

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



**TESIS**

**“EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO Y  
CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO POR EL  
FLUJO DE TRÁNSITO VEHICULAR EN LA I.E.I. SANTA  
ÚRSULA, TACNA – 2023”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. BRIAYAN RENSO MAMANI VARGAS**

**Bach. STEPHANO EDUARDO UGARTE LANCHIPA**

**TACNA – PERÚ**

**2024**

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

**TESIS**

**“EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO Y  
CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO POR EL  
FLUJO DE TRÁNSITO VEHICULAR EN LA I.E.I. SANTA  
ÚRSULA, TACNA – 2023”**

**Tesis sustentada y aprobada el 9 de julio de 2024; estando el jurado calificador integrado por:**

**PRESIDENTE : Mtra. MILAGROS HERRERA REJAS**

**SECRETARIO : M Sc. MARISOL MENDOZA AQUINO**

**VOCAL : Dr. RICHARD SABINO LAZO RAMOS**

**ASESOR : Ing. CARMEN ROSA ROMÁN ARCE**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Briayan Renso Mamani Vargas y Stephano Eduardo Ugarte Lanchipa, egresados, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 70337691 y 72489783 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 titulada: *Evaluación de los niveles de ruido y concentración de material particulado por el flujo de tránsito vehicular en la I.E.I. Santa Úrsula, Tacna – 2023*, 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.

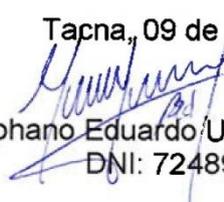
En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

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, 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.

  
Briayan Renso Mamani Vargas  
DNI: 70337691



Tacna, 09 de julio del 2024  
  
Stephano Eduardo Ugarte Lanchipa  
DNI: 72489783

Carmen Rosa Román Arce  
DNI: 42316863

## DEDICATORIA

A mi querida mamá, quien siempre creyó en mí y me alentó a perseguir mis sueños. Tu amor incondicional es mi mayor fortaleza y esta tesis es un tributo a tu dedicación y sacrificio.

A mi abuela y abuelo, fuentes de sabiduría y ejemplo de bondad. Sus enseñanzas perduran en mi corazón y guían mis pasos en este camino académico.

A mi tía, cuyo cariño y apoyo fueron un faro en los momentos difíciles. Tu ausencia física se siente, pero tu legado de amor perdura y me impulsa a alcanzar nuevas metas.

Briayan Renso Mamani Vargas

A mi madre Rosa María, gracias por tu apoyo incondicional y amor infinito, la luz que me ha guiado.

A mi padre Stephen Alexander, has sido mi héroe, mentor e inspiración. Gracias por creer en mí y alentarme a alcanzar mis sueños.

A mis hermanos Stephen Luciano y Gracia Constanza, cada logro lo hago pensando en ustedes, con el deseo de ser un ejemplo positivo.

A mis abuelos Rosa, Enide, José y Wilber; gracias por sus palabras de aliento, consejos sabios y amor incondicional. Su apoyo ha sido el motor de mis sueños.

A mi familia Ugarte Dávila y Lanchipa Ramos, cada uno de ustedes ha sido una pieza fundamental en mi historia, llenando mi camino de amor y apoyo.

A mis amistades, más que amigos, compañeros de aventuras, confidentes y pilares en los momentos difíciles.

A María Del Rosario Ramos Espinoza, fuiste más que un familiar, una madre, consejera e inspiración. Tu amor y ejemplo me guían incluso en tu ausencia.

Por último, dedico este logro al pequeño Red de hace algunos años, aquel que por momentos pensó que no podía salir adelante y que todo estaba cuesta arriba, lo logramos.

Stephano Eduardo Ugarte Lanchipa

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, deseamos expresar nuestro agradecimiento a Dios por haber hecho posible nuestro camino hasta este punto.

Extendemos nuestro reconocimiento a la Universidad Privada de Tacna, nuestra casa de estudios, por brindarnos el entorno propicio para nuestro desarrollo académico.

Agradecemos profundamente a nuestra directora de escuela y a todos los docentes que nos han acompañado a lo largo de estos 5 años de estudios, por compartir sus conocimientos y por su constante apoyo.

Queremos reconocer también a nuestros amigos y compañeros, cuyas ocurrencias y buenos momentos han enriquecido nuestra experiencia universitaria.

Un agradecimiento especial a nuestra asesora, la Ing. Carmen Román Arce, por su inestimable paciencia y su contribución fundamental en la realización y culminación de nuestra tesis.

Briayan Renso Mamani Vargas y Stephano Eduardo Ugarte Lanchipa

## ÍNDICE GENERAL

PAGINA DE JURADOS.....	II
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	VI
RESUMEN .....	XIII
ABSTRACT .....	XIV
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 Específicas.....	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.2. Bases Teóricas.....	11
2.2.1. Ruido .....	11
2.2.2. Efectos de la exposición al ruido.....	12
2.2.3. Factores relacionados .....	13
2.2.4. Estándares de calidad para ruido .....	13
2.2.5. Monitoreo del ruido .....	14
2.2.6. Calidad del aire.....	14
2.2.7. Fuentes móviles de emisión .....	15
2.2.8. Material particulado .....	15
2.2.9. Estándares de calidad para aire .....	15
2.2.10. Monitoreo de PM <sub>10</sub> .....	16
2.3. Definición de términos .....	17
2.3.1. Contaminación sonora.....	17

2.3.2. Ruido .....	17
2.3.3. Ruido ambiental.....	17
2.3.4. Sonómetro integrador .....	17
2.3.5. Monitoreo .....	17
2.3.6. Material Particulado (PM) .....	17
2.3.7. Método Gravimétrico .....	17
2.3.8. Estándar de Calidad del Aire .....	18
2.3.9. Fuentes Móviles.....	18
2.3.10. Nivel Referencial.....	18
2.3.11. Organización Mundial de la Salud .....	18
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO .....	19
3.1. Diseño de la investigación .....	19
3.2. Acciones y actividades.....	19
3.2.1. Descripción del área de estudio.....	19
3.2.2. Meteorología.....	20
3.2.3. Flujo de Tránsito Vehicular .....	22
3.2.4. Niveles de Ruido.....	22
3.2.5. Material Particulado PM <sub>10</sub> .....	26
3.3. Materiales y/o instrumentos .....	32
3.3.1. Materiales .....	32
3.3.2. Equipos .....	32
3.4. Población y/o muestra de estudio .....	32
3.5. Operacionalización de variables .....	33
3.6. Procesamiento y análisis de datos.....	33
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	35
4.1. Monitoreo realizado .....	35
4.2. Flujo vehicular .....	35
4.3. Ruido .....	36
4.4. Material particulado PM <sub>10</sub> .....	36
4.5. Propuesta de acciones de mejora.....	37
4.5.1. Objetivos de la propuesta de acciones de mejora.....	37
4.5.2. Acciones de Mejora de la Calidad de Ruido.....	37
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....	40
5.1. Flujo vehicular en la I.E.I. Santa .....	40
5.2. Nivel de ruido por flujo de tránsito vehicular en la I.E.I. Santa .....	40
5.3. Concentración de PM <sub>10</sub> por flujo de tránsito vehicular.....	42
CONCLUSIONES .....	46

RECOMENDACIONES .....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estándar de calidad para material particulado .....	16
Tabla 2. Condiciones Meteorológicas durante los monitoreos en la estación E1 .....	21
Tabla 3. Ubicación del punto de monitoreo de ruido.....	23
Tabla 4. Número mínimo de estaciones de monitoreo de calidad del aire .....	26
Tabla 5. Ubicación del punto de muestreo de PM <sub>10</sub> .....	26
Tabla 6. Operacionalización de variables de investigación.....	33
Tabla 7. Conteo de flujo de tránsito vehicular en la I.E.I. Santa Úrsula.....	35
Tabla 8. Nivel de Ruido por flujo de tránsito vehicular .....	36
Tabla 9. Concentraciones de Material Particulado (PM <sub>10</sub> ) en la I.E.I. Santa Úrsula ...	37

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Clasificación de la zona de estudio según el PDU de Tacna 2015 – 2025..	19
Figura 2. Ubicación de la zona de estudio.....	20
Figura 3. Rosa de Vientos, dirección y velocidad en el monitoreo de la estación E1 .	21
Figura 4. Registro de Flujo Vehicular.....	22
Figura 5. Diagrama de Flujo del Monitoreo de ruido .....	25
Figura 6. Monitoreos de ruido.....	25
Figura 7. Diagrama de Flujo del Monitoreo de PM <sub>10</sub> .....	28
Figura 8. Muestreo de la concentración de PM <sub>10</sub> .....	28
Figura 9. Diagrama de Flujo del análisis de muestras de PM <sub>10</sub> .....	31
Figura 10. Pesaje de los filtros muestreados en la estación E2.....	31
Figura 11. Registro de Flujo Vehicular en la Estación E1 .....	61
Figura 12. Verificación inicial del estado del Sonómetro.....	61
Figura 13. Desmontaje del HiVol del muestreo de la estación E1.....	62
Figura 14. Pesaje de los filtros muestreados en la estación E1 .....	62

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Matriz de Consistencia .....	55
Anexo 2. Formato de registro de flujo de tránsito vehicular .....	56
Anexo 3. Certificado de calibración del Sonómetro .....	57
Anexo 4. Certificado de calibración del calibrador del sonómetro.....	58
Anexo 5. Procedimiento de corrección de datos por sonido residual.....	59
Anexo 6. Formato de campo para muestreo de Material Particulado .....	60
Anexo 7. Panel fotográfico .....	61

## RESUMEN

Se evaluó semanalmente los niveles de ruido y concentración de material particulado ( $PM_{10}$ ) generados por el flujo de tránsito vehicular de la avenida Bolognesi en la Institución Educativa Inicial (I.E.I.) Santa Úrsula. En cuanto a la metodología; el monitoreo de ruido se basó en la NTP ISO 1996-2:2021 Acústica - Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental - Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental, que indica las consideraciones adecuadas para la medición de ruido, se utilizó un sonómetro clase 1 para medir el nivel de ruido durante 30 min en horarios de mayor flujo vehicular; en cuanto al monitoreo material particulado se basó en el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire (Decreto Supremo N.º 010-2019-MINAM, 2019), se empleó un muestreador de alto volumen (High-Volume Sampler - HiVol) para la toma de muestras diarias cada 6 días durante un mes, la concentración de  $PM_{10}$  se determinó en laboratorio. Los resultados obtenidos en la estación E1, el flujo vehicular promedio fue de 304 vehículos por hora, el nivel de ruido promedio de 66,7 dB y la concentración promedio de  $PM_{10}$  de 59,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se concluye que el nivel de ruido supera hasta en 1,3 veces los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido establecidos en el Decreto Supremo N.º 085-2003-PCM (50 dB). Si bien la concentración de  $PM_{10}$  no superó el límite establecido en los Estándares de Calidad del Aire establecidos en el Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM (100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), sí excedió los valores recomendados por la OMS (45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) hasta en 1,3 veces. Se concluye que el flujo de tránsito vehicular en la zona genera niveles de ruido y concentraciones de  $PM_{10}$  que pueden afectar la salud y el bienestar de la comunidad educativa.

**Palabras clave:** Estándar de Calidad Ambiental; flujo de tránsito vehicular; material particulado; ruido.

## ABSTRACT

The noise levels and concentration of particulate matter ( $PM_{10}$ ) generated by the flow of vehicular traffic on Bolognesi Avenue at the Santa Ursula Initial Educational Institution (I.E.I.) were evaluated weekly. Regarding the methodology; noise monitoring was based on the NTP ISO 1996-2:2021 Acoustics - Description, measurement and evaluation of environmental noise - Part 2: Determination of environmental noise levels, which indicates the appropriate considerations for noise measurement, a class 1 sound level meter was used to measure the noise level for 30 min at times of increased vehicular flow; as for particulate matter monitoring was based on the National Protocol for Monitoring of Environmental Air Quality (Supreme Decree N. ° 010-2019-MINAM, 2019), a high volume sampler (High-Volume Sampler - HiVol) was used for daily sampling every 6 days for a month,  $PM_{10}$  concentration was determined in laboratory. The results obtained at station E1, the average vehicle flow was 304 vehicles per hour, the average noise level was 66,7 dB and the average  $PM_{10}$  concentration was 59,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . It is concluded that the noise level exceeds by up to 1,3 times the National Environmental Quality Standards for Noise established in Supreme Decree No. 085-2003-PCM (50 dB). Although the  $PM_{10}$  concentration did not exceed the limit established in the Air Quality Standards established in Supreme Decree No. 003-2017-MINAM (100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), it did exceed the values recommended by the WHO (45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) by up to 1,3 times. It is concluded that the flow of vehicular traffic in the area generates noise levels and  $PM_{10}$  concentrations that may affect the health and well-being of the educational community.

**Keywords:** Environmental Quality Standard, vehicular traffic flow, particulate matter, noise.

## INTRODUCCIÓN

El mundo presencia un aumento exponencial en el número de vehículos, lo que genera un incremento en los niveles de ruido del tráfico, convirtiéndose en un problema ambiental generalizado y perjudicial en las zonas urbanas. Este ruido, complejo por naturaleza, depende de diversos factores, desde el ruido individual de cada vehículo hasta las características de la carretera y el volumen de tráfico (D. Singh et al., 2016). Diversos estudios han demostrado que los altos niveles de ruido afectan la salud y el bienestar de la sociedad, teniendo un impacto directo e indirecto en actividades como la educación, especialmente en aquellos que viven cerca de autopistas y vías urbanas (Banerjee, 2012; Farghaly et al., 2019; Jiménez-Uribe et al., 2020; Ouis, 2002)

El transporte por carretera, además de ser la principal fuente de ruido urbano, demanda grandes cantidades de combustible, convirtiéndolo en el segundo sector responsable de la emisión de gases peligrosos a nivel mundial (Farghaly et al., 2019; Jiménez-Uribe et al., 2020; V. Singh et al., 2020). El aumento del volumen de tráfico suele correlacionarse con niveles elevados de contaminantes atmosféricos, incluyendo material particulado (PM<sub>10</sub>) (Jeong et al., 2023). Las emisiones de PM<sub>10</sub> en carretera pueden provenir del escape del vehículo, del desgaste de neumáticos y frenos, y se ven afectadas por parámetros como el estado de la carretera, la velocidad del vehículo, variables climáticas y el volumen de tráfico (Amato et al., 2011; V. Singh et al., 2020). La exposición a la contaminación por PM<sub>10</sub> tiene efectos sobre la salud tanto a corto como a largo plazo (Jeong et al., 2023; V. Singh et al., 2020).

El Ministerio del Ambiente (MINAM) ha identificado Zonas de Atención Prioritaria (ZAP) en todo el Perú, áreas críticas en términos de contaminación del aire, donde se requiere una gestión más rigurosa de la calidad del aire debido a su vulnerabilidad y a los altos niveles de contaminación. En el entorno urbano de Tacna, la presencia del tránsito vehicular plantea un desafío ambiental significativo, especialmente en áreas cercanas a centros educativos. Dada la susceptibilidad de los niños a los efectos de la contaminación atmosférica, la evaluación de la calidad del aire en estas áreas, especialmente cerca de instituciones educativas como la I.E.I. Santa Úrsula, es fundamental para comprender y mitigar los riesgos para la salud de los estudiantes y el personal.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar los niveles de ruido y concentración de material particulado generados por el flujo de tránsito vehicular en la I.E.I. Santa Úrsula. Se busca determinar el impacto de esta actividad en

la calidad del aire e identificar posibles medidas preventivas para mitigar estos efectos negativos.

Por tanto, este estudio no solo contribuirá al conocimiento científico sobre la contaminación ambiental en entornos escolares, sino que también proporcionará información relevante para la toma de decisiones a nivel institucional y político, con el objetivo de promover ambientes educativos más saludables y seguros para la comunidad educativa de Tacna.

## CAPÍTULO I. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Descripción del problema

La I.E.I. Santa Úrsula, centro educativo de niños pequeños de entre 1 a 5 años según datos de Estadística en Calidad Educativa - ESCALE (2023), que se encuentran etapas importantes de su desarrollo, se enfrentan a un desafío ambiental cada vez más preocupante: la contaminación generada por el tránsito vehicular. Este tránsito de vehículos genera una serie de contaminantes ambientales, entre los que destacan el ruido y el material particulado  $PM_{10}$ . Estos contaminantes pueden tener efectos nocivos en la salud física y mental de los niños, afectando su desarrollo cognitivo, su bienestar y su rendimiento académico (US EPA, 2018).

El elevado número de vehículos ha disparado los niveles de ruido hasta niveles alarmantes, afectando directamente la salud de los habitantes, incluyendo a las futuras generaciones (Paulino & Turpin, 2022). Dado que las emisiones de material particulado, en gran parte provenientes de la combustión de diésel en los vehículos, son especialmente preocupantes en las inmediaciones de vías con alto flujo vehicular.

