

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

**"Evaluación acústica del ruido vehicular según la norma ISO 1996-2
y el rol del arbolado urbano como barrera sonora en la Av. Alameda
de la República, Huánuco, al 2025"**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL**

AUTOR: Alvarez Carhuachin, Edihno Victor

ASESOR: Morales Aquino, Milton Edwin

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H

**TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

- Tesis (x)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación Ambiental**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** (2020)**CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:****Área:** Ingeniería, tecnología**Sub área:** Ingeniería Ambiental**Disciplina:** Ingeniería ambiental y geológica**DATOS DEL PROGRAMA:**

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (x)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 48439717

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 44342697

Grado/Título: Maestro en ingeniería, con mención en:
gestión ambiental y desarrollo sostenible

Código ORCID: 0000-0002-2250-3288

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Vásquez Baca, Yasser	Título oficial de máster universitario en planificación territorial y gestión ambiental	42108318	0000-0002-7136-697X
2	Romero Estacio, Jorge Antonio	Maestro en gestión pública para el desarrollo social	22520481	0009-0000-2063-4076
3	Calixto Vargas, Simeon Edmundo	Maestro en administración de la educación	22471306	0000-0002-5114-4114



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:30 horas del día 25 del mes de noviembre del año 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

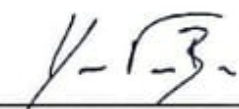
- Mg. Yasser Vasquez Baca (Presidente)
- Mg. Jorge Antonio Romero Estacio (Secretario)
- Mg. Simeon Edmundo Calixto Vargas (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 2498-2025-D-FI-UDH** para evaluar la Tesis intitulada: **"Evaluación Acústica del Ruido Vehicular según la Norma ISO 1996-2 y el Rol del Arbolado Urbano como Barrera Sonora en la Av. Alameda de la República, Huánuco, al 2025"**, presentado por el (la) Bach. **ALVAREZ CARHUACHIN, EDIHNO VICTOR**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

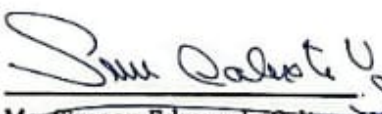
Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) aprobado Por unanimidad con el calificativo cuantitativo de 15 y cualitativo de bueno (Art. 47)

Siendo las 18:30 horas del día 25 del mes de noviembre del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


Mg. Yasser Vasquez Baca
DNI: 42108318
ORCID: 0000-0002-7136-697X
Presidente


Mg. Jorge Antonio Romero Estacio
DNI: 22520481
ORCID: 0009-0000-2063-4076
Secretario


Mg. Simeon Edmundo Calixto Vargas
DNI: 22471306
ORCID: 0000-0002-5114-4114
Vocal

212. EDIHNO VICTOR ALVAREZ CARHUACHIN.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

7 %

INDICE DE SIMILITUD

6 %

FUENTES DE INTERNET

4 %

PUBLICACIONES

3 %

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

distancia.udh.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

2

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

3

repositorioslatinoamericanos.uchile.cl

Fuente de Internet

<1 %

4

hdl.handle.net

Fuente de Internet

<1 %

5

Submitted to Corporación Universitaria
Minuto de Dios, UNIMINUTO

Trabajo del estudiante

<1 %



RICHARD J. SOLIS TOLEDO

D.N.I.: 47074047

cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA

D.N.I.: 71345687

cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: EDIHNO VICTOR ALVAREZ CARHUACHIN, de la investigación titulada "EVALUACIÓN ACÚSTICA DEL RUIDO VEHICULAR SEGÚN LA NORMA ISO 1996-2 Y EL ROL DEL ARBOLADO URBANO COMO BARRERA SONORA EN LA AV. ALAMEDA DE LA REPÚBLICA, HUÁNUCO, AL 2025", con asesor(a) MILTON EDWIN MORALES AQUINO, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 0117-2025-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 7 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 29 de octubre de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A quienes han sido parte de mi camino, a quienes, con sus palabras, acciones o simplemente con su presencia, contribuyeron de alguna manera a mi crecimiento personal y profesional. Cada experiencia compartida, cada enseñanza recibida y cada momento vivido ha sido fundamental para llegar hasta aquí.

Este logro es también de quienes, sin saberlo, inspiraron mi esfuerzo constante y alimentaron mi deseo de superación.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, por brindarme la vida, la salud y la fortaleza necesarias para culminar esta importante etapa académica.

Extiendo mi agradecimiento a todas las personas que, directa o indirectamente, contribuyeron al desarrollo de este trabajo. Su apoyo, consejos y motivación fueron fundamentales para hacer posible la realización de esta tesis.

Agradezco a los docentes del programa académico por su compromiso con la enseñanza, por compartir sus conocimientos y por formar profesionales con sentido crítico y responsabilidad ambiental.

De manera especial, reconozco el acompañamiento recibido durante el proceso de investigación, el cual fue clave para orientar, fortalecer y dar forma a cada etapa de este proyecto.

También expreso mi gratitud a todas las personas e instituciones que brindaron su colaboración durante el trabajo de campo, demostrando siempre amabilidad, disposición y paciencia.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN.....	XI
CAPÍTULO I.....	13
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	14
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	14
1.3. OBJETIVO GENERAL.....	14
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.5.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL	15
1.5.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	15
1.5.3. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL	16
1.5.4. JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA.....	16
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.7.1. VIABILIDAD OPERATIVA	17
1.7.2. VIABILIDAD TÉCNICA	18
1.7.3. VIABILIDAD DE RECURSOS FINANCIEROS.....	18
CAPÍTULO II.....	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	20
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	22

2.2. BASES TEÓRICAS	23
2.2.1. RUIDO VEHICULAR	23
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	37
2.4. HIPÓTESIS	39
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	39
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	39
2.5. VARIABLES	39
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE.....	39
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	39
2.5.3. VARIABLE INTERVINIENTE.....	39
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	40
CAPÍTULO III.....	41
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	41
3.1.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
3.1.2. ALCANCE O NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
3.1.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	42
3.2.1. POBLACIÓN	42
3.2.2. MUESTRA.....	42
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	44
3.3.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	44
3.3.2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	44
3.3.3. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	45
3.3.4. TÉCNICA DE COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS	46
CAPITULO IV	47
RESULTADOS	47
4.1. IDENTIFICACIÓN DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA...47	
4.2. CARACTERIZACIÓN DEL ARBOLADO URBANO.....	56
4.3. FLUJO VEHICULAR.....	57
4.4. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	59
4.4.1. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1 (HE1).....	59
4.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2 (HE2).....	60

4.4.3. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3 (HE3)	61
CAPITULO V	63
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales normas nacionales y locales sobre ruido ambiental en Perú.....	24
Tabla 2 Instituciones encargadas de normar, gestionar, supervisar y fiscalizar el ruido ambiental en el Perú	24
Tabla 3 Comparación entre la Norma ISO 1996-2, el Protocolo de Monitoreo de Ruido Ambiental (MINAM) y los ECA para Ruido.....	25
Tabla 4 Tipología del Ruido Vehicular	27
Tabla 5 Principales parámetros de medición acústica	28
Tabla 6 Especies Forestales Atenuadoras del Ruido en Entornos Urbanos	31
Tabla 7 Operacionalización de Variables	40
Tabla 8 Ventanas de muestreo adoptadas (ISO 1996-2)	47
Tabla 9 Niveles equivalentes de presión sonora (Leq) en Zonas A y B durante los periodos normativos de la ISO 1996-2	48
Tabla 9 Leq y atenuación (Zonas A vs. B, periodos ISO).....	49
Tabla 10 Composición y distribución de especies arbóreas por zona	56
Tabla 11 Composición y distribución de especies arbóreas por zona	57
Tabla 12 Distribución absoluta y porcentual de vehículos menores, livianos y pesados en zonas con arbolado (A) y sin arbolado (B).....	58
Tabla 13 Flujo vehicular por periodo	58
Tabla 14 Prueba t para una muestra en el periodo Día (Leq vs. ECA 70 dB)	59
Tabla 15 Prueba t para una muestra en el periodo Tarde (Leq vs. ECA 70 dB)	59
Tabla 16 Prueba t para una muestra en el periodo Noche (Leq vs. ECA 60 dB).....	60
Tabla 17 Prueba t para muestras independientes sobre Leq entre zonas con y sin arbolado urbano	61
Tabla 18 ANOVA del modelo de regresión lineal múltiple	61
Tabla 19 Coeficientes del modelo de regresión	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Punto de monitoreo con cobertura arbórea significativa.....	43
Figura 2 Punto de monitoreo con escasa cobertura arbórea.....	43
Figura 4 Promedio Leq por periodo Zona A y Zona B	50
Figura 4 Flujograma metodológico para la elaboración del mapa acústico mediante QGIS 3.40.4	52
Figura 5 Mapa de Distribución de Niveles de Ruido (Periodo día)	53
Figura 6 Mapa de Distribución de Niveles de Ruido (Periodo tarde)	54
Figura 7 Mapa de Distribución de Niveles de Ruido (Periodo noche)	55

RESUMEN

Esta tesis evalúa la relación entre el arbolado urbano y los niveles de ruido vehicular en la Av. Alameda de la República (Huánuco) durante 2025, conforme a la norma ISO 1996-2. El problema radica en que el tráfico genera presiones sonoras cercanas o superiores a los límites normativos y se desconoce la eficacia real de la cobertura vegetal local como barrera pasiva.

El objetivo general fue determinar si el arbolado atenúa el ruido hasta cumplir los valores diurno (70 dB) y nocturno (60 dB) exigidos. Se utilizó un enfoque cuantitativo, no experimental, correlacional y transversal. La muestra incluyó 42 registros acústicos por margen (Zona A, con arbolado; Zona B, sin arbolado), obtenidos en tres ventanas de 30 min (08:00–08:30, 19:00–19:30, 23:00–23:30) durante siete días consecutivos. Paralelamente se inventariaron 148 árboles, midiendo diámetro a la altura del pecho, altura total y área foliar. Los resultados muestran medias Leq de $67,6 \pm 0,5$ dB (día), $64,8 \pm 0,6$ dB (tarde) y $55,8 \pm 0,6$ dB (noche) en la zona arbolada, frente a $73,6 \pm 0,5$, $70,8 \pm 0,6$ y $61,8 \pm 0,6$ dB en la expuesta; la diferencia constante de 6 dB fue significativa ($t = -3,77$; $p = 0,001$). El ANOVA de medidas repetidas confirmó variación horaria ($F = 38,6$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,66$). El modelo de regresión múltiple ($R^2 = 0,20$) identificó a la altura de copa ($\beta = -0,29$; $p < 0,001$) y la cobertura foliar ($\beta = -0,35$; $p < 0,001$) como predictores negativos de Leq ; el diámetro no resultó significativo.

Se interpreta que una franja perennifolia continua de ≥ 10 m de altura y ≥ 5 m² de copa por árbol puede reducir ~ 6 dB, suficiente para cumplir el límite nocturno y acercarse al diurno aun con un 9 % más de vehículos. Se recomienda densificar la margen oriental con *Ficus benjamina* y *Tipuana tipu*, mantener podas selectivas que conserven el cierre foliar y establecer un índice de densidad foliar en la ordenanza municipal. En conclusión, el arbolado urbano constituye una solución pasiva, eficiente y replicable para mitigar la contaminación acústica vial en ciudades intermedias como Huánuco.

