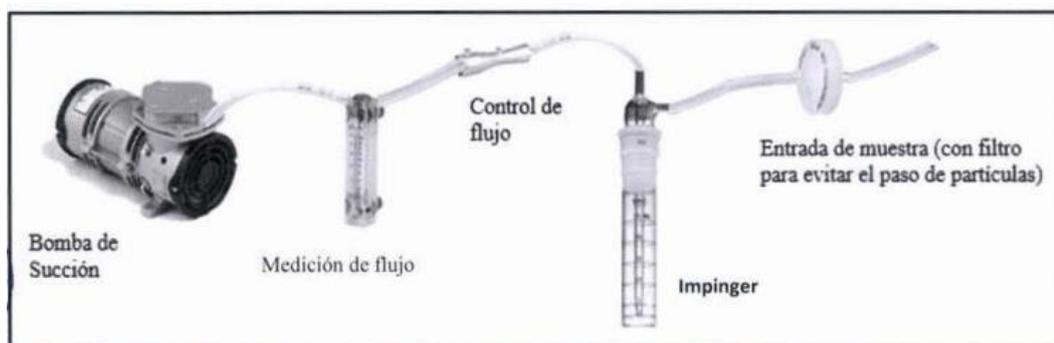
Se dividen en base a los objetivos propuestos en la investigación.

3.2.1. Medición y monitoreo de Concentración de CO y NO₂

El método empleado en esta investigación para determinar las concentraciones de CO y NO₂ se denomina método activo para gases ambientales. Este método se basa en el tren de muestreo ambiental, compuesto por impingers o frascos colectores, cada uno destinado a un gas específico (MINAM, 2019).

Figura 1

Esquema referencial de los componentes de un tren de muestreo ambiental



Nota. Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire (2019).

Debido a su grado de exactitud, el método empleado se considera como un método equivalente o alternativo, ya que ha sido demostrado, mediante estudios comparativos, que proporciona resultados equivalentes a los obtenidos con el método de referencia.

La frecuencia y periodo de monitoreo se estableció acorde al Protocolo (D.S. N° 010-2019-MINAM).

Tabla 2

Frecuencia y periodo de monitoreo

Tipo de tecnología	Tipo de monitoreo	Periodo para promediar (en base al ECA)	Mínima suficiencia de información válida requerida	Frecuencia mínima por muestra o registro
Manual	Discontinuo	1 hora	>90 % (54 minutos)	Una muestra octohoraria cada 6 días
		8 horas	>90 % (7 horas)	Una muestra octohoraria cada 6 días

Nota. Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental de Aire (2019).

Se debe tener en cuenta las siguientes condiciones y criterios técnicos para el monitoreo

- Acceso al equipo de monitoreo para su calibración, mantenimiento e instalación.
- Traslado seguro del equipo hacia los puntos de interés.
- Disponibilidad de energía eléctrica para el funcionamiento del equipo.
- Según el protocolo, la altura de la entrada de la muestra debe estar dentro del rango de 1,5 metros como mínimo y 15 metros como máximo.

Los equipos deben colocarse en un campo libre de árboles, estructuras o edificaciones que puedan significar un obstáculo para el ingreso del aire. Para mayor detalle, ver la fotografía 1 y 2 en el anexo 2.

Los resultados de laboratorio se presentan en $\mu\text{g}/\text{muestra}$; sin embargo, los ECA deben compararse en unidades de $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por lo tanto, siguiendo la metodología del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire (MINAM, 2019), se aplicaron las siguientes ecuaciones:

- Volumen actual de la muestra
- Volumen estandarizado de la muestra
- Concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

3.2.2. Cálculo de las concentraciones para contaminantes gaseosos

Cálculo del volumen actual de la muestra:

$$V_a = (Q_a) \times (t) \quad (1)$$

Dónde:

- Q_a : flujo de muestreo promedio, en m^3/min .
- t : tiempo o periodo de muestreo, en minutos.

Cálculo del volumen estandarizado de la muestra:

$$V_{std} = [V_a] \times \left(\frac{P_a}{P_{std}}\right) \left(\frac{T_{std}}{T_a}\right) \quad (2)$$

Dónde:

- V_a : volumen actual de la muestra en m^3 (en términos de temperatura ambiental y presión atmosférica promedio, medidas durante el periodo de muestreo).
- T_a : temperatura ambiental promedio en Kelvin, medida durante el periodo de muestreo.
- P_a : presión atmosférica promedio en kPa, mmHg o atm, medida durante el periodo de muestreo.
- T_{std} : temperatura estándar = 298 Kelvin.
- P_{std} : presión estándar = 101,3 kPa = 760 mmHg = 1 atm.

Cálculo de la concentración en Concentración $\mu\text{g}/m^3$:

$$\text{Concentración} = [\text{Gas}] = \frac{M}{V_{std}} \quad (3)$$

Dónde:

- M : masa del contaminante, en μg (microgramos).
- V_{std} : volumen estandarizado de la muestra, en $m^3 \text{ std}$.

Tabla 3*Resultados de laboratorio y conversión realizada de CO*

Estación	Fecha	Resultados de laboratorio (µg/muestra)	Concentración (µg/m ³)
E1P1	12/10/2023	<300	1303,77
E1P2	18/10/2023	<300	1311,82
E1P3	24/10/2023	<300	1306,68
E2P1	13/10/2023	<300	1304,43
E2P2	19/10/2023	<300	1312,02
E2P3	25/10/2023	<300	1303,98

Tabla 4*Resultados de laboratorio y conversión realizada de NO₂*

Estación	Fecha	Resultados de laboratorio (µg/muestra)	Concentración (µg/m ³)
E1P1	12/10/2023	<2,5	86,92
E1P2	18/10/2023	<2,5	87,45
E1P3	24/10/2023	<2,5	87,11
E2P1	13/10/2023	<2,5	86,96
E2P2	19/10/2023	<2,5	87,47
E2P3	25/10/2023	<2,5	86,93

3.2.3. Datos Meteorológicos

Además, como en todo estudio sobre calidad de aire, es esencial disponer de datos sobre las condiciones ambientales, ya que son un factor esencial para calcular las concentraciones de los parámetros evaluados. Por esta razón, también se obtuvieron los datos de la estación meteorológica del SENAHMI, que incluyeron variables como la velocidad y dirección del viento, la humedad relativa en porcentaje (%), la presión atmosférica en milibares (mbar), la temperatura en grados Celsius (°C) y la cantidad de precipitación en milímetros (mm).

Tabla 5*Datos de los Parámetros Meteorológicos*

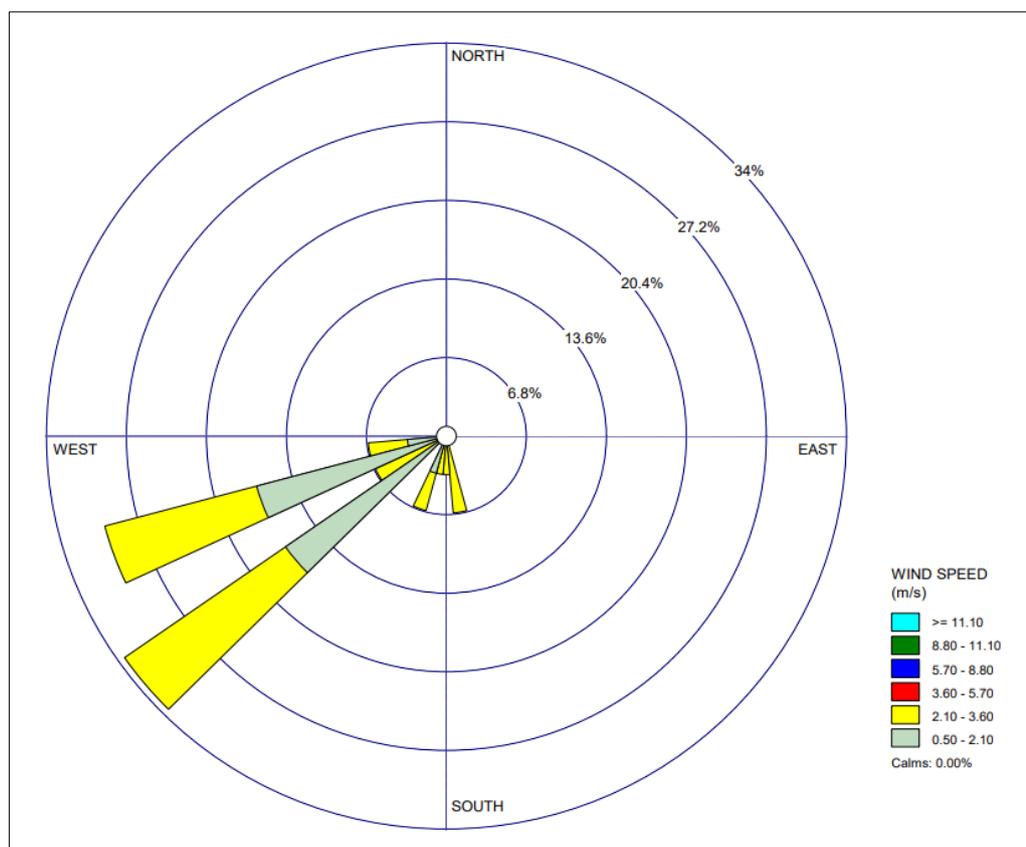
Fecha	Estación de monitoreo	Temperatura (°C)		Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del viento	Presión (hPa)	Precipitación (mm)
		Max	Min					
12/10/2023	E1P1	23,8	13	73,2	3,3	240	950,2	0
13/10/2023	E2P1	24	13,4	71,2	2,7	217,5	950,7	0
18/10/2023	E1P2	25,8	14,6	69,3	1,7	225	950,2	0
19/10/2023	E2P2	26,8	14	72,8	2	232,5	950,7	0
24/10/2023	E1P3	23,4	14,7	75,9	2,3	225	950,2	0
25/10/2023	E2P3	23,2	14	74,4	3	240	950,7	T

Nota. SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú), 2023.

- **Elaboracion de rosa de vientos.** Esta nos permite identificar la dirección del viento, dato importante para la instalación del equipo de monitoreo. Se realizó el procesamiento para los meses de setiembre y octubre.

Figura 2

Rosa de vientos obtenida con la información de la estación meteorológica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann para el mes de septiembre 2023

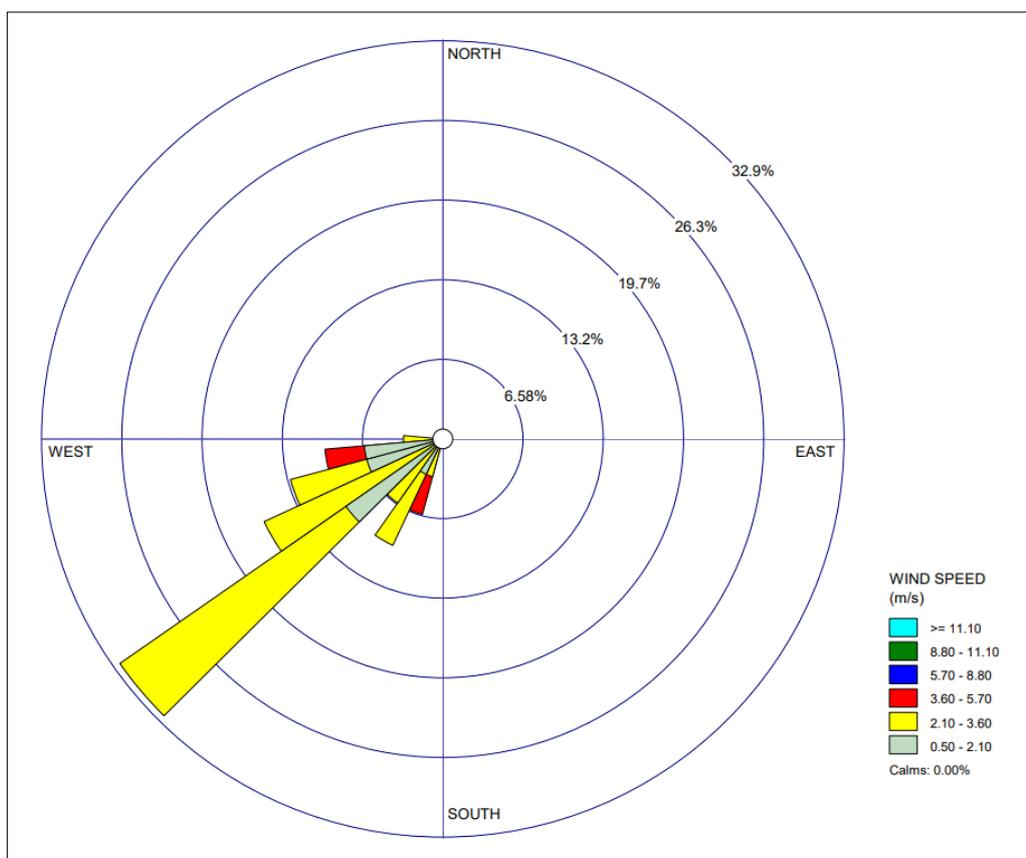


Nota. Obtenido de WRPLOT View – Lakes Environmental Software.

Durante el mes de setiembre, las direcciones de viento predominantes con un 32 % fueron del Oeste suroeste (WSW), con vientos de hasta 3,3 m/s, seguido de los vientos provenientes del Suroeste (SW), con una velocidad promedio de 3,3 m/s respectivamente, en menor medida se registraron vientos provenientes del Oeste (W) y del Sur (S).

Figura 3

Rosa de vientos obtenida con la información de la estación meteorológica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann para el mes de octubre 2023



Nota. Obtenido de WRPLOT View – Lakes Environmental Software.

Para el mes de octubre, los vientos predominantes con un 34 % fueron del Suroeste (SW), con velocidades de 1 m/s hasta los 3 m/s. En segundo lugar, del Oeste suroeste (WSW), con velocidades de hasta 3,67 m/s. En menor medida se presentaron vientos provenientes del Sur (S) y del Sur suroeste (SSW).

3.2.4. Comparación con ECA para aire

Se compararon los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire, establecidos por el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM. Estos estándares determinan los niveles de concentración permitidos de diversos contaminantes en el aire para proteger la salud pública y el medio ambiente. El decreto especifica límites para varios contaminantes, entre ellos:

- a. Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2.5})
- b. Dióxido de Azufre (SO₂)
- c. Óxidos de Nitrógeno (NO₂)
- d. Monóxido de Carbono (CO)
- e. Ozono (O₃)
- f. Plomo (Pb)

La normativa exige que tanto entidades públicas como privadas cumplan con estos estándares y tomen medidas correctivas en caso de que se superen los valores establecidos (MINAM, 2017).