Tacna se encuentra calificada como una Zona de Atención Prioritaria (ZAP) en el ámbito geográfico de la cuenca atmosférica de la provincia, que son áreas críticas debido a la contaminación del aire que superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) o presentan un riesgo significativo para la salud y el medio ambiente. En así que, Miranda y Merma (2017) encontraron concentraciones de  $PM_{10}$  de  $44 \mu g/m^3$ ,  $62 \mu g/m^3$  y  $38 \mu g/m^3$ , si bien no superan los ECA de Aire, sí exceden los estándares recomendados por la OMS. Estas concentraciones, especialmente elevadas en vías con alto tráfico vehicular, son uno de los principales factores de contaminación del aire en la ciudad. A pesar del cambio en el sistema de transporte público y en la calidad de los combustibles, la situación persiste. Estos hallazgos resaltan la necesidad de evaluar la calidad del aire en la I.E.I. Santa Úrsula, considerando su ubicación en una ZAP y la vulnerabilidad de la población infantil a los efectos de la contaminación ambiental.

La evaluación de los niveles de ruido y concentración de  $PM_{10}$  en la I.E.I. Santa Úrsula es fundamental para comprender la magnitud del problema y tomar medidas correctivas para proteger el entorno educativo de la comunidad escolar. Esta evaluación no solo contribuirá al conocimiento científico sobre la contaminación ambiental en entornos escolares, sino que también proporcionará información relevante para la toma de decisiones a nivel institucional y político, con el objetivo de promover ambientes educativos más saludables y seguros para la comunidad educativa de Tacna.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cuáles son los niveles de ruido y concentración de material particulado por el flujo de tránsito vehicular en la I.E.I. Santa Úrsula?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- a. ¿Cuál es el flujo vehicular en la I.E.I. Santa Úrsula?
- b. ¿Cuál es el nivel de ruido por el tránsito vehicular?
- c. ¿Cuál es el nivel de concentración de material particulado por el tránsito vehicular?

## **1.3 Justificación e Importancia**

La realización de este proyecto de investigación resulta fundamental para evaluar directamente cómo el ruido y las partículas provenientes del tráfico vehicular inciden en la salud de los estudiantes de la I.E.I. Santa Úrsula en Tacna, Perú. Esta comprensión es esencial para desarrollar estrategias preventivas que protejan la salud y el bienestar de los niños, especialmente considerando su susceptibilidad ante la contaminación ambiental. Además, identificar el impacto que tienen los entornos con altos niveles de ruido y contaminación en el desempeño académico es importante para implementar medidas que mejoren su proceso de aprendizaje. Estos descubrimientos respaldarán decisiones tomadas a nivel institucional y político local, orientadas a generar ambientes educativos más saludables.

La importancia de la investigación presentada aborda una serie de dimensiones sociales fundamentales. Al evaluar los impactos del tránsito vehicular en la salud de los estudiantes, se reconoce la vulnerabilidad de los niños a los efectos adversos de la contaminación atmosférica y acústica. Esta exposición constante puede influir directamente en su bienestar diario, afectando la calidad de vida, la concentración y el comportamiento (US EPA, 2018). El proyecto también considera el aspecto socioemocional, reconociendo que el entorno escolar, afectado por el ruido y los contaminantes, puede influir en el desarrollo interpersonal y cognitivo de los niños. Además, se destaca la importancia de abordar la equidad en la educación, ya que la calidad del entorno escolar puede variar según la ubicación geográfica, lo que destaca la necesidad de garantizar igualdad de oportunidades para todos los estudiantes.

La evaluación de la concentración de material particulado en el aire proporciona información valiosa acerca de la calidad atmosférica en los alrededores del jardín de niños. Estos contaminantes atmosféricos no solo inciden en la salud de los estudiantes,

sino que también generan consecuencias a largo plazo para el entorno, contribuyendo a la degradación de la calidad del aire y afectando la biodiversidad local.

Este proyecto también contribuye significativamente a la conciencia ambiental al resaltar los impactos del tránsito vehicular en un entorno educativo. Al identificar y documentar los niveles de contaminantes atmosféricos y ruido, se proporciona evidencia tangible de cómo las actividades humanas, específicamente el tráfico vehicular, tienen un impacto negativo en el medio ambiente local.

Además, la investigación podría suministrar información valiosa para abogar por cambios en las políticas de movilidad urbana y en la planificación del transporte, fomentando enfoques más sostenibles. Esto podría incluir la promoción del transporte público, el estímulo al uso de vehículos eléctricos y la implementación de medidas para reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Evaluar los niveles de ruido y concentración de material particulado por el tránsito vehicular en la I.E.I. Santa Úrsula.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- a. Medir el tránsito vehicular a inmediaciones de la I.E.I. Santa Úrsula.
- b. Medir los niveles de ruido a consecuencia del tránsito vehicular.
- c. Medir la concentración de material particulado a consecuencia del tránsito vehicular.
- d. Comparar los niveles de ruido y concentración de material particulado ( $PM_{10}$ ) obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) nacionales y los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

## **1.5 Hipótesis**

### **1.5.1 Hipótesis General**

Existen altos niveles de ruido y concentración de material particulado por el flujo de tránsito vehicular en la I.E.I. Santa Úrsula.

### **1.5.2 Hipótesis Específicas**

- a. Existe un alto flujo vehicular a inmediaciones del I.E.I. Santa Úrsula.
- b. Los niveles de niveles de ruido a consecuencia del tránsito vehicular no cumplen los estándares de calidad ambiental para ruido.

- c. La concentración de material particulado a consecuencia del tránsito vehicular no cumple los estándares de calidad ambiental para aire.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la investigación

El estudio de Carpio (2023), analizó a concentración de partículas  $PM_{10}$  en interiores de viviendas y centros comerciales del Cercado de Arequipa, y su relación con la salud de la población. La metodología empleó 08 puntos de monitoreo divididos en viviendas y centros comerciales, incluyendo Zonas de Protección Especial, considerando características como el alto tráfico vehicular, la densidad poblacional y variables meteorológicas. Los resultados se compararon con los Estándares de Calidad del Aire (ECA) establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM y con el Índice de Calidad del Aire (INCA) definido en la Resolución Ministerial N° 181-2016-MINAM, con el objetivo de informar a la población sobre la situación actual de la calidad del aire. Se registraron valores mínimos de  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y máximos de  $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , concluye que en los 08 puntos de monitoreo no se superó los ECA de aire para  $PM_{10}$ , obtuvo además que la calidad del aire estaba entre buena y moderada, finalmente indica de acuerdo a las encuestas realizadas revelaron una correlación significativa entre la concentración de  $PM_{10}$  y la presencia de problemas de salud en la población.

La investigación de Torres (2022) evaluó la concentración de  $PM_{10}$  en el distrito de Juliaca. La metodología empleada consistió en la realización de 03 monitoreos en puntos con un nivel alto de tráfico de vehículos. El muestreo se realizó utilizando un muestreador de alto volumen (High-Volume Sampler - HiVol) y la concentración de  $PM_{10}$  se determinó por el método gravimétrico. Obtuvo concentraciones mínimas de  $127 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y máximas de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Concluye que estos resultados superaron los Estándares de Calidad del Aire (ECA) establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM y los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), además el autor concluye que la exposición a estas concentraciones de  $PM_{10}$  podría tener efectos adversos en la salud de la población, ocasionando graves padecimientos.

Paulino y Turpin (2022) investigaron la relación entre el ruido ambiental y la percepción auditiva en la Av. Abancay, Lima. En 05 puntos de monitoreo, se midieron los niveles de ruido siguiendo el Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental durante siete días a la semana y en dos turnos de mayor tráfico vehicular. Para evaluar la percepción auditiva, se encuestó a 385 personas que frecuentan la zona, utilizando la escala de Likert. Los niveles promedio de presión sonora equivalente ( $LA_{eqT}$ ) oscilaron entre 74,4 dBA y 90,6 dBA, dependiendo del punto de monitoreo y el turno. Los resultados revelaron que el ruido ambiental en la Av. Abancay supera los límites

máximos permisibles establecidos por la normativa peruana. La encuesta mostró que el 95% de los encuestados perciben el ruido como un problema y el 78% considera que afecta negativamente su salud auditiva. La tesis concluye que existe una relación significativa y positiva entre el ruido ambiental y la percepción auditiva en la Av. Abancay. El ruido excesivo genera molestias, afecta la salud auditiva y tiene un impacto negativo en la calidad de vida de quienes frecuentan la zona.

Fernández (2022) en su investigación determinó la influencia la contaminación auditiva generada por el tráfico de vehículos en el grado de estrés de los habitantes y trabajadores de la Av. Bolognesi en el distrito de Tacna. Realizó una investigación básica y no experimental, que incluye el monitoreo en 06 puntos claves de esta zona ubicada en el centro de Tacna, en donde evaluó el nivel de ruido producido a raíz de los vehículos, se realizó conforme a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para ruido en áreas de comercio durante las horas diurnas, según lo establece en el Decreto Supremo N° 085-2003-PCM (2003). Paralelamente, llevó a cabo una encuesta dirigida a 385 individuos con el objetivo de determinar el nivel de estrés percibido. Concluye que la constancia del ruido a raíz de los vehículos incide directamente en los niveles de estrés de los pobladores; además en las 06 zonas donde realizó los monitoreos de ruido (LAeqT) se superó el límite establecido de 70 dB por los ECA; también encontró que el 62,6% de los pobladores que habitaban o realizaban labores en esta zona específica manifestaron niveles elevados de estrés; y finalmente la correlación significativa de la contaminación por ruido generada por el tráfico vehicular y el impacto notable en los niveles de estrés de los individuos que residen o trabajan en la Avenida Bolognesi.

Alhuay (2021) evaluó los efectos de la contaminación por ruido y el impacto en la comunidad del Distrito de Andahuaylas, Apurímac. Llevó a cabo mediciones en más de 40 puntos estratégicos, ubicados en la intersección de calles dentro del área de investigación durante los horarios diurnos y nocturnos. Las mediciones se realizaron con 01 sonómetro tipo 1 con su debida calibración vigente. La zona de estudio abarcó áreas residenciales y comerciales para su constatación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido (Decreto Supremo N° 085-2003 –PCM), considerando su carácter de zona mixta. Para realizar la medición del nivel de ruido, aplicó 02 normativas: NTP-1996-1:2007 y NTP 1996-2:2008. publicadas por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. Además, realizó encuestas aleatorias a 96 individuos a fin de determinar la percepción del nivel de ruido en la población. El resultado de la medición indica que el 84% de los puntos evaluados durante el día y el 20% durante la noche superan los Estándares de calidad Ambiental para Ruido. Además, identificó la fuente principal de ruido es generada a raíz del tráfico vehicular, congestión, el uso masivo de bocinas y diversas actividades de comercio. En

relación a las encuestas, la mayoría de los participantes mencionaron la presencia de ruido molesto que afecta tanto el bienestar físico como mental. El análisis estadístico confirmó que la contaminación por ruido tiene un impacto significativo en los pobladores del distrito de Andahuaylas. Hay una relación directa y notable: a mayor contaminación sonora, mayor impacto en los pobladores.

Motocanche (2019) evaluó la influencia de las condiciones meteorológicas en la dispersión de las concentraciones de material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  durante la construcción del Hospital Hipólito Unanue en Tacna, Perú, entre junio y septiembre de 2018. Su metodología, basada en el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire (Decreto Supremo N.º 010-2019-MINAM), incluyó la instalación de 02 estaciones de monitoreo en el sitio, que midieron concentraciones de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento. Los resultados revelaron variaciones significativas en las concentraciones de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  durante el período de estudio. Los valores más altos de  $PM_{10}$  se registraron en junio ( $97,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y agosto ( $113,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mientras que las concentraciones máximas de  $PM_{2.5}$  se observaron en julio y agosto. El estudio concluyó que la concentración de  $PM_{10}$  en agosto superó el Estándar de Calidad del Aire (ECA) establecido en el Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y excedió en todos los registros el valor guía de la OMS de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En cuanto a la relación entre contaminantes y variables meteorológicas, se encontró una correlación positiva entre  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  con la temperatura y la velocidad del viento, mientras que la correlación con la humedad relativa fue negativa.

Vargas (2019) realizó un diagnóstico ambiental de ruido en zonas comerciales e industriales de la provincia de Tacna, entre agosto y octubre de 2018. La metodología implicó el monitoreo de los niveles de presión sonora en 22 puntos estratégicos de la zona comercial (enfocados en el flujo vehicular) y 16 puntos en la zona industrial. Además, se aplicaron encuestas en las principales vías comerciales para conocer la percepción del ruido por parte de la población. Los datos recopilados se procesaron y se generaron mapas acústicos utilizando ArcGIS. Los resultados revelaron que los niveles promedio de presión sonora en la zona comercial superaron los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido (ECA Ruido), oscilando entre 71,2 dBA y 75,8 dBA. En la zona industrial, los niveles promedio también excedieron los ECA Ruido, con valores entre 62,5 dBA y 86,2 dBA. Los mapas acústicos identificaron las principales calles y avenidas comerciales, así como las zonas industriales de los distritos Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa y Alto de la Alianza, como las áreas con mayor concentración de ruido. Las encuestas expusieron un conocimiento limitado de la población sobre la contaminación por ruido y sus efectos en la salud.

En la investigación de Miranda y Merma (2017) evaluaron la concentración de polvo atmosférico sedimentable (PAS) y lo relacionaron con material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en el departamento de Tacna. En la metodología empleada proponen 08 estaciones de muestreo, por el método de método de muestreo pasivo de PAS, de las cuales determinaron 03 puntos de mayor concentración de PAS, en las cuales realizaron el monitoreo automático de la concentración de  $PM_{10}$  con la ayuda de una estación móvil o monitor automático llamado TEOM. Concluyen que los valores obtenidos de PAS superan en  $0,57 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$  los valores guía de la OMS y que esta relacionados directamente con las condiciones meteorológicas, donde a mayor concentración de PAS es mayor la velocidad del viento. además, concluyen que en los puntos de monitoreo automático (Salud Leoncio Prado, Centro de Postgrado de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann y SERPOST) las concentraciones de  $PM_{10}$  fueron  $44 \mu\text{g/m}^3$ ,  $62 \mu\text{g/m}^3$  y  $38 \mu\text{g/m}^3$ , no superan los ECA de Aire, pero si los estándares recomendados por la OMS. Finalmente, encontraron que las condiciones meteorológicas de velocidad de viento contribuyen al transporte de material particulado en el sentido Suroeste – Noreste (SO – NE).

Vásconez y Pila (2017) en su proyecto de investigación tuvieron como propósito evaluar cómo el desarrollo de actividad de ocio y entretenimiento por partes de las personas contribuyen al incremento de los niveles de ruido en la zona urbana de "La Mariscal" en la ciudad de Quito. En la metodología, emplearon un software donde se realizó la simulación del aumento de ruido por parte del tráfico como herramienta principal para la modelación de los niveles de contaminación sonora, dado que esta es la principal fuente de perturbación ambiental en esta área. Determinaron zonas de medición a corto plazo y otros en los que el sonómetro funcionó por 15 horas seguidas, con el fin de confirmar y ajustar el modelo, obteniendo así un mapa de ruido que reflejó con precisión la realidad urbana. Luego de identificado el nivel de contaminación por ruido generado a raíz del flujo vehicular, dieron continuación a las mediciones directas de la contaminación generada por bares, restaurantes y discotecas en la zona, para evaluar su contribución al entorno sonoro. Determinaron que las actividades nocturnas de ocio incrementan en un 20% el nivel de contaminación acústica, superando los límites legales establecidos para los distintos tipos de uso del suelo.

Paredes (2015) en su investigación buscó determinar la concentración de material particulado  $PM_{10}$  en zonas de alto tránsito vehicular en Morales, San Martín, durante mayo, agosto y noviembre de 2015. Se seleccionaron tres puntos de monitoreo y se empleó el método gravimétrico de referencia durante 24 horas en cada punto y mes. Los resultados arrojaron concentraciones promedio de  $PM_{10}$  de 163,89, 116,66 y  $89,81 \mu\text{g/m}^3$ , respectivamente. En dos puntos, las concentraciones superaron los

Estándares de Calidad del Aire (ECA) para  $PM_{10}$  establecidos por el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM). Se concluye que la calidad del aire en dos de las zonas evaluadas es deficiente debido a las elevadas concentraciones de  $PM_{10}$ , influenciadas por el alto flujo vehicular y condiciones ambientales como la velocidad del viento. Los puntos de monitoreo registraron un promedio de 1208, 1292 y 1026 vehículos por hora en horas pico. Y concluye en la implementación de medidas como el monitoreo, la limpieza de vías, el mantenimiento del drenaje, el asfaltado, la construcción de infraestructura peatonal y la creación de áreas verdes, permitirán controlar la concentración de material particulado  $PM_{10}$  y mejorar la calidad del aire.