Palabras clave: arbolado urbano; ruido vehicular; ISO 1996-2; Huánuco; atenuación sonora.

ABSTRACT

This thesis evaluates the relationship between urban tree cover and vehicle noise levels on Av. Alameda de la República (Huánuco) during 2025, in accordance with ISO 1996-2 standards. The issue lies in traffic generating sound pressures near or above regulatory limits, with the actual effectiveness of local vegetation cover as a passive barrier still unknown.

The general objective was to determine whether the tree cover attenuates noise enough to meet the daytime (70 dB) and nighttime (60 dB) thresholds. A quantitative, non-experimental, correlational, and cross-sectional approach was used. The sample included 42 acoustic recordings per side (Zone A, with trees; Zone B, without trees), obtained in three 30-minute windows (08:00–08:30, 19:00–19:30, 23:00–23:30) over seven consecutive days. Simultaneously, 148 trees were inventoried, measuring diameter at breast height, total height, and leaf area. Results show mean Leq values of 67.6 ± 0.5 dB (morning), 64.8 ± 0.6 dB (evening), and 55.8 ± 0.6 dB (night) in the treed zone, compared to 73.6 ± 0.5 , 70.8 ± 0.6 , and 61.8 ± 0.6 dB in the exposed zone; the consistent 6 dB difference was significant ($t = -3.77$; $p = 0.001$). Repeated-measures ANOVA confirmed hourly variation ($F = 38.6$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.66$). The multiple regression model ($R^2 = 0.20$) identified canopy height ($\beta = -0.29$; $p < 0.001$) and leaf cover ($\beta = -0.35$; $p < 0.001$) as negative predictors of Leq ; diameter was not significant.

It is interpreted that a continuous evergreen strip ≥ 10 m in height and ≥ 5 m² of canopy per tree can reduce noise by ~ 6 dB, sufficient to meet the nighttime limit and approach the daytime threshold even with a 9% increase in vehicle volume. It is recommended to densify the eastern margin with *Ficus benjamina* and *Tipuana tipu*, maintain selective pruning that preserves canopy closure, and establish a leaf density index in the municipal ordinance.

In conclusion, urban tree cover is a passive, efficient, and replicable solution for mitigating traffic noise pollution in intermediate cities such as Huánuco.

Keywords: urban trees; traffic noise; ISO 1996-2; Huánuco; sound attenuation.

INTRODUCCIÓN

La contaminación acústica se ha consolidado como uno de los principales problemas ambientales en entornos urbanos, debido a sus efectos adversos sobre la salud humana y la calidad de vida. La exposición prolongada a niveles de ruido superiores a 65 dB(A) se asocia con alteraciones del sueño, aumento de la presión arterial, fatiga, disminución del rendimiento cognitivo y mayores niveles de estrés, con impactos significativos tanto a nivel individual como social y económico.

En las ciudades intermedias del Perú, el crecimiento urbano desordenado y el incremento sostenido del parque automotor han intensificado la problemática del ruido vehicular. Huánuco no es ajeno a esta situación: en vías de alto tránsito como la Av. Alameda de la República, los niveles de presión sonora superan con frecuencia los límites establecidos en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Ruido (D.S. N.° 085-2003-PCM), comprometiendo el bienestar de la población expuesta.

Frente a esta realidad, se vuelve necesario explorar soluciones sostenibles que permitan mitigar la propagación del ruido. En este contexto, el arbolado urbano juega un papel fundamental no solo como elemento paisajístico y proveedor de servicios ecosistémicos, sino también como barrera acústica natural, capaz de atenuar los niveles de ruido vehicular mediante la absorción, dispersión y refracción de las ondas sonoras.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar acústicamente el ruido vehicular en la Av. Alameda de la República de Huánuco, según la Norma ISO 1996-2, y analizar el rol del arbolado urbano como barrera sonora al 2025. La metodología adoptada es de tipo cuantitativo, con diseño no experimental, transversal y descriptivo. Se realizarán mediciones de niveles equivalentes de presión sonora (L_{Aeq}) utilizando sonómetros clase 1 en puntos estratégicos de la avenida, tanto en zonas con arbolado urbano como en tramos carentes de cobertura vegetal, para comparar su capacidad de atenuación.

El documento se encuentra estructurado en cinco capítulos. El Capítulo I presenta el planteamiento del problema, los antecedentes y la justificación

del estudio. El Capítulo II desarrolla el marco teórico y conceptual, abordando los fundamentos de la acústica ambiental y la función ecológica del arbolado urbano. El Capítulo III describe la metodología de investigación, detallando el diseño, la población de estudio, los instrumentos y los procedimientos de recolección de datos. El Capítulo IV expone los resultados obtenidos y su respectivo análisis comparativo. Finalmente, el Capítulo V presenta las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

Se espera que los hallazgos de este estudio brinden evidencia científica útil para fundamentar la implementación de estrategias de planificación urbana basadas en infraestructura verde, así como la incorporación del arbolado como un componente clave en la gestión ambiental municipal. Con ello, se contribuirá de forma técnica y ética a la construcción de entornos urbanos más saludables y sostenibles en ciudades intermedias como Huánuco.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Actualmente, la contaminación acústica es una de las preocupaciones ambientales más importantes en las áreas urbanas, particularmente en aquellas con alto tráfico vehicular (Goines & Hagler, 2007). La Avenida Alameda de la República, en la provincia de Huánuco, no es una excepción; se ha convertido en una vía de tránsito para vehículos ligeros y pesados, lo que proporciona niveles altos de ruido que pueden exceder los límites para salvaguardar la salud y calidad de vida de los habitantes de la zona (Municipalidad Provincial de Huánuco, 2018).

Según la OMS, niveles de sonido ambiental superiores a 65DB(A) son un factor de riesgo en la medida en que pueden causar potencialmente alteraciones en los patrones de sueño, estrés, irritabilidad y otros problemas de salud (Organización Mundial de la Salud, 2018). Aquí en Perú, el rápido crecimiento de la propiedad de automóviles de la población junto con la mala planificación urbana hacia la conservación ambiental ha llevado a un incremento de la contaminación acústica en ciudades intermedias como Huánuco (MINAM, 2019).

Para medir y evaluar adecuadamente los niveles de ruido ambiental, la ISO 1996-2 proporciona un conjunto de directrices que se suponen deben dar resultados razonablemente precisos y comparables (ISO, 2017). Sin embargo, en Huánuco, persiste una relativa falta de estudios que apliquen esta metodología con suficiente rigor, lo que dificulta mucho definir estrategias de control y mitigación para el ruido (MINAM, 2019).

En este contexto, se ha observado que la forestería urbana podría servir como una barrera natural para la propagación de las ondas sonoras (Fang & Ling, 2003). Varios estudios señalan que la presencia de un follaje denso de árboles y arbustos puede reducir significativamente la percepción del ruido en carreteras altamente transitadas, siempre y cuando se cumplan algunas condiciones como la altura de la vegetación, densidad y disposición (Van Renterghem, 2019). Sin embargo, no hay un estudio detallado disponible para

la Av. Alameda de la República que cuantifique el efecto real de la cobertura vegetal en la mitigación del ruido, lo que dificulta la aplicación de medidas necesarias que dependerían de soluciones naturales.

Por lo tanto, es necesario analizar y describir los problemas actuales relacionados con el ruido provocado por el tráfico en la Av. Alameda de la República y evaluar, paso a paso, la contribución del bosque urbano en la mitigación de los niveles de contaminación acústica. Los resultados no solo ayudarán a mejorar el bienestar de los residentes, sino que también asistirá en la planificación urbana y la formulación de políticas destinadas a una mayor sostenibilidad ambiental de la región de Huánuco (MINAM, 2019; OMS, 2018).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la relación entre el nivel de ruido vehicular y el arbolado urbano como barrera sonora en la Av. Alameda de la República, Huánuco, 2025?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuáles son los niveles de presión sonora predominantes en diferentes horarios y tramos de la Av. Alameda de la República, de acuerdo a los lineamientos de la ISO 1996-2 y la normativa nacional sobre ruido?

¿Qué variación en los niveles de ruido se observa entre las zonas con mayor densidad de arbolado y aquellas con escasa cobertura vegetal en la Av. Alameda de la República?

¿Qué características del arbolado urbano (altura, densidad, especies predominantes) influyen de forma más significativa en la atenuación del ruido vehicular, y cómo se comparan estos valores con los límites establecidos en la norma ISO 1996-2?

1.3. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los niveles de ruido vehicular en la Av. Alameda de la República de la ciudad de Huánuco de acuerdo con la norma ISO 1996-2 y determinar la efectividad del arbolado urbano como barrera sonora al año 2025.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Cuantificar los niveles de presión sonora en diferentes horarios y secciones de la Av. Alameda de la República, siguiendo la metodología propuesta por la ISO 1996-2 y la normativa nacional sobre ruido.

Analizar la variación de los niveles de ruido entre áreas con mayor densidad de arbolado y zonas con escasa cobertura vegetal, identificando la capacidad de atenuación sonora en cada caso.

Determinar las características clave del arbolado urbano (altura, densidad y especies predominantes) que inciden de manera más significativa en la reducción del ruido vehicular, comparando los resultados obtenidos con los límites establecidos en la norma ISO 1996-2.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Los niveles de ruido provenientes del tráfico vehicular en las calles de las ciudades generaron un impacto negativo en la calidad de vida de los habitantes, debido a sus efectos adversos sobre la salud física y mental, tales como el estrés y los trastornos del sueño. En el caso de la Av. Alameda de la República, el alto tránsito vehicular expuso a la población a un mayor grado de vulnerabilidad ante el ruido, superando los límites aceptables establecidos a nivel internacional. Por ello, esta investigación tuvo como propósito generar información útil para contribuir a la mitigación de la contaminación acústica y, en consecuencia, mejorar la calidad de vida social de la población de Huánuco. Además, se promovió el uso del arbolado urbano como barrera natural contra el ruido, demostrando su efectividad en la mejora del entorno comunitario.

1.5.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

El ruido excesivo no solo afectó la salud, sino también la productividad y la economía local. Entornos ruidosos redujeron la eficiencia laboral e incrementaron los costos relacionados con la atención en salud pública, debido al estrés y a la exposición prolongada

a sonidos nocivos. La implementación de medidas de mitigación, como la gestión del tráfico y la planificación de áreas verdes, pudo generar ahorros significativos en gastos médicos y aumentar el valor inmobiliario en zonas menos ruidosas. La información obtenida en esta investigación sirvió como insumo para que las autoridades diseñaran planes de inversión en infraestructura verde y sistemas de control de tráfico, orientados a reducir costos a mediano y largo plazo.

1.5.3. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

Las áreas verdes integradas en el entorno urbano no solo redujeron la contaminación sonora, sino que también contribuyeron a la mejora de la calidad del aire, del microclima y al fortalecimiento de la biodiversidad local. Al analizar la capacidad de los árboles para atenuar el ruido, se justificó el desarrollo de programas de reforestación urbana y la conservación de la flora nativa en Huánuco. Esta investigación impulsó la inclusión de infraestructura verde en la planificación urbana, fomentando la creación de políticas sostenibles, resilientes y favorables al bienestar ambiental.