Tabla 6

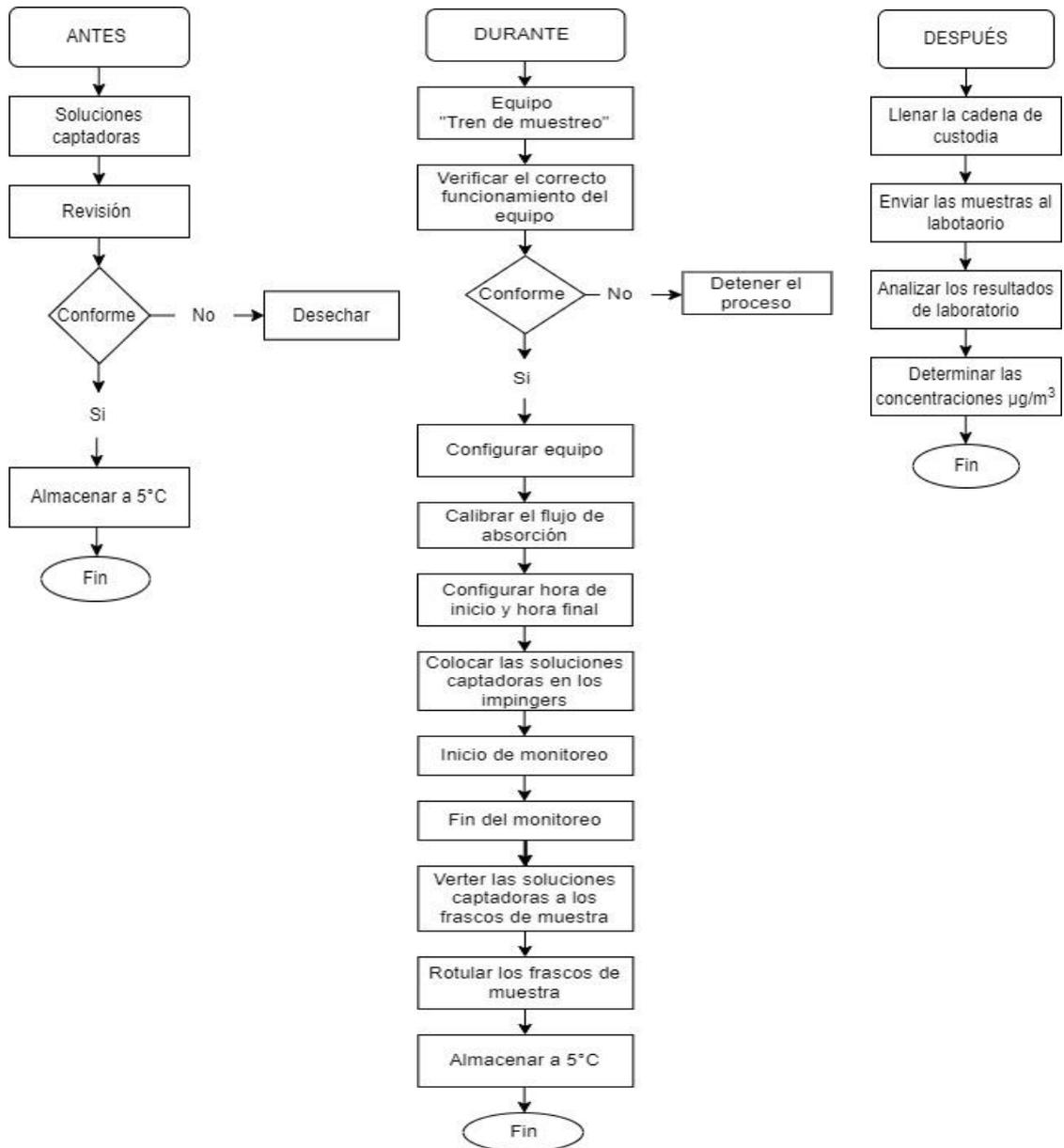
Estándares de Calidad Ambiental para Aire para CO y NO₂

Parámetros	Periodo	Valor [µg/m ³]	Criterios de evaluación	Método de análisis ^[1]
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
	Anual	50	Media aritmética anual	
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)

Nota. Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, 2019.

Figura 4

Diagrama del Proceso de Monitoreo

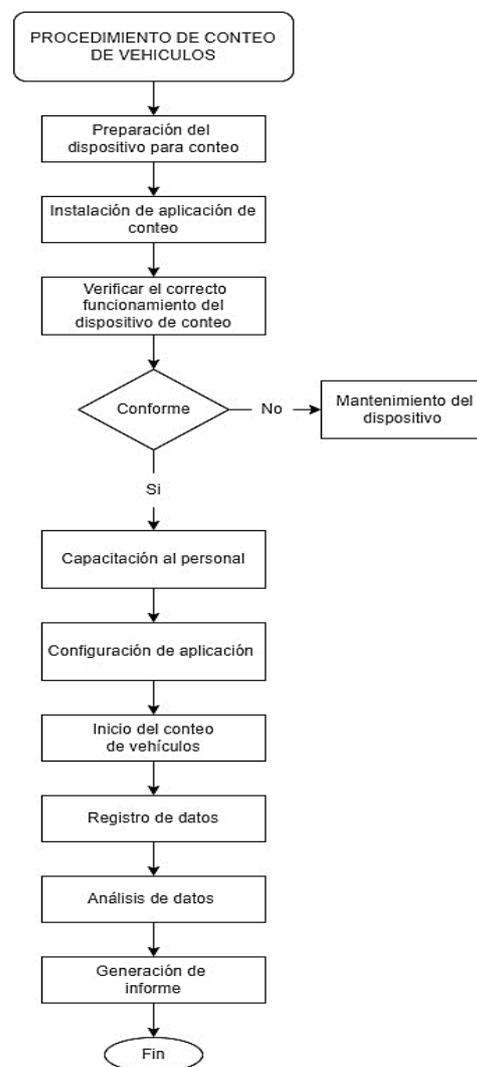


3.2.5. Relación con el tránsito vehicular

- Se realizó el conteo de vehículos en las estaciones uno y dos durante los periodos de monitoreo de CO y NO₂ en tres fechas distintas. (ver fotografía 6 en el anexo 2).
- Los datos obtenidos se graficaron, mostrando la cantidad de vehículos y las correspondientes concentraciones de CO y NO₂ para cada fecha de monitoreo.
- Se analizó la tendencia en el gráfico para determinar si un aumento en la cantidad de vehículos estaba relacionado con un incremento en las concentraciones de CO.

Figura 5

Diagrama del proceso del conteo de vehículos



3.2.6. Medidas de mitigación

Las medidas de mitigación serán propuestas tras un análisis detallado de los resultados obtenidos en la evaluación de dióxido de nitrógeno (NO₂) y monóxido de carbono (CO) en relación con el tránsito vehicular. Este análisis permitirá identificar patrones y tendencias específicas relacionadas con la emisión de estos contaminantes en áreas de alto tránsito, lo cual es crucial para desarrollar estrategias efectivas de reducción de la contaminación atmosférica. (ver fotografía 4 y 5 en el anexo 2).

3.3. Materiales y/o instrumentos

3.3.1. Materiales

- a. Fichas de campo (conteo de vehículos)
- b. EPP
- c. Libreta de campo
- d. Cono de seguridad
- e. Pizarra acrílica

3.3.2. Instrumentos

- a. Equipo de tren de muestreo
- b. Protocolo de monitoreo de calidad de aire
- c. Soluciones químicas
- d. GPS (ubicación de puntos de muestreo)
- e. Cámara fotográfica
- f. Laptop
- g. Dispositivo para conteo de vehículos

3.4. Población y/o muestra de estudio

Para este estudio, se utilizó una muestra guiada debido a la proximidad de los centros educativos seleccionados y, según el estudio preliminar, mostraron una gran cantidad de vehículos en sus inmediaciones. Esta selección permite una comparación detallada de las concentraciones de CO y NO₂ en condiciones de tránsito vehicular significativo, asegurando así la relevancia y precisión de los datos obtenidos para evaluar el impacto del tránsito vehicular en la calidad del aire.

Se identificó un total de 18 Instituciones Educativas, las cuales se encuentran estratégicamente ubicadas en las principales avenidas de la ciudad. Para complementar

este análisis, se realizó un trabajo de campo que incluyó el conteo de vehículos durante las horas punta.

Tabla 7

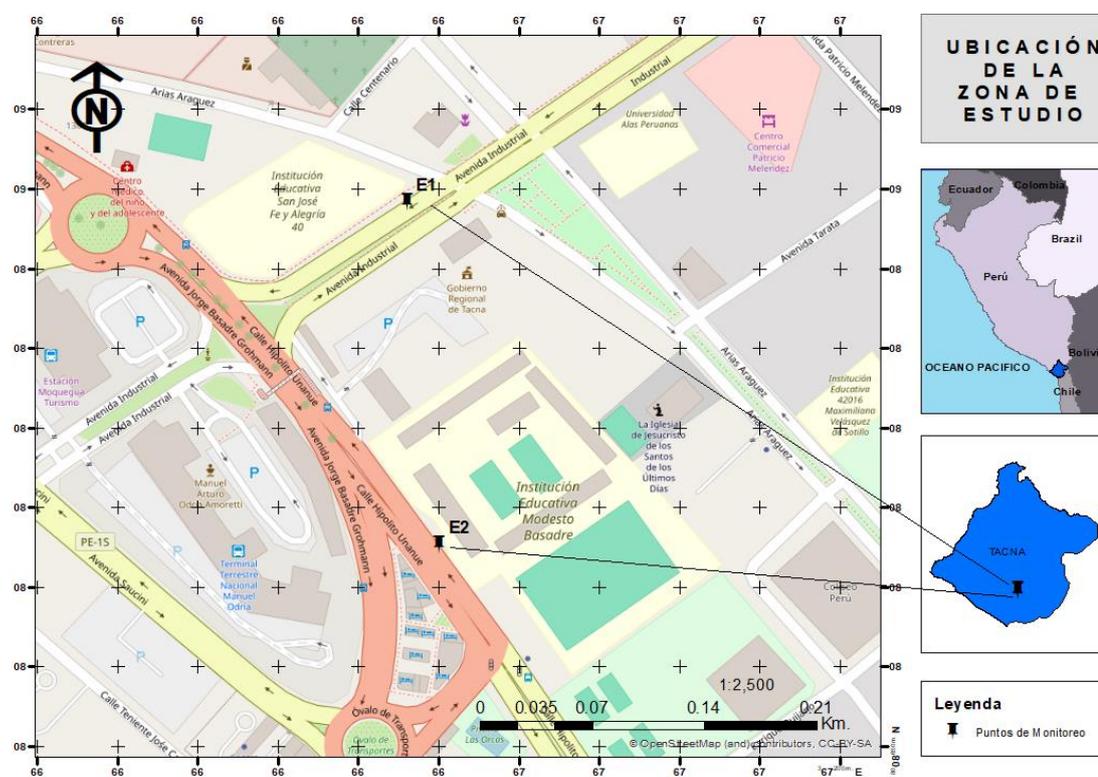
Instituciones Educativas ubicadas en el Cercado de Tacna

Instituciones Educativas	Ubicación	Cantidad de estudiantes	Cantidad de vehículos
Mercedes Indacochea	2 De mayo N°335	846	741
Fe y alegría	Av. Coronel Justo Arias Aragüés N°1310	963	1020
Modesto Basadre	Av. Hipólito Unanue N° 1035	829	1570
María Ugarteche de Maclean	Calle Zela N°954	1188	297
San Francisco de Asís	Calle Modesto Molina N°796	543	778
Gregorio Albarracín	Av. Cuzco N° 444	1322	1071
Daniel Comboni	Av. Jorge Basadre N°1458	218	1764
Champagnat	Av. Restauración N°18 - 22	908	593
Modesto Molina	Av. Pinto N°2162	291	367
Jorge Martorell Flores	Calle Ramón Copaja N°118	1182	76
Federico Villarreal	Cnel. Vidal N°745	499	289
Hermanas Barcia Boniffatti	Av. Pinto N°1846	238	617
José Rosa Ara	Calle José Rosa Ara N°1840	695	107
San Martín de Porres	Calle San Camilo N°1000	1234	334
Santísima Niña María	Calle Piura N°136	937	367
San Ignacio de Loyola	Av. Bolognesi N°2088	89	1168
Nuestra Señora de Fátima	Calle Venezuela N°320	74	97
Einstein Innovador	Av. Augusto B. Leguía N°1660	72	2442

Esta información sirvió para trabajar el muestreo estratificado, este permitió agrupar a los colegios en diferentes estratos según características relevantes, como cantidad de estudiantes, ubicación geográfica, tipo de gestión (público, privado) y cantidad de vehículos. Luego se pudo seleccionar dos colegios para asegurar la representatividad de la muestra, considerando dos estaciones de monitoreo.

Tabla 8*Estaciones de Monitoreo*

Código de estación	Punto de monitoreo	Descripción	Coordenadas UTM	
			Este	Norte
E1	Avenida Industrial	Institución Educativa Fe y Alegría.	366931	8008992
E2	Avenida Hipólito Unanue	Institución Educativa Modesto Basadre.	366951	8008777

Figura 6*Ubicación de las Estaciones de Monitoreo*

3.5. Operacionalización de variables

En cuanto a la operacionalización de variables estas son:

Tabla 9

Operacionalización de variables de investigación

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Escala	Técnicas o métodos
Variable 1 Gases	El monóxido de carbono es un gas incoloro no irritante sin olor o sabor. Se encuentra en el aire puertas adentro como al aire libre	Concentración de CO en la atmosfera en cada punto de muestreo	Concentración de CO en el equipo de tren de muestreo	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ de CO	Método activo para gases ambientales
	El dióxido de nitrógeno es un gas incoloro, con un fuerte olor, no inflamable, toxico y asfixiante	Concentración de NO_2 en la atmosfera en cada punto de muestreo	Concentración de NO_2 en el equipo de tren de muestreo	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2	Método activo para gases ambientales
Variable 2 Tránsito vehicular	Fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista	Centros educativos con alto tránsito vehicular	Cantidad de vehículos por hora en cada punto de muestreo	Número de vehículos por hora	Conteo de vehículos

3.6. Procesamiento y análisis de datos

Se llevará a cabo un análisis de correlación entre variables y se aplicará un modelo de regresión lineal sobre los datos recopilados en el estudio. Esta metodología nos permitirá identificar relaciones significativas entre las variables estudiadas y comprender mejor cómo se relacionan entre sí. Además, nos ayudará a prever de manera más precisa cómo cambios en una variable pueden influir en otra, lo cual es esencial para la toma de decisiones informadas en el ámbito que estamos investigando.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Concentración de CO y NO₂

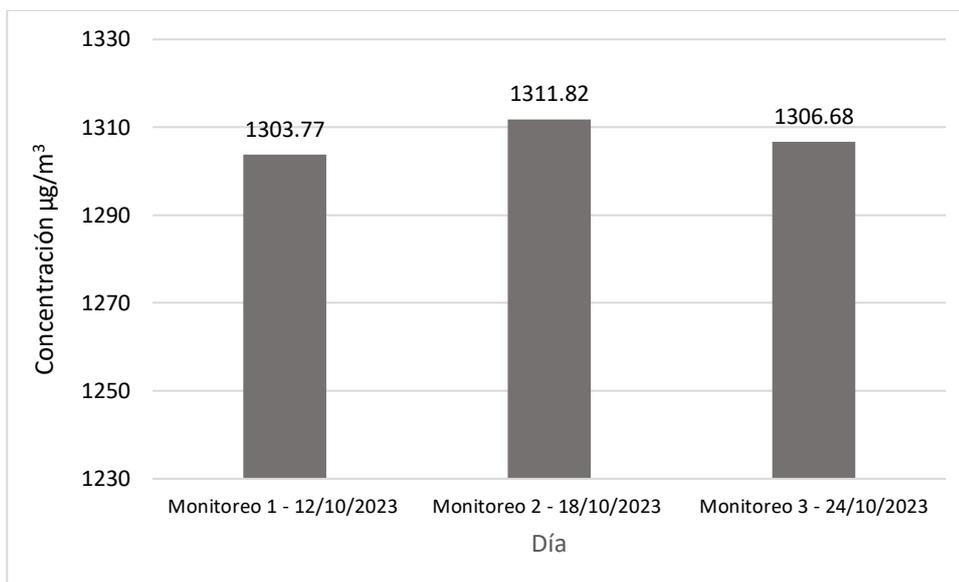
4.1.1. Concentración de CO

En la estación uno (E1), ubicada en el centro educativo Fe y Alegría, se observaron ligeras variaciones en las concentraciones de CO a lo largo de los tres monitoreos. Durante el segundo monitoreo se registró la concentración más alta de CO, alcanzando un valor de 1311,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Las diferencias son mínimas, sin embargo, tanto en el primer monitoreo como en el tercero, se obtuvieron las concentraciones más bajas de CO, con valores de 1303,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 1306,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Los resultados indicaron que los niveles de concentración no sobrepasaron el valor establecido por los ECA.