Mosqueda (2015) valuó la calidad del aire y sus efectos en la salud en el distrito de Manantay, Ucayali, centrándose en el material particulado ( $PM_{10}$ ) en un tramo de la Av. Túpac Amaru. En la metodología se emplearon muestreadores de alto volumen (High-Volume Sampler ) para recolectar muestras de aire durante 30 días en tres puntos, las cuales se analizaron gravimétricamente para determinar la concentración de  $PM_{10}$ . Paralelamente, se aplicaron encuestas a los residentes para conocer su percepción sobre la calidad del aire y los efectos en la salud que atribuyen a la contaminación. Los resultados revelaron concentraciones promedio de  $PM_{10}$  que superaron ampliamente los límites establecidos por el Decreto Supremo N° 009-2003-SA, alcanzando valores de 629,04, 658,69 y 870,42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en los tres puntos de monitoreo, respectivamente. Estas cifras ubican a la zona en un nivel de alerta de Emergencia por contaminación del aire. En consonancia con los datos del monitoreo, las encuestas reflejaron la percepción de los residentes sobre la mala calidad del aire y los problemas de salud que experimentan, como molestias, desespero, aburrimiento, agotamiento, ardor de ojos y tos.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Ruido**

Se usan las palabras sonido y ruido imparcialmente en acústica, electrónica y física, pero tienen relaciones diferentes cuando se aplican al oyente. El sonido es complejo de entender, es intangible, son vibraciones que viajan a través del aire y pueden escucharse cuando llegan a los oídos del oyente (Lucic, 2009).

El ruido por otro lado es el sonido no deseado, desagradable, que distrae o es no significativo, es decir cuando excede los valores recomendados y se transforma en fuente contaminable que puede afectar en gran medida el bienestar de la población, la continua exposición a niveles considerables de ruido produce efectos negativos afectando la fisiología, cognición, psicología y hasta causar pérdida de audición. (Erickson y Newman, 2017; Figueroa et al., 2012; Kanakri et al., 2017; Vizcarra, 2022)

Dos factores principales interactúan para predecir los impactos del ruido en el proceso de aprendizaje y el bienestar: el tipo de ruido (ruido del habla o ruido del habla mezclado con ruido del tráfico) y su intensidad; esta última se muestra en decibelios (dB) y se registra con sonómetros (Massonnié, 2020).

Existen valores indicativos de la intensidad del sonido de diferentes actividades y situaciones (Massonnié, 2020). Los sonidos por encima de 70-80 dB son especialmente agotadores, dolorosos o irritantes. En promedio, los niños de las escuelas primarias están expuestos a 72 dB de ruido (Shield y Dockrell, 2008).

Los niveles de ruido tienden a aumentar y esto se puede notar principalmente en ciudades con gran concentración de personas, así como consecuencia del incremento del parque automotor, Lima es un claro ejemplo de ello (Mamani, 2019).

El ruido analizado desde el ámbito de la salud ambiental es una cuestión trascendental, la OMS considera que la contaminación por ruido afecta alrededor de 350 millones de personas en todo el mundo y la Unión Europea considera la afectación aproximadamente es de 100 millones de personas (Maldonado, 2005).

### **2.2.2 Efectos de la exposición al ruido**

El ruido en el aula puede afectar los resultados de aprendizaje al perjudicar la comunicación entre docentes y alumnos, interfiriendo con el desempeño de las tareas de los niños (Massonnié, 2020). Uno de los efectos más severos en términos de rendimiento del ruido es la disrupción por su capacidad involuntaria de llamar la atención, es decir, crea un déficit de atención, además de aumentar la probabilidad de error, inexactitud en respuestas, ansiedad y cansancio (Vizcarra, 2022).

Muchas personas aún desconocen los efectos del ruido y creen que los estudiantes y los niños pueden adaptarse al nivel de ruido diario a los que se encuentran expuestos. La OMS ha documentado ampliamente los efectos del ruido excesivo en el desempeño de los alumnos en las escuelas (Zannin et al., 2012). Entre los efectos documentados se encuentran: aprendizaje lento del idioma, dificultad en el lenguaje oral y escrito, limitaciones en las habilidades de lectura y problemas con la composición del vocabulario (Wiese, 2018).

Según la OMS (2015) citado por Mamani (2019), ha clasificado categorías para los efectos provocados por la contaminación acústica que daña la salud de las personas: pérdida de audición, complicaciones al percibir el habla, alteración del sueño, complicaciones cardiovasculares y en la salud mental, deterioro del rendimiento, conducta antisocial y negativas en el reaccionar.

### **2.2.3 Factores relacionados**

La infraestructura de una institución educativa necesita ciertos requisitos como la micro localización, antiguamente los colegios se ubicaban en lugares tranquilos y de poco ruido, actualmente por el crecimiento urbano, la ubicación de los colegios se da en zonas donde hay contaminación incluyendo la sonora (Arias, 2009). Las propiedades de la infraestructura influye mucho en la atenuación del ruido, y el aislamiento está relacionado al ancho de las paredes (Miyara, 2012).

Actualmente, existen muchas fuentes potenciales de ruido donde se evidencia afectación a los centros educativos. La fuente más significativa es el tráfico vehicular, debido a la proximidad de las instituciones educativas a calles, avenidas o arterias de la zona. Otra fuente a tener en consideración, es el ruido que se genera en los centros educativos, como los que se producen durante el receso, la actividad física, entre otros talleres (Quevedo, 2003).

### **2.2.4 Estándares de calidad para ruido**

Un adecuado control y vigilancia de los niveles de ruido se hace a través de monitoreos y el uso de estándares de calidad que son objetivos de la política ambiental local e internacional, así como la cantidad de ruido a la que pueden estar expuestos los niños en sus aulas, por ejemplo, en Inglaterra y Norte América, se recomienda un límite que no supere los 35 dB LAeq para 30 min (Acoustical Society of America, 2010; Education Funding Agency, 2014). Estas recomendaciones incluyen la cantidad de ruido externo que ingresa a los espacios de enseñanza (ruido del tráfico rodado), así como el ruido proveniente de elementos fijos del edificio (sistemas de ventilación, drenaje) (Massonnié, 2020).

En el Perú se tiene como normativa vigente los Estándares de Calidad Ambiental para Ruido establecidos en el Decreto Supremo N°085-2003-PCM, donde se da lineamientos para cuatro zonificaciones de aplicación: zonificación de protección especial, residencial, comercial e industrial. Para la presente investigación se resalta la zonificación de protección especial, puesto que estas están clasificadas como zonas de gran sensibilidad acústica y comprende entre otros centros de educación. Es así que, en una zona de protección especial, el nivel de ruido no debe superar los 50 dB durante horario diurno y 40 dB en horario nocturno (Decreto Supremo N°085-2003-PCM, 2003; Mamani, 2019).

### **2.2.5 Monitoreo del ruido**

La herramienta elemental usada en el monitoreo del ruido es el sonómetro, este instrumento cuantifica el sonido, es decir mide y expresa el ruido o sonido percibido, en valores cuantificables (Parrondo, 2006).

Según la Resolución Ministerial N.º227-2013-MINAM (2013), los niveles de presión sonora equivalente (Leq) es un nivel continuo que tiene la misma energía que el ruido medido. El Leq posibilita realizar los cálculos de muestras adquiridas en el transcurso del tiempo T para establecer un valor de nivel de presión sonora y su equivalente intervalo de confianza, en base a un valor determinado que se denomina: Nivel de presión sonora continua equivalente ponderado A (LAeq). Para hallar el Leq durante el transcurso de tiempo T, se debe tomar muestras con uso de dispositivos integrados conocidos como sonómetros de clase1 y clase2. La medición también puede establecer el nivel de presión sonora máxima (L<sub>máx</sub>) y mínima (L<sub>min</sub>) en el intervalo de tiempo determinado para la medición (Paulino y Turpin, 2022).

### **2.2.6 Calidad del aire**

Se ha demostrado que las partículas atmosféricas, especialmente las partículas antropogénicas secundarias, tienen un impacto importante en la salud humana. Se conoce como calidad de aire al grado de contaminación presente, el tipo y la concentración máxima de contaminantes producidos por el hombre que deberían estar permitidos en la atmósfera. El tipo y concentración máxima de cada contaminante que no se puede exceder durante un tiempo específico está prescrito por reglamentación y una buena gestión de la calidad del aire puede regular, planificar y trabajar para el cumplimiento de las metas y objetivos establecidos (Rivas, 2015).

Desde la revolución industrial y el consumo intensivo de combustibles fósiles para obtener energía, el equilibrio natural de aerosoles y contaminantes gaseosos en la atmósfera ha cambiado drásticamente. El Material Particulado (PM) afecta negativamente a los ecosistemas, da celeridad al daño de los materiales constructivos, reduce la visibilidad y tiene una importante influencia en el cambio climático (Peters, 1973; Rivas, 2015; World Bank, 1999).

Dada la complejidad de los componentes del MP, no es probable que surja una única causa o mecanismo. Los efectos negativos pueden ser muy diferentes en base al tamaño y la formación de las partículas (Valavanidis et al., 2008; WHO Regional Office for Europe, 2013). Wilson et al., (2005) describieron que las PM<sub>10</sub> (< 10 µm) influyen en el tracto respiratorio y pueden penetrar incluso en el sistema respiratorio inferior. La exposición a la contaminación del aire aumenta los casos de padecimientos pulmonares incluso generando mortalidad (Rivas, 2015).

### **2.2.7 Fuentes móviles de emisión**

Las fuentes más importantes de partículas no procedentes del escape son la abrasión de los frenos, los neumáticos y los componentes vehiculares de motor, así como la abrasión de la propia superficie de la carretera (Amato et al., 2009). Otra fuente no relacionada con el escape es la re suspensión de material previamente depositado en la superficie de la carretera debido a la turbulencia inducida por el vehículo, el cizallamiento de los neumáticos y la acción turbulenta del viento (Rivas, 2015).

El impacto que tienen las fuentes de emisión proveniente de las industrias (procesos metalúrgicos, producción de cemento y cerámica, entre otras) aún es perceptible en la calidad del aire en algunas zonas de urbe (Minguillón et al., 2012). Además, la emisión proveniente de la quema de biomásas residenciales, agrícolas y de incendios forestales, también pueden ser una fuente de Material Particulado en áreas urbanas (Viana et al., 2008). Otras emisiones domésticas y residenciales generalmente tienen una pequeña contribución a los niveles de MP en la escala urbana, y generalmente se incluyen en las contribuciones regionales de nitratos y sulfatos o en las contribuciones del tráfico (Rivas, 2015).

### **2.2.8 Material particulado**

Se le conoce al Material Particulado como el grupo de partículas que se encuentra suspendidas en el aire, las cuales consisten fundamentalmente en partículas de carbón no quemado, sulfatos, nitratos, amonio, cloro y partículas de metales como hierro, mercurio y plomo. Estas partículas son conocidas como  $PM_{10}$  y cuentan con un diámetro inferior a las 10 micras, las  $PM_{2.5}$  son partículas con diámetros inferiores a 2,5 micras (Paredes, 2015).

Estas partículas pueden ser sólidas o líquidas, orgánicas e inorgánicas, y su origen mayoritariamente es natural. Debido a su pequeño tamaño, estas partículas tienen una velocidad de sedimentación muy baja, lo que les permite mantenerse en el aire por mucho tiempo y lograr alcanzar distancias de hasta 30 millones con referencia a su lugar de emisión (Carpio, 2023; Paredes, 2015).

### **2.2.9 Estándares de calidad para aire**

En Perú, se encuentran vigentes leyes que supervisan la calidad del aire, siendo el Ministerio del Ambiente (MINAM) la entidad encargada de regular dichos estándares. El Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM establece el Estándar de Calidad Ambiental (Tabla 1), que detallan los parámetros reconocidos para el material particulado  $PM_{10}$ .

Este reglamento legal es la herramienta adecuada para llevar a cabo la gestión ambiental de manera efectiva (Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, 2017).

**Tabla 1**

*Estándar de calidad para material particulado*

<b>Parámetros</b>	<b>Período</b>	<b>Valor (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Criterios de evaluación</b>	<b>Método de análisis</b>
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras ( $\text{PM}_{10}$ )	24 horas	100	No exceder más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	

*Nota.* Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM (2017)

La Organización Mundial de la Salud (2021) recomienda un nivel de directriz de calidad del aire (AQG) para  $\text{PM}_{10}$  de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de media anual. Debido a que  $\text{PM}_{10}$  se compone en gran parte (50-80%) de  $\text{PM}_{2.5}$ , este nivel es menos protector que el nivel de AQG para  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cuando solo se dispone de mediciones de  $\text{PM}_{10}$ , se recomienda un nivel de AQG a corto plazo (24 horas) de  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , definido como el percentil 99 de la distribución anual de las concentraciones medias de 24 horas. Los países pueden utilizar estos niveles de AQG recomendados por la OMS como base para desarrollar sus propios estándares de calidad del aire legalmente exigibles. Estos estándares nacionales pueden ser más o menos estrictos que los niveles de la OMS, según las circunstancias específicas de cada país.

### **2.2.10 Monitoreo de $\text{PM}_{10}$**

La técnica de análisis empleada es la gravimetría, que se caracteriza por hacer pasar aire a través de un filtro en el cual se retiene el material particulado. Posterior a esto, se realiza el pesaje de las muestras, restando el peso del filtro. Al fraccionar según el caudal, se determina la concentración de  $\text{PM}_{10}$  (Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, 2017).

El muestreador de alto volumen (HiVol), se destaca como un instrumento amigable con la capacidad de proporcionar precisión en un radio de 100 metros, siempre y cuando se calibre, opere y mantenga adecuadamente. No requiere equipo adicional, como manómetros, orificios, etc., para determinar la tasa de flujo operativo (Mosqueda, 2015).

## **2.3 Definición de términos**

### **2.3.1 Contaminación sonora**

Se considera los sonidos que se despliegan de manera enérgica, y puede llegar a causar desagradados, que va desde incomodar hasta provocar problemas en la audición (Hernández y Gutiérrez, 2006).

### **2.3.2 Ruido**

Se le considera al ruido como un sonido no esperado, desagradable, que distrae o es no significativo, es decir cuando excede los valores recomendados y se transforma en una fuente de contaminación que puede afectar en gran medida el bienestar de las personas (Erickson y Newman, 2017).

### **2.3.3 Ruido ambiental**

Se le considera como el sonido proveniente del exterior principalmente por actividad de los humanos, como el transporte público, tráfico rodado, ferroviarios y aéreos, así como por emplazamiento de actividad industrial (Mamani, 2019).

### **2.3.4 Sonómetro integrador**

Son aquellos sonómetros que cuentan con la capacidad de medir los niveles continuos de LAeqT, que a su vez contemplan funciones para trasferir las muestras obtenidas a una computadora, cálculo de percentiles, y algunos análisis en frecuencia (Vargas, 2019).

### **2.3.5 Monitoreo**

Se le considera monitoreo al proceso metodológico creado para realizar el muestreo, análisis y procesamiento continuo las concentraciones de contaminantes del aire en un sitio y tiempo determinado (Motocanche, 2019).

### **2.3.6 Material Particulado (PM)**

Es una amalgama intrincada de productos biológicos y/o químicos, que pueden ser metálicos, compuestos orgánicos volátiles (COV), materiales carbonosos, endotoxinas e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), con capacidad para interactuar entre sí y dar forma otros compuestos químicos y/o biológicos (Billet et al., 2007).

### **2.3.7 Método Gravimétrico**

Se emplea una metodología cuantitativa analítica donde la definición de los componentes se logra mediante la diferencia del pesaje inicial y el final. El método

principal para determinar el nivel de PM<sub>10</sub> es por gravimetría. Este método implica la toma de muestras de aire a un caudal constante durante 24 horas, haciendo que el aire atraviese un filtro en el cual conserva el material particulado (Motocanche, 2019).

### **2.3.8 Estándar de Calidad del Aire**

Se define como la concentración máxima de una posible materia tóxica que se puede aceptar en algún elemento ambiental dentro de un periodo establecido (Motocanche, 2019).

### **2.3.9 Fuentes Móviles**

Son aquellas que intercambian lugar en referencia al tiempo y el entorno influido por las emisiones las cuales son catalogadas de superficie o lineal (Motocanche, 2019).

### **2.3.10 Nivel Referencial**

Es el valor que es empleado como antecedente al momento de comparar mediciones realizadas en una determinada zona con el fin de realizar una interpretación (Motocanche, 2019).

### **2.3.11 Organización Mundial de la Salud**

Las Directrices Mundiales de la OMS sobre la Calidad del Aire proporcionan recomendaciones a nivel mundial sobre los niveles de contaminantes atmosféricos que representan un riesgo para la salud. Estas directrices, basadas en evidencia científica y un proceso transparente, establecen valores límite para contaminantes específicos y metas intermedias para facilitar la reducción gradual de altas concentraciones a niveles más seguros (WHO Regional Office for Europe, 2013).

## CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 Diseño de la investigación

El diseño de investigación es no experimental, ya que se observó un fenómeno tal como se desarrolla el contexto natural, debido a la metodología de campo empleada y su posterior análisis en el laboratorio. En referencia a la toma de datos esta se desarrolló directamente en zonas las cuales suceden los fenómenos; es decir, se realizó una selección del área de intervención para su posterior monitoreo del flujo de tránsito vehicular, niveles de ruido y concentración de  $PM_{10}$ .

### 3.2 Acciones y actividades

#### 3.2.1 Descripción del área de estudio

Según el Plan de Desarrollo Urbano (PDU) de Tacna 2015 – 2025, la I.E.I. Santa Úrsula ubicada en la cuadra entre la Avenida Bolognesi y Avenida Basadre y Forero, corresponde a una Zona Complementaria de Comercio (Figura 1), al igual que las 19 zonas que colindan con la Av. Bolognesi, mientras que a espaldas de la zona de estudio y dentro de la misma cuadra se encuentran 32 Zonas Residenciales y una Zona Complementaria de Educación que no se encuentran afectada por una vía principal como lo es la Av. Bolognesi.

**Figura 1**

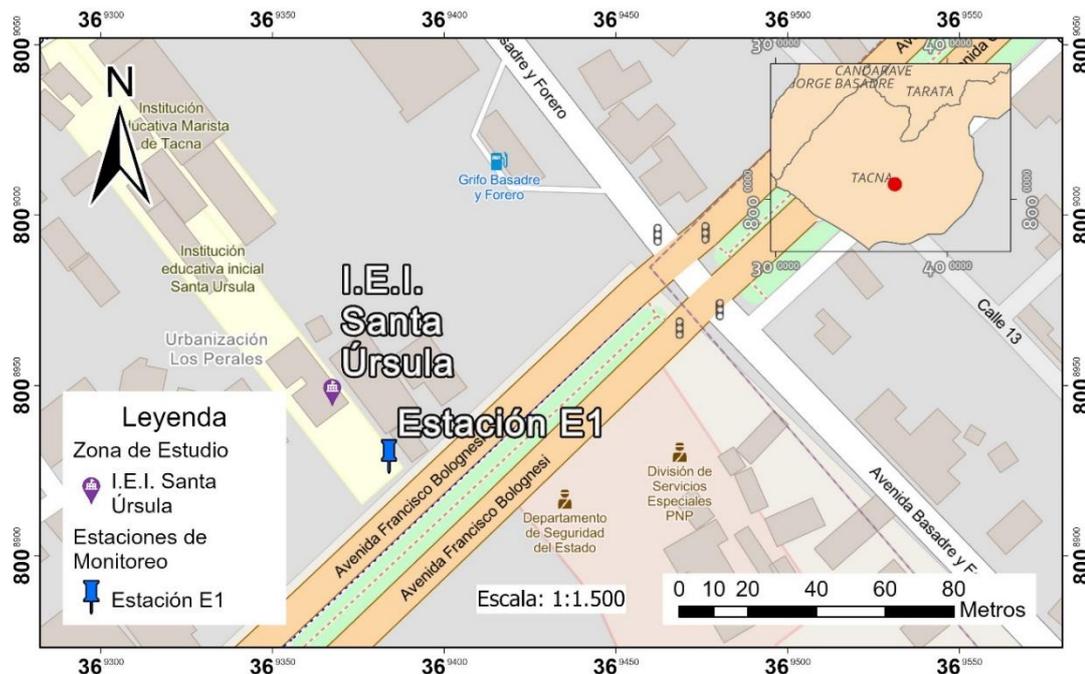
*Clasificación de la zona de estudio según el PDU de Tacna 2015 – 2025*



Teniendo en cuenta lo mencionado y puesto que la única fuente de contaminación en la zona de estudio es por fuentes móviles de la Av. Bolognesi, se evaluaron los niveles de ruido y concentración de material particulado. Además, considerando que la Av. Bolognesi es de doble vía, se instaló la Estación de monitoreo E1 como se observa en la Figura 2.

**Figura 2**

*Ubicación de la zona de estudio*



### 3.2.2 Meteorología

Para comprender el comportamiento de los contaminantes como el ruido y el material particulado  $PM_{10}$ , se hace necesario registrar los siguientes parámetros durante los monitoreos: temperatura ambiental, humedad relativa, velocidad del viento, dirección del viento, precipitación y presión atmosférica. Este registro se fundamenta en las recomendaciones establecidas en el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire (Decreto Supremo N.º 010-2019-MINAM, 2019), y aunque en la NTP ISO 1996-2:2021 no establece requisitos específicos para el monitoreo meteorológico. Sin embargo, reconoce la influencia de las condiciones meteorológicas en la propagación del sonido y, por lo tanto, en las mediciones de ruido ambiental.

Como se muestra en la Tabla 2, se registró las condiciones meteorológicas para los cinco monitoreos semanales realizados (M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5) en la estación E1 desde el 23 de noviembre al 21 de diciembre del 2023.

**Tabla 2**

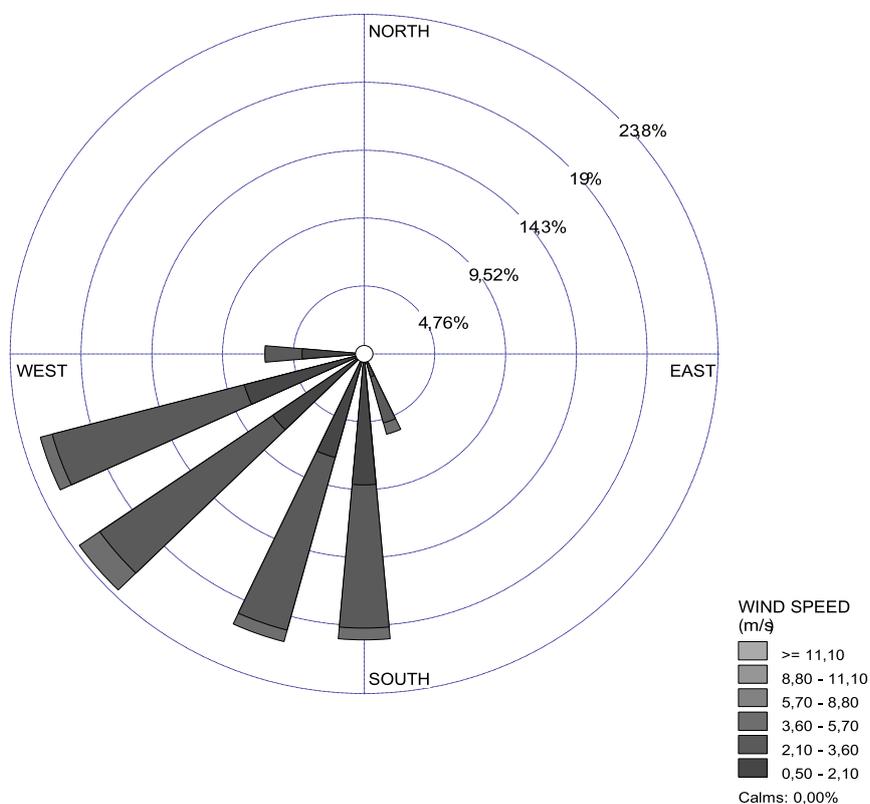
*Condiciones Meteorológicas durante los monitoreos en la estación E1*

Monitoreo	Fecha	Temperatura (°C)	Presión (mmHg)	Precipitación (mm hora <sup>-1</sup> )	Velocidad del Viento (m/s)	Humedad (%)
M-1	23 al 24/11/23	19,9	758,3	0,0	2,1	73,5
M-2	30/11/23 al 01/12/23	22,0	758,2	0,0	3,0	71,2
M-3	6 al 7/12/23	19,8	758,2	0,0	2,7	68,3
M-4	13 al 14/12/23	22,5	758,4	0,0	2,2	72,0
M-5	20 al 21/12/23	21,6	758,2	0,0	2,1	67,8

Como se indica en la Figura 3, la dirección predominante del viento fue desde Oeste Suroeste, esta información es fundamental para la ubicación del sonómetro y la instalación del equipo de muestreo de PM<sub>10</sub>.

**Figura 3**

*Rosa de Vientos, dirección y velocidad en el monitoreo de la estación E1*



### 3.2.3 Flujo de Tránsito Vehicular

Para el conteo del flujo de tránsito vehicular se recolectó los datos de campo en un formato adaptado del MTC como se muestra en el Anexo 2. La Figura 4 muestra el registro de datos de campo para el flujo de tránsito vehicular se realizó durante tres semanas, un registro cada semana y se realizó desde las 7:00 horas hasta las 15:00 horas de corrido. El conteo del flujo vehicular se realizó considerando el horario de clases de la institución y se realizó la segunda, quinta y octava semana del monitoreo de concentración de material particulado PM<sub>10</sub>. El conteo se registró en una adaptación de los formatos del MTC para una gestión eficiente en la recolección de datos de campo.

#### Figura 4

*Registro de Flujo Vehicular*



### 3.2.4 Niveles de Ruido

El monitoreo de ruido en el área de estudio que es la I.E.I. Santa Úrsula se realizó de acuerdo a la NTP ISO 1996-2:2021 las mediciones de los niveles de ruido se elaboraron con un sonómetro clase 1 de la marca Larson Davis modelo Soundtrack LxT1 y su calibrador CAL200 certificados (Anexo 14 y Anexo 15). Las mediciones fueron registradas en un formato de campo (Anexo 16, Anexo 17 y Anexo 18).

Para la medición del sonido residual al tratarse del flujo de tránsito vehicular como fuente específica y por la incapacidad de cortar dicho flujo se utilizó el percentil

L90. Además, se realizó algunas correcciones por sonido residual debido a que la diferencia entre el nivel sonoro de la fuente específica y el nivel sonoro residual difieren dentro del intervalo 3 dB a 10 dB, la corrección se realiza con la ecuación 1 y como se muestra en el Anexo 19.

Debido a que la fuente principal de ruido es el flujo de tránsito vehicular, se configuró el sonómetro con ponderación A en el dominio de la frecuencia y Fast (F) en el dominio del tiempo, de modo que LAFeq es el Nivel de Presión Sonora continuo equivalente ponderado A; LAFmax es el Nivel de Presión Sonora continuo equivalente máximo ponderado A; y LAFmin es el Nivel de Presión Sonora continuo equivalente mínimo ponderado A.

Previo al monitoreo de ruido, se inspeccionó el área de estudio para determinar las características de la institución y su entorno, como dimensiones, calles adyacentes, altura y presencia de otras fuentes de ruido. Siguiendo la normativa, se estableció un punto de monitoreo representativo de los niveles de ruido a los que está expuesta la institución, proveniente únicamente del tráfico vehicular. Este punto cumple con las distancias mínimas a otras fuentes de ruido y se monitoreó en diferentes momentos para asegurar la representatividad temporal. Simultáneamente, se registró la coordenada exacta del punto de monitoreo en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Ubicación del punto de monitoreo de ruido*

Zona de monitoreo	Estación de Monitoreo	Coordenadas	
		Este	Norte
I.E.I. Santa Úrsula	Estación E1	369455	8008944

Se categorizó la zona de monitoreo de acuerdo al reglamento del Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido, el área de estudio pertenece a una Zona de Protección Especial y se aplicó ECA para dicha zona. Se identificó la fuente principal de emisión de ruido que proviene de una fuente lineal ya que la zona monitoreada es una vía asfaltada (Av. Bolognesi), además el ruido es generado por el flujo de tránsito de vehículos pesados y livianos.

Para determinar los niveles de ruido, se cuantificó la contaminación sonora que genera el tráfico de vehículos adyacente al área de estudio, en las estaciones planteadas, se tomó como referencia la NTP ISO 1996-2:2021 Acústica - Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental - Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental,, los valores obtenidos se contrastaron con la normativa nacional, en

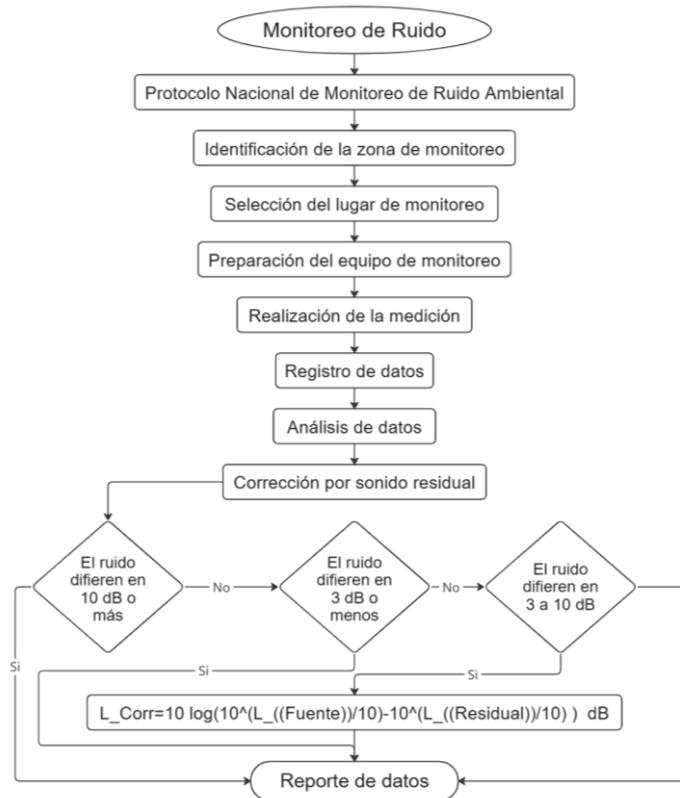
este caso, el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido (Decreto Supremo N.º 085-2003-PCM, 2003).

La Figura 5 muestra el flujo que se siguió en el monitoreo de ruido y las actividades consideradas de acuerdo al protocolo fueron:

- a. Identificación de la zona de monitoreo, de acuerdo a la actividad que requiere monitoreo y consultar la zonificación establecida en el ECA de Ruido para la zona.
- b. Selección del lugar de monitoreo; considerando la dirección del viento para la propagación del ruido y se seleccionó las zonas más relevantes en base a la ubicación de la fuente generadora de ruido, mayor incidencia del ruido en el ambiente exterior y mayor impacto de la actividad de la fuente en el entorno exterior.
- c. Preparación del equipo de monitoreo; se colocó el sonómetro lo más lejos posible de la fuente de ruido y de superficies reflectantes, se ubicó al operador a una distancia considerable del equipo de medición para evitar influir en las lecturas, se utilizó un trípode como soporte del sonómetro y se realizó la calibración de campo del sonómetro.
- d. Realización de la medición: implica configurar el sonómetro para medir Niveles de Presión Sonora continuo equivalente ponderado A (LAFeq), registrar los sonidos emitidos por una variedad de vehículos en movimiento a una velocidad media, y realizar las mediciones en lapsos regulares de 10 min por hora.
- e. Registro de datos: anotar las lecturas del sonómetro, registrar las condiciones climáticas durante el monitoreo, anotar cualquier otra observación relevante y antes de realizar otra medición calibrar el sonómetro.
- f. Análisis de datos: calcular los índices acústicos LAFeq, LAFmax y LAFmin; comparar los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para ruido; y elaborar los resultados, el análisis y las conclusiones.

**Figura 5**

*Diagrama de Flujo del Monitoreo de ruido*



La Figura 6 muestra el monitoreo de ruido que implicó configurar el sonómetro, registrar los sonidos emitidos por una variedad de vehículos en movimiento a una velocidad media, y realizar las mediciones en lapsos regulares de 10 min por hora.

**Figura 6**

*Monitoreos de ruido*



### 3.2.5 Material Particulado PM<sub>10</sub>

El número de estaciones de monitoreo para la concentración de PM<sub>10</sub>, fueron elegidas de acuerdo al Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2019), que indica que depende de la población que habita en la zona de estudio (Tabla 4), la zona de estudio corresponde a una muestra que está comprendida por el I.E.I. Santa Úrsula ubicado en la Av. Bolognesi 2080 y de acuerdo a la información de los datos de Estadística en Calidad Educativa (ESCALE) del 2023 se registró 115 estudiantes matriculados y 9 docentes, según el PDU de Tacna 2015-2025 se identifica la institución como una Zona Complementaria de Comercio (ZCC). La población considerada corresponde a la última cuadra de la avenida Bolognesi y Basadre y Forero, que presenta 52 zonas entre Complementarias de Comercio y Residenciales de densidad alta. Es por esto que se determinó 01 estación de monitoreo, en función a los habitantes de la institución y las zonas en la cuadra.