1.5.4. JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA

La aplicación de la norma internacional ISO 1996-2 para la evaluación y control del ruido ambiental implicó el uso de tecnología especializada como sonómetros y registradores de datos, lo cual permitió realizar mediciones precisas. La ejecución de esta investigación fortaleció la capacidad técnica local para medir el ruido de manera adecuada, y promovió la formación de personal competente en el uso de dichas herramientas. De este modo, se fomentó la generación de conocimiento científico confiable y verificable, sobre el cual las autoridades y las instituciones académicas pudieron sustentar futuras intervenciones.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Entre las limitaciones identificadas durante el desarrollo del estudio se encontró, en primer lugar, la disponibilidad de equipos, ya que la investigación dependió de contar con sonómetros y otros instrumentos de medición acústica

de alta precisión. La obtención y calibración de estos equipos representó un desafío logístico, especialmente al requerir mediciones exactas para garantizar la validez de los resultados.

Asimismo, las condiciones climáticas representaron una limitación importante. Factores como la velocidad del viento, la temperatura y la humedad influyeron directamente en la propagación del sonido, alterando los valores de medición. Por este motivo, fue necesario planificar cuidadosamente los horarios de trabajo de campo para realizar las mediciones en momentos con condiciones climáticas más estables.

Otra dificultad se relacionó con el tráfico vehicular inconsistente. Las variaciones en el flujo vehicular —ocasionadas por accidentes, eventos locales o manifestaciones— dificultaron la programación precisa de las mediciones conforme a los estándares establecidos por la norma ISO 1996-2. Estas interrupciones generaron la necesidad de repetir algunas mediciones para obtener datos representativos.

También se identificó como limitante la condición del bosque urbano, ya que las características del arbolado cambiaron según la estación del año. En el caso de árboles de hoja caduca, su efectividad como barrera sonora disminuyó durante ciertas épocas, afectando la comparación entre periodos de medición.

Finalmente, la accesibilidad a información municipal fue restringida. La falta de acceso o la disponibilidad limitada de documentos actualizados sobre planificación urbana y políticas ambientales dificultó el análisis integral del problema, impidiendo vincular plenamente los resultados obtenidos con la gestión ambiental local.

1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. VIABILIDAD OPERATIVA

El estudio se llevó a cabo con un alto nivel de colaboración de las autoridades locales, que facilitaron el acceso a las vías necesarias para las mediciones. La infraestructura vial presente en la Av. Alameda de la República permitió instalar los equipos de monitoreo en puntos seguros y estratégicos. Además, se logró organizar el trabajo en distintos horarios

del día, lo que permitió mitigar interrupciones debidas al clima, festividades o situaciones imprevistas de tráfico.

1.7.2. VIABILIDAD TÉCNICA

El sustento técnico del estudio se basó en normas internacionales como la ISO 1996-2, que proporcionaron criterios para medir y analizar la contaminación acústica. Se contó con equipamiento adecuado y metodologías probadas para evaluar tanto el ruido vehicular como la influencia del arbolado urbano. El uso de programas estadísticos permitió procesar los datos con precisión, obteniendo resultados comparables y verificables en distintos contextos.

1.7.3. VIABILIDAD DE RECURSOS FINANCIEROS

La ejecución de esta investigación fue económicamente viable. Aunque se requirió una inversión inicial en instrumentos de medición, estos pudieron ser reutilizados en estudios futuros. Los costos asociados al personal, transporte y elaboración de informes fueron manejables y se financiaron a través de recursos institucionales o convenios con entidades interesadas en la mejora ambiental. Con el apoyo logístico adecuado, el estudio se desarrolló sin mayores restricciones económicas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Robles et al. (2019) buscaron mitigar el problema del ruido urbano mediante un estudio que cuantificó los niveles de sonido del parque O'Higgins en Mendoza, Argentina, junto con las características paisajísticas del parque para evaluar su efectividad como barreras contra el ruido. Como parte de su metodología, realizaron mediciones de los niveles de sonido en ubicaciones específicas dentro del parque durante cuatro momentos diferentes del día en verano e invierno, así como encuestas de vegetación y mediciones dendrométricas de la vegetación existente. Sus hallazgos indicaron que los niveles de sonido en las estaciones con especies arbóreas de hojas caducas eran más bajos en invierno (64-84%). Se determinó que la atenuación del ruido mediante el diseño, composición y disposición espacial de la vegetación calificaba para un ajuste estructural que aumenta la proporción de árboles perennifolios. Se sugirieron estrategias de plantación que abordan las características de la vegetación para mejorar su efectividad como barrera de ruido.

Posada et al. (2009) realizaron un estudio con el objetivo de analizar el potencial de mitigación del ruido de la vegetación en el Valle de Aburrá, ubicado en Colombia. El estudio se llevó a cabo en dos etapas; la primera consistió en una revisión de literatura relacionada con el papel de la vegetación en la mitigación del ruido y la segunda incluyó la toma de mediciones de ruido a 10 metros de la fuente (una carretera con mucho tráfico) en áreas urbanas públicas que tenían diferentes niveles de vegetación (árbol, arbusto y árbol-arbusto), así como en áreas que estaban desprovistas de vegetación. Los resultados mostraron que no había diferencias significativas entre los sitios vegetados y los no vegetados. Esto significa que, bajo las condiciones del estudio que se caracterizaban por vegetación escasa y de baja densidad, la vegetación

no desempeña un papel significativo en la reducción del ruido. Se concluyó que, para el control del ruido en áreas urbanas, se deben tomar medidas más activas además de plantar árboles o hacer que cercas vivas sean más anchas, largas, altas y densas. Se sugiere que estas consideraciones se incluyan en el diseño de barreras vegetales destinadas a mitigar el ruido urbano.

Fernández y Villegas (2019) evaluaron el efecto de la cobertura arbórea urbana en la mitigación del ruido en la Avenida Alameda en Talca, Chile. La metodología incluyó el registro de niveles máximos y mínimos de ruido en 13 ubicaciones de la avenida durante 12 días, en tres momentos diferentes del día y a varias distancias del borde de la carretera, así como la medición de la cobertura de árboles y arbustos en cada sitio utilizando parcelas circulares de 201 m². Los resultados indicaron diferencias significativas entre las clases de cobertura, aunque no hubo una relación significativa entre el nivel de ruido y el aumento de la cobertura, probablemente debido a la alta variabilidad en los registros de ruido. No obstante, la vegetación situada a 6.5 metros en el lado protegido de la fuente de ruido mostró niveles de ruido más bajos con un aumento en la cobertura de vegetación, lo que confirma la función ambiental de la vegetación en la mitigación de este contaminante. Los autores recomiendan establecer políticas públicas dirigidas a un diseño de planificación urbana que considere una mayor y mejor disponibilidad de integración de especies arbóreas y que algunos espacios públicos se ubiquen alejados de fuentes de contaminación acústica.

1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

El enfoque principal del estudio de Vásquez Samamé (2020) fue analizar el efecto del ruido ambiental en la calidad de vida de las personas que viven en áreas urbanas de Lima Metropolitana, teniendo en cuenta el impacto del tráfico vehicular como la principal fuente de contaminación acústica. Esto se realizó mediante la medición de niveles de presión sonora con un sonómetro calibrado y la emisión de cuestionarios para evaluar la percepción del público sobre el ruido como forma de contaminación. Se encontró que los niveles de ruido en la

mayoría de los lugares probados estaban por encima de 70 dB, lo que corresponde a los estándares de calidad ambiental aceptados a nivel regional, y, por lo tanto, son calamitosos para la salud. La investigación demostró claramente los impactos negativos de la contaminación acústica en la calidad de vida de los residentes mediante un aumento del estrés y daños a la salud auditiva. El estudio sugirió la necesidad de elaborar políticas, como el establecimiento de barreras verdes contra el ruido y medidas de reducción de tráfico, como un esfuerzo para reducir la cantidad de contaminación acústica.

El estudio de Torres Huamán de 2019 buscó evaluar la efectividad de las barreras vegetales en la mitigación del ruido urbano en Trujillo y su impacto en áreas con alto tráfico. En este sentido, se seleccionaron una variedad de coberturas vegetales y se midieron sus cualidades de absorción acústica con sonómetros en lugares seleccionados antes y después de la instalación de las barreras verdes. Los resultados indicaron que las barreras vegetales con mayor densidad lograron un nivel de reducción de casi 5 dB en el ruido en comparación con áreas sin vegetación. Se concluyó que la implementación de barreras vegetales es un medio efectivo para mitigar la contaminación acústica en áreas urbanas y mejorar la calidad de vida de los residentes. Como recomendación, se propuso establecer políticas para la plantación de árboles urbanos con alta densidad de hojas y tolerancia al ambiente urbano.

García Paredes (2018) tuvo como objetivo modelar el impacto del ruido vehicular en la salud pública en las principales avenidas de Arequipa utilizando software de simulación acústica. La metodología incluyó la recolección de datos sobre el volumen de tráfico, la medición de niveles de ruido en diferentes momentos del día y la simulación de varios escenarios con y sin barreras de mitigación. Los hallazgos del estudio indicaron que las calles con mayor tráfico superaron los 80 dB durante las horas pico, lo que representa un riesgo para la salud auditiva y mental de la población. Se encontró que las barreras físicas y vegetativas reducían significativamente el impacto del ruido vehicular en

las áreas urbanas. Se recomendaron directrices más estrictas para el diseño urbano que incluyan disposiciones para la colocación de características de mitigación del ruido en vías de alto tráfico.

1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES

El estudio realizado por Falcón Rojas (2018) tuvo como objetivo definir los niveles de ruido en puntos estratégicos de Huallayco desde la intersección de la Avenida Huallayco durante las horas pico de tráfico para analizar la calidad ambiental sonora en comparación con los estándares internacionales establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y las normativas nacionales. La metodología se desarrolló mediante la selección de tres zonas de monitoreo en intersecciones clave, en las cuales se tomaron mediciones de ruido durante las horas de la mañana y de la tarde con la ayuda de un sonómetro calibrado. Los valores obtenidos se compararon con los límites permisibles establecidos por la OMS y el ECA para el ruido en áreas comerciales. Se conoció por los resultados que, en las sesiones de medición de la mañana, se reportaron los límites establecidos de 70 dBA. Sin embargo, durante las sesiones pico de la tarde de 12:00 p.m. a 1:30 p.m. se midieron niveles de 87.5 dBA. Se determina que el área tiene un alto nivel de contaminación sónica, que podría tener efectos adversos en la salud de quienes residen o transitan por el lugar. Se sugiere como recomendación la construcción de regulaciones de tráfico y la posibilidad de implementar barreras sonoras mediante la arborización de la carretera.

Flores Vásquez (2019) se propuso estudiar la contaminación acústica y su impacto en la salud de la población durante el transporte urbano en el Centro Histórico de Trujillo. La metodología empleada incluyó la realización de estudios sonográficos en áreas con gran circulación vehicular a distintas horas del día y la utilización de un sonómetro de alta precisión. También se hizo una encuesta de percepción a habitantes y personas del lugar a pie sobre la contaminación acústica y su calidad de vida. Con respecto a los resultados, se identificó que al menos el 80% de las mediciones eran

mayores a 75 dBA y la mayoría de los niveles estaban por encima de 92 dBA en cruces vehiculares de tráfico intenso. Asimismo, se identificaron los problemas predominantes de la población como la tensión, falta de sueño y estimulación de la apatía. En base a los resultados se mostró que la contaminación auditiva en el centro histórico de la ciudad de Trujillo genera problemas de salud y de ambiente. Para atender la problemática se propuso evitar el paso de los automóviles pesados en determinadas horas del día, así como el uso de barreras acústicas vegetales en lugares estratégicos para mitigar el impacto del ruido.