Tabla 10

Resultados de la Concentración de CO – E1

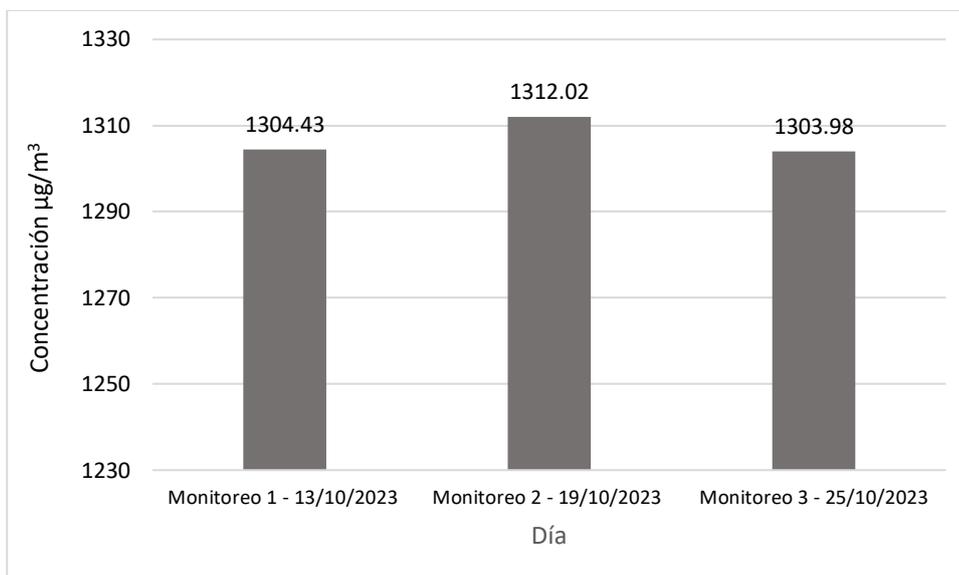
Estación de monitoreo	Lugar	Fecha	Lugar
E1	Centro Educativo Fe y Alegría	Monitoreo 1 - 12/10/2023	1303,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		Monitoreo 2 - 18/10/2023	1311,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		Monitoreo 3 - 24/10/2023	1306,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Figura 7*Niveles de concentración de CO – E1*

En la estación dos (E2), ubicada en el centro educativo Modesto Basadre, la concentración máxima de CO se registró en el segundo monitoreo, con un valor de 1312,02 µg/m³. Durante el primer y tercer monitoreo semana las concentraciones fueron de 1304,43 µg/m³ y 1303,98 µg/m³ respectivamente. Al igual que en la estación uno, los niveles de concentración no sobrepasaron el valor establecido por los ECA.

Tabla 11*Resultados de la Concentración de CO - E2*

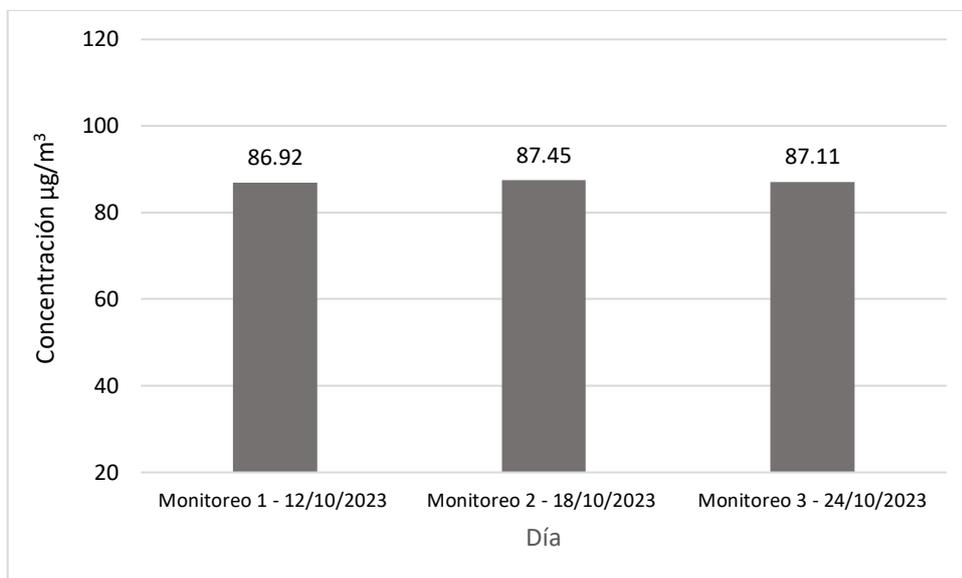
Estación de monitoreo	Lugar	Fecha	Lugar
E2	Centro Educativo Modesto Basadre	Monitoreo 1 - 13/10/2023	1304,43 µg/m ³
		Monitoreo 2 - 19/10/2023	1312,02 µg/m ³
		Monitoreo 3 - 25/10/2023	1303,98 µg/m ³

Figura 8*Niveles de concentración de CO – E2***4.1.2. Concentración de NO₂**

En el centro educativo Fe y Alegría (E1), la concentración más alta se dio durante el segundo monitoreo con un valor de 87,45 µg/m³. Mientras que en la primera y tercera semana se tuvieron concentraciones ligeramente menores, con valores de 86,92 µg/m³ y 87,11 µg/m³ respectivamente. En los tres casos, los niveles de concentración no sobrepasaron el valor establecido por los ECA.

Tabla 12*Resultados de la Concentración de NO₂ – E1*

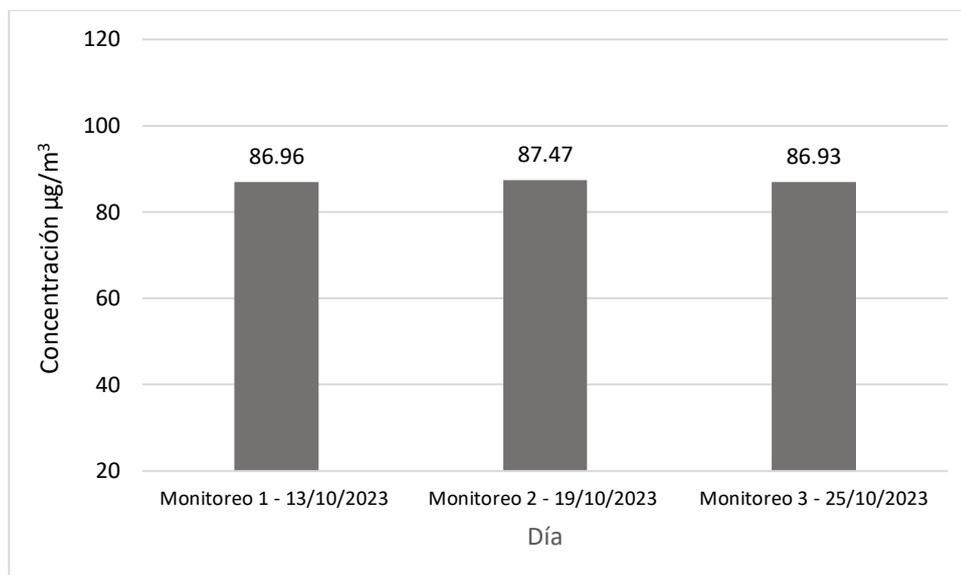
Estación de monitoreo	Lugar	Fecha	Lugar
E1	Centro Educativo Fe y Alegría	Monitoreo 1 - 12/10/2023	86,92 µg/m ³
		Monitoreo 2 - 18/10/2023	87,45 µg/m ³
		Monitoreo 3 - 24/10/2023	87,11 µg/m ³

Figura 9*Niveles de concentración de NO₂ – E1*

En el caso del NO₂, la IE Modesto Basadre (E2) registró su máxima concentración durante la segunda semana de monitoreo (E2P2) con un valor de 87,47 µg/m³. Mientras que la primera E2P1 y tercera semana E2P3, presentaron las concentraciones más bajas, con valores de 86,96 µg/m³ y 86,93 µg/m³ respectivamente.

Tabla 13*Resultados de la Concentración de NO₂ – E2*

Estación de monitoreo	Lugar	Fecha	Lugar
E1	Centro Educativo Modesto Basadre	Monitoreo 1 - 13/10/2023	86,96 µg/m ³
		Monitoreo 2 - 19/10/2023	87,47 µg/m ³
		Monitoreo 3 - 25/10/2023	86,93 µg/m ³

Figura 10*Niveles de concentración de NO₂ – E2*

4.2. Relación con el Tránsito Vehicular

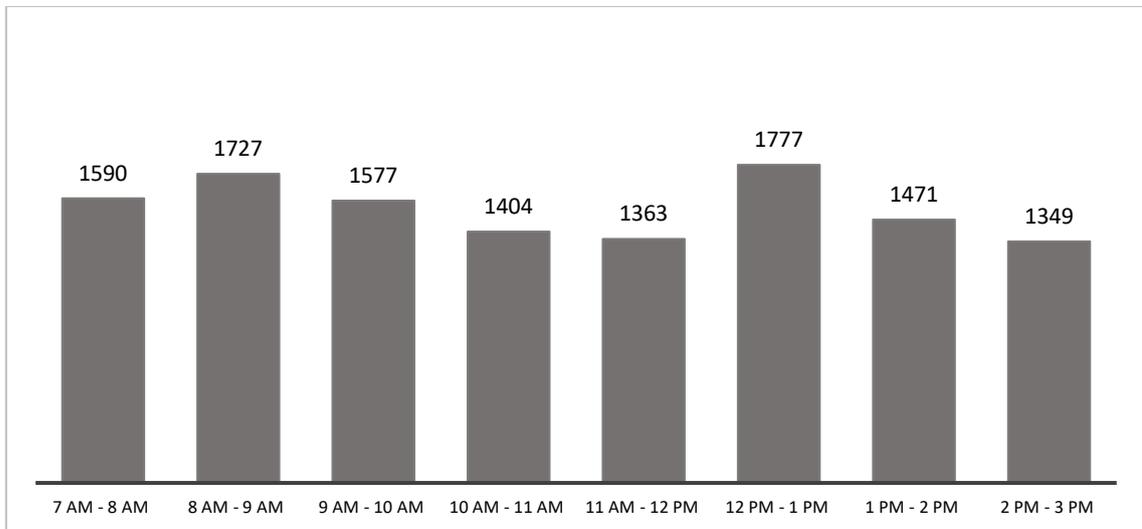
4.2.1. Cantidad de Tránsito Vehicular - E1

Durante el primer día de monitoreo en el centro educativo Fe y Alegría, se registraron dos periodos de tiempo que mostraron una mayor cantidad de tránsito vehicular. El primer periodo fue de 8:00 a.m. a 9:00 a.m., mientras que el segundo periodo se observó de 12:00 p.m. a 1:00 p.m., coincidiendo con el ingreso y salida de alumnos y personal educativo. Esta tendencia se mantuvo durante los tres días de monitoreo.

El primer día de monitoreo en la estación uno mostró dos picos significativos: uno por la mañana entre las 8:00 am y 9:00 am, y otro más alto al mediodía entre las 12:00 pm y 1:00 pm. La menor cantidad de tránsito vehicular se observó entre las 11:00 am y 12:00 pm.

Figura 11

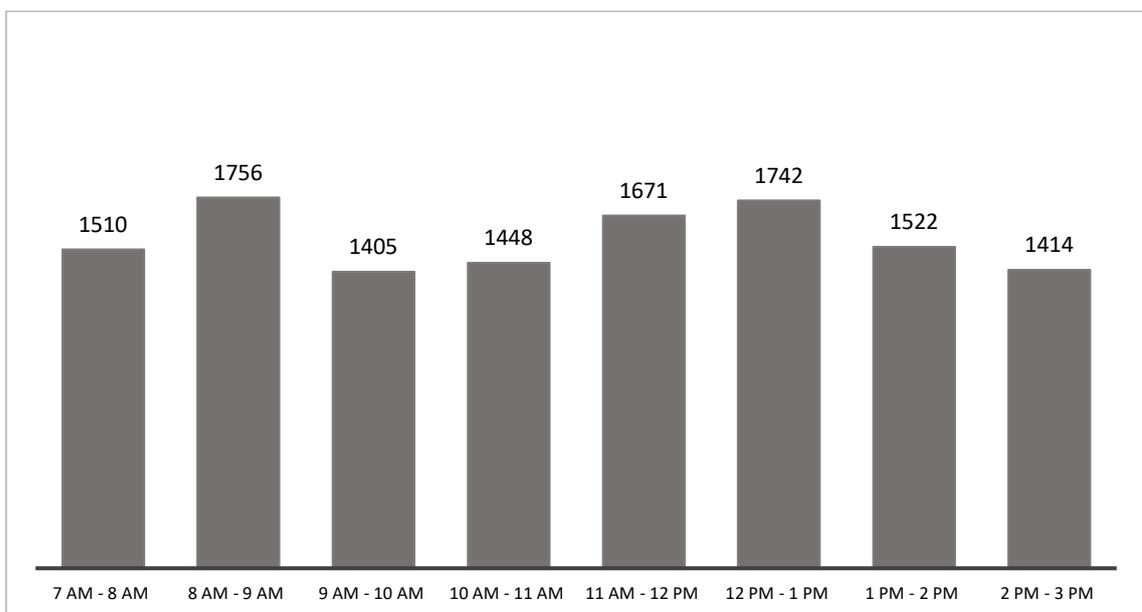
Horarios con mayor tránsito vehicular del primer día de monitoreo E1P1



En el segundo monitoreo, el tránsito vehicular mostró dos picos significativos: uno por la mañana entre las 8:00 am y 9:00 am, y otro más alto al mediodía entre las 12:00 pm y 1:00 pm. La menor cantidad de vehículos se observó entre las 9:00 am y 10:00 am.