**Tabla 4**

*Número mínimo de estaciones de monitoreo de calidad del aire*

<b>Población (miles de habitantes)</b>	<b>Número mínimo de estaciones de monitoreo</b>
0-249	1
250-749	2
750 - 999	3
1000-1499	4
1500 - 1999	5
2000 - 2749	6
2750 - 3749	7
3750-4749	8
4750 - 5999	9
≥6000	10

*Nota.* Decreto Supremo N.º 010-2019-MINAM, 2019

En la Tabla 5 se describe las coordenadas del punto de muestreo de material particulado PM<sub>10</sub>.

**Tabla 5**

*Ubicación del punto de muestreo de PM<sub>10</sub>*

<b>Zona de monitoreo</b>	<b>Estación de Monitoreo</b>	<b>Coordenadas</b>	
		<b>Este</b>	<b>Norte</b>
I.E.I. Santa Úrsula	Estación E1	369455	8008944

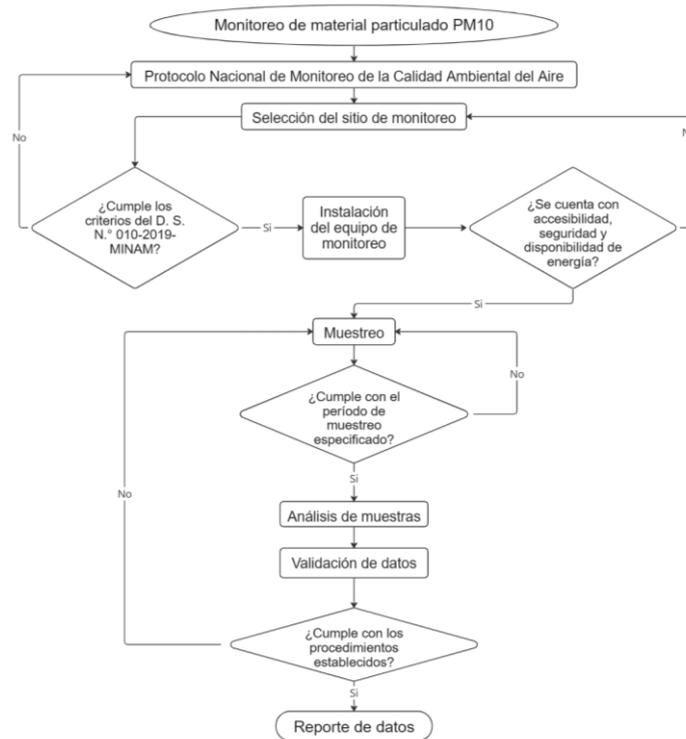
La frecuencia y duración del monitoreo de material particulado  $PM_{10}$  deben ser suficientes para obtener datos confiables y representativos (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2019). Según los criterios del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, el tipo de tecnología usada en el muestreo fue manual, que corresponde al tipo de monitoreo discontinuo, el periodo a promediar en base al ECA fue mensual, la cantidad mínima de información válida exigida fue de 05 días y la frecuencia mínima de muestreo fue de una muestra cada seis días, tomando como referencia el muestreo diario.

La Figura 7 muestra el flujo que se siguió en el monitoreo de  $PM_{10}$  y las actividades consideradas de acuerdo al protocolo fueron:

- a. Selección del lugar de muestreo para la instalación del equipo HiVol  $PM_{10}$  y la estación meteorológica, en base a: la representatividad del sector definido, flujo constante de energía eléctrica, ausencia de barreras en al menos 10 metros, dirección del viento, y sobre todo la seguridad en la operación y la instalación de equipos. Además de obtener los permisos necesarios para la instalación del equipo de monitoreo.
- b. Instalación del equipo de monitoreo: se utilizaron sobres manila para el almacenamiento de los filtros, se pesaron los filtros antes de la instalación del equipo para posterior ser montados a este, se midieron parámetros ambientales como temperatura y presión, se realizaron con las lecturas de la estación meteorológica durante las horas de funcionamiento de cada monitoreo.
- c. Muestreo: se verificó el equipo HiVol y la Estación Meteorológica, antes de iniciar el muestreo se revisó el estado de las calibraciones y las escobillas del motor o carbones; se configuró el equipo para el período de muestreo especificado en el Protocolo; se realizó el muestreo, que requiere la correcta operación del equipo asegurando un flujo de energía eléctrica constante, la ubicación del equipo óptima, brindando protección a la estación y garantizando la integridad de los equipos, digitando los datos en un formato, verificando la limpieza del equipo, utilizando guantes de latex, verificando el correcto estado del filtro y codificando la carta de flujo.
- d. Análisis de muestras: se transportó las muestras al laboratorio y se determinó de acuerdo con el método de referencia especificado en el Protocolo.
- e. Validación de datos: se revisó los datos de las muestras para detectar errores o inconsistencias y se validó de acuerdo con los procedimientos establecidos en el Protocolo.
- f. Reporte de datos: que incluya los datos de las muestras, la información del sitio de monitoreo y los métodos de análisis utilizados.

**Figura 7**

*Diagrama de Flujo del Monitoreo de  $PM_{10}$*



La Figura 8 nos indica la instalación del muestreador de alto volumen (HiVol) para realizar posteriormente el muestreo de material particulado.

**Figura 8**

*Muestreo de la concentración de  $PM_{10}$*



La Figura 9 muestra el flujo que se siguió en el análisis de muestras para determinar la concentración de material particulado  $PM_{10}$  que se cuantificó por método gravimétrico las concentraciones de  $PM_{10}$  que genera el tráfico vehicular adyacente a la zona de estudio, se utilizó como referencia el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2019), los valores obtenidos se contrastarán con la normativa nacional, en este caso, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017). Aunque los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) nacionales son el marco regulatorio de referencia, los valores guía de la OMS son más estrictos y reflejan un mayor nivel de protección a la salud humana, especialmente en grupos vulnerables como niños y personas con enfermedades preexistentes. Es por ello que también se contrastara con dicha normativa referencial.

Las actividades consideradas para la determinación de la concentración de  $PM_{10}$  fueron:

- a. Recepción de muestras: verificar la integridad de las muestras recolectadas, registrar la fecha y hora de recepción de las muestras.
- b. Preparación de las muestras: desmontar el HiVol y extraer los filtros con material particulado ( $PM_{10}$ ), acondicionar las muestras a temperatura y humedad constantes, identificar y codificar los filtros de acuerdo a los protocolos establecidos.
- c. Pesaje inicial de los filtros: utilizar una balanza analítica de alta precisión para pesar los filtros y registrar los pesos iniciales de cada.
- d. Exposición de los filtros al aire: colocar los filtros en el portafiltros del HiVol, configurar el HiVol de acuerdo a los protocolos establecidos, exponer los filtros al aire durante el período de muestreo especificado en el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Aire.
- e. Pesaje final de los filtros: retirar los filtros del HiVol una vez finalizado el período de muestreo, acondicionar los filtros a temperatura y humedad constantes, pesar los filtros expuestos al aire utilizando la misma balanza analítica empleada en el pesaje inicial, registrar los pesos finales de cada filtro.
- f. Cálculo de la concentración de  $PM_{10}$ :
  - Calcular la relación de presión en base a la ecuación 1:

$$\frac{P_o}{P_a} = 1 - \left(\frac{P_f}{P_a}\right) \quad (1)$$

Donde:

$\frac{P_o}{P_a}$  = es la relación de presión;

$P_f$  = es la presión barométrica promedio del filtro durante el periodo de muestreo;

$P_a$  = es la presión barométrica promedio registrada durante el periodo de muestreo.

- Buscar el caudal o Flow Rate (Q) en la tabla Look-Up del HiVol con los datos de relación de presión y la temperatura promedio registrada durante el periodo de monitoreo.
- Determinar el caudal en términos de aire estándar en base a la ecuación 2:

$$Q_{std} = Q * \left(\frac{P_{av}}{P_{std}}\right) \left(\frac{T_{std}}{T_{av}}\right) \quad (2)$$

Donde:

$Q_{std}$  = Caudal promedio a condiciones de referencia, m<sup>3</sup>/min;

$Q$  = Caudal promedio en condiciones ambientales, m<sup>3</sup>/min;

$P_{av}$  = Presión barométrica promedio durante el periodo de muestreo, mmHg;

$T_{av}$  = Temperatura ambiente promedio durante el periodo de muestreo, K;

$T_{std}$  = Temperatura estándar, definida como 298 K;

$P_{std}$  = Presión referencia, definida como 760 mmHg.

- Calcular el volumen total de aire muestreado con la ecuación 3:

$$V_{std} = Q_{std} * T \quad (3)$$

Donde:

$V_{std}$  = aire total muestreado en unidades de volumen referencia, m<sup>3</sup>;  $T$  = tiempo de muestreo, mín.

- Calcular la concentración de PM<sub>10</sub> en base a la ecuación 4:

$$PM_{10} = (W_f - W_i) * 10^6 / V_{std} \quad (4)$$

Donde:

$PM_{10}$  = concentración másica de PM<sub>10</sub>, µg/m<sup>3</sup>;

$W_f, W_i$  = pesos final e inicial del filtro que recoge las partículas PM<sub>10</sub>, g;

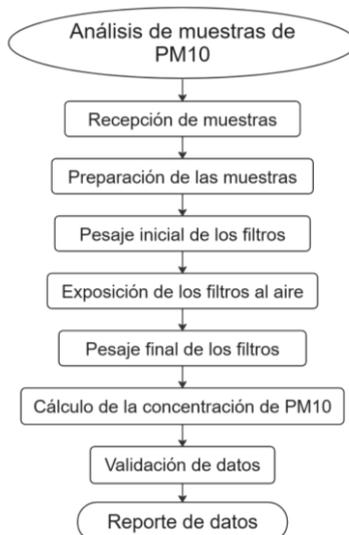
$V_{std}$  = aire total muestreado en unidades de volumen referencia, m<sup>3</sup>;

- Registrar la concentración de PM<sub>10</sub> para cada filtro.

- g. Validación de datos: verificar la consistencia de los datos obtenidos, comparar los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para  $PM_{10}$ .

### Figura 9

*Diagrama de Flujo del análisis de muestras de  $PM_{10}$*



La Figura 10 muestra una parte importante del análisis que consiste en el pesaje de las muestras para posteriormente realizar los cálculos de concentraciones de  $PM_{10}$ .

### Figura 10

*Pesaje de los filtros muestreados en la estación E2*



### **3.3 Materiales y/o instrumentos**

#### **3.3.1 Materiales**

- Trípode
- Calibrador de sonómetro
- Cuaderno de campo
- Fichas de campo
- Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental
- Filtro de Hi Vol
- Guantes de Latex
- Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire

#### **3.3.2 Equipos**

- Sonómetro
- GPS
- Muestreador de Alto Volumen (Hi Vol)
- Balanza semimicro
- Estación Meteorológica

### **3.4 Población y/o muestra de estudio**

La población considerada en el presente estudio corresponde a la última cuadra de la avenida Bolognesi y Basadre y Forero, que presenta 52 zonas entre Complementarias de Comercio y Residenciales de densidad alta. La muestra está comprendida por el Jardín Inicial Santa Úrsula ubicado en la Av. Bolognesi 2080 y de acuerdo a la información de los datos de Estadística en Calidad Educativa (ESCALE) del 2023 se registró 115 estudiantes matriculados y 9 docentes. La técnica de muestreo fue no probabilística ya que el criterio de selección de la muestra es en base a las zonas, que según el Plan de Desarrollo Urbano (PDU) de Tacna 2015-2025 se basó en la identificación de la I.E.I. Santa Úrsula como una Zona Complementaria de Comercio (ZCC). Esta clasificación, junto con la observación de un alto flujo vehicular en la avenida Bolognesi, llevó a los investigadores a seleccionar la institución educativa y su entorno como el área de estudio.

### 3.5 Operacionalización de variables

**Tabla 6**

*Operacionalización de variables de investigación*

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Escala	Técnicas o métodos
Flujo vehicular	Fenómeno generado por la circulación de vehículos en una vía, calle o autopista. Este fenómeno también comparte similitudes con otros procesos, como el flujo de partículas. (Paredes, 2015)	Flujo vehicular presente en el área de estudio	Cantidad de tránsito vehicular por hora	Número de vehículos por hora	Conteo
Nivel de ruido	Expresa el nivel de ruido en decibelio, dB. El nivel de ruido varía de 0 dB a 120 dB. Los sonidos por encima de los 120 decibelios pueden causar daños auditivos inmediatos y permanentes. (Miyara, 2018)	Intensidad del ruido Marco Normativo Nacional	< 50 dBA LAeqT (ECA Ruido) Estándares de calidad ambiental	Decibeles (dBA)	Metodología de monitoreo utilizando el Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental.
Material particulado PM <sub>10</sub>	Se refieren a partículas presentes en la atmósfera con un diámetro aerodinámico inferior a 10 micrómetros. Estas partículas pueden ser de naturaleza sólida o líquida, tanto orgánicas como inorgánicas, y su origen suele ser principalmente natural. (Paredes, 2015)	Concentración de material particulado PM <sub>10</sub> Marco Normativo Nacional Condiciones Ambientales	< 100 µg/m <sup>3</sup> (ECA Aire) < 45 µg/m <sup>3</sup> (OMS) Estándares de calidad ambiental Temperatura y Presión ambiental	µg/m <sup>3</sup> °C y Pa	Metodología de monitoreo utilizando el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire.

### 3.6 Procesamiento y análisis de datos

El flujo de tránsito se registró en formatos de campo que fueron digitalizados en Excel para la posterior elaboración de tablas y gráficos. Para determinar la concentración de

material particulado  $PM_{10}$ , se utilizó la técnica de análisis de separación inercial, que se basa en la determinación de constituyente de una muestra por la medida de su peso, ya que en la presente investigación se utilizó filtros de fibra de vidrio en el equipo HiVol, que fueron pesados antes y después de cada monitoreo en una balanza semimicro, y por diferencia de pesos y cálculos posteriores que incluyen ajustes con datos de temperatura y presión ambiental, así como la tasa de flujo del equipo, se determinó la concentración de material particulado. El procesamiento de datos se dio a partir de fichas donde se registraron las mediciones hechas en campo, estas también fueron digitalizadas en Excel para la posterior elaboración de tablas y gráficos.

La ejecución del monitoreo de ruido se hizo conforme al Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental y los datos obtenidos se compararon con Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido, además se consideró relevante el registro de los vehículos que circulan en el periodo de monitoreo, se recolectó datos para cada muestreo, la información recolectada se registró en fichas de campo para monitoreo de ruido.

Para llevar a cabo la evaluación de los niveles de ruido y la concentración de  $PM_{10}$ , fue necesario seguir el marco normativo establecido. Esto implica tener un conocimiento teórico y práctico de las mediciones de monitoreo de ruido y aire, aplicando el Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental y el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire. Además, es importante contar con un conocimiento teórico y práctico de la Ordenanza Municipal N°0011-2019 MPT, que establece regulaciones para la prevención, control y regulación de la contaminación sonora en la ciudad de Tacna.

De los resultados obtenidos del flujo vehicular, monitoreo de los niveles de ruido y la concentración de  $PM_{10}$  se evaluó si existe afectación en los estudiantes del Jardín Inicial Santa Úrsula.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1 Monitoreo realizado

El monitoreo de los niveles de ruido y la concentración de material particulado PM<sub>10</sub> por flujo de tránsito vehicular se realizó en la provincia de Tacna, en la I.E.I. Santa Úrsula en el que se coordinó y verifico previamente las condiciones de accesibilidad para tener las facilidades de operación de los equipos, fuente de energía eléctrica y las condiciones de seguridad para la permanencia de los equipos.

### 4.2 Flujo vehicular

En la estación E1 se realizaron tres registros para cada carril de la avenida Bolognesi, desde las 7:00 horas hasta las 15:00 horas de corrido. A continuación, se muestra el flujo de tránsito vehicular identificado durante el monitoreo en la estación E1 en sentido Noreste – Suroeste y en sentido Suroeste - Noreste. Se clasificó en ocho categorías de vehículos (Autos, Station wagon, Motocicletas, Camionetas, Micro, Bus, Camión y Semitrayer) que coinciden con la clasificación de vehículos pesados y livianos de acuerdo al Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental.

En la Tabla 7, se compilo la información registrada, donde el mayor flujo vehicular se registró en la semana 3, con 6030 vehículos en ambos carriles en el intervalo de monitoreo de 8 horas por día, además se presentó mayor cantidad de vehículos livianos con una tendencia a incrementar el flujo a medida que se acerca las horas punta de 14:00 horas a 15:00 horas.