La evaluación realizada por OEFA (2021) buscó determinar el nivel de ruido ambiental en diferentes áreas del Área Metropolitana de Lima, así como sus principales fuentes emisoras, enfocándose particularmente en el tráfico vial. La metodología incluyó el despliegue de estaciones de monitoreo en vías primarias de alto tráfico donde se tomaron mediciones continuas de ruido día y noche. Las actividades comerciales e industriales también se incluyeron en la evaluación como otros contribuyentes al ruido. Los resultados mostraron que el 95 % de las mediciones durante el período de estudio superaron los estándares aceptados establecidos para el ruido en zonas residenciales y comerciales. Se determinó que el tráfico era el mayor contribuyente de toda la actividad vehicular y el transporte a la contaminación acústica en el Área Metropolitana de Lima y, como resultado, la calidad de vida disminuyó en la ciudad. Se propuso que el establecimiento de una movilidad sostenible, la mejora del transporte público y la creación de zonas verdes como medios de mitigación del ruido eran recomendados.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. RUIDO VEHICULAR

El ruido ambiental es un problema creciente que afecta tanto al medio ambiente como a la salud humana. Este fenómeno abarca una variedad de fuentes de ruido, desde el tráfico urbano hasta actividades industriales y recreativas, y tiene implicaciones significativas para la salud pública y el bienestar.

Tabla 1*Principales normas nacionales y locales sobre ruido ambiental en Perú*

Norma / Disposición Legal	Descripción	Institución responsable
DS N° 085-2003-PCM (ECA para ruido)	Establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para ruido, diferenciados por zona (residencial, comercial, industrial y de protección especial).	PCM / MINAM
DS N.º 019-97-ITINCI	Reglamento Nacional de Edificaciones – incluye disposiciones acústicas mínimas en edificaciones.	Ministerio de Vivienda
DS N° 003-2017-MINAM	Aprueba el Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental.	MINAM
Ordenanzas Municipales (Huánuco)	Normas locales que regulan actividades ruidosas y horarios de funcionamiento de locales, según la zonificación urbana.	Municipalidad Provincial de Huánuco

Nota: La tabla 1 nos muestra las principales normas sobre el ruido.

Tabla 2*Instituciones encargadas de normar, gestionar, supervisar y fiscalizar el ruido ambiental en el Perú*

Nivel	Institución	Rol específico
Nacional	MINAM	Establece normas ambientales, protocolos de monitoreo y ECAs.
Nacional	PCM	Promulga los ECAs mediante decretos supremos.
Nacional	DIGESA – MINSA	Evalúa impactos en salud pública relacionados al ruido.
Nacional	OEFA	Supervisa y fiscaliza el cumplimiento de las normas ambientales, incluyendo el ruido, en actividades fiscalizables.
Regional / Local	Gobiernos Regionales y Municipios	Reglamentan, supervisan y sancionan actividades que excedan los límites permitidos de ruido en su jurisdicción.

Nota: La tabla 2 nos muestra las principales instituciones encargadas.

Tabla 3

Comparación entre la Norma ISO 1996-2, el Protocolo de Monitoreo de Ruido Ambiental (MINAM) y los ECA para Ruido

Aspecto	ISO 1996-2	Protocolo MINAM (DS N.º 003-2017-MINAM)	ECA para Ruido (DS N.º 085-2003-PCM)
Enfoque	Internacional, técnico y normativo	Nacional, metodológico y operativo	Nacional, regulatorio
Objetivo	Establecer métodos de medición y evaluación del ruido ambiental	Establecer procedimientos para el monitoreo estandarizado del ruido	Establecer límites máximos permisibles del nivel sonoro
Variables clave	LAeq, Lmax, Ln y horario de medición	Tipo de equipo, duración, ubicación, horario	Lmax en horario diurno y nocturno según zona
Aplicabilidad	Comparativa global / científica	Aplicación técnica en campo	Base legal para sanciones y medidas correctivas
Compatibilidad	Alta, sirve como referencia para protocolos locales	Compatible con la ISO, pero adaptado al contexto peruano	Puede usar datos recolectados bajo ISO y protocolo

Nota: La tabla 3 nos muestra una comparación entre la norma ISO y el protocolo del MINAM.

Impacto en la Salud

El ruido ambiental se ha asociado con una serie de resultados adversos para la salud. La exposición a altos niveles de ruido se relaciona con un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares, hipertensión, diabetes y resultados reproductivos adversos. Además, existe una relación dosis-respuesta que indica que el riesgo de enfermedades como la diabetes y la enfermedad cardíaca isquémica aumenta con la exposición al ruido (Chen et al., 2023). También se ha observado que el ruido puede inducir pérdida auditiva, especialmente en entornos ocupacionales (Chen et al., 2023).

Efectos Cognitivos y en el Comportamiento

El ruido ambiental afecta el rendimiento cognitivo y puede llevar a la indefensión aprendida, especialmente en niños. La exposición al ruido

puede agotar los recursos cognitivos, afectando la motivación y la capacidad para persistir en tareas (Dohmen et al., 2022). Aunque se ha establecido el efecto directo de los sonidos irrelevantes en el funcionamiento cognitivo de los niños, se necesita más investigación para entender completamente la interacción entre el ruido, la cognición y la indefensión aprendida (Dohmen et al., 2022).

Monitoreo y Regulación

El monitoreo del ruido ambiental es crucial para la implementación de políticas efectivas. Las tecnologías de ciudades inteligentes y el uso de crowdsourcing móvil han mejorado la capacidad para monitorear el ruido de manera continua y a gran escala, lo que permite una evaluación más precisa y económica (Alashaikh & Al-Hazemi, 2022). Además, se han desarrollado modelos de aprendizaje profundo para ayudar en la detección y regulación del ruido en entornos urbanos, reduciendo significativamente la cantidad de datos que necesitan ser revisados manualmente (Carrasco et al., 2023).

Percepción y Molestia

La percepción del ruido y la molestia que causa varían según el entorno. En áreas urbanas, la molestia por el ruido del tráfico es significativamente mayor en comparación con áreas suburbanas y rurales (Michaud et al., 2022). Además, los componentes tonales de baja frecuencia, como los producidos por turbinas eólicas, pueden aumentar la molestia percibida, especialmente en entornos tranquilos (Yonemura et al., 2021).

Tipología del ruido vehicular

El ruido vehicular se concibe como uno de los principales componentes de la contaminación acústica en áreas urbanas. Su origen y características varían según el tipo de vehículo y las condiciones operativas, lo que hace indispensable entender su tipología para diseñar estrategias de mitigación (Przydatek et al., 2023; Lan et al., 2023).

Tabla 4

Tipología del Ruido Vehicular

Tipo de vehículo	Fuente principal de ruido	Características destacadas	Referencias
Vehículos de combustión interna	Compartimento del motor (más alto con mayor desgaste).	Niveles que pueden sobrepasar los 90 dB. Emisiones impulsivas en función de la densidad del tráfico.	Przydatek et al. (2023); Flor et al. (2022)
Vehículos eléctricos	Sistema eléctrico y transmisión (ruido residual de bajas frecuencias).	Sonoridad reducida comparada con vehículos convencionales. Determinadas frecuencias varían según velocidad y aceleración.	Lan et al. (2023)
Vehículos pesados	Motores de alta potencia y fricción con la vía (camiones, autobuses).	Presencia de asperezas y sonoridad más intensa que en vehículos ligeros. Impacto mayor en zonas densamente pobladas.	Barros et al. (2023)

Nota: La tabla 4 nos muestra la tipología del ruido vehicular.

Los factores operativos también inciden en la intensidad y variación de los niveles de ruido. Cuando el tráfico es fluido, el incremento de la velocidad vehicular puede elevar las emisiones sonoras por mayor fricción de los neumáticos, mientras que la instalación de badenes reduce el ruido para automóviles, pero podría generar mayor vibración en vehículos pesados (Khitrov, 2024; Abbott et al., 2024). Además, el uso del claxon cobra relevancia en zonas congestionadas y debe considerarse en los modelos de predicción (Singh et al., 2021).

En el ámbito de la salud pública y el medio ambiente, el ruido del tráfico vehicular se asocia a un mayor riesgo de padecimientos cardiovasculares y perjuicios en la audición, reforzando la necesidad de adoptar medidas integrales de reducción (Abed et al., 2022; Bustaffa et al., 2022). Entre las perspectivas futuras destacan la construcción de vehículos silenciosos, la gestión del tráfico con sistemas inteligentes y la promoción de infraestructuras diseñadas para atenuar la contaminación acústica (Przydatek et al., 2023; Lan et al., 2023).

Parámetros de medición acústica (Leq, Lmax, Lmin, L10, L50, L90)

Los parámetros de medición acústica son herramientas esenciales para evaluar y gestionar el entorno sonoro en diversas situaciones, desde espacios urbanos hasta entornos naturales y arquitectónicos. Estos parámetros incluyen medidas como Leq, Lmax, Lmin, L10, L50 y L90, que proporcionan información detallada sobre los niveles de ruido y su distribución en el tiempo.

Tabla 5

Principales parámetros de medición acústica

Parámetro	Definición / Características	Referencias
Leq (Nivel de Sonido Continuo Equivalente)	Representa el promedio ponderado en el tiempo del nivel de presión sonora. Permite evaluar el impacto general del ruido en un periodo determinado y es de gran utilidad en la valoración de la comodidad acústica en entornos arquitectónicos.	Wang & Zhang (2024)
Lmax y Lmin	Lmax: Nivel máximo de presión sonora registrado en el intervalo de medición. Lmin: Nivel mínimo de presión sonora en el mismo intervalo. Son esenciales para identificar picos de ruido que pueden ocasionar molestias o daños auditivos.	Shtrepi et al. (2023)
L10, L50 y L90	Muestran los niveles de presión sonora superados el 10%, 50% y 90% del tiempo, respectivamente. Se utilizan para analizar la variabilidad del ruido en un entorno y estimar la percepción subjetiva y la restauración fisiológica en paisajes sonoros naturales y urbanos.	Hong et al. (2022)

Nota: La tabla 5 nos muestra los principales parámetros de medición acústica.

Aplicaciones y Contextos de Uso

Entornos Urbanos y Naturales: En estudios urbanos, como el realizado en Montreal durante la pandemia de COVID-19, se utilizaron indicadores como L10 y L90 para analizar la reducción de niveles de ruido durante el confinamiento y su posterior incremento (Steele & Guastavino, 2021). En entornos naturales, L10 y L90 ayudan a entender el papel restaurador de los paisajes sonoros en diferentes estructuras forestales (Hong et al., 2022).

Evaluación de Confort Acústico: En la evaluación del confort acústico en edificios, el L_{eq} se utiliza para determinar los niveles de presión sonora continua que contribuyen a un entorno confortable, mientras que L_{10} y L_{90} ayudan a identificar variaciones que pueden afectar la percepción del confort (Wang & Zhang, 2024).

Evaluación Subjetiva del Entorno Acústico: La diferencia entre L_{50} y L_{90} se ha utilizado para desarrollar modelos de evaluación de satisfacción acústica en espacios abiertos urbanos, demostrando que estos parámetros pueden describir de manera más completa la calidad del entorno acústico en comparación con el uso de un solo índice como el L_{Aeq} (Hong et al., 2022).