Figura 12

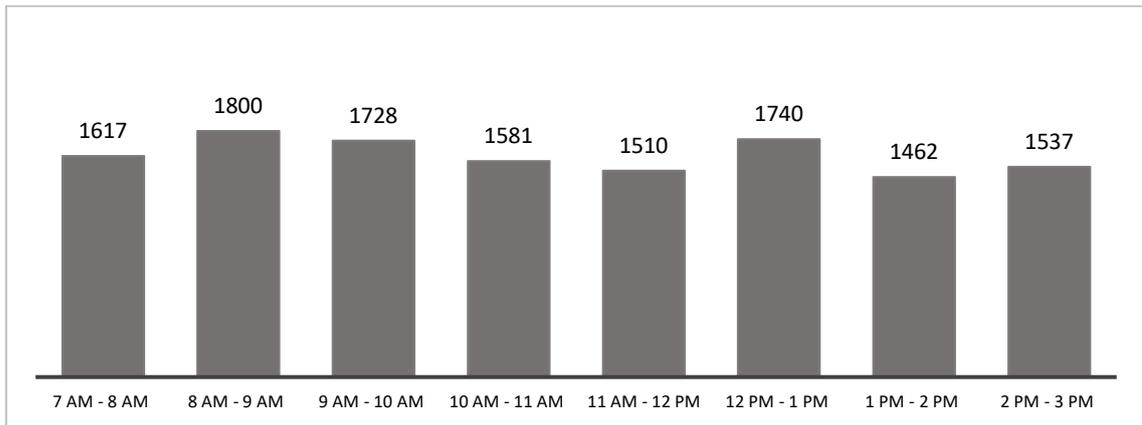
Horarios con mayor tránsito vehicular del segundo día de monitoreo E1P2



El tercer día de monitoreo en la estación uno, el tránsito vehicular mostró dos picos significativos: uno por la mañana entre las 8:00 am y 9:00 am con 1800 vehículos, y otro más alto al mediodía entre las 12:00 pm y 1:00 pm con 1740 vehículos. La menor cantidad de tránsito vehicular se observó entre las 11:00 am y 12:00 pm con 1510 vehículos.

Figura 13

Horarios con mayor tránsito vehicular del tercer día de monitoreo E1P3



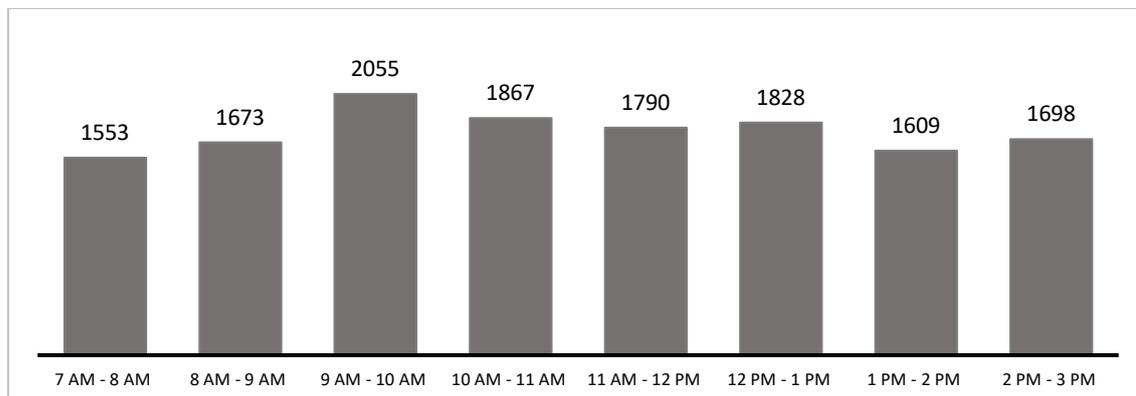
4.2.2. Cantidad de Tránsito Vehicular - E2

En el centro educativo Modesto Basadre, el periodo con mayor tránsito vehicular se registró entre las 9:00 a.m. a 10:00 a.m. coincidiendo con el horario en que el mercado mayorista Grau recibe mayor cantidad de visitantes.

Durante las primeras horas de la mañana, comprendidas entre las 7:00 a.m. y las 9:00 a.m., se registró la menor cantidad de tránsito vehicular. La hora crítica se alcanzó entre las 9:00 a.m. y las 10:00 a.m., con un total de 2 055 vehículos, mientras que en las horas de menor tránsito vehicular se contabilizaron 1 553 y 1 673 vehículos, respectivamente.

Figura 14

Horarios con mayor tránsito vehicular del primer día de monitoreo – E2P1

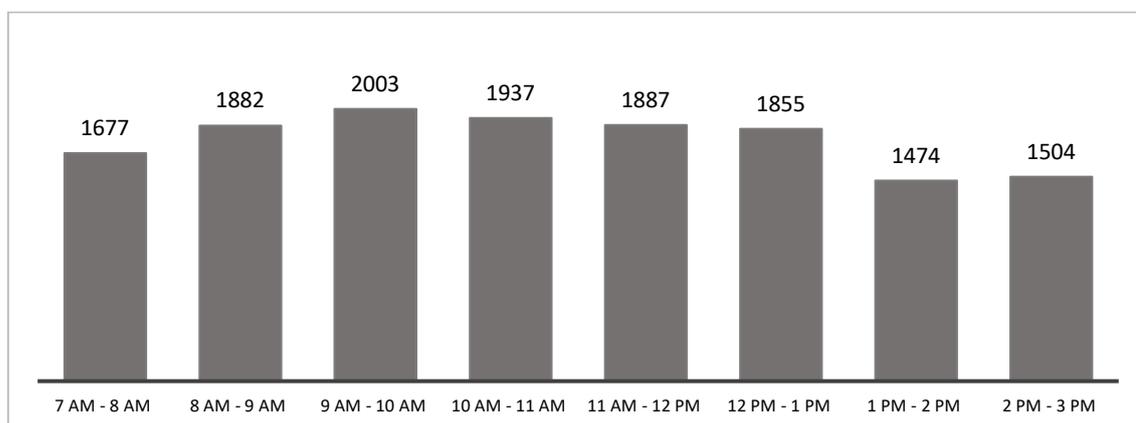


Durante el segundo día de conteo de vehículos en las inmediaciones de la IE Modesto Basadre, se registró un total de 1 4219 vehículos durante las 8 horas de monitoreo.

Los resultados obtenidos revelaron las horas de menor y mayor tránsito vehicular; las horas de menor tránsito vehicular se dieron entre la 1:00 p.m. y las 3:00 p.m. Mientras que la hora crítica se alcanzó entre las 9:00 a.m. y 10:00 a.m., registrándose un total de 2003 vehículos.

Figura 15

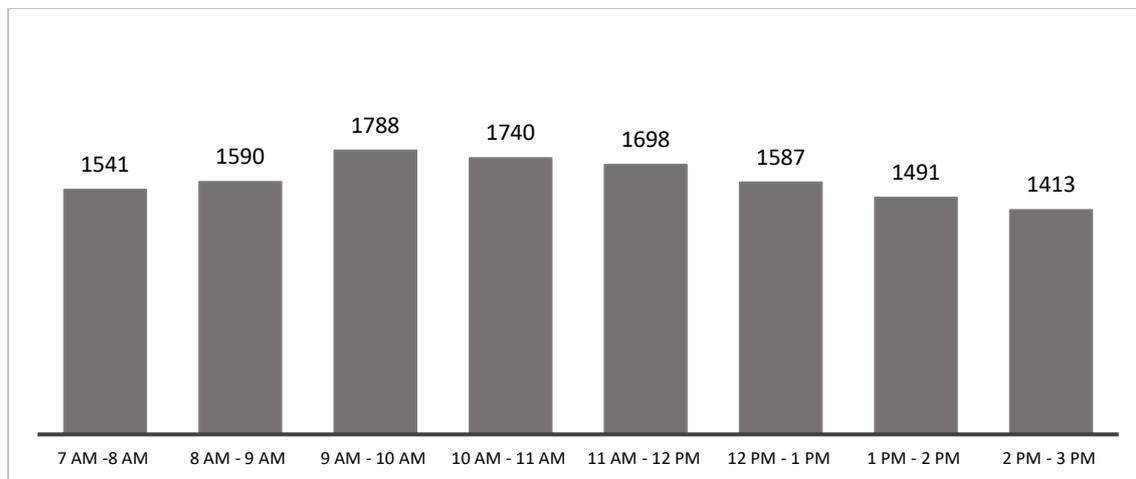
Horarios con mayor tránsito vehicular del segundo día de monitoreo - E2P2



Para el tercer día de conteo de vehículos, en las inmediaciones de la IE Modesto Basadre, se registró un total de 12 848 vehículos durante las 8 horas de monitoreo. En la siguiente tabla se aprecian los resultados del conteo en la vía 1 y 2 y el total registrado durante cada intervalo de tiempo.

Figura 16

Horarios con mayor tránsito vehicular del tercer día de monitoreo - E2P3



El conteo de vehículos realizado durante las tres semanas evidenció un patrón horario consistente. Las horas críticas para el centro educativo Fe y Alegría (E1) se registraron durante la entrada y salida de los estudiantes, a las 7:00 a.m. y 1:00 p.m. En cambio, en el centro educativo Modesto Basadre (E2), la hora crítica se registró entre las 9:00 a.m. y 10:00 a.m. Cabe mencionar que, en ambos puntos de monitoreo, el tránsito vehicular es mayor durante las primeras horas de la mañana, disminuyendo por la tarde.

4.2.3. Correlación de CO y Tránsito Vehicular

En el presente estudio, se monitorearon las concentraciones de monóxido de carbono (CO) en tres días distintos, correlacionándolas con la cantidad de vehículos registrados en cada uno de esos días.

Correlación de CO y tránsito vehicular (E1), Centro Educativo Fe y Alegría:

En la estación uno, se presentó una correlación positiva entre la cantidad de vehículos y las concentraciones de CO. En el monitoreo uno, con la menor cantidad de vehículos (12,258), se registró la menor concentración de CO (1303,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). En el monitoreo dos, se observó un ligero aumento en la cantidad de vehículos (12,468), lo cual se reflejó en un incremento en la concentración de CO (1311,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Finalmente, en el monitoreo tres, a pesar de registrar la mayor cantidad de vehículos (13,035), la concentración de CO fue ligeramente menor que en el monitoreo dos, con un valor de 1306,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Monitoreo 1 vs Monitoreo 2:

El aumento en la cantidad de vehículos de 12,258 a 12,468 se reflejó en un incremento en la concentración de CO, pasando de 1303,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1311,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto sugiere que, en condiciones similares, un mayor número de vehículos contribuye a un aumento en la concentración de CO.

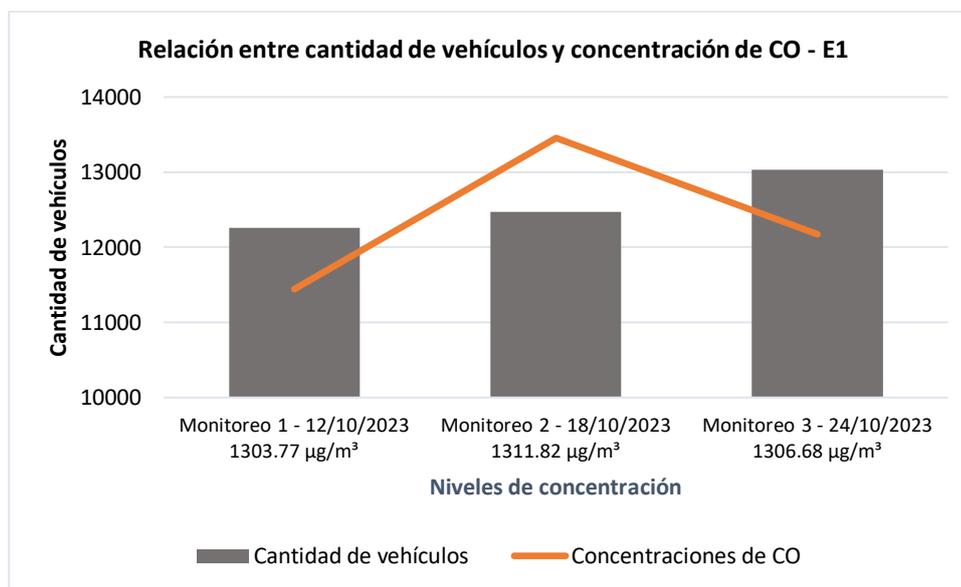
Monitoreo 2 vs Monitoreo 3:

Aunque el monitoreo tres registró una mayor cantidad de vehículos (13,035), la concentración de CO disminuyó ligeramente a 1306,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ comparado con el monitoreo dos. Esto indica que, si bien existe una tendencia general de que más vehículos resultan en mayores concentraciones de CO, otros factores también influyen en esta relación.

Whiteman et al. (2014) en su estudio denominado “Relación entre la contaminación del aire por partículas y las variables meteorológicas en Salt de Utah Valle del Lago”, determinaron que las variables meteorológicas influyen en la concentración de los contaminantes atmosféricos.

Figura 17

Correlación del Tránsito Vehicular y CO en la estación uno



Correlación de CO y tránsito vehicular (E2), Centro Educativo Modesto Basadre:

En la estación dos, se observó una relación positiva entre la cantidad de vehículos y las concentraciones de CO. En el monitoreo uno, con una cantidad de 14,073 vehículos, se registró una concentración de CO de 1304,43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el monitoreo dos, con un aumento en la cantidad de vehículos a 14,219, la concentración de CO también aumentó a 1312,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el monitoreo tres, con una disminución en la cantidad de vehículos a 12,848, la concentración de CO fue ligeramente inferior, registrando 1303,98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Monitoreo 1 vs. Monitoreo 2:

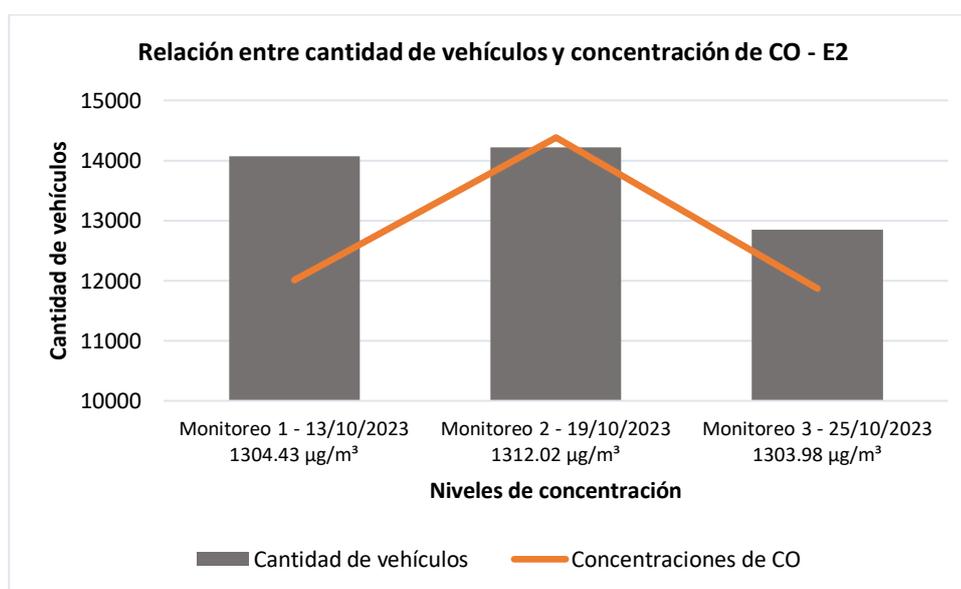
El aumento en la cantidad de vehículos de 14,073 a 14,219 se reflejó en un incremento en la concentración de CO, pasando de 1304,43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1312,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto sugiere que, en condiciones similares, un mayor número de vehículos contribuye a un aumento en la concentración de CO.