**Tabla 7**

*Conteo de flujo de tránsito vehicular en la I.E.I. Santa Úrsula*

Semana	Dirección	Vehículos Livianos				Vehículos Pesados		Total
		Auto	Station wagon	Motocicletas	Camionetas	Micro	Bus	
1	Noreste – Suroeste	1231	253	71	331	405	12	2303
	Suroeste – Noreste	1697	463	112	507	511	3	3293
2	Noreste – Suroeste	1325	301	87	346	434	7	2500
	Suroeste – Noreste	1803	493	131	545	535	4	3511
3	Noreste – Suroeste	1316	301	90	351	424	10	2492
	Suroeste – Noreste	1823	515	134	524	537	5	3538

### 4.3 Ruido

A continuación, se muestran los resultados las mediciones de los niveles de ruido por flujo de tránsito vehicular de la Av. Bolognesi, se realizaron nueve monitoreos en la estación E1, agrupados por semanas de monitoreo (M1, M2 y M3) y en cada semana se realizaron 3 réplicas (R1, R2 y R3).

En la Tabla 8 se muestra el resumen de los niveles de ruido para las tres semanas de monitoreo. El mayor nivel de LAFeq de 68,9 dB se dio en el monitoreo M2-R3 realizado desde las 13:00 horas hasta las 13:10 horas. De acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental para Ruido en Horario diurno los valores obtenidos de LAFeq en las tres semanas superaron el valor establecido de 50 dB para Zona de Protección Especial.

**Tabla 8**

*Nivel de Ruido por flujo de tránsito vehicular*

Monitoreo	Fecha/Hora	LAFeq* (dB)	LAFmax (dB)	LAFmin (dB)	ECA** (dB)
M1-R1	Inicio 23/11/2023 12:26	66,6	82,6	48,7	50
	Final 23/11/2023 12:36				
M1-R2	Inicio 23/11/2023 12:44	67,3	89,9	50,1	50
	Final 23/11/2023 12:54				
M1-R3	Inicio 23/11/2023 13:00	66,3	84,4	51,3	50
	Final 23/11/2023 13:10				
M2-R1	Inicio 30/11/2023 12:25	66,6	83,3	47	50
	Final 30/11/2023 12:35				
M2-R2	Inicio 30/11/2023 12:42	63,9	79,9	47,1	50
	Final 30/11/2023 12:52				
M2-R3	Inicio 30/11/2023 13:00	68,9	90,8	50,9	50
	Final 30/11/2023 13:10				
M3-R1	Inicio 06/12/2023 12:25	66,6	82,8	50,7	50
	Final 06/12/2023 12:35				
M3-R2	Inicio 06/12/2023 12:40	67,3	82,3	44,8	50
	Final 06/12/2023 12:50				
M3-R3	Inicio 06/12/2023 12:55	65,9	81,6	48	50
	Final 06/12/2023 13:05				

*Nota.* \*: Nivel de Presión Sonora continuo equivalente ponderado A (LAFeq) corregido.  
 \*\*: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en Horario diurno para Zona de Protección Especial.

### 4.4 Material particulado PM<sub>10</sub>

Cada monitoreo realizado se registró en un formato de datos como se muestra en el Anexo 6 donde se consigna los datos del equipo, fechas, verificación del flujo y parámetros de operación.

A continuación, en la Tabla 9 se visualiza los resultados de la concentración de PM<sub>10</sub> muestreados por 23 horas y a modo de comparación se muestra el Estándar de

Calidad Ambiental (ECA) para PM<sub>10</sub>. La mayor concentración de 64,23 µg/m<sup>3</sup> que corresponde al muestreo realizado el 23/11/2023 hasta el 24/11/2023, mientras que la menor concentración de 45,64 µg/m<sup>3</sup> corresponde al muestreo realizado el 6 al 7/12/2023. La concentración de material particulado en los cinco monitoreos realizados no supera el ECA de aire para PM<sub>10</sub> cuyo valor establecido es de 100 µg/m<sup>3</sup>. Además, se muestra el valor de referencia recomendado por la OMS de 45 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>10</sub>.

**Tabla 9**

*Concentraciones de Material Particulado (PM<sub>10</sub>) en la I.E.I. Santa Úrsula*

<b>Estación de Monitoreo</b>	<b>Fecha de Muestreo</b>	<b>Concentración de PM10 (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>ECA (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>OMS (µg/m<sup>3</sup>)</b>
E1-M1	23 al 24/11/2023	64,23	100	45
E1-M2	30/11/2023 al 01/12/2023	61,86	100	45
E1-M3	6 al 7/12/2023	45,64	100	45
E1-M4	13 al 14/12/2023	63,50	100	45
E1-M5	20 al 21/12/2023	63,96	100	45
<b>Promedio</b>		<b>59,8</b>		

#### **4.5 Propuesta de acciones de mejora**

##### **4.5.1 Objetivos de la propuesta de acciones de mejora**

###### a. Objetivos General

Realizar propuestas de acciones de mejora de Calidad de Ruido, que contemple medidas concretas para reducir las emisiones de ruido generado a raíz del tráfico vehicular en las inmediaciones de la I.E.I. Santa Úrsula.

###### b. Objetivos Específicos

- Realizar campañas viales con la finalidad de educar a la sociedad civil sobre el exceso de velocidad y uso de las bocinas en los vehículos.
- Aplicación de Ordenanzas a nivel de Local en Materia de Prevención, Control y Regulación de la Contaminación Sonora.

##### **4.5.2 Acciones de Mejora de la Calidad de Ruido**

###### a. Campañas viales sobre exceso de velocidad y uso de las bocinas en los vehículos

###### • Introducción

La institución educativa se encuentra ubicada en una zona con tráfico vehicular significativo, lo que contribuye a elevados niveles de ruido.

El exceso de velocidad y el uso indiscriminado de bocinas por los vehículos alrededor de la escuela exacerban la contaminación acústica, afectando negativamente el ambiente escolar y la calidad del aprendizaje.

- Estrategias y Actividades de la Campaña

Efectos del Ruido: Explicar cómo el ruido afecta la salud y el rendimiento académico.

Normas de Uso de Bocinas: Reglas y buenas prácticas sobre cuándo y cómo usar bocinas.

Límites de Velocidad: Importancia de respetar límites para reducir el ruido y aumentar la seguridad.

Público Objetivo: Conductores locales, padres, estudiantes, y personal escolar.

Responsable: Gobierno Nacional, Regional y Local; sector privado.

Recursos Necesarios: Materiales audiovisuales, ponentes y facilitadores.

b. Aplicación de Ordenanzas a nivel local en materia de Prevención, Control y Regulación de la Contaminación Sonora

- Introducción

Según Ordenanza Municipal N°011-2019-MPT de la Municipalidad Provincial de Tacna, se aprueba el Reglamento para la Prevención de Control y Regulación de la Contaminación Sonora en la Ciudad de Tacna y encarga la Implementación y aplicación de esta normativa a la Gerencia de Gestión Ambiental de la institución.

- Aplicación de la Ordenanza Municipal N°011-2019-MPT

Como propuesta de acción para la mejora de la calidad de ruido, se recomienda a los Gobiernos Locales, aplicar lo dispuesto en la Ordenanza Municipal N°011-2019-MPT:

Realizar el control y fiscalización la emisión de ruido originado por las actividades domésticas, comerciales y de servicios, así como por las fuentes móviles en su jurisdicción

Implementar las disposiciones establecidas en la Resolución Ministerial N°152-2022-MINAM, que aprueba el instrumento de gestión ambiental “Lineamientos para la Elaboración de Acción para la Prevención y Control de la Contaminación Sonora” dirigido a las Municipalidades Provinciales y que tiene como finalidad evitar que se excedan los valores establecidos en los ECA-Ruido.

Elaborar el Programa Local de Vigilancia y Monitoreo de la Contaminación Sonora con la finalidad de implementar medidas para el seguimiento y control del ruido ambiental en su jurisdicción, y el objetivo de garantizar la adherencia a los ECA-Ruido y así mejorar la calidad de vida de la población. Ejercer lo establecido en el Artículo 25°. - Tipificación y Escala de Multas, de la ordenanza municipal en mención.

Promover la participación ciudadana en todos los niveles, para contribuir en la prevención y control de la contaminación sonora, así como contar con un adecuado sistema de reclamos y denuncias.

Responsable: Municipalidad Provincial de Tacna

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

### 5.1 Flujo vehicular en la I.E.I. Santa

En la presente investigación se determinó el flujo vehicular en la estación E1 fue en promedio de 2940 vehículos durante el intervalo de monitoreo de 8 horas por día, es decir 367 vehículos por hora.

Este resultado es superior al encontrado por Condori y Lipa (2018) en un estudio previo en la misma avenida, lo que indica un aumento en el flujo vehicular en la zona, en su estudio sobre la optimización del flujo vehicular en la intersección de la Av. Bolognesi y la Av. Basadre y Forero, que se encuentra a unos metros del punto de monitoreo de la presente investigación, encontraron que el flujo en dirección de Sureste – Noreste desde las 7:00 horas hasta las 15:00 horas fue de 1631 vehículos, es decir 204 vehículos por hora, mientras el flujo en dirección de Noreste Sureste desde las 7:00 horas hasta las 15:00 horas fue de 2628 vehículos, es decir 329 vehículos por hora.

Este aumento del flujo vehicular se puede verificar con las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística e Informática (2022). Como lo indica Pinto et al. (2019) que en su investigación del nivel de congestión del tráfico vehicular de la zona comercial de la Av. Bolognesi, entre las Av. Patricio Meléndez y la Av. Mariscal Miller determino que el número de vehículos que circulaban en sentido de Suroeste – Noreste desde las 7:30 horas hasta las 8:30 horas fue de 137 vehículos por hora y desde las 12:00 horas hasta las 13:00 horas fue de 160 vehículos por hora, mientras en sentido de Noreste – Suroeste el flujo desde las 7:30 horas hasta las 8:30 horas fue de 208 vehículos por hora y desde las 12:00 horas hasta las 13:00 horas fue de 164 vehículos por hora. Con estos resultados podemos inferir que en la I.E.I. Santa Úrsula existe un alto flujo vehicular en la Av. Bolognesi.

### 5.2 Nivel de ruido por flujo de tránsito vehicular en la I.E.I. Santa

Se determino los niveles de ruido por flujo de tránsito vehicular en la I.E.I. Santa Úrsula, el nivel de ruido (LAFeq) en la I.E.I. Santa Úrsula durante los nueve monitoreos en la estación E1 tuvo en promedio de 66,6 dB. Estos resultados indican que los monitoreos realizados entre las 12:20 horas y las 13:10 horas superan hasta 1,3 veces el valor permitido de 50 dB en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido en horario diurno y para una Zona de Protección Especial.

Este resultado proporciona evidencia alarmante sobre la magnitud de los niveles de ruido en un centro educativo inicial a causa del tránsito vehicular. Estos hallazgos coinciden con los de otras investigaciones realizadas en la provincia. Por ejemplo

Mamani (2019) en su investigación monitoreo trece centros educativos del cercado de Tacna y encontró niveles de ruido entre 46,11 dB y 73,21 dB. De su investigación podemos afirmar que los niveles de ruido están relacionados entre otros factores al flujo vehicular ya que las instituciones educativas monitoreadas colindan a una vía principal como en la presente investigación, estas fueron la I.E. Santa Ana que conecta con la Calle Arica, la I.E. José Rosa Ara en la Av. Augusto B Leguía, la I.E. Buen Pastor y la I.E. Hermanos Barreto en la Av. Alto Lima, la I.E. María Ugarteche De Maclean en la Av. Modesto Basadre, la I.E. Carlos Armando Laura en la Av. Pinto con Av. Coronel Mendoza, la I.E. Mercedes Indacochea en la Av. 2 de mayo. Los niveles de ruido encontrados también se encuentran en el rango los resultados que obtuvieron en la investigación de Figueroa et al. (2012) que encontraron niveles de sonido de fondo de 62,5 dB en un colegio ubicado en una zona de bajo flujo vehicular y de hasta 71 dB en otro colegio ubicado en una zona con alto flujo vehicular.

Los hallazgos de este estudio coinciden con investigaciones previas que han identificado el tráfico vehicular como una fuente importante de ruido en entornos urbanos. Por ejemplo, en la investigación de Vargas (2019) monitoreo zonas comerciales y encontró que los niveles de presión sonora promedio oscilaron entre 71,2 dBA y 75,8 dBA, estas mediciones estuvieron enfocados a vehículos livianos que circulaban las principales vías de las zonas comerciales del distrito de Tacna, entre ellos varios tramos de la Av. Bolognesi que es la fuente de ruido evaluada en la presente investigación. Lo cual también se puede contrastar con la investigación de Paulino y Turpin (2022) que encontró en zonas con altos niveles de tránsito vehicular se presentan altos niveles de ruido que oscilaron entre 74,4 dBA y 90,6 dBA, dependiendo del punto de monitoreo y el turno.

Estos resultados son principalmente debido a que la fuente principal de ruido identificado proviene de una fuente lineal como es la Av. Bolognesi, y el ruido es generado por el flujo de tránsito de vehículos pesados y livianos, como lo podemos validar en el estudio de Alhuay (2021) que identificó que la distribución espacial de los puntos de monitoreo de ruido tuvieron como fuente principal el parque automotor, congestión y el uso de claxon. Lo anterior implica que la I.E.I. Santa Úrsula está expuesta a altos niveles de ruido principalmente por tránsito vehicular, donde los perjudicados directos son los alumnos de este colegio que se ven afectados en la interrupción en el habla, alteración en la comprensión de información y comunicación de mensajes como parte del proceso educativo. Arias (2009) mencionó que la comprensión está en función del ruido de fondo y que el ruido ambiental máximo no debe ser superior a 55 dB, Alhuay (2021) también indicó que el ruido molesto genera impactos en el bienestar físico y mental. Fernández (2022) al igual que Mamani (2019) también afirman

que el ruido vehicular elevado influye en el nivel de estrés, causa dolores de cabeza y falta de concentración.

Estos niveles alarmantes que superan la normativa pueden afectar fisiológicamente a los docentes ya que necesariamente tienen que hablar con un tono de voz mayor por un lapso de tiempo prolongado. Por otro lado, la zona de estudio está categorizada como una Zona de Protección Especial por tanto hay una limitante en cuanto al alcance del ECA de ruido, ya que no se cuenta con una normativa específica para aulas de instituciones educativas que pueden aportar recomendaciones y técnicas para su diseño acústico, de manera que esto pueda que se pueda actuar a nivel preventivo.

Según el Plan de Desarrollo Urbano (PDU) de Tacna 2015-2025, la I.E.I. Santa Úrsula está ubicada en una Zona Complementaria de Comercio (ZCC). Sin embargo, en el estudio se consideró como Zona de Protección Especial (ZPE) debido a su naturaleza educativa y a la presencia de niños pequeños, que son especialmente vulnerables a los efectos de la contaminación. Esta discrepancia entre la clasificación del PDU y la consideración del estudio como ZPE revela una debilidad en la articulación de la fiscalización y gestión ambiental en la ciudad de Tacna. La falta de reconocimiento de las instituciones educativas como ZPE en el PDU puede llevar a una falta de protección adecuada frente a la contaminación ambiental, especialmente la generada por el tráfico vehicular. Esta debilidad puede deberse a varias razones, como la falta de actualización del PDU, la falta de coordinación entre las diferentes entidades responsables de la planificación urbana y la gestión ambiental, o la falta de conciencia sobre los efectos de la contaminación en la salud de los niños. Es importante destacar que la consideración de la I.E.I. Santa Úrsula como ZPE en este estudio es consistente con la normativa nacional, que establece que los centros educativos deben ser considerados como zonas de especial protección frente a la contaminación acústica. Por lo tanto, esta investigación no solo proporciona evidencia sobre los niveles de contaminación en la zona, sino que también pone de manifiesto la necesidad de revisar y actualizar el PDU para garantizar una protección adecuada de la salud de los niños en los entornos educativos.

### **5.3 Concentración de PM<sub>10</sub> por flujo de tránsito vehicular**

Por otro lado, también se determinó la concentración de material particulado PM<sub>10</sub> por flujo de tránsito vehicular en la I.E.I. Santa Úrsula, la concentración promedio durante los cinco días de muestreo, desde las 17:00 horas hasta las 16:00 horas del día siguiente, en la estación E1 fue de 59,8 µg/m<sup>3</sup>. Si bien los resultados de la concentración de PM<sub>10</sub> no superan el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para aire de 100 µg/m<sup>3</sup>

establecido en el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, 2017 para un periodo de 24 horas de monitoreo, es fundamental considerar que este valor excede el límite de 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el mismo contaminante y periodo de tiempo.

La OMS, basándose en una amplia evidencia científica, ha establecido este valor guía más estricto debido a que la exposición a concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  superiores a 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  se asocia con un mayor riesgo para la salud humana, especialmente en grupos vulnerables como niños y personas con enfermedades respiratorias preexistentes. Estudios recientes han demostrado que incluso niveles de  $\text{PM}_{10}$  por debajo del ECA pueden tener efectos adversos en la salud, como aumento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, disminución de la función pulmonar y aumento de la mortalidad. Por lo tanto, aunque los resultados obtenidos en esta investigación no superen el ECA, es crucial prestar atención a los valores de la OMS, ya que indican un riesgo potencial para la salud de la comunidad educativa de la I.E.I. Santa Úrsula, especialmente considerando la vulnerabilidad de los niños a los efectos de la contaminación del aire.