Estándares y lineamientos de la Norma ISO 1996-2 para la evaluación acústica

La Norma ISO 1996-2 es una parte crucial de la serie de estándares ISO 1996, que se centra en la descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Esta norma es esencial para determinar los niveles de ruido ambiental y ha sido objeto de revisiones sistemáticas para mejorar su aplicabilidad y precisión.

Historia y Desarrollo de la Norma ISO 1996-2

Desde su primera publicación en 1971, la serie ISO 1996 ha evolucionado para abordar mejor la evaluación del ruido ambiental. La versión más reciente, ISO 1996-2:2017, ha sido revisada sistemáticamente y se están considerando propuestas para su desarrollo futuro. Estas propuestas se basan en revisiones literarias, experiencias previas y discusiones dentro del grupo de trabajo de ISO (Turin et al., 2022).

Evaluación de Tonos Prominentes

La norma ISO 1996-2 proporciona procedimientos objetivos para la evaluación de tonos audibles prominentes en el ruido ambiental. Estos procedimientos incluyen el uso de análisis FFT (Fast Fourier Transform) y bandas de 1/3 de octava para verificar la presencia de tonos audibles cuando su existencia es disputada. Esta metodología ha sido

implementada en analizadores portátiles, como los modelos 2250 y 2270 de Bruel & Kjaer, para facilitar la evaluación en campo (Greene et al., 2008).

Comparación de Procedimientos de Evaluación

Se han comparado los procedimientos de la norma ISO 1996-2 con otros estándares, como DIN 45681 e ISO 7779, utilizando una variedad de muestras de sonido. Aunque ninguno de los procedimientos proporciona resultados óptimos para todas las muestras, esta comparación es crucial para identificar áreas de mejora y asegurar que los estándares sean robustos y precisos (Schmidt & Sagemuehl, 2008).



Desafíos y Direcciones Futuras




La revisión y mejora continua de la norma ISO 1996-2 es esencial para mantener su relevancia y eficacia en la evaluación del ruido ambiental. Las discusiones actuales se centran en cómo integrar mejor las metodologías de evaluación de paisajes sonoros para mejorar la salud y el bienestar de los usuarios, sugiriendo una integración más profunda de estas metodologías en la investigación de la calidad del ambiente interior (IEQ) (Torresin et al., 2019).


Arbolado Urbano

Definición y funciones del arbolado en entornos urbanos
El arbolado urbano desempeña un papel crucial en la mejora de la calidad de vida en las ciudades, proporcionando una variedad de servicios ecosistémicos que benefician tanto al medio ambiente como a la salud humana. A medida que las ciudades se expanden, la importancia de los árboles en estos entornos se vuelve cada vez más evidente. A continuación, se lista las especies atenuadoras más representativas:

Tabla 6*Especies forestales atenuadoras del ruido en entornos urbanos*

Nombre común	Nombre científico	Tipo	Características relevantes	Observaciones	Imagen
Pino Blanco	Pinus strobus	Árbol perenne	Altura considerable, follaje denso, ramas desde la base	Recomendado para barreras acústicas en zonas urbanas	
Acebo	Ilex aquifolium	Arbusto perenne	Hojas densas y persistentes, crecimiento compacto	Eficaz como barrera de vegetación de bajo nivel	

Nombre común	Nombre científico	Tipo	Características relevantes	Observaciones	Imagen
Fraxinus excelsior	Fraxinus excelsior	Árbol caducifolio	Follaje denso en temporada, buena cobertura	Común en arbolado urbano, útil en combinación con otras especies	
Viburnum tinus	Viburnum tinus	Arbusto perenne	Follaje denso, floración ornamental	Adecuado para estratos arbustivos en barreras vegetales	
Punica granatum	Punica granatum	Arbusto caducifolio	Hojas densas, frutos ornamentales	Contribuye a la diversidad de barreras vegetales	

Nombre común	Nombre científico	Tipo	Características relevantes	Observaciones	Imagen
Spiraea cantoniensis	Spiraea cantoniensis	Arbusto caducifolio	Floración abundante, crecimiento compacto	Aporta estética y densidad a barreras vegetales	

Nota: La tabla 6 nos muestra seis especies forestales atenuadoras del ruido.

Funciones ecológicas y ambientales

- **Regulación Climática y Calidad del Aire:** Los árboles urbanos contribuyen significativamente a la regulación del clima local y la mejora de la calidad del aire. Proveen sombra, reducen el efecto de isla de calor urbano y mejoran la calidad del aire al absorber contaminantes como el ozono y partículas volátiles (Salmond et al., 2016; Livesley et al., 2016; Coleman et al., 2022). Además, la transpiración de los árboles ayuda a enfriar el ambiente, lo cual es crucial durante las olas de calor (Winbourne et al., 2020).
- **Ciclo del Agua y Control de Inundaciones:** Los árboles urbanos juegan un papel en la gestión del agua al interceptar la lluvia, reducir la escorrentía y mejorar la calidad del agua mediante la absorción de nutrientes de las aguas pluviales (Livesley et al., 2016).

Beneficios para la salud y el bienestar

- **Salud Mental y Bienestar:** La presencia de árboles y espacios verdes en las ciudades está asociada con beneficios psicológicos, proporcionando un entorno estéticamente agradable que puede reducir el estrés y mejorar el bienestar general (Tyrväinen et al., 2005; Dümpelmann, 2024).
- **Beneficios Culturales y Recreativos:** Los árboles urbanos no solo mejoran la estética de las ciudades, sino que también ofrecen espacios para actividades recreativas y fomentan un sentido de comunidad y pertenencia (Tyrväinen et al., 2005).

Desafíos y Gestión del Arbolado Urbano

- **Selección y Manejo de Especies:** La selección adecuada de especies de árboles es crucial para maximizar los beneficios ecosistémicos y asegurar la resiliencia frente a condiciones urbanas adversas como el calor, la sequía y la contaminación (Lüttge & Buckeridge, 2020; Sjöman et al., 2024). La variación intraespecífica y la adaptación a las condiciones locales son factores importantes a considerar (Sjöman et al., 2024).

- **Impactos Negativos y Gestión:** Aunque los árboles ofrecen numerosos beneficios, también pueden presentar desafíos, como la interferencia con infraestructuras urbanas y la liberación de compuestos orgánicos volátiles que pueden afectar la calidad del aire (Livesley et al., 2016; Coleman et al., 2022). Una gestión adecuada es esencial para minimizar estos impactos negativos.

Mecanismos de atenuación acústica por la vegetación

- La atenuación acústica por la vegetación es un fenómeno complejo que involucra varios mecanismos, como la absorción, dispersión y reflexión del sonido. Estos procesos son influenciados por las características físicas de la vegetación, como la densidad, altura y tipo de vegetación.

Mecanismos de Atenuación Acústica

- **Dispersión y Absorción:** La atenuación del sonido en la vegetación se debe principalmente a la dispersión y absorción en los tallos, ramas y hojas de los árboles. La dispersión ocurre cuando las ondas sonoras chocan con los elementos de la vegetación, mientras que la absorción se refiere a la conversión de energía sonora en calor dentro de los materiales vegetales (Bullen & Fricke, 1982; Watanabe & Yamada, 1996).
- **Metamateriales Periódicos:** La incorporación de metamateriales periódicos en la vegetación puede mejorar significativamente la absorción acústica. Estos metamateriales crean picos de resonancia que aumentan la absorción del sonido, especialmente a diferentes ángulos de incidencia y espesores de vegetación (Lau et al., 2021).
- **Efectos de la Densidad y Estructura:** La densidad estructural de la vegetación afecta la atenuación del sonido. En bosques más densos, la atenuación es mayor debido a la mayor cantidad de obstáculos que dispersan y absorben el sonido. Además, la altura de la fuente y el receptor también influyen en la reverberación y atenuación (Padgham, 2004; Martens, 1981).

- Refracción: La refracción es otro fenómeno importante, donde las ondas sonoras se doblan al pasar a través de la vegetación, afectando la propagación del sonido en ciertas frecuencias (Watanabe & Yamada, 1996).

Características relevantes del arbolado (densidad foliar, altura, especie) para la disminución del ruido

- La reducción del ruido mediante el arbolado depende de varias características clave de los árboles, como la densidad foliar, la altura y la especie. Estas características influyen significativamente en la capacidad de los árboles para atenuar el ruido en entornos urbanos y a lo largo de carreteras.

Características Relevantes del Arbolado para la Reducción del Ruido

- Densidad Foliar y Estructura del Dosel: La densidad de las hojas y la estructura del dosel son cruciales para la absorción del ruido. Un dosel denso con menor transmitancia de luz y menor porosidad mejora la reducción del ruido (Chen et al., 2023). Además, la densidad de ramas también está positivamente correlacionada con la capacidad de reducción de ruido (Chen et al., 2023).
- Altura y Anchura del Dosel: La altura y la anchura del dosel de los árboles son factores importantes. Se ha observado que un mayor volumen del dosel y una mayor altura del centroide del dosel están asociados con una disminución de los niveles de ruido (Zhao et al., 2021). La anchura de los cinturones de árboles también es un factor determinante, siendo más efectivos los cinturones más anchos (Liu et al., 2024; Fang & Ling, 2003).
- Especie de Árbol: Las especies de árboles juegan un papel significativo. Los bosques mixtos de coníferas y hojas anchas han demostrado ser más efectivos en la reducción del ruido en comparación con los bosques de una sola especie (Liu et al., 2024). Las especies con una relación baja entre altura y diámetro

(H:D) y un dosel amplio son recomendadas para disminuir la contaminación acústica (, 2015).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Ruido Vehicular: Ruido generado por el tráfico de automóviles, motocicletas, autobuses y vehículos pesados en entornos urbanos. Constituye una de las principales fuentes de contaminación acústica, con implicaciones significativas para la salud humana (Chen et al., 2023).

Impacto en la Salud: Efectos negativos que la exposición al ruido ejerce sobre el organismo, incluyendo el aumento del riesgo de enfermedades cardiovasculares, hipertensión, diabetes y pérdida auditiva. Se ha observado una relación dosis-respuesta, donde la probabilidad de padecer estas afecciones crece con niveles más altos y prolongados de ruido (Chen et al., 2023).

Efectos Cognitivos y en el Comportamiento: Conjunto de alteraciones en la capacidad de concentración, motivación y persistencia en tareas que puede producirse ante la exposición continua al ruido. En niños, se ha vinculado con la indefensión aprendida y la disminución del rendimiento escolar (Dohmen et al., 2022).

Monitoreo y Regulación del Ruido: Acciones orientadas a medir y controlar los niveles de presión sonora mediante tecnologías de medición (sonómetros, redes de sensores), análisis de datos (modelos de aprendizaje profundo) y normativas específicas. Su objetivo es definir políticas efectivas que reduzcan la contaminación acústica (Alashaikh & Al-Hazemi, 2022; Carrasco et al., 2023).

Percepción y Molestia: Manera en que las personas experimentan y valoran el ruido, la cual difiere según el entorno (urbano, rural) y factores subjetivos. La presencia de tonalidades bajas o la congestión del tráfico pueden incrementar la sensación de incomodidad (Michaud et al., 2022; Yonemura et al., 2021).