Monitoreo 2 vs. Monitoreo 3:

En el tercer monitoreo, aunque hubo una disminución en la cantidad de vehículos a 12,848, la concentración de CO también disminuyó ligeramente a 1303,98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta reducción en la concentración de CO es consistente con la reducción en la cantidad de vehículos.

Figura 18

Correlación del Tránsito Vehicular y CO en la estación dos



4.2.4. Correlación de NO₂ y Tránsito Vehicular

Se monitorearon las concentraciones de NO₂ en tres fechas distintas y se compararon con la cantidad de vehículos registrados entre las 7:00 AM y 8:00 AM según el promedio establecido por el protocolo de monitoreo.

Correlación de NO₂ y tránsito vehicular (E1), Centro Educativo Fe y Alegría:

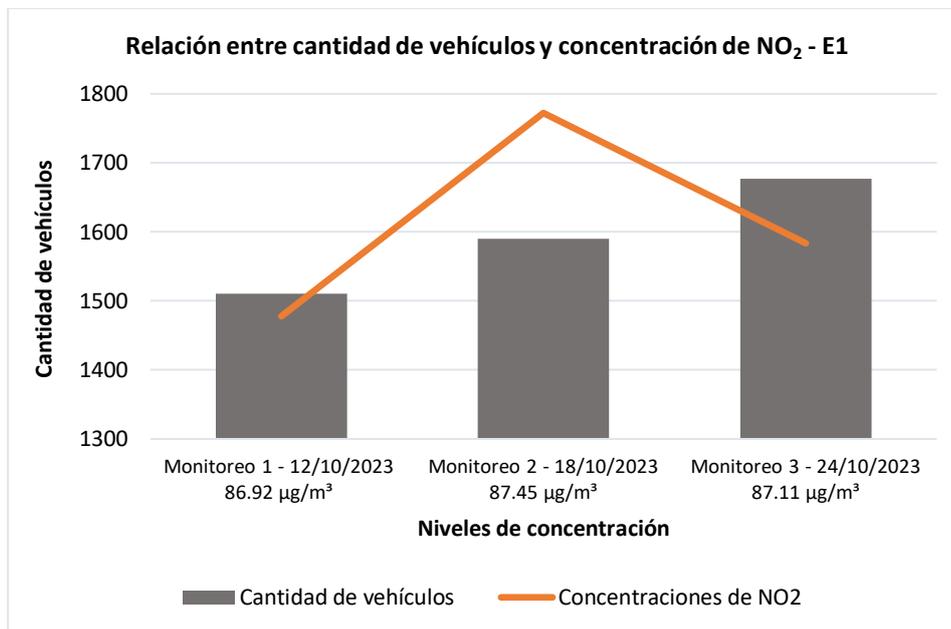
Los resultados mostraron una relación positiva entre la cantidad de vehículos y las concentraciones de NO₂. En el Monitoreo 1, con una cantidad de 1,510 vehículos, se registró una concentración de NO₂ de 86,92 µg/m³. En el Monitoreo 2, con un aumento en la cantidad de vehículos a 1,590, la concentración de NO₂ también aumentó a 87,45 µg/m³. En el Monitoreo 3, aunque hubo un aumento en la cantidad de vehículos a 1,677, la concentración de NO₂ disminuyó ligeramente a 87,11 µg/m³.

Monitoreo 1 vs. Monitoreo 2:

El aumento en la cantidad de vehículos de 1,510 a 1,590 se reflejó en un incremento en la concentración de NO₂, pasando de 86,92 µg/m³ a 87,45 µg/m³. Esto sugiere que, en condiciones similares, un mayor número de vehículos contribuye a un aumento en la concentración de NO₂.

Monitoreo 2 vs. Monitoreo 3:

En el Monitoreo 3, aunque hubo un aumento en la cantidad de vehículos a 1,677, la concentración de NO₂ disminuyó ligeramente a 87,11 µg/m³. Esta reducción en la concentración de NO₂, a pesar del aumento en la cantidad de vehículos, puede deberse a varios factores adicionales.

Figura 19*Correlación del Tránsito Vehicular y NO₂ en la estación uno***Correlación de NO₂ y tránsito vehicular (E2), Centro Educativo Modesto Basadre:**

Los resultados muestran una relación positiva entre la cantidad de vehículos y las concentraciones de NO₂. En el Monitoreo 1, con una cantidad de 1,543 vehículos, se registró una concentración de NO₂ de 86,96 µg/m³. En el Monitoreo 2, con un aumento en la cantidad de vehículos a 1,677, la concentración de NO₂ también aumentó a 87,47 µg/m³. En el Monitoreo 3, aunque la cantidad de vehículos disminuyó a 1,541, la concentración de NO₂ fue ligeramente inferior, registrando 86,93 µg/m³.

Monitoreo 1 vs. Monitoreo 2:

El aumento en la cantidad de vehículos de 1,543 a 1,677 se reflejó en un incremento en la concentración de NO₂, pasando de 86,96 µg/m³ a 87,47 µg/m³. Esto sugiere que un mayor número de vehículos contribuye a un aumento en la concentración de NO₂.

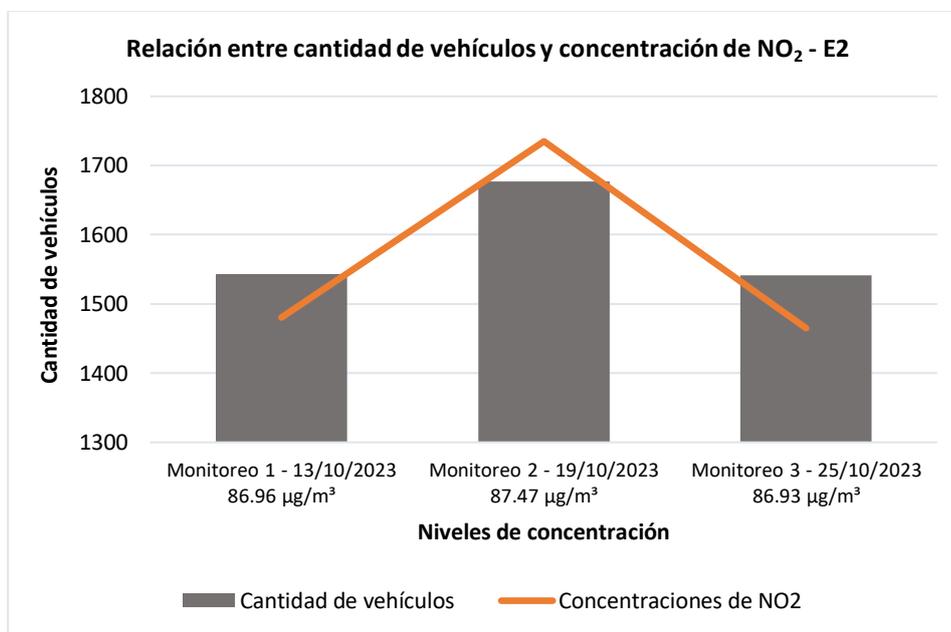
Monitoreo 2 vs. Monitoreo 3:

En el Monitoreo 3, aunque hubo una disminución en la cantidad de vehículos a 1,541, la concentración de NO₂ disminuyó ligeramente a 86,93 µg/m³. Esta reducción, a pesar del aumento en la cantidad de vehículos, puede deberse a los factores meteorológicos antes mencionados. Los resultados obtenidos sugieren que existe una

correlación positiva general entre el aumento de la cantidad de vehículos y las concentraciones de NO_2 .

Figura 20

Correlación del Tránsito Vehicular y NO_2 en la estación dos



4.3. Cumplimiento de Estándares

4.3.1. Relación de los Estándares de Calidad con la Concentración de CO

Las concentraciones de CO en los dos puntos de monitoreo se encuentran dentro de los niveles de concentración aceptables por los ECA. Esto indica que la calidad del aire en relación con el CO es buena, lo cual es una señal positiva en cuanto a la salud de las personas y el medio ambiente.

Tabla 14

Comparación de la concentración de CO con los ECA

Estación	Fecha de monitoreo	Concentración de CC	Valor $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ECA)
E1P1	12/10/2023	1303,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
E1P2	18/10/2023	1311,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
E1P3	24/10/2023	1306,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
E2P1	13/10/2023	1304,43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
E2P2	19/10/2023	1312,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
E2P3	25/10/2023	1303,98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

Las concentraciones de monóxido de carbono se mantienen considerablemente por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos para el aire, que suelen situarse en valores por debajo de los 10,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta cifra representa una concentración aceptable según las normativas vigentes, indicando un nivel bajo de contaminación atmosférica y contribuyendo a mantener un ambiente más saludable para la comunidad.

Figura 21

Comparación de la Concentración de CO con los ECA – E1

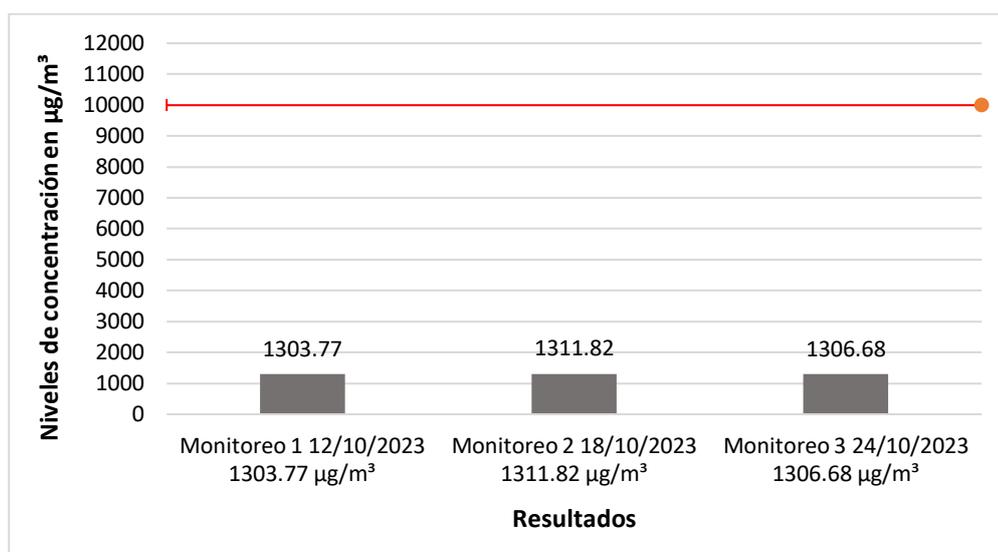
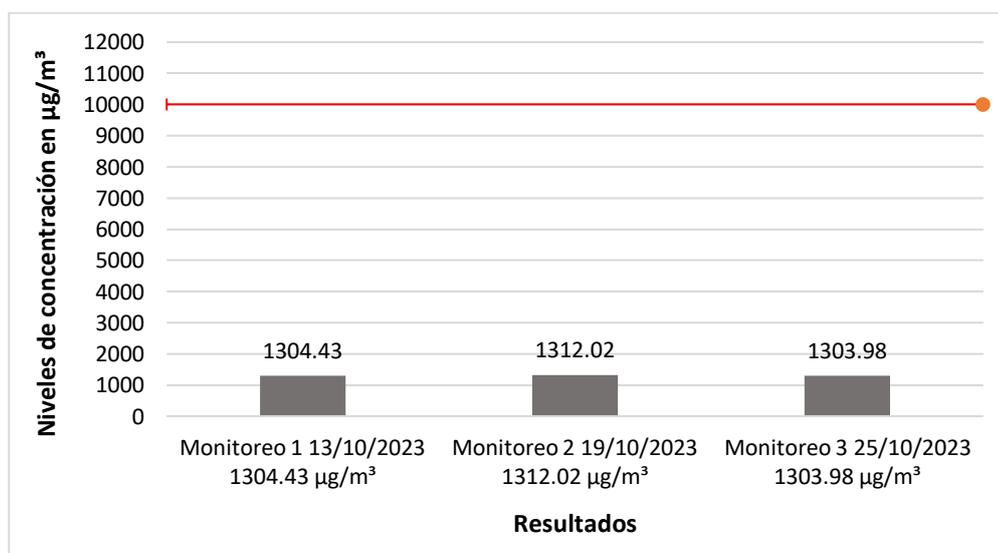


Figura 22

Comparación de la Concentración de CO con los ECA – E2



4.3.2. Relación de los Estándares de Calidad con la Concentración de NO₂

Las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO₂) en los dos puntos de monitoreo se encuentran dentro de los niveles aceptables determinado por los ECA. Esta situación indica que la calidad del aire en relación con el NO₂ se puede clasificar como buena, lo cual es una señal alentadora en términos de salud ambiental.

Tabla 15

Comparación de la Concentración de NO₂ con los ECA

Estación	Fecha de monitoreo	Concentración de NO ₂	Valor µg/m ³ (ECA)
E1P1	12/10/2023	86,92 µg/m ³	200 µg/m ³
E1P2	18/10/2023	87,45 µg/m ³	
E1P3	24/10/2023	87,11 µg/m ³	
E2P1	13/10/2023	86,96 µg/m ³	
E2P2	19/10/2023	87,47 µg/m ³	
E2P3	25/10/2023	86,93 µg/m ³	

Las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO₂) se mantienen por debajo de los 200 µg/m³, lo cual indica que se encuentran dentro de un rango considerado como bueno o aceptable según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire. Esta situación refleja condiciones favorables en términos de calidad del aire y sugiere que las medidas de control de la contaminación están siendo efectivas en mantener niveles saludables de NO₂ en el ambiente monitoreado.