Estos resultados son superiores al valor encontrado en el trabajo de investigación de Miranda y Merma (2017) que evaluaron la concentración de material particulado  $\text{PM}_{10}$  en diferentes puntos de la zona centro e intermedia de Tacna, entre ellos podemos identificar el resultado del monitoreo en el Centro de Post Grado de la UNJBG con 62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con temperaturas registradas desde los 12 °C hasta los 20 °C, humedad registrada desde los 50% hasta el 95%, y la velocidad de viento se encontró entre 0,25 m/s a 2,3 m/s. Ambos puntos de monitoreos comparten la característica de ser centros de estudio y colindan con la Av. Bolognesi, sin embargo, esta diferencia también se debe a que el Centro de Post Grado de la UNJBG además colinda con la Av. Pinto por tanto hay mayor flujo vehicular. Esta mínima diferencia en los resultados se debe a las condiciones meteorológicas encontrada en la presente investigación como por ejemplo la temperatura que resultaron desde los 16,4 °C hasta los 26,1 °C, la humedad en promedio de 70,6%, y la velocidad del viento entre 1 m/s hasta 5 m/s aproximadamente.

La investigación de Carpio (2023) sobre la contaminación atmosférica a causa la concentración de material particulado  $\text{PM}_{10}$  en diferentes puntos de monitoreo en el Cercado de Arequipa, considerando características como el alto tránsito vehicular, variables meteorológicas, entre otras; encontró que la concentración de  $\text{PM}_{10}$  en un punto ubicado en un establecimiento de un hospital fue de 53  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , punto que comparte características a la zona de estudio propuesta en la presente investigación, al ser categorizados como zona especial. Este resultado es mínimamente menor al obtenido

en la presente investigación de  $59,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , esto se debe que se presentaron similares condiciones meteorológicas como velocidad de viento de  $2,87 \text{ m/s}$  a comparación del presente estudio de  $2,4 \text{ m/s}$  y temperaturas máximas de  $24,77 \text{ }^\circ\text{C}$  en comparación a la temperatura del presente trabajo de investigación que fue de  $26,1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

En el estudio de Motocanche (2019) se evaluó la Influencia de las condiciones meteorológicas en los niveles de Material Particulado  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  en la construcción del Hospital Hipólito Unanue de Tacna, donde se obtuvieron resultados de  $39,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en un punto ubicado cerca a la puerta N° 5 que colinda con la Av. 2 de mayo, las condiciones meteorológicas registradas fueron en temperatura un promedio de  $16,3 \text{ }^\circ\text{C}$ , humedad relativa de  $69,7\%$ , velocidad de viento de  $1,8$  y dirección de viento promedio del oeste. Este resultado es menor al obtenido en la presente investigación de  $59,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , esto se debe a que la Av. 2 de mayo es de una sola vía mientras que la Av. Bolognesi son 02 vías en sentido contrario, además que la temperatura promedio y la velocidad del viento registrada en la presente investigación fue superior.

El Gobierno Regional de Tacna (2023) en su informe de monitoreo de calidad de aire en la estación de monitoreo DM Hoteles, se encontró en promedio una concentración de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante 7 días de monitoreo en el mes de setiembre, este resultado es inferior al resultado alcanzado en el presente trabajo de investigación, esto se debe a que la temperatura promedio fue de  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ , la velocidad de viento promedio fue de  $1,5 \text{ m/s}$  y la ubicación del punto de monitoreo; en cambio el punto monitoreado de la presente investigación se alcanzó condiciones meteorológicas diferentes, con una temperatura promedio de  $21,2 \text{ }^\circ\text{C}$ , velocidades de viento de  $2,4 \text{ m/s}$ . además la ubicación del equipo de monitoreo también fue más cercana a la Av. Bolognesi. Ambos puntos comparten la característica del alto flujo de tránsito vehicular de la Av. Bolognesi y las emisiones de material particulado provienen directamente de fuentes móviles.

Mosqueda (2015) es su estudio sobre la determinación de la concentración de material particulado ( $\text{PM}_{10}$ ) en puntos de alto tránsito vehicular del distrito de Morales, San Martín 2015, encontró que la concentración de  $\text{PM}_{10}$  en un punto ubicado a 50 metros de un centro de la Red EsSalud fue en promedio de  $870,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$  con una temperatura promedio de  $28,07 \text{ }^\circ\text{C}$  y un flujo de 7039 vehículos por las 24 horas de monitoreo, es decir 5 vehículos por min. Este resultado es 15 veces mayor al resultado conseguido en la presente investigación, esto es debido a que las temperaturas fueron mayores y la ubicación del equipo de monitoreo estaba a  $1,5 \text{ m}$  sobre el nivel del suelo a comparación del presente trabajo de investigación, además que las temperaturas fueron menores y la ubicación del equipo fue en un segundo piso a aproximadamente  $3,5 \text{ m}$  del nivel del suelo, sin embargo, el flujo vehicular fue menor del resultado obtenido en esta investigación, siendo estas diferencias factores importantes en los valores

obtenidos. A pesar de ello, ambos puntos presentar características similares como que ambos puntos de monitoreo colindan con una avenida principal y las emisiones de  $PM_{10}$  provienen directamente de fuentes móviles.

Considerando que el problema de contaminación en Tacna está fuertemente relacionado con el parque automotor, estos resultados pueden ser cruciales para justificar una revisión y actualización de los ECA, buscando valores más estrictos y acordes con las recomendaciones de la OMS, con el fin de proteger de manera más efectiva la salud de la población, especialmente de los niños. Es importante resaltar que este estudio se centró en un caso particular en la región de Tacna. Para una revisión exhaustiva de los ECA, sería necesario realizar estudios similares en otras zonas de la región y del país, considerando diferentes fuentes de contaminación y características socioambientales. Sin embargo, los resultados de esta investigación son un primer paso importante para generar conciencia sobre la necesidad de actualizar los ECA y proteger la salud de la población frente a la contaminación del aire.

La brecha entre los niveles de las directrices de calidad del aire de la OMS y los niveles adoptados en las regulaciones nacionales (como los ECA) refleja el proceso de formulación de políticas. Mientras que las directrices de la OMS son recomendaciones basadas en la evidencia y orientadas a la salud, el proceso de desarrollo de regulaciones legalmente vinculantes es impulsado por los responsables políticos nacionales y la voluntad de establecer estándares ambientales. Este proceso involucra a diferentes actores y puede estar influenciado por una variedad de consideraciones. La tesis demuestra que los niveles de  $PM_{10}$  exceden los estándares internacionales de la OMS, esto nos indica la importancia de medir contaminantes específicos como  $PM_{2.5}$ , BC y UFP, que tienen efectos particularmente nocivos para la salud. También indican la necesidad de estudios localizados para comprender mejor la distribución espacial de los contaminantes y los factores que contribuyen a la contaminación del aire en áreas específicas. Los estudios en escuelas proporcionarían información valiosa sobre la calidad del aire en microambientes relevantes para la salud infantil.

## CONCLUSIONES

Se evaluó de los niveles de ruido y concentración de material particulado por el flujo de tránsito vehicular en la I.E.I. Santa Úrsula y se determinó que los valores obtenidos para el nivel de ruido supera los límites de la normativa vigente para ruido (ECA) de 50 dB; mientras que la concentración de material particulado no supera el ECA para aire de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , pero si el límite establecido por la OMS de  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Se logró medir el flujo vehicular a inmediaciones del I.E.I. Santa Úrsula que tiene como vía principal a la Av. Bolognesi, se encontró que el flujo fue de 14 vehículos por minuto monitoreado desde las 12:25 horas hasta las 13:10 horas, esto representa un alto flujo por tránsito vehicular.

Se logró medir los niveles de ruido a consecuencia del tránsito vehicular, resultando en promedio 66,6 dB y se identificó que exceden los límites permitidos en el Decreto Supremo 085-2003-PCM Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido para una Zona de Protección especial y en horario diurno cuyo valor es de 50 dB, que tienen su explicación en que la fuente principal de ruido es el alto flujo de tránsito vehicular de la Av. Bolognesi y el monitoreo realizado en una hora punta. Este resultado alarmante sirve como herramienta que debe tomarse en cuenta en el diseño de lineamientos para el manejo y vigilancia de la calidad acústica de Zonas de Protección especial como instituciones educativas.

Se logró medir concentración de material particulado a consecuencia del tránsito vehicular resultando en promedio de  $59,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , se identificó que no se supera los límites permitidos en el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para aire en 24 horas de monitoreo cuyo valor es de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , pero si supera el límite permitido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , esto se debe principalmente a dos factores importantes, el alto flujo de tránsito vehicular y las condiciones meteorológicas registradas.

## RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar acciones de seguimiento, ya que se identificaron niveles preocupantes de ruido y ante esto proponer medidas de mitigación apropiadas para reducir la exposición y mejorar la calidad del aire y el entorno sonoro en las áreas estudiadas.

Se sugiere la implementación de medidas de gestión activa para la reducción del ruido y mitigación de emisiones de  $PM_{10}$ , haciendo un estricto cumplimiento de la normativa correspondiente y buscando disminuir el impacto del ruido excesivo y las emisiones proveniente del flujo vehicular de la Av. Bolognesi en la I.E.I. Santa Úrsula.

Además, se insta a los propietarios de los vehículos la implementación de programas de mantenimiento preventivo para garantizar que los vehículos estén en óptimas condiciones de funcionamiento, la promoción de prácticas de conducción suave que minimicen el ruido del motor y el escape, y la inversión en infraestructuras viales diseñadas para reducir el ruido de los vehículos en movimiento, como pavimentos especiales y barreras acústicas.

Se recomienda a los actores involucrados (Municipalidad Provincial de Tacna, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, empresas de transporte público y privado, instituciones educativas, organizaciones civiles y vecinos) la elaboración de un plan de reordenamiento vial que promueva el uso del transporte público y opciones de movilidad compartida, con el fin de reducir el número de vehículos en circulación y por tanto, las emisiones totales de  $PM_{10}$  y la generación de ruido. La implementación de este plan de reordenamiento vial, con la participación activa de todos los actores involucrados, permitirá reducir significativamente el flujo de tránsito vehicular en la zona de la I.E.I. Santa Úrsula, mejorando la calidad del aire y el entorno sonoro, y promoviendo un ambiente educativo más saludable y seguro para la comunidad.

Se recomienda informar a los conductores y propietarios de vehículos sobre la importancia de reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos y proporcionar consejos prácticos sobre cómo mantener sus vehículos de manera que minimicen las emisiones de  $PM_{10}$  y generación de ruido.

Se recomienda la realización de estudios más especializados en la zona de estudio que consideren evaluar la calidad del aire en escuelas, incluyendo la medición de material particulado ( $PM_{2.5}$ ), carbono negro (BC), partículas ultrafinas (UFP) y dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), tanto en interiores como en exteriores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acoustical Society of America. (2010). *ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1 (R2015)—Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools*. <https://acousticalsociety.org/classroom-acoustics-booklets/>
- Amato, F., Pandolfi, M., Viana, M., Querol, X., Alastuey, A., y Moreno, T. (2009). *Spatial and chemical patterns of PM10 in road dust deposited in urban environment*. *Atmospheric Environment*, 43(9), 1650-1659. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.12.009>
- Arias, F. (2009). *El medio ambiente ruidoso afecta al desarrollo del lenguaje*. América Latina en movimiento. <https://www.alainet.org/es/articulo/137846>
- Alhuay, E. (2021). *Evaluación de la contaminación sonora y su impacto en la población del distrito de Andahuaylas – Apurímac, 2018*. <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/305>
- Billet, S., Garçon, G., Dagher, Z., Verdin, A., Ledoux, F., Cazier, F., Courcot, D., Aboukais, A., y Shirali, P. (2007). *Ambient particulate matter (PM2.5): Physicochemical characterization and metabolic activation of the organic fraction in human lung epithelial cells (A549)*. *Environmental Research*, 105(2), 212-223. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2007.03.001>
- Campos, E. (2021). *Influencia de la concentración de material particulado respirable por fracciones de masa en la contaminación por polvo en la ciudad de Arequipa*. Repositorio Institucional - UNSA. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2793991>
- Carpio, C. (2023). *Análisis de la concentración de material particulado PM10 en interiores de vivienda y centros comerciales y su incidencia en la población expuesta en el Cercado de Arequipa*. <https://hdl.handle.net/20.500.12773/16295>
- Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM. (2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire*. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-aire-establecen-disposiciones>
- Decreto Supremo N.° 010-2019-MINAM. (2019). *Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire*. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-supremo-que-aprueba-protocolo-nacional-monitoreo-calidad>

- Decreto Supremo N.º 085-2003-PCM. (2003). *Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido*. <https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/3115975-085-2003-pcm>
- Education Funding Agency. (2014. diciembre 19). *BB93: Acoustic design of schools - performance standards*. GOV.UK. <https://www.gov.uk/government/publications/bb93-acoustic-design-of-schools-performance-standards>
- Erickson, L. C., y Newman, R. S. (2017). *Influences of Background Noise on Infants and Children*. *Current Directions in Psychological Science*, 26(5), 451-457. <https://doi.org/10.1177/0963721417709087>
- Figueroa, A., Orozco, M. G., y Preciado, N. E. (2012). *Niveles de ruido y su relación con el aprendizaje y la percepción en escuelas primarias de Guadalajara, Jalisco, México*. *Ingeniería*, 16. 175-181.
- Fernandez, A. (2022). *Contaminación sonora vehicular y su influencia en el nivel de estrés de la población de la Av. Bolognesi del distrito de Tacna, 2022*. Universidad Latinoamericana CIMA - ULC. <http://repositorio.ulc.edu.pe/handle/ULC/231>
- Hernández, H., y Gutiérrez, M. (2006). *Hipoacusia inducida por ruido: Estado actual*. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 35(4), 0-0.
- Kanakri, S. M., Shepley, M., Varni, J. W., y Tassinari, L. G. (2017). *Noise and autism spectrum disorder in children: An exploratory survey*. *Research in Developmental Disabilities*, 63. 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.02.004>
- Karagulian, F., Belis, C. A., Dora, C. F. C., Prüss-Ustün, A. M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H., y Amann, M. (2015). *Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level*. *Atmospheric Environment*, 120. 475-483. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.087>
- Lucic, Y. (2009). *El ruido como problema en el aprendizaje: — Personalización masiva, modelamiento paramétrico y diseño generativo enfocados al desarrollo de paneles acústicos para salas de clase*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/100197>
- Maldonado, J. (2005). *Análisis de los niveles de ruido ambiental en centros escolares de la zona centro de Guadalajara (2005)*. <http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/handle/123456789/3060>
- Mamani, A. (2019). *Evaluación y Percepción Social del Ruido Ambiental a la que se Expone la Comunidad Educativa del Cercado de Tacna, 2019*. Universidad Privada de Tacna. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1215>

- Massonnié, J. (2020). *Understanding the impact of classroom noise on children's learning and well-being, and its modulation by executive functions [Doctoral, Birkbeck, University of London]*. <http://vufind.lib.bbk.ac.uk/vufind/Record/598671>
- Minguillón, M. C., Querol, X., Baltensperger, U., y Prévôt, A. S. H. (2012). *Fine and coarse PM composition and sources in rural and urban sites in Switzerland: Local or regional pollution? Science of The Total Environment*, 427-428. 191-202. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.030>
- Miranda, J., y Merma, L. (2017). *Evaluacion de la Concentracion de Polvo Atmosferico Sedimentable y Material Particulado (PM2.5. PM10) Para la Gestion de la Calidad del Aire 2017 en la Ciudad de Tacna. Universidad Privada de Tacna*. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/354>
- Miyara, F. (2012). *Estrategias para extender la acción escolar*. <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/higiene2.htm>
- Miyara, F. (2018). *NIVELES SONOROS*. <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/niveles.htm>
- Mosqueda, E. (2015). *Calidad del aire y de los efectos en la salud por PM10, en un tramo de la av. Túpac Amaru, distrito de Manantay, provincia de Coronel Portillo-Ucayali—2015*. Universidad Nacional de Ucayali. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/2217>
- Motocanche, D. (2019). *Evaluación de la Influencia de las Condiciones Meteorológicas en los Niveles de Material Particulado PM10 y PM2.5 en la Construcción del Hospital Hipólito Unanue de Tacna. Universidad Privada de Tacna*. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/970>
- Muñoz, M. (2010). *Evaluación de la Calidad del Aire, Partículas en Suspensión PM10, en la Av. Conquistadores – San Isidro: Estado actual y alternativas de solución*. Universidad Ricardo Palma. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/1002>
- Paredes, M. (2015). *Determinación de la concentración de material particulado (PM10) en puntos de alto tránsito vehicular del distrito de Morales—San Martin 2015*. <https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/6723>
- Parrondo, J. L. (2006). *Acústica ambiental. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo*. <https://books.google.com/cu/books?id=s7r-6NMTe2AC>
- Paulino, L., y Turpin, C. (2022). *Evaluación del ruido ambiental y su relación con la percepción auditiva en Av. Abancay—Lima Cercado, octubre 2021*. <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/ab8a0054-a459-4254-9061-450016427cf9>