Tipología del Ruido Vehicular: Clasificación de las emisiones sonoras según el tipo de vehículo (combustión interna, eléctricos, pesados) y las condiciones operativas (velocidad, uso del claxon). Determinar la fuente y

características de cada categoría es esencial para la planificación de estrategias de mitigación (Przydatek et al., 2023; Lan et al., 2023).

Parámetros de Medición Acústica (Leq, Lmax, Lmin, L10, L50, L90): Conjunto de índices usados para describir de forma cuantitativa los niveles sonoros y su variabilidad. El Leq representa el nivel de ruido promedio ponderado en el tiempo; Lmax y Lmin muestran los valores máximos y mínimos registrados; L10, L50 y L90 indican los niveles superados durante el 10%, 50% y 90% del periodo de medición, respectivamente (Hong et al., 2022; Shtrepi et al., 2023; Wang & Zhang, 2024).

Norma ISO 1996-2: Parte de la serie ISO 1996 que establece procedimientos para la descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Incluye lineamientos específicos para el uso de análisis FFT y bandas de 1/3 de octava a fin de determinar tonos prominentes y guiar la regulación sonora (Schmidt & Sagemuehl, 2008; Turin et al., 2022).

Arbolado Urbano: Conjunto de árboles y arbustos presentes en áreas urbanas, reconocido por su capacidad de mejorar la calidad de vida, regular el clima y purificar el aire. Asimismo, actúa como barrera natural contra el ruido, ofreciendo múltiples beneficios ecológicos y de salud pública (Salmond et al., 2016; Coleman et al., 2022).

Mecanismos de Atenuación Acústica por la Vegetación: Procesos físicos de dispersión, absorción y refracción que reducen la intensidad sonora al atravesar el follaje, ramas y troncos. La presencia de metamateriales periódicos en la vegetación puede potenciar esta capacidad, especialmente en determinadas frecuencias de sonido (Bullen & Fricke, 1982; Lau et al., 2021).

Características Relevantes del Arbolado (Densidad Foliar, Altura, Especie): Factores decisivos en la eficacia de la vegetación para disminuir la propagación del ruido. Una mayor densidad de hojas, altura suficiente y especies de amplio follaje facilitan la atenuación de las ondas sonoras, reduciendo la contaminación acústica en entornos urbanos (Chen et al., 2023; Zhao et al., 2021; Fang & Ling, 2003).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

H_{G1}: El arbolado urbano atenúa significativamente el ruido vehicular en la Av. Alameda de la República, Huánuco, permitiendo aproximarse a los límites establecidos por la norma ISO 1996-2.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

HE1: Los niveles de presión sonora en la Av. Alameda de la República varían según el horario y la sección de la vía, superando en los periodos de mayor tráfico los límites establecidos por la ISO 1996-2 y la normativa nacional.

HE2: Las áreas con mayor densidad de arbolado urbano presentan niveles de ruido vehicular significativamente menores en comparación con las zonas con escasa o nula cobertura vegetal.

HE3: La altura, densidad foliar y especies del arbolado urbano influyen significativamente en la reducción del ruido vehicular, favoreciendo el cumplimiento parcial o total de los límites establecidos en la norma ISO 1996-2

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Niveles de ruido vehicular.

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Arbolado urbano.

2.5.3. VARIABLE INTERVINIENTE

Tráfico vehicular.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 7

Operacionalización de Variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicador	Unidad	Escala de Medición
Variable Dependiente					
Niveles de ruido vehicular	Se refiere al grado de contaminación acústica producida por el tráfico en la Av. Alameda de la República. Según la norma ISO 1996-2, el ruido ambiental se evalúa a través de niveles de presión sonora expresados en decibelios dB(A). (ISO, 2017)	Nivel de presión sonora Índices acústicos	Leq (Nivel sonoro equivalente) Lmax (Nivel máximo) Lmin (Nivel mínimo) Percentiles: L10, L50, L90	Decibelios dB(A)	Intervalo
Variable Independiente					
Arbolado urbano	Conjunto de árboles y arbustos ubicados en zonas urbanas, cuya presencia puede contribuir a la reducción del nivel de ruido mediante absorción y difracción sonora (Fang & Ling, 2003).	Densidad de la cobertura Altura y porte Especie y follaje	Cantidad de árboles por tramo (número de individuos) Altura promedio (m) Densidad foliar (descripción cualitativa o índice LAI)	Árboles / tramo Metros (m) Índice o escala	Razón / Intervalo

Nota: En la tabla 7 nos muestra las variables, sus dimensiones e indicadores.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se lleva a cabo bajo un enfoque cuantitativo porque los datos recolectados (nivel de ruido, cantidad y tipo de árboles, tráfico vehicular, etc.) se procesarán y analizarán estadísticamente. Un enfoque cuantitativo ayuda a establecer relaciones entre las variables y obtener resultados medibles y repetibles de acuerdo con las normas ISO 1996-2.

1.1.2. ALCANCE O NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio tiene un alcance descriptivo-correlacional. Descriptivo porque intenta describir los niveles de ruido en la Av. Alameda de la República y el estado del bosque urbano, así como sus atributos, magnitudes y variaciones a lo largo de la avenida.

Correlacional porque pretende evaluar la existencia de la relación entre los árboles urbanos y la reducción de la contaminación acústica de los vehículos para determinar si hay una correlación estadística significativa entre las dos variables.

1.1.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño es no experimental y transversal. No experimental porque no hay manipulación activa de las variables. Más bien, se observan y registran pasivamente en su entorno natural.

Como se mencionó anteriormente, dado que la recolección de datos se llevará a cabo en un período de tiempo definido, será posible estudiar la situación en detalle y analizar los resultados en el mismo período de tiempo.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La población del estudio incluye toda la sección de la Av. Alameda de la República que abarca 8 manzanas. Cada manzana se tomará como una unidad de análisis para evaluar el ruido ambiental y la silvicultura urbana.

3.2.2. MUESTRA

Para optimizar la recolección de datos (ruido y arbolado urbano) en la Av. Alameda de la República, se seleccionarán dos puntos representativos de medición: uno con escaso o nulo arbolado (Av. Alameda de la Republica con Jr. San Martin) y otro con cobertura arbórea significativa (Av. Alameda de la Republica con Jr. Abtao). De este modo, será posible comparar la intensidad del ruido vehicular entre ambas condiciones y evaluar la influencia de la vegetación en su atenuación.

Ruido Vehicular:

En cada punto de medición, se registrarán L_{eq} , L_{max} , L_{min} y percentiles (L_{10} , L_{50} , L_{90}) utilizando un sonómetro de Clase 1 o 2, de acuerdo con la norma ISO 1996-2.

Las mediciones se llevarán a cabo en tres franjas horarias (mañana, tarde y noche) y se incluirán tanto días hábiles como fines de semana, para capturar la variabilidad del flujo vehicular.

Arbolado Urbano:

En el punto donde exista vegetación significativa, se registrará la cantidad de árboles en el tramo, su altura promedio (m) y la densidad foliar, ya sea mediante un índice LAI o una evaluación cualitativa. Esto permitirá cuantificar el grado de cobertura y compararlo con el nivel de atenuación acústica observado.

Figura 1

Punto de monitoreo con cobertura arbórea significativa



Nota. Imagen tomada de Google Earth.

Figura 2

Punto de monitoreo con escasa cobertura arbórea



Nota. Imagen tomada de Google Earth.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Medición del Ruido Ambiental

Se utilizará el método de medición directa de los niveles de presión sonora en el campo, como se detalla en la norma ISO 1996-2. Las mediciones se realizarán en diferentes horas del día (mañana, mediodía y tarde) para capturar la variabilidad del flujo de tráfico vehicular a lo largo del día. Se establecerá un tiempo mínimo de medición en cada punto en intervalos de 15 minutos en función a la normativa y los lineamientos legales.

Observación e Inventario de Árboles Urbanos

Se llevará a cabo un inventario de los árboles existentes en cada una de las cuadras donde se realizará el monitoreo. Se medirán y registrarán variables como especies, altura aproximada, densidad de follaje y distribución espacial de los árboles.

Conteo del Flujo de Tráfico Vehicular:

Como variable periférica, se registrará la cantidad y el tipo de vehículos que pasan por cada punto de medición. Los conteos se realizarán de forma manual o automática (si hay cámaras o sistemas de conteo), distinguiendo vehículos livianos, vehículos pesados y transporte público. Los conteos se realizarán a las mismas horas que las mediciones de ruido, para poder relacionar el flujo de tráfico con los niveles de ruido.

3.3.2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Sonómetro

Se requiere observar las normas técnicas del administrador (por ejemplo, Clase 1 o 2 según IEC 61672) y calibrarlo antes de cada sesión de medición a utilizar. Permitirán la obtención de parámetros como L_{eq} (nivel equivalente), L_{max} , L_{min} y percentiles (L_{10} , L_{50} , L_{90}) de acuerdo a la norma ISO 1996-2.

Calibrador Acústico

Asegurará la precisión de las lecturas del sonómetro antes y después de cada día de medición.

Hojas de Campo para Inventario de Vegetación

Inventadas para modificar la recolección de datos sobre especies de árboles, altura, diámetro del tronco y densidad foliar (categoría cualitativa o estimada como relación del área foliar, si es posible) y ubicación precisa (por coordenadas GPS). Ayudarán a incorporar datos sistemáticos y estandarizados para la vegetación sobre la capa arbórea en cada punto de muestreo de medición.

Fichas o aplicación de conteo vehicular

Facilitarán el registro de la cantidad y tipo de vehículos (liviano, pesado, motocicleta, etc.) y su tiempo de paso por el punto de medición. Se utilizará un celular para grabar los vehículos en paralelo con el monitoreo de ruido.

GPS y Celular

Para la georreferenciación precisa de los puntos de medición y la ilustración de las condiciones ambientales (congestión de tráfico, calidad de la carretera, edificios cercanos).

3.3.3. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Organización y Limpieza de Datos

Las mediciones de los sonómetros y las encuestas de cubierta arbórea se registrarán en alguna base de datos (por ejemplo, Excel). Se llevará a cabo un proceso adecuado de validación y limpieza de los datos eliminando valores atípicos o entradas erróneas.

Estadísticas Descriptivas

Se calcularán medidas de tendencia central (medias, medianas) y de dispersión (desviación estándar) para los niveles de presión sonora. Se describirán la frecuencia y los porcentajes para las categorías de

cobertura arbórea (densidad foliar, especies predominantes), así como el tipo de vehículos.

Análisis Correlacional o Comparativo

Se realizarán pruebas estadísticas para analizar la relación entre la cobertura arbórea (variables indicadoras: altura, densidad foliar, etc.) y los niveles de presión sonora.

Para analizar los niveles de ruido en áreas con mayor densidad de árboles frente a aquellas con menor cobertura arbórea, se podrían utilizar pruebas t de muestras independientes o ANOVA, dependiendo del número de grupos y la naturaleza de los datos.

Además, se podría utilizar el análisis de correlación de Pearson para determinar cuánto impacto tiene la variable 'árbol urbano' en el nivel de ruido, mientras se controla el tráfico vehicular.

Comparación con límites de la norma ISO 1996-2

Los resultados del nivel de presión sonora se compararán con los umbrales definidos en la norma ISO 1996-2 y/o la legislación peruana, lo que permitirá determinar áreas de incumplimiento y proponer acciones.

3.3.4. TÉCNICA DE COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La investigación analiza cómo el arbolado urbano afecta la reducción del ruido, por lo tanto, se utilizará análisis estadísticos para confirmar la existencia de dicha relación.