Figura 23

Comparación de la Concentración de NO₂ con los ECA – E1

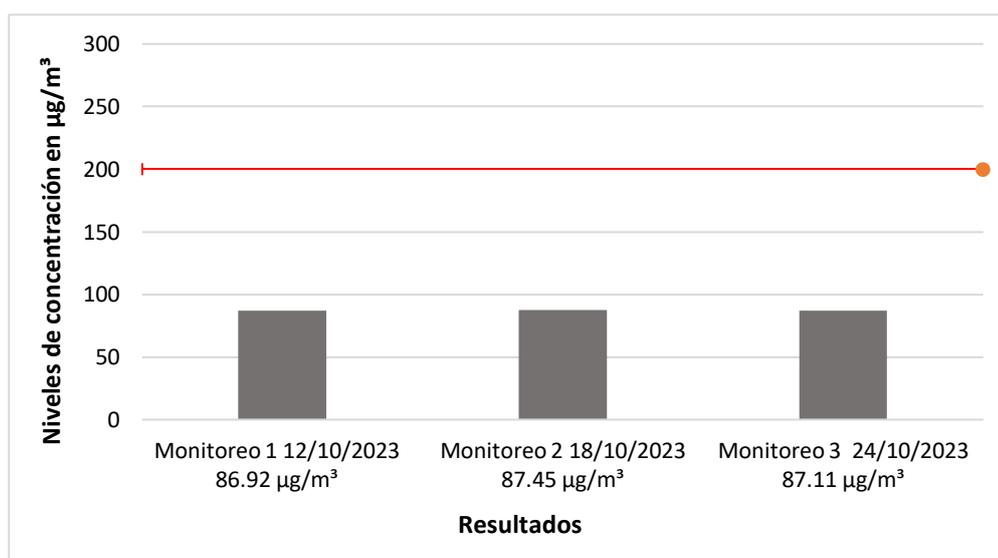
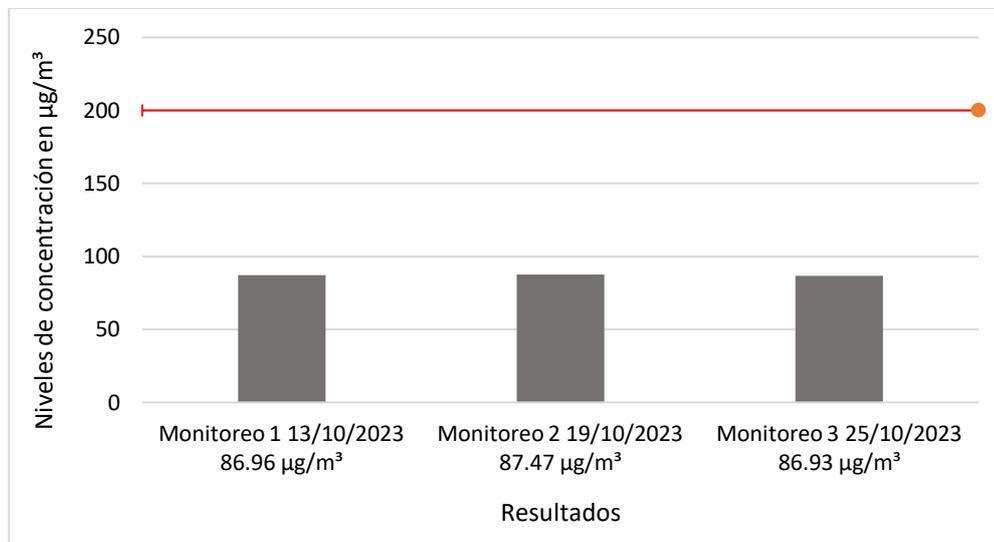


Figura 24

Comparación de la Concentración de NO₂ con los ECA – E2



4.4. Medidas de mitigación

4.4.1. Semáforos y mejoras en la señalización

Implementar sistemas de semáforos más sofisticados que se ajusten en tiempo real a las condiciones del tránsito para reducir los tiempos de espera y la congestión vehicular.

Responsable: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

4.4.2. Zona de baja emisión

Implementar acciones innovadoras en movilidad urbana que permitan mejorar la calidad del aire, reducir el riesgo a enfermedades y crear espacios públicos seguros para nuevas atracciones culturales y recreativas.

- a. **Caminos y carriles para bicicletas, ciclovías:** Desarrollar y ampliar la red de ciclovías seguras y conectadas para fomentar el uso de bicicletas.
- b. **Espacios verdes:**
 - **Áreas verdes**
Promover la creación y mantenimiento de parques y jardines públicos para mejorar la calidad del aire y proporcionar espacios recreativos.
 - **Jardines verticales y techos verdes**
Incentivar la instalación de jardines verticales y techos verdes en edificios públicos y privados para aumentar la cobertura vegetal y reducir la contaminación.

Responsable: Gobierno Regional y la Municipalidad Provincial de Tacna en coordinación Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

4.4.3. Sistema de monitoreo continuo

Instalar estaciones de monitoreo de calidad del aire en áreas críticas para obtener datos en tiempo real sobre los niveles de contaminantes.

Responsable: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) en coordinación con Municipalidad Provincial de Tacna.

4.4.4. Filtros de aire en escuelas

Instalar sistemas de filtración de aire en las escuelas cercanas a áreas de alto tránsito vehicular para proteger la salud de los estudiantes.

Responsable: Centros educativos en coordinación con la Municipalidad Provincial de Tacna.

4.4.5. Políticas de reducción de emisiones

Es primordial que el Ministerio del Ambiente (MINAM) y al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) trabajen en conjunto para desarrollar y aplicar políticas que incentiven el uso de tecnologías limpias en el transporte público, así como la renovación del parque automotor con vehículos menos contaminantes.

La Municipalidad de Lima participó en la elaboración del Plan de Acción para el Mejoramiento de la Calidad del Aire de Lima y Callao 2021-2025. Este plan, aprobado bajo la Resolución Ministerial N.º 142-2021-MINAM, detalla más de 40 medidas que se implementarán en los próximos cinco años.

4.4.6. Campañas de concientización

Planificar y llevar a cabo campañas de concientización pública sobre la importancia de la calidad del aire y las acciones individuales que pueden contribuir a su mejora.

Responsable: Ministerio del Ambiente (MINAM) en coordinación con el Ministerio de educación (MINEDU).

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. Discusión de Resultados con otras investigaciones

5.1.1. Evaluación la concentración de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) debido al tránsito vehicular

Aguirre (2021) quien desarrollan la investigación sobre de la concentración de monóxido de carbono, asociado a la alta congestión vehicular en el distrito de Ilo, determinó que la concentración de monóxido de carbono en el aire era inferior a 624,583 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el nivel más alto registrado en los vehículos fue del 0,2 % de monóxido de carbono, concluyendo que las concentraciones de monóxido de carbono en las zonas de estudio no sobrepasan el estándar de calidad ambiental.

En los resultados obtenidos los niveles de exposición de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) se mantienen dentro de rangos aceptables según los estándares establecidos, lo que sugiere un ambiente relativamente saludable en estas zonas en términos de calidad del aire. Esto indica que las medidas de control de la contaminación podrían estar funcionando efectivamente en este contexto.

5.1.2. Evaluación de las concentraciones de CO y NO₂ alrededor de los centros educativos

Medir la calidad del aire alrededor de los centros educativos es crucial debido a la vulnerabilidad de los niños y jóvenes a los contaminantes atmosféricos, especialmente aquellos generados por el tránsito vehicular.

Aljofi et al. (2022), investigaron la relación entre la contaminación del aire relacionada con el tráfico y la función ejecutiva en niños de primaria. Se encontró que tanto las partículas finas (PM_{2.5}) como el NO₂ tienen un impacto negativo en la función ejecutiva y el rendimiento académico. Específicamente, el NO₂ afecta negativamente la memoria de trabajo, lo que puede perjudicar el rendimiento escolar de niños y jóvenes.

Los resultados de nuestro estudio revelan que las concentraciones de CO y NO₂ en las áreas cercanas a los centros educativos se encuentran dentro de los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire. Sin embargo, dada la evidencia de los efectos negativos incluso a bajas concentraciones, la exposición a estos contaminantes es inevitable debido al tráfico vehicular cercano. Por ello, resulta esencial implementar medidas de control y mitigación para mantener estas concentraciones en niveles seguros.

5.1.3. Evaluación de la relación entre las concentraciones de CO y NO₂ y la intensidad del tránsito vehicular

García (2019), tiene como uno de sus objetivos determinar la relación entre el tráfico vehicular y la concentración de los gases (CO, NO₂ y SO₂) en los sectores 1 y 2 del distrito de Morales. Al analizar las muestras tomadas, se determinó que existe una relación directa entre la concentración de CO y el flujo vehicular, es decir que las altas concentraciones de CO son producto del flujo vehicular, a mayor flujo vehicular, mayores son las concentraciones. Por otro lado, los resultados obtenidos de las concentraciones del NO₂ y SO₂ determinaron que no guardan relación directa con el flujo vehicular, ya que sus concentraciones no fueron cuantificables.

En nuestra investigación los resultados muestran que a medida que aumenta la intensidad del tránsito vehicular, también tienden a incrementarse las concentraciones de CO y NO₂ en el entorno de los centros educativos evaluados. Esta correlación resalta la influencia directa que tiene el tránsito vehicular en la calidad del aire, especialmente en zonas urbanas con alta densidad vehicular.

5.1.4. Evaluación de los niveles de CO y NO₂ obtenidos con los estándares de calidad de aire

En el estudio de "Monitoreo de la Calidad del Aire en Lima Metropolitana" realizado por el SENAMHI (2019), se evaluaron las concentraciones de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) en diferentes puntos de la ciudad. Este estudio encontró que las concentraciones promedio de CO eran de 1400 µg/m³ y las de NO₂ de 95 µg/m³, valores que, aunque elevados, estaban dentro de los límites establecidos por los ECA.

De manera similar, la presente investigación ha utilizado el método activo de gases ambientales para determinar las concentraciones de CO y NO₂ en la proximidad a centros educativos en el Cercado de Tacna. Los resultados obtenidos muestran concentraciones de CO de 1303,77 µg/m³, 1311,82 µg/m³ y 1306,68 µg/m³ en el punto uno, y de 1304,43 µg/m³, 1312,02 µg/m³ y 1303,98 µg/m³ en el punto dos. Para el NO₂, las concentraciones fueron de 86,92 µg/m³, 87,45 µg/m³ y 87,11 µg/m³ en el punto uno, y de 86,96 µg/m³, 87,47 µg/m³ y 86,93 µg/m³ en el punto dos. Estos resultados indican que las concentraciones de estos contaminantes en Tacna presentan niveles aceptables según los ECA.

Ambos estudios coinciden en que el tránsito vehicular influye en las concentraciones de CO y NO₂. El informe del SENAMHI (2019) indica que la densidad del tránsito vehicular en Lima es un factor determinante en los niveles de contaminación.

De manera similar, la presente investigación encontró una correlación significativa entre la cantidad de vehículos y las concentraciones de estos contaminantes en el Cercado de Tacna. Esto sugiere la necesidad de implementar medidas de control o estrategias de mitigación de emisiones en áreas urbanas para mejorar la calidad del aire.

5.1.5. Propuesta de medidas de mitigación para la reducción de CO y NO₂ en los centros educativos evaluados.

La presente investigación propone diversas medidas de mitigación para reducir las concentraciones de CO y NO₂ en los centros educativos evaluados. Estas propuestas encuentran un paralelo significativo con las iniciativas de movilidad sostenible realizadas en El Cairo, Egipto, específicamente con la implementación y extensión de la Línea 3 del Metro de El Cairo.

El Greater Cairo Air Pollution Management and Climate Change Project, respaldado por el Banco Mundial, incluye la implementación de autobuses eléctricos (e-buses) y el desarrollo de infraestructuras de transporte público como la Línea 3 del Metro de El Cairo. Este proyecto ha demostrado ser efectivo en la reducción de emisiones contaminantes, contribuyendo significativamente a la mejora de la calidad del aire en la ciudad. La Línea 3, que conecta el este y el oeste de El Cairo, ha ayudado a disminuir el número de vehículos en las carreteras, reduciendo así las emisiones contaminantes en más del 3 % en 2017 (Banco Mundial, 2020).

De manera similar, en Tacna, la promoción del uso de transporte ecológico y de modos de transporte no motorizados, como la bicicleta o caminar, podría reducir la cantidad de vehículos en circulación, disminuyendo así las concentraciones de CO y NO₂ alrededor de los centros educativos.

Cabe destacar la importancia de mejorar la infraestructura para facilitar el flujo de tránsito y reducir la congestión, que da como resultado menores emisiones. Esta medida se alinea con la recomendación de nuestra investigación de mejorar la infraestructura vial en Tacna para facilitar el flujo del tránsito y reducir la congestión, ayudando a disminuir las emisiones contaminantes.

5.2. Prueba de Hipótesis

5.2.1. Existe una correlación positiva significativa entre las concentraciones de CO y NO₂ y la intensidad del tránsito vehicular

La investigación revela una correlación positiva significativa entre las concentraciones de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) y la intensidad del tránsito vehicular en las proximidades de los centros educativos del Cercado de Tacna. Este hallazgo implica que a medida que aumenta el número de vehículos en circulación, también se incrementan las concentraciones de estos contaminantes atmosféricos.

Los datos recopilados muestran que las zonas con mayor densidad de tráfico presentan niveles más elevados de CO y NO₂, lo cual es consistente con estudios previos que documentan cómo las emisiones de los vehículos son una fuente primaria de estos contaminantes. La relación directa observada destaca la necesidad de implementar estrategias de gestión del tráfico y control de emisiones vehiculares para mitigar los efectos adversos de la contaminación del aire en áreas urbanas.

Estos resultados subrayan la importancia de monitorear continuamente la calidad del aire en zonas con alto tráfico vehicular, especialmente cerca de centros educativos donde la exposición a contaminantes puede tener efectos perjudiciales en la salud de niños y adolescentes. Las medidas de mitigación, como la promoción del transporte público y el uso de vehículos menos contaminantes, son esenciales para reducir la concentración de CO y NO₂ y mejorar la calidad del aire en estas áreas.

En resumen, la correlación positiva significativa entre las concentraciones de CO y NO₂ y la intensidad del tránsito vehicular refuerza la necesidad de políticas y acciones enfocadas en reducir las emisiones provenientes del tráfico para proteger la salud pública y el medio ambiente.

CONCLUSIONES

Se evaluaron las concentraciones de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) debido al tránsito vehicular en la proximidad a centros educativos en el Cercado de Tacna. Los resultados obtenidos revelan que los niveles de exposición a ambos contaminantes se mantienen dentro de rangos aceptables según los estándares establecidos, sugiriendo un ambiente relativamente saludable en estas zonas en términos de calidad del aire.