- Peters, W. (1973). *Suelos y Ecosistemas del Trópico Húmedo*. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 2(3), Article 3. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/25791>
- Quevedo, R. (2003). *EL RUIDO, UN ENEMIGO TEMIBLE*. <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/rita.htm>
- Resolución Ministerial N.º 227-2013-MINAM. (2013). *Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/274700-227-2013-minam>
- Rivas, I. (2015). *Air quality in schools and children's exposure to particulate pollution in Barcelona* [Ph.D. Thesis, Universitat Autònoma de Barcelona]. En TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). <https://www.tdx.cat/handle/10803/317968>
- Shield, B. M., y Dockrell, J. E. (2008). *The effects of environmental and classroom noise on the academic attainments of primary school children*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(1), 133-144. <https://doi.org/10.1121/1.2812596>
- Torres, J. (2022). *Evaluación de las concentraciones de material particulado en el Centro Comercial N°2. Avenida Tacna y Ovalo de la Salida Cusco – Distrito de Juliaca – 2021*. Universidad Andina «Néstor Cáceres Velásquez». <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/8102>
- US EPA, O. (2018). Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente [Overviews and Factsheets]. <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>
- Valavanidis, A., Fiotakis, K., y Vlachogianni, T. (2008). *Airborne particulate matter and human health: Toxicological assessment and importance of size and composition of particles for oxidative damage and carcinogenic mechanisms*. *Journal of Environmental Science and Health. Part C, Environmental Carcinogenesis y Ecotoxicology Reviews*, 26(4), 339-362. <https://doi.org/10.1080/10590500802494538>
- Vargas, M. del P. (2019). *Diagnóstico Ambiental de Ruido en la Zona Comercial e Industrial de la Provincia de Tacna*. Universidad Privada de Tacna. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1276>
- Vásconez, R., y Pila, A. (2017). *Evaluación de la contaminación acústica en sectores urbanos, turísticos y de entretenimiento: Caso de estudio sector La Mariscal, Quito*. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2791303>
- Viana, M., Kuhlbusch, T. A. J., Querol, X., Alastuey, A., Harrison, R. M., Hopke, P. K., Winiwarter, W., Vallius, M., Szidat, S., Prévôt, A. S. H., Hueglin, C., Bloemen, H.,

- Wählin, P., Vecchi, R., Miranda, A. I., Kasper-Giebl, A., Maenhaut, W., y Hitzengerger, R. (2008). *Source apportionment of particulate matter in Europe: A review of methods and results. Journal of Aerosol Science*, 39(10), 827-849. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2008.05.007>
- Vizcarra, E. (2022). *Percepción de los niveles de ruido generados por los vehículos de carga pesada en la avenida El Sol, distrito Ciudad Nueva, Tacna, 2022*. Repositorio Institucional - UPT. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2673>
- WHO Regional Office for Europe. (2013). *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project: Technical Report. WHO Regional Office for Europe*. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK361805/>
- World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization.
- Wiese, A. (2018). *An investigation into ambient noise levels at Rietenbosch primary school*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:135431257>
- Wilson, J. G., Kingham, S., Pearce, J., y Sturman, A. P. (2005). *A review of intraurban variations in particulate air pollution: Implications for epidemiological research. Atmospheric Environment*, 39(34), 6444-6462. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.07.030>
- World Bank. (1999). *Pollution prevention and abatement handbook, 1998*. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/0-8213-3638-X>
- Zannin, P. H. T., Zwirtes, D. P. Z., Passero, C. R. M., Zannin, P. H. T., Zwirtes, D. P. Z., y Passero, C. R. M. (2012). *Assessment of Acoustic Quality in Classrooms Based on Measurements, Perception and Noise Control. En Noise Control, Reduction and Cancellation Solutions in Engineering*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/26429>

**ANEXOS**

## Anexo 1. Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADOR	METODOLOGÍA
<p><b>Problema general</b></p> <p>¿Cuáles son los niveles de ruido y concentración de material particulado por el flujo de tránsito vehicular en la I.E.I. Santa Úrsula?</p>	<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Evaluar los niveles de ruido y concentración de material particulado por el flujo de tránsito vehicular en la I.E.I. Santa Úrsula</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>Los altos niveles de ruido y concentración de material particulado están relacionados con el flujo de tránsito vehicular en la I.E.I. Santa Úrsula.</p>	<p><b>Variable independiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flujo vehicular</li> <li>- Nivel de ruido</li> <li>- Material particulado PM<sub>10</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cantidad de tránsito vehicular.</li> <li>- &lt; 50 dBA LAeqT (ECA Ruido)</li> <li>- &lt; 100 µg/m<sup>3</sup> (ECA Aire), &lt; 45 µg/m<sup>3</sup> (OMS)</li> </ul>	<p><b>Tipo de investigación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigación aplicada</li> </ul> <p><b>Nivel de investigación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploratorio</li> </ul>
<p><b>Problemas específicos</b></p> <p>a. ¿Cuál es el flujo vehicular en las inmediaciones del I.E.I. Santa Úrsula?</p> <p>b. ¿Cuál es el nivel de ruido por el tránsito vehicular?</p> <p>c. ¿Cuál es el nivel de concentración de material particulado por el tránsito vehicular?</p>	<p><b>Objetivos específicos</b></p> <p>a. Medir el tránsito vehicular a inmediaciones del I.E.I. Santa Úrsula.</p> <p>b. Medir los niveles de ruido a consecuencia del tránsito vehicular.</p> <p>c. Medir la concentración de material particulado a consecuencia del tránsito vehicular.</p>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>a. El registro de flujo vehicular en la I.E.I. Santa Úrsula es alto respecto a otras instituciones.</p> <p>b. Los niveles de niveles de ruido a consecuencia del tránsito vehicular no cumplen los estándares de calidad ambiental para ruido.</p> <p>c. La concentración de material particulado a consecuencia del tránsito vehicular no cumple los estándares de calidad ambiental para aire.</p>	<p><b>Variable interviniente</b></p> <p>Condiciones ambientales</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura y Presión ambiental (°C y Pa)</li> </ul>	

### Anexo 2. Formato de registro de flujo de tránsito vehicular

FORMATO DE FLUJO DE TRANSITO VEHICULAR											
ESTACIÓN PRINCIPAL DE LA CARRETERA										ESTACION	
SENTIDO		S ←	Sotavento	B →	Barlovento					CODIGO DE LA ESTAC	
UBICACIÓN										DIA Y FECHA	
HORA DE CONTROL	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	MOTOCICLETAS	CAMIONETAS	MICRO	BUS	CAMION	SEMI TRAYLER		
7:00-8:00											
8:00-9:00											
9:00-10:00											
10:00-11:00											
11:00-12:00											
12:00-13:00											
13:00-14:00											
14:00-15:00											
<b>PARCIAL:</b>											
ENCUESTADOR : _____						ING.RESPONS: _____					

## Anexo 3. Certificado de calibración del Sonómetro

  
**INACAL**  
 Instituto Nacional  
 de Calidad  
 Metrología  
 Laboratorio de Acústica

## Certificado de Calibración

### LAC - 180 - 2022

Página 1 de 9

Expediente	1048774	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad de las mediciones realizadas con las unidades de medida de este instrumento (SI) Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>La Dirección de Metrología del INACAL conserva los patrones nacionales de unidades de medida y realiza calibraciones y mediciones de rutina en los instrumentos de metrología para el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP).</p> <p>La Dirección de Metrología es miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) y participa activamente en las Intercomparaciones que éste realiza en la región.</p> <p>Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.</p>
Solicitante	<b>MT EQUIPAMIENTO TECNOLOGIC SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - MT EQUITEC S.A.C.</b>	
Dirección	<b>Av. Basadre y Forero Nro. 2142 P.J. Bolognesi</b>	
Instrumento de Medición	<b>Sonómetro</b>	
Marca	<b>LARSON DAVIS</b>	
Modelo	<b>LxT1</b>	
Procedencia	<b>NO INDICA</b>	
Resolución	<b>0,1 dB</b>	
Clase	<b>1</b>	
Número de Serie	<b>0007157</b>	
Micrófono	<b>PCB 377B02</b>	<p>Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL. Certificados sin firma digital y sello carecen de validez.</p>
Serie del Micrófono	<b>340128</b>	
Fecha de Calibración	<b>2022-10-20</b>	



**DM**  
**INACAL**  
Dirección de Metrología

Responsable del área



Firmado digitalmente por DE LA CRUZ GARCIA  
 Leonardo FAU  
 59E028E03E110E  
 Fecha: 2022.10.20 11:49:21

Dirección de Metrología

Responsable del laboratorio



Firmado digitalmente por GUEVARA CHUCUJLANQUI  
 Giancarlo Miguel FAU  
 24601891510E  
 Fecha: 2022.10.20 11:48:00

Dirección de Metrología

**Instituto Nacional de Calidad - INACAL**  
 Dirección de Metrología  
 Calle Las Camelias N° 817, San Isidro, Lima - Perú  
 Telf.: (01) 640-8820 Anexo 1501  
 Email: [metrologia@inacal.gob.pe](mailto:metrologia@inacal.gob.pe)  
 Web: [www.inacal.gob.pe](http://www.inacal.gob.pe)

Puede verificar el número de certificado en la página:  
<https://aplicaciones.inacal.gob.pe/dm/verificar/>

## Anexo 4. Certificado de calibración del calibrador del sonómetro

 <b>INACAL</b> Instituto Nacional de Calidad Metrología	<h2>Certificado de Calibración</h2> <h3>LAC - 181 - 2022</h3>																				
Laboratorio de Acústica																					
Página 1 de 4																					
<table border="0"> <tr> <td>Expediente</td> <td><b>1048774</b></td> </tr> <tr> <td>Solicitante</td> <td><b>MT EQUIPAMIENTO TECNOLOGIC SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - MT EQUITEC S.A.C.</b></td> </tr> <tr> <td>Dirección</td> <td><b>Av. Basadre y Forero Nro. 2142 P.J. Bolognesi</b></td> </tr> <tr> <td>Instrumento de Medición</td> <td><b>CALIBRADOR ACUSTICO</b></td> </tr> <tr> <td>Marc.</td> <td><b>LARSON DAVIS</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td><b>CAL200</b></td> </tr> <tr> <td>Propiedad</td> <td><b>NO INDICADA</b></td> </tr> <tr> <td>Clase</td> <td><b>1</b></td> </tr> <tr> <td>Número de Serie</td> <td><b>20424</b></td> </tr> <tr> <td>Fecha de Calibración</td> <td><b>2022-10-20</b></td> </tr> </table>	Expediente	<b>1048774</b>	Solicitante	<b>MT EQUIPAMIENTO TECNOLOGIC SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - MT EQUITEC S.A.C.</b>	Dirección	<b>Av. Basadre y Forero Nro. 2142 P.J. Bolognesi</b>	Instrumento de Medición	<b>CALIBRADOR ACUSTICO</b>	Marc.	<b>LARSON DAVIS</b>		<b>CAL200</b>	Propiedad	<b>NO INDICADA</b>	Clase	<b>1</b>	Número de Serie	<b>20424</b>	Fecha de Calibración	<b>2022-10-20</b>	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)</p> <p>La Dirección de Metrología custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones metrologías a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú. (SLUMP).</p> <p>La Dirección de Metrología es miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) y participa activamente en las Intercomparaciones que éste realiza en la región.</p> <p>Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.</p>
Expediente	<b>1048774</b>																				
Solicitante	<b>MT EQUIPAMIENTO TECNOLOGIC SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - MT EQUITEC S.A.C.</b>																				
Dirección	<b>Av. Basadre y Forero Nro. 2142 P.J. Bolognesi</b>																				
Instrumento de Medición	<b>CALIBRADOR ACUSTICO</b>																				
Marc.	<b>LARSON DAVIS</b>																				
	<b>CAL200</b>																				
Propiedad	<b>NO INDICADA</b>																				
Clase	<b>1</b>																				
Número de Serie	<b>20424</b>																				
Fecha de Calibración	<b>2022-10-20</b>																				
<p>Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL.          Certificados sin firma digital y sello carecen de validez.</p>																					
	Responsable del área  Firmado digitalmente por LA CRUZ GARCIA Legitimación PAU 2022-10-20 17:48:21	Responsable del laboratorio  Firmado digitalmente por ZUCCO BLANCO Legitimación PAU 2022-10-20 17:48:21																			
Dirección de Metrología	Dirección de Metrología																				
<p><b>Instituto Nacional de Calidad - INACAL</b>  <b>Dirección de Metrología</b>          Calle Las Camotías N° 817, San Isidro, Lima - Perú          Tel.: (01) 640-8820 Anexo 1501          Email: <a href="mailto:metrologia@inacal.gob.pe">metrologia@inacal.gob.pe</a>          Web: <a href="http://www.inacal.gob.pe">www.inacal.gob.pe</a></p>																					
Puede verificar el número de certificado en la página: <a href="https://aplicaciones.inacal.gob.pe/indicofiserv/">https://aplicaciones.inacal.gob.pe/indicofiserv/</a>																					

### Anexo 5. Procedimiento de corrección de datos por sonido residual

La corrección se realizó empleando la siguiente ecuación general propuesta en el Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental.

$$L_{Corr} = 10 \log(10^{L_{Fuente}/10} - 10^{L_{Residual}/10}) \text{ dB} \quad (5)$$

Donde:

$L_{Corr}$  Es el nivel de presión sonora corregido.

$L_{Fuente}$  Es el nivel de presión sonora medido de la fuente específica.

$L_{Residual}$  Es el nivel de presión sonora residual.

Estación	Monitoreo	LAFeq (dB)	Sonido residual - L90	Diferencia	Lcorr
E1	M1-R1	66,6	54,8	11,8	-
E1	M1-R2	67,3	55,5	11,8	-
E1	M1-R3	67	58,7	8,3	66,3
E1	M2-R1	66,6	53,5	13,1	-
E1	M2-R2	65,2	59,3	5,9	63,9
E1	M2-R3	68,9	55,5	13,4	-
E1	M3-R1	66,6	56,4	10,2	-
E1	M3-R2	67,3	52,9	14,4	-
E1	M3-R3	65,9	55,2	10,7	-

Nota. -: De acuerdo al Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental R.M. N.º 227-2013-MINAM, si la diferencia es 10 dB o más, no hay que aplicar correcciones, si la diferencia es de 3 dB o menos, no se puede realizar la corrección puesto que la incertidumbre es grande.

## Anexo 6. Formato de campo para muestreo de Material Particulado

<b>Muestreo de Material Particulado PM10 Equipo Hi Vol</b>
<b>Datos de Campo</b>

### 1. Datos

Estación de monitoreo	<input style="width: 90%;" type="text"/>	Código de Filtro	<input style="width: 90%;" type="text"/>
EQC Hi Vol	<input style="width: 90%;" type="text"/>	EQC Manómetro	<input style="width: 90%;" type="text"/>
Nº Serie Venturi	<input style="width: 90%;" type="text"/>		

### 2. Fechas

Instalación	Personal	Fecha	Hora
Fecha de Instalación	_____	_____	_____
Fecha de muestreo	_____	_____	_____
Retiro	Personal	Fecha	Hora
Fecha de Retiro	_____	_____	_____

### 3. Verificación de Flujo

ΔP (mm Hg): _____	T (°C): _____	P (mm Hg): _____
-------------------	---------------	------------------

### 4. Parámetros de Operación

Datos Ambientales	Tav (°C): <input style="width: 80%;" type="text"/>	Pav (mm Hg): <input style="width: 80%;" type="text"/>	
ΔP inicial:	_____ mm Hg	P1:	_____ mm Hg
ΔP final:	_____ mm Hg	P1/Pav:	_____ mm Hg
ΔPav:	_____ mm Hg	Flow Rate (Q):	_____ m <sup>3</sup> /min
<b>Tiempo de Muestreo (T)</b>	_____ min	<b>Volumen de Muestreo</b>	_____ m <sup>3</sup>

## Anexo 7. Panel fotográfico

**Figura 11**

*Registro de Flujo Vehicular en la Estación E1*



**Figura 12**

*Verificación inicial del estado del Sonómetro*



**Figura 13**

*Desmontaje del HiVol del muestreo de la estación E1*

**Figura 14**

*Pesaje de los filtros muestreados en la estación E1*