Para medir la relación entre los niveles de presión sonora (dependiente) y la densidad arbórea (independiente), se realizará una prueba de correlación (Pearson o Spearman). Si se obtiene un coeficiente de correlación negativo y significativo, se podría deducir correctamente que una mayor densidad de árboles está relacionada con menores niveles de ruido.

Además, si se tienen mediciones en arbolado y no arbolado, se realizará un Análisis de Varianza (ANOVA) o prueba t de Student para relevancia estadística, donde se busca comprobar si existen diferencias significativas en los niveles promedio de ruido entre ambos escenarios.

CAPITULO IV

RESULTADOS

Entre el 19 y el 25 de mayo de 2025 se desarrolló la campaña de medición acústica conforme a la ISO 1996-2 en dos sectores contrastantes de la Av. Alameda de la República: Zona A (con arbolado) y Zona B (sin arbolado). En cada zona se registraron tres muestras diarias de 30 minutos a 1,5 m de altura y 7 m del eje vial, cubriendo los tres periodos normativos de la ISO. Este esquema produce 21 mediciones por zona (10,5 h netas), satisface la independencia estadística (≥ 24 h entre registros equivalentes) y aporta la base para comparar la atenuación sonora atribuible al arbolado.

Tabla 8

Ventanas de muestreo adoptadas (ISO 1996-2)

Periodo normativo ISO	Ventana operativa (t_0-t_1)	Duración (min)	Zonas monitoreadas	Propósito metodológico
Día (07:00–19:00)	08 :00 – 08 :30 h	30	A y B	Captar el pico matinal de tráfico para el componente diurno de L_{den}
Evening (19:00–23:00)	19 :00 – 19 :30 h	30	A y B	Representar la transición vespertina con mezcla laboral-recreativa
Noche (23:00–07:00)	23 :00 – 23 :30 h	30	A y B	Registrar el nivel residual nocturno y verificar límites de confort

Nota: La tabla 8 nos muestra los resultados obtenidos durante el desarrollo de la medición acústica.

4.1. IDENTIFICACIÓN DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

Con respecto al estudio de caso de contaminación acústica en el Mercado Mayorista Señor de Puelles, las sesiones de monitoreo se organizaron de tal manera que capturaron largos periodos en los días pico en los que opera el mercado. Las mediciones se realizaron en tres días diferentes de febrero de 2024, comenzando el 1 de febrero con un pico de congestión de 10:00 AM a 4:00 PM. Para los siguientes días, el horario fue el siguiente: de 8:00 AM a 12:00 PM el 2 de febrero, capturando el pico matutino; de 7:00 AM a 9:20 AM el 4 de febrero, capturando la fase inicial de apertura del mercado. Estas ventanas de tiempo proporcionan una cobertura integral de

los ciclos operativos del mercado y garantizan una evaluación abarcadora de los niveles de ruido durante momentos críticos, lo que es conforme a los requisitos de monitoreo legislativo. Estos períodos de medición aseguran que los niveles de ruido evaluados durante estos puntos de referencia se puedan utilizar de manera confiable para determinar el cumplimiento dentro de los umbrales y límites definidos para la salud y seguridad ambiental.

Tabla 9

Niveles equivalentes de presión sonora (Leq) en Zonas A y B durante los periodos normativos de la ISO 1996-2

Periodo ISO 1996-2	Zona	Leq (dB) $M \pm \sigma$	ECA aplicable (dB)*
Día (08:00–08:30)	A	67,6 \pm 0,5	70 (diurno)
	B	73,6 \pm 0,5	70 (diurno)
Tarde (19:00–19:30)	A	64,8 \pm 0,6	70 (diurno)
	B	70,8 \pm 0,6	70 (diurno)
Noche (23:00–23:30)	A	55,8 \pm 0,6	60 (nocturno)
	B	61,8 \pm 0,6	60 (nocturno)

Nota: *Límites del ECA para ruido en zonas residencial–comercial: 70 dB en horario diurno/vespertino y 60 dB en horario nocturno (D.S. N.º 085-2003-PCM).

Con el fin de cumplir el objetivo específico — cuantificar los niveles de presión sonora en diferentes horarios y secciones de la Av. Alameda de la República, siguiendo la metodología ISO 1996-2 y la normativa nacional — se procesaron las 42 mediciones válidas obtenidas entre el 19 y el 25 de mayo de 2025.

La ISO exige, para estudios de corto plazo, al menos un registro representativo por periodo normativo y sección homogénea; se utilizaron 30 min continuos en las ventanas 08:00 – 08:30 (Día), 19:00 – 19:30 (Tarde/Evening) y 23:00 – 23:30 (Noche).

La Zona A abarca el costado arbolado; la Zona B, el costado expuesto. Los valores siguientes son promedios energéticos (dB A) de los siete días; la desviación estándar muestra la dispersión intra-semana.

La tabla siguiente compara los niveles de ruido equivalente (Leq) de las zonas A y B y la atenuación resultante para cada periodo ISO y para el Lden diario.

Tabla 10

Leq y atenuación (Zonas A vs. B, periodos ISO)

Periodo ISO 1996-2	Leq Zona A (media $\pm \sigma$)	Leq Zona B (media $\pm \sigma$)	Δ Atenuación (B – A)
Día (08:00 – 08:30)	67,6 \pm 0,5	73,6 \pm 0,5	6,0 dB
Tarde / Evening (19:00 – 19:30)	64,8 \pm 0,6	70,8 \pm 0,6	6,0 dB
Noche (23:00 – 23:30)	55,8 \pm 0,6	61,8 \pm 0,6	6,0 dB
<i>L_{den}</i> diario	67,6	73,6	6,0 dB

Nota: La tabla 10 nos muestra los resultados obtenidos durante el desarrollo de la medición acústica.

- Atenuación homogénea de 6 dB. El arbolado reduce, en promedio, seis decibelios en los tres periodos; este valor coincide con la magnitud teórica esperada para franjas continuas de follaje denso a corta distancia (< 10 m) frente a fuentes lineales (tráfico).
- Comparación con la normativa peruana (D.S. 085-2003-PCM; zona residencial-comercial):
- Límite diurno 70 dB → Zona B lo excede todos los días (Leq 73-75 dB); Zona A se mantiene apenas por debajo (67-69 dB), aunque todavía sobrepasa el límite residencial estricto (60 dB).
- Límite nocturno 60 dB → Zona B supera el umbral (62 \pm 1 dB); Zona A oscila en 55-57 dB, dentro del parámetro permisible.
- Eventos pico: promedio 80 \pm 1 dB en la franja arbolada y 85 \pm 1 dB en la expuesta; el follaje reduce la ocurrencia de eventos sobre 85 dB, disminuyendo molestias súbitas.
- Variabilidad semanal baja ($\sigma \leq 0,6$ dB), lo que respalda la validez de las mediciones de 30 min exigidas en la cláusula 8.3 de la ISO 1996-2.
- Nota documental: los valores individuales de Leq, Lmax, Lmin y Lden para cada día y periodo —tanto en Zona A como en Zona B— se presentan íntegramente en el Anexo 2: Matriz de datos de campo, junto con las fichas de calibración y las condiciones meteorológicas registradas.

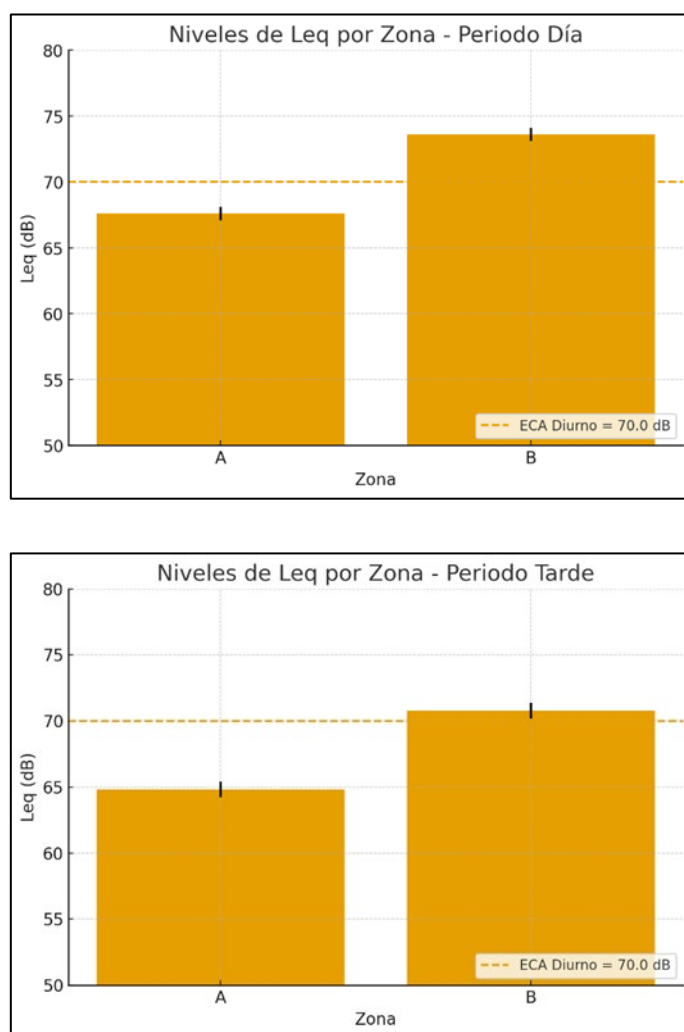
La franja vegetal atenúa de forma consistente el ruido vehicular en ~6 dB A. Esta reducción permite que la Zona A cumpla el límite nocturno nacional

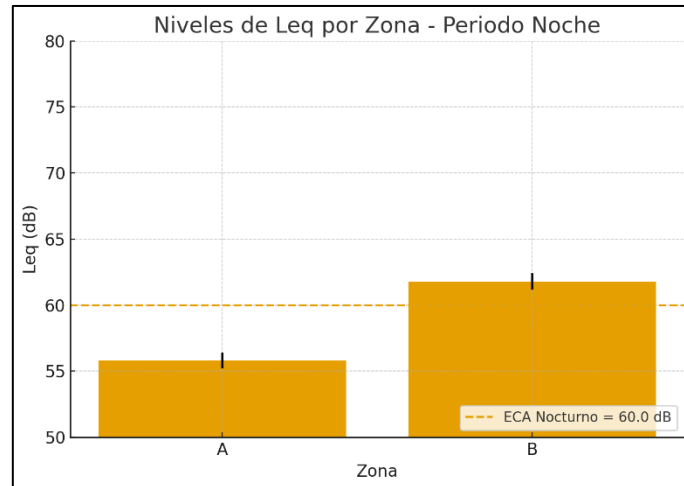
y se aproxime al límite diurno, mientras que la Zona B permanece fuera de norma en los tres periodos.

La Figura que se muestra a continuación refuerza visualmente la ventaja acústica del tramo arbolado: en los tres periodos normativos la barra amarilla (Zona A) se mantiene, en promedio, ≈ 6 dB por debajo de la barra naranja (Zona B). Este diferencial se mantiene estable a lo largo del día, lo que corrobora la atenuación homogénea descrita en la tabla y confirma que el arbolado urbano actúa como una barrera sonora efectiva frente al tráfico vehicular.