Se midieron las concentraciones de CO y NO₂ en puntos de monitoreo cercanos a los centros educativos seleccionados, cumpliendo con la normativa vigente. Los datos obtenidos permiten una evaluación precisa de la calidad del aire en estas áreas. Las concentraciones de CO fueron de 1303,77 µg/m³, 1311,82 µg/m³ y 1306,68 µg/m³ en el centro educativo Fe y Alegría y de 1304,43 µg/m³, 1312,02 µg/m³ y 1303,98 µg/m³ en el centro educativo Modesto Basadre. Mientras que para el NO₂ las concentraciones fueron 86,92 µg/m³, 87,45 µg/m³ y 87,11 µg/m³ en el centro educativo Fe y Alegría y de 86,96 µg/m³, 87,47 µg/m³ y 86,93 µg/m³ en el centro educativo Modesto Basadre.

Se analizó la relación entre las concentraciones de CO y NO₂ y la cantidad de tránsito vehicular, recopilando datos sobre la cantidad de vehículos en el área de estudio y correlacionándolos con los niveles de contaminación. Se observó una relación significativa entre ambas variables, mostrando que a medida que aumenta la cantidad de tránsito vehicular, también aumentan las concentraciones de CO y NO₂.

Se compararon las concentraciones de CO y NO₂ obtenidas con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire, encontrándose dentro de los valores aceptables según las normativas nacionales. Este cumplimiento indica que las regulaciones ambientales vigentes se están respetando en las áreas de estudio. No obstante, es fundamental mantener una vigilancia continua y adoptar medidas preventivas para asegurar que los niveles de contaminación se mantengan dentro de niveles óptimos y se proteja la salud pública y el medio ambiente.

Se propuso diversas medidas de control y estrategias de mitigación para reducir las concentraciones de CO y NO₂ en las proximidades de los centros educativos en el Cercado de Tacna. Entre estas medidas se incluyen la promoción del uso de transporte

público y no motorizado, mejoras en la infraestructura vial para reducir la congestión del tráfico y la educación sobre la importancia de la calidad del aire y las prácticas sostenibles.

RECOMENDACIONES

En cuanto a las zonas de baja emisión, el Gobierno Regional y la Municipalidad Provincial de Tacna, en coordinación con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), deben diseñar una red de ciclovías y caminos peatonales interconectados que fomenten el uso de bicicletas y reduzcan la dependencia del uso de automóviles. También, el Gobierno Regional y la Municipalidad Provincial de Tacna deben identificar y transformar terrenos disponibles en áreas verdes para mejorar la calidad del aire y proporcionar espacios recreativos. Además, deben incentivar a la instalación de jardines verticales y techos verdes mediante incentivos para viviendas, edificios residenciales y comerciales.

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), en coordinación con la Municipalidad Provincial de Tacna, debe instalar estaciones de monitoreo con capacidad para medir una amplia gama de contaminantes y proporcionar datos en tiempo real accesibles al público. La integración de estos datos en plataformas de visualización permitirá a las autoridades y al público monitorear la calidad del aire fácilmente.

Para proteger la salud de los estudiantes, los centros educativos, en coordinación con la Municipalidad Provincial de Tacna, deben realizar un diagnóstico de las escuelas cercanas a áreas de alto tránsito y establecer sistemas de filtración de aire donde sea necesario.

En el ámbito de las políticas de reducción de emisiones, el Ministerio del Ambiente (MINAM) y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) deben trabajar en conjunto para promover la adopción de tecnologías de transporte limpio mediante subvenciones y créditos fiscales para vehículos eléctricos y sistemas de transporte público menos contaminantes. Además, deben implementar políticas para la renovación del parque automotor, promoviendo la sustitución de vehículos viejos por modelos más eficientes y menos contaminantes.

Finalmente, el Ministerio del Ambiente (MINAM), en coordinación con el Ministerio de Educación (MINEDU), debe desarrollar mejores estrategias de concientización y distribuir material educativo sobre la calidad del aire y las acciones individuales para mejorarla. También, deben organizar eventos y talleres educativos en escuelas y

comunidades para aumentar la conciencia sobre la importancia de la calidad del aire y cómo cada persona puede contribuir a su mejora.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, S. F. (2019). *Propuesta de un plan ambiental para el monitoreo y mitigación del material particulado PM10, del ruido y de los gases CO, CO2, SOx y NOx, para mejorar la calidad del aire en el Malecón de Atrique al servicio del Perú, Arica - 2015*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann] http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/3717/212_2019_aguilarr_monterrey_sf_espg_maestria_ambiental.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aguirre, J. M. (2021). *Determinación de la concentración de monóxido de carbono, en zonas de alta congestión vehicular en el distrito de Ilo, 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Moquegua]. <https://repositorio.unam.edu.pe/communities/733ba4d7-a995-4eca-b698-8ede62f34798>
- Aljofi, H. E. (2022). The effects of traffic air pollution in and around schools on executive function and academic performance in children: A rapid review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(2), 749. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020749>
- ATSDR. (Junio de 2012). *Resumen de salud pública: Monóxido de Carbono*. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs201.pdf
- Bank, W. (2020). *New Project to Support the Improvement of Air Quality and the Fight Against Climate Change in Greater Cairo*. worldbank.org
- Caminos et al., J. (2007). *Calidad de aire en la ciudad de Santa Fe*. http://www.edutecne.utn.edu.ar/monografias/calidad_aire_Santa_Fe.pdf
- D.S. N.° 10-2019-MINAM. (2 de Noviembre de 2019). Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/363557-10-2019-minam>
- De la Cruz et al., F. (Junio de 2011). La dispersión atmosférica de contaminantes en una zona industrial de Cuba. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 8. <http://revista.cnice.edu.cu/revistaCQ/articulos/la-dispersi%C3%B3n-atmosf%C3%A9rica-decontaminantes-en-una-zona-industrial-de-cuba>
- Demografico, M. P. (2017). *Evaluación de la Calidad del Aire en España*. <https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/calidad-y-evaluacion->

ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/informeevaluacioncalidadaireespana2017_tcm30-481655.pdf

- Envira Ingenieros Asesores , E. (13 de Mayo de 2021). *Modelos de dispersión Atmosférica: qué son y cuál es su objetivo*: <https://envira.es/es/modelos-de-dispersion-atmosferica/>
- EPA. (2017). Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems: Volume II - Ambient Air Quality Monitoring Program. *United States Environmental Protection Agency*. https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/final_handbook_document_1_17.pdf
- EPA. (11 de Diciembre de 2023). *Monóxido de Carbono. Agencia de Protección Ambiental*: <https://espanol.epa.gov/cai/monoxido-de-carbono>
- Flores, J. A. (2017). Evaluación de la calidad de aire por NO₂ en estaciones de servicio por unidades de transporte pesado en las ciudades de la banda de Shilcayo, Tarapoto y Morales. [Tesis de pregrado, Universidad Alas Peruanas]. https://repositorio.uap.edu.pe/jspui/bitstream/20.500.12990/3814/1/Tesis_Evaluaci%C3%B3n_Calidad_Aire.pdf
- García , A. E. (2019). Evaluación de la concentración de CO, NO₂ y SO₂ en el aire por tráfico vehicular en el distrito de Morales, 2018. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2608/Antony_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gómez, J. A. (2017). *El Papel de la Reforestación Urbana en la Mejora de la Calidad del Aire: Estudio de Caso en Bogotá*. [Tesis de maestría, Universidad de los Andes]. Repositorio Digital.
- González, F. V. (2019). *Contaminación Atmosférica: Conceptos, causas, efectos, control. España: Editorial Acribia S.A.* https://www.editorialacribia.com/libro/contaminacion-atmosferica_88755/
- Gutiérrez et al., A. (2018). Exposición ambiental a dióxido de nitrógeno y salud respiratoria a los 2 años en la Cohorte INMA-Valencia. *Gaceta Sanitaria*, 32(6). <https://dx.doi.org/10.1016/j.gaceta.2017.05.012>
- Hernández, A. L. (2021). *Implementación de Sistemas de Monitoreo de Calidad del Aire en Zonas Urbanas y su Impacto en Políticas Públicas*. [Tesis de maestría, Universidad de Barcelona]. Repositorio de Tesis Digitales.

- Johnson, D. R. (2018). *Air Filtration Systems in Schools: Impact on Indoor Air Quality and Student Health*. [Tesis de doctorado, University of Michigan]. Deep Blue Repositories.
- Kim, J. S. (2017). *Impact of Traffic Management Strategies on Air Quality in Urban Areas*. [Tesis de maestría, Universidad de California]. ProQuest Dissertations Publishing.
- Li, Y. (2020). *Green Urban Spaces and Their Role in Air Quality Improvement*. [Tesis de doctorado, University of Sydney]. Sydney eScholarship Repository.
- López, G. (2009). *El dióxido de nitrógeno como contaminante. Santa Fe , Argentina : El Cid* Editor.
https://catalogo.upc.edu.pe/discovery/fulldisplay?docid=alma991167803203391&context=L&vid=51UPC_INST:51UPC_INST&lang=es&search_scope=Recurso_electronico&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=004RecursoElectronico&query=sub,exact,%20Oxides%20&offset=40
- Malagón, M. D. (2011). *Medio ambiente y contaminación. Principios basicos. Perú: 1era edición*.
<https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio%20Ambiente%20y%20Contaminaci%F3n.%20Principios%20b%20E1sicos.pdf;jsessionid=EA40B4B5000E684BC8F0A14D3D9A12F8?sequence=6>
- Martín, A. F. (2019). *Movilidad Urbana Sostenible y Acción Administrativa. España: Thomson Reuters Aranzadi*.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=740915>
- Martinez, L. P. (2019). *Promoción del Uso de Bicicletas y Transporte Público para la Reducción de Emisiones de CO2 en Ciudades Latinoamericanas*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional.
- MINAM. (2021). Límite Maximo Permisible (LMP).
<https://infoaireperu.minam.gob.pe/limite-maximo-permisible-Imp/#:~:text=El%20L%C3%ADmite%20M%C3%A1ximo%20Permisible%20%E2%80%93%20LMP,bienestar%20humano%20y%20al%20ambiente.>
- Ministerio del Ambiente , M. (2010). *Viceministro de Gestion Ambiental - Direccion General de Calidad Ambiental . Guia De Evaluacion De Riesgos Ambientales :*
https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/guia_riesgos_ambientales.pdf

- Mundial, B. (2019). *Reducing Air Pollution Through Improved Transport Policies*. .
<https://www.worldbank.org/en/topic/transport/publication/reducing-air-pollution>
- N°181-2016-MINAM, R. M. (14 de Julio de 2016). Ministerio del Ambiente. Obtenido de
<https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/RM-N%C2%B0-181-2016-MINAM.pdf>
- OMS. (2018). Ambient (outdoor) air quality and health. World Health Organization. Obtenido de [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- OMS. (2019). *Calidad del aire. Oficina Regional para las Américas de la Organización Mundial de la Salud*: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
- ONU. (2017). *La organización de las Naciones Unidas. Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano* : <https://www.un.org/es/about-us>
- ONU. (2023). *Naciones Unidas. Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano*. <https://www.un.org/es/about-us>
- Organizacion de las Naciones Unidas, O. (04 de Abril de 2022). *Naciones Unidas*. <https://news.un.org/es/story/2022/04/1506592>
- Méndez et al. , F. (2001). *Daños a la salud por Contaminacion atmosferica*. Toluca, México: IMSS.
- Rodríguez, E. V. (2016). *Políticas de Reducción de Emisiones Vehiculares y su Implementación en Ciudades Europeas*. [Tesis de maestría, Universidad de Sevilla]. Repositorio Institucional.
- S. Muñoz, J. S. (2021). Contaminación ambiental producida por el transito vehicular y sus efectos en la salud humana: revision de la literatura. Perú: Corporación Univeritaria Minuto de Dios - *UNIMINUTO*, 16(30). <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.16.30.2021.20-30>
- S.A.C., E. (2010). *Manual de operaciones Tren de Muestreo Isocinetico TM-100D7G*. <https://www.enviro.com.pe/web/hadmin/images/manual%20tren%20de%20muestreo%20TM100D7G.pdf>
- Samuel Ponce de León Rosales, T. F. (2017). *Efectos de la contaminación atmosferica en la salud. Mexico: Programa Universitario de Investigación en Salud*. <https://www.libros.unam.mx/efectos-de-la-contaminacion-atmosferica-en-la-salud-9786078341573-libro.html>

- Sanidad, M. d. (2019). *Impacto sobre la salud de la calidad del aire en España*. .
https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/PLAN_AIRE_Medida_5_19_12_27.pdf
- SENAMHI. (2019). *Monitoreo de la Calidad del Aire en Lima Metropolitana*. Lima, Perú.
https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/350/Vigilancia-calidad-aire-Lima-Metropolitana_Nov-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Tapia et al. , V. (2018). Reordenamiento vehicular y contaminación ambiental por material particulado (2,5 y 10), dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en Lima Metropolitana, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 35(2), <http://dx.doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3250>
- UGEL. (2022). *Ubicación de instituciones educativas de la UGEL Tacna*. .
https://www.ugeltacna.gob.pe/resources/image/documentos/UBICACION_iee.pdf
- UNECE. (2021). *Transport*. United Nations Economic Commission for Europe.
<https://unece.org/transport>
- UNICEF. (2022). *Calidad del aire: ¡Es el momento de actuar!*
<https://www.unicef.org/lac/media/27856/file/Calidad-del-aire-es-el-momento-de-actuar.pdf>
- Vargas et al. , S. (29 de Enero de 2008). *Contaminación atmosférica y efectos respiratorios en niños, en mujeres embarazadas y en adultos mayores*.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262008000100006
- Vargas, J. (2017). *Polución, smog y contaminación*. Mexico: Monte de Venus.
- Vargas, J. D. (2014). *Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generados en un ambiente de tráfico vehicular*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1872/T01-S33-T.pdf;jsessionid=8CDF60C57BFF0487BB371BB3617B2DD0?sequence=1>
- Wang, L. (2019). *Effectiveness of Vehicle Emission Reduction Policies in Beijing: A Comparative Study*. [Tesis de doctorado, Tsinghua University]. CNKI Dissertations Database.

- Whiteman, C. D. (2014). Relationship between particulate air pollution and meteorological variables in Utah's Salt Lake Valley. *Atmospheric Environment*, 94, 742 - 753. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.06.012>
- WHO. (2022). *Air pollution*. World Health Organization. <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>
- Zamora et al. , A. (2012). Efecto de la contaminación por hidrocarburos sobre algunas propiedades químicas y microbiológicas de un suelo de sabana. *Bioagro*, 24(1). https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612012000100002
- Zubizarreta Solá et al. , A. (2018). Revisión de la literatura sobre efectos nocivos de la exposición laboral a hidrocarburos en trabajadores en ambiente externo. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 64(252). https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2018000300271

ANEXOS

Anexo 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicador	Metodología
<p>Problema general</p> <p>¿Cuál es la concentración de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) debido al tránsito vehicular en la proximidad a centros educativos del Cercado de Tacna?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Evaluar la concentración de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) debido al tránsito vehicular en la proximidad a centros educativos – Cercado de Tacna.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>La concentración de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) debido al tránsito vehicular en la proximidad de los centros educativos del Cercado de Tacna supera los estándares de calidad del aire.</p>	<p>Variable dependiente</p> <p>- Gases .</p>	<p>- Concentración de CO en el equipo de tren de muestreo.</p> <p>- Concentración de NO₂ en el equipo de tren de muestreo.</p>	<p>Tipo de investigación:</p> <p>- Investigación aplicada o tecnológica, en la cual se hace uso de herramientas (Equipo de Tren de muestreo), así como técnicas ya conocidas (Manual de uso del equipo y normativa).</p> <p>Nivel de investigación:</p> <p>- Descriptivo</p>
<p>Problemas específicos</p> <p>a. ¿Cuáles son las concentraciones de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) en los centros educativos seleccionados del Cercado de Tacna?</p> <p>b. ¿Qué relación existe entre las concentraciones de CO y NO₂ y el tránsito vehicular en la proximidad de estos centros educativos?</p> <p>c. ¿Cumplen las concentraciones de CO y NO₂ en estas áreas con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire?</p> <p>d. ¿Qué estrategias de mitigación se pueden implementar para reducir la exposición a CO y NO₂ en los centros educativos del Cercado de Tacna?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>a. Medir las concentraciones de CO y NO₂ alrededor de los centros educativos seleccionados, siguiendo la normativa vigente.</p> <p>b. Analizar la relación entre las concentraciones de CO y NO₂ y el tránsito vehicular.</p> <p>c. Comparar los niveles de concentración de CO y NO₂ con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire, evaluando su cumplimiento.</p> <p>d. Proponer medidas de mitigación para reducir las concentraciones de CO y NO₂ en los centros educativos evaluados.</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>a. Las concentraciones de CO y NO₂ en los puntos monitoreados alrededor de los centros educativos cumplen con la normativa vigente.</p> <p>b. Existe una correlación positiva significativa entre la cantidad de tránsito vehicular y las concentraciones de CO y NO₂ alrededor de los centros educativos.</p> <p>c. Las concentraciones de CO y NO₂ en la proximidad a los centros educativos no superan los niveles permitidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire.</p> <p>d. La implementación de medidas de mitigación basadas en los resultados obtenidos reducirá significativamente las concentraciones de CO y NO₂ en los alrededores de los centros educativos evaluados.</p>	<p>Variable independiente</p> <p>- Tránsito vehicular</p>	<p>- Cantidad de vehículos por hora en cada punto de muestreo.</p>	<p>Diseño de investigación</p> <p>- El diseño de la investigación es de tipo no experimental, ya que al tener las variables definidas no se realiza una manipulación de estas, solo se observa el fenómeno o el problema.</p>

Anexo 2. Panel Fotográfico

Fotografía 1. Instalación y configuración del equipo a inmediaciones de la IE Modesto Basadre – Av. Hipólito Unanue



Fotografía 2. Configuración del equipo a inmediaciones de la IE Fe y Alegría – Av. Industrial



Fotografía 3. Soluciones captadoras



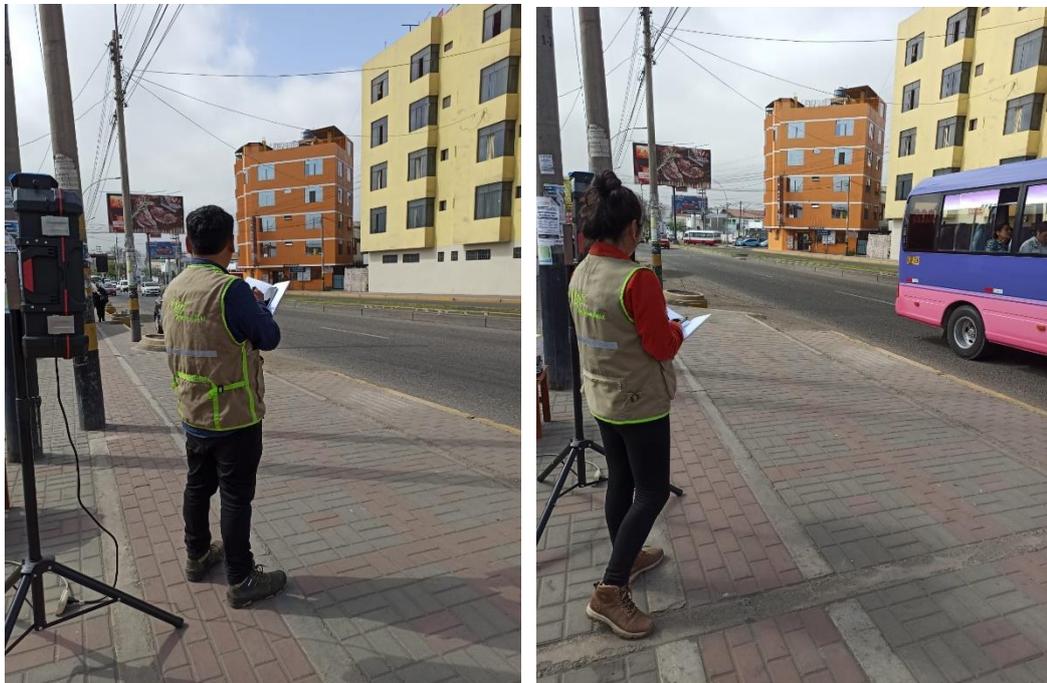
Fotografía 4. Instalación del equipo y de los impingers a inmediaciones de la IE Modesto Basadre – Av. Hipólito Unanue



Fotografía 5. Retiro de los impingers y guardado de muestras para el análisis.



Fotografía 6. Recuento de vehículos a fin de determinar los puntos con mayor flujo vehicular



Anexo 3. Informe de ensayo N°1



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-22644

N° Id.: 0000090809

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: CRISTIAN JORGE CHURA FLORES
2.-DIRECCIÓN	: P. J. LEONCIO PRADO, CALLE 8 DE OCTUBRE, #1520
3.-PROYECTO	: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CO Y NO2 DEBIDO AL TRÁNSITO VEHICULAR, EN LA PROXIMIDAD A CENTROS EDUCATIVOS - CERCADO DE TACNA
4.-PROCEDENCIA	: DISTRITO TACNA, PROV. TACNA
5.-SOLICITANTE	: EL CLIENTE
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000005297-2023-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-10-19

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Solución Captadora
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 4
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-10-14
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2023-10-14 al 2023-10-19

Liz Y. Quispe Quispe
Jefe de Laboratorio
 CIP N° 211662



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el contenido del ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0756
 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA

Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0636
 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA

COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
 Arequipa
 Telf.: (+054) 616 843
 Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA

Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
 Castilla - Piura
 Telf.: (+073) 542 335
 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 1 de 3

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-22644

N° Id.: 000090809

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Dióxido de Nitrógeno - Solucion captadora ²	ASTM D1607-91 (2018)e1. Does not include Sampling (Validated, 2022).	Standard test method for nitrogen dioxide content of the atmosphere. (Griess-Saltzman reaction)
Monóxido de Carbono ²	Peter O. Warner, "Analysis of Air Pollutants" Ed. Spanish 1981, Chap. 3, p. 121-122. Does Not Include Sampling (Validated, 2022).	Determination of Carbon Monoxide in the atmosphere. Method 4: Carboxybenzene sulfonamide.

ASTM: American Society for Testing Materials

² Ensayo acreditado por el IAS

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0756
 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA

Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0636
 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA

COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
 Arequipa
 Telf.: (+054) 616 843
 Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA

Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
 Castilla - Piura
 Telf.: (+073) 542 335
 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 2 de 3

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-22644

N° Id.: 000090809

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-70588	M-23-70589	M-23-70590	M-23-70591			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	E1P1	E1P1	E2P1	E2P1			
COORDENADAS:	E:0366931	E:0366931	E:0366951	E:0366951			
UTM WGS 84:	N:8008992	N:8008992	N:8008777	N:8008777			
PRODUCTO:	Solución Captadora	Solución Captadora	Solución Captadora	Solución Captadora			
SUB PRODUCTO:	Solución Captadora	Solución Captadora	Solución Captadora	Solución Captadora			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	12-10-2023 07:00	12-10-2023 07:00	13-10-2023 07:00	13-10-2023 07:00			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	12-10-2023 15:00	12-10-2023 08:00	13-10-2023 15:00	13-10-2023 08:00			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Dióxido de Nitrógeno - Solucion captadora ²	µg /Muestra	1,0	2,5	-	<2,5	-	<2,5
Monóxido de Carbono ²	µg /Muestra	120	300	<300	-	<300	-

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

 **SEDE PRINCIPAL**
 Av. Guardia Chalaca N° 1877,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0756
 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

 **SEDE ZARUMILLA**
 Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0636
 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

 **SEDE AREQUIPA**
 COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
 Arequipa
 Telf.: (+054) 616 843
 Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

 **SEDE PIURA**
 Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
 Castilla - Piura
 Telf.: (+073) 542 335
 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pag.3 de 3

Anexo 4. Informe de ensayo N°2



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-23193

N° Id.: 0000091358

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: CRISTIAN JORGE CHURA FLORES
2.-DIRECCIÓN	: P.J. LEONCIO PRADO, CALLE 8 DE OCTUBRE, #1520
3.-PROYECTO	: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CO Y NO2 DEBIDO AL TRÁNSITO VEHICULAR, EN LA PROXIMIDAD A CENTROS EDUCATIVOS - CERCADO DE TACNA
4.-PROCEDENCIA	: DISTRITO TACNA, PROVINCIA DE TACNA
5.-SOLICITANTE	: EL CLIENTE
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000005297-2023-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-10-26

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Solución Captadora
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 2
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-10-20
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2023-10-20 al 2023-10-26

Liz Y. Quispe Quispe
Jefe de Laboratorio
 CIP N° 211662



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el presente informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0756
 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA

Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0636
 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA

COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
 Arequipa
 Telf.: (+054) 616 843
 Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA

Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
 Castilla - Piura
 Telf.: (+073) 542 335
 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág.1 de 3

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-23193

N° Id.: 0000091358

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Dióxido de Nitrógeno - Solucion captadora ²	ASTM D1607-91 (2018)e1. Does not include Sampling (Validated, 2022).	Standard test method for nitrogen dioxide content of the atmosphere. (Griess-Saltzman reaction)
Monóxido de Carbono ²	Peter O. Warner, "Analysis of Air Pollutants" Ed. Spanish 1981, Chap. 3, p. 121-122. Does Not Include Sampling (Validated, 2022).	Determination of Carbon Monoxide in the atmosphere. Method 4: Carboxybenzene sulfonamide.

"ASTM": American Society for Testing Materials

² Ensayo acreditado por el IAS

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0756
 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA

Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0636
 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA

COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
 Arequipa
 Telf.: (+054) 616 843
 Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA

Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
 Castilla - Piura
 Telf.: (+073) 542 335
 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 2 de 3

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-23193

N° Id.: 000091358

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-72084	M-23-72085			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	E1P1	E2P2			
COORDENADAS:	E:0366931	E:0366951			
UTM WGS 84:	N:8008992	N:8008777			
PRODUCTO:	Solución Captadora	Solución Captadora			
SUB PRODUCTO:	Solución Captadora	Solución Captadora			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA				
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	18-10-2023 07:00	19-10-2023 07:00			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	18-10-2023 15:00	19-10-2023 15:00			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Dióxido de Nitrógeno - Solución captadora ²	µg /Muestra	1,0	2,5	<2,5	<2,5
Monóxido de Carbono ²	µg /Muestra	120	300	<300	<300

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 3 de 3

Anexo 5. Informe de ensayo N°3



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-23681

N° Id.: 000091846

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: CRISTIAN JORGE CHURA FLORES
2.-DIRECCIÓN	: P.J. LEONCIO PRADO, CALLE 8 DE OCTUBRE, #1520
3.-PROYECTO	: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CO Y NO2 DEBIDO AL TRÁNSITO VEHICULAR, EN LA PROXIMIDAD A CENTROS EDUCATIVOS - CERCADO DE TACNA
4.-PROCEDENCIA	: DISTRITO TACNA, PROVINCIA DE TACNA
5.-SOLICITANTE	: EL CLIENTE
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000005297-2023-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-11-02

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Solución Captadora
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 4
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-10-26
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2023-10-26 al 2023-11-02

Liz Y. Quispe Quispe
Jefe de Laboratorio
 CIP N° 211662



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el presente informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

📍 **SEDE PRINCIPAL**
 Av. Guardia Chalaca N° 1877,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0756
 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

📍 **SEDE ZARUMILLA**
 Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0636
 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

📍 **SEDE AREQUIPA**
 COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
 Arequipa
 Telf.: (+054) 616 843
 Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

📍 **SEDE PIURA**
 Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
 Castilla - Piura
 Telf.: (+073) 542 335
 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 1 de 3

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-23681

N° Id.: 0000091846

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Dióxido de Nitrógeno - Solucion captadora ²	ASTM D1607-91 (2018)e1. Does not include Sampling (Validated, 2022).	Standard test method for nitrogen dioxide content of the atmosphere. (Griess-Saltzman reaction)
Monóxido de Carbono ²	Peter O. Warner, "Analysis of Air Pollutants" Ed. Spanish 1981, Chap. 3, p. 121-122. Does Not Include Sampling (Validated, 2022).	Determination of Carbon Monoxide in the atmosphere. Method 4: Carboxybenzene sulfonamide.

"ASTM": American Society for Testing Materials

² Ensayo acreditado por el IAS

📍 SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0756
 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

📍 SEDE ZARUMILLA

Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0636
 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

📍 SEDE AREQUIPA

COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
 Arequipa
 Telf.: (+054) 616 843
 Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

📍 SEDE PIURA

Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
 Castilla - Piura
 Telf.: (+073) 542 335
 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-23681

N° Id.: 0000091846

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-73651	M-23-73652	M-23-73653	M-23-73654			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	E1P3	E1P3	E2P3	E2P3			
COORDENADAS:	E:0366931	E:0366931	E:0366951	E:0366951			
UTM WGS 84:	N:8008992	N:8008992	N:8008777	N:8008777			
PRODUCTO:	Solución Captadora	Solución Captadora	Solución Captadora	Solución Captadora			
SUB PRODUCTO:	Solución Captadora	Solución Captadora	Solución Captadora	Solución Captadora			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	24-10-2023 07:00	24-10-2023 07:00	25-10-2023 07:00	25-10-2023 07:00			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	24-10-2023 15:00	24-10-2023 08:00	25-10-2023 15:00	25-10-2023 08:00			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Dióxido de Nitrógeno - Solución captadora ²	µg /Muestra	1,0	2,5	-	<2,5	-	<2,5
Monóxido de Carbono ²	µg /Muestra	120	300	<300	-	<300	-

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

 **SEDE PRINCIPAL**
 Av. Guardia Chalaca N° 1877,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0756
 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

 **SEDE ZARUMILLA**
 Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0636
 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

 **SEDE AREQUIPA**
 COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
 Arequipa
 Telf.: (+054) 616 843
 Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

 **SEDE PIURA**
 Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
 Castilla - Piura
 Telf.: (+073) 542 335
 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 3 de 3