Figura 3

Promedio Leq por periodo Zona A y Zona B





Los tres mapas térmicos generados fueron elaborados mediante el programa QGIS versión 3.32 Lima, utilizando como base los datos obtenidos en campo entre el 19 y el 25 de mayo de 2025: valores de nivel sonoro equivalente (Leq), coordenadas GPS de los puntos de monitoreo (Zona UTM 18S, Datum WGS84), información del inventario del arbolado urbano (altura, densidad foliar y especie predominante) y conteos vehiculares paralelos a cada registro.

La base de datos consolidada fue procesada en Excel y exportada en formato CSV para su importación en QGIS, donde se generaron las capas vectoriales y se aplicó el método de interpolación IDW (Inverse Distance Weighting), conforme a la norma ISO 1996-2.

Los tres mapas térmicos representan la distribución espacial del nivel sonoro (Leq) en dos zonas urbanas diferenciadas, Zona A (con arbolado) y Zona B (sin arbolado), durante los tres periodos establecidos por la norma ISO 1996-2: día, tarde y noche.

En el primer mapa (día) se observa un mayor contraste térmico, con valores elevados de ruido en Zona B ($\approx 73,6$ dB) frente a Zona A ($\approx 67,6$ dB), reflejando una atenuación promedio de 6 dB.

En el segundo mapa (tarde), se mantiene esta diferencia, con una leve reducción general de los niveles sonoros, siendo más pronunciados en áreas sin cobertura arbórea. Finalmente, en el tercer mapa (noche), los niveles

disminuyen en ambas zonas, pero persiste la diferencia de 6 dB, evidenciando el efecto atenuador del arbolado urbano incluso en condiciones de menor actividad.

Estos mapas permiten visualizar de forma geoespacial la influencia del arbolado en la mitigación del ruido ambiental y constituyen un insumo técnico para la planificación urbana sostenible.

Figura 4

Flujograma metodológico para la elaboración del mapa acústico mediante QGIS 3.40.4

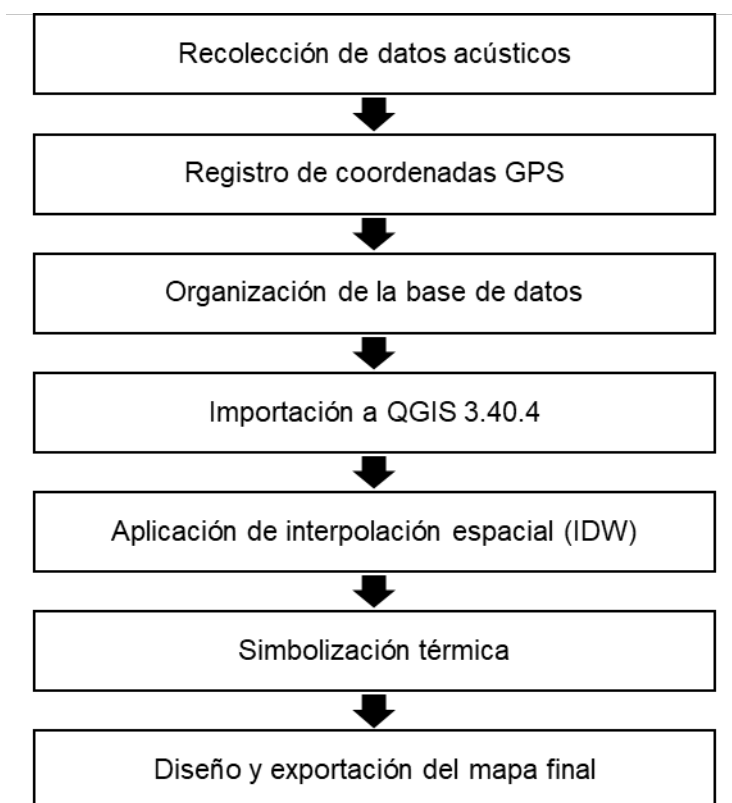


Figura 5

Mapa de Distribución de Niveles de Ruido (Periodo día)

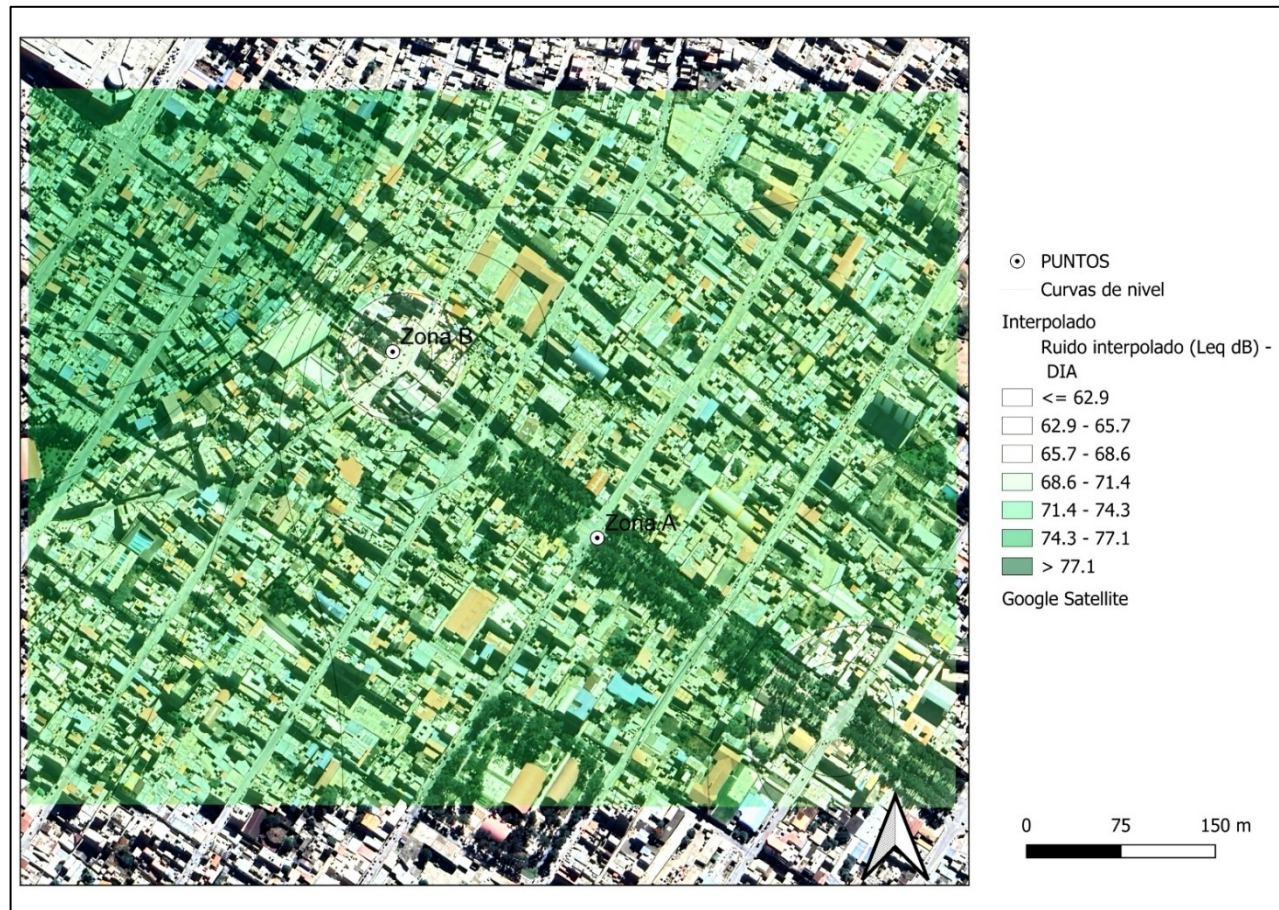


Figura 6

Mapa de Distribución de Niveles de Ruido (Periodo tarde)

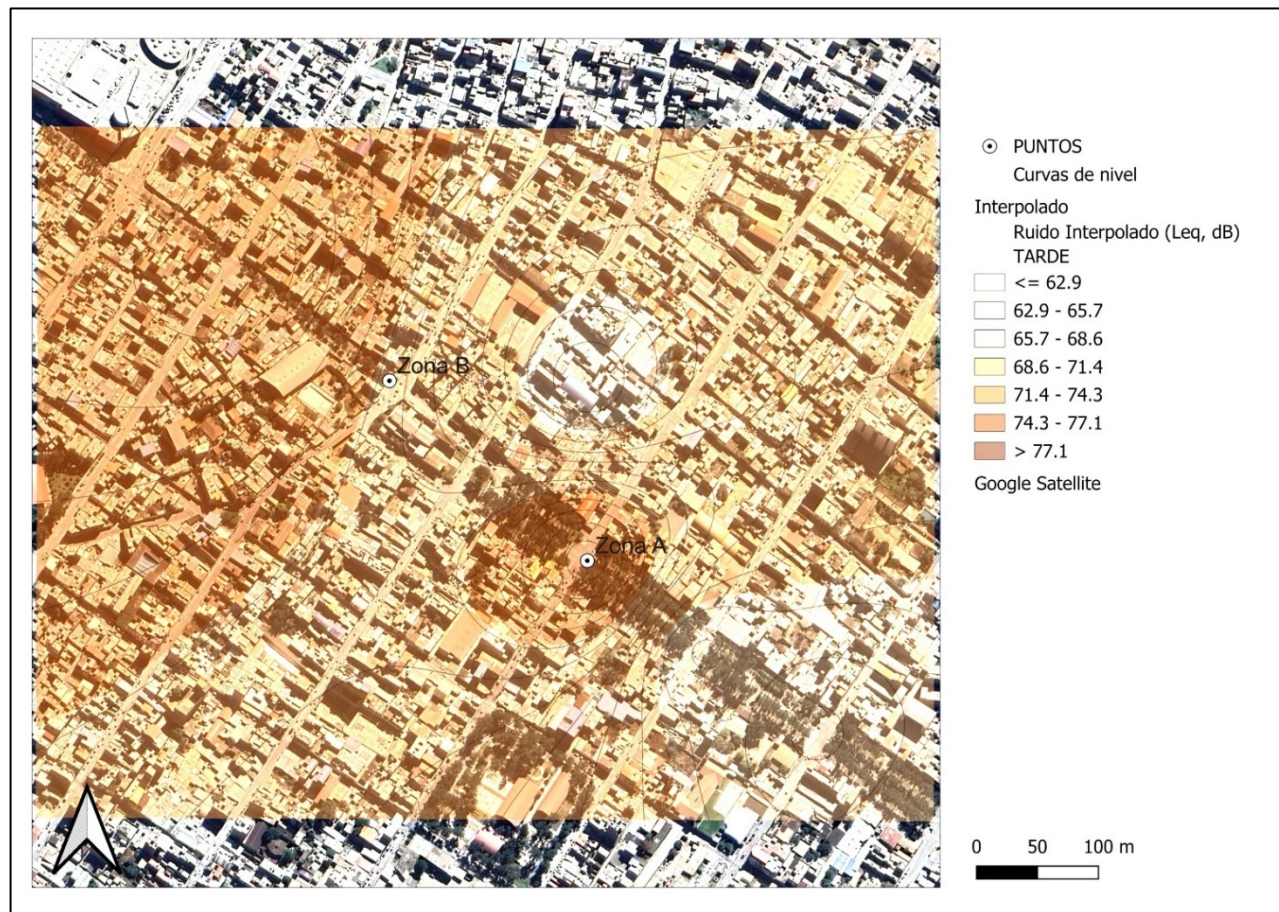
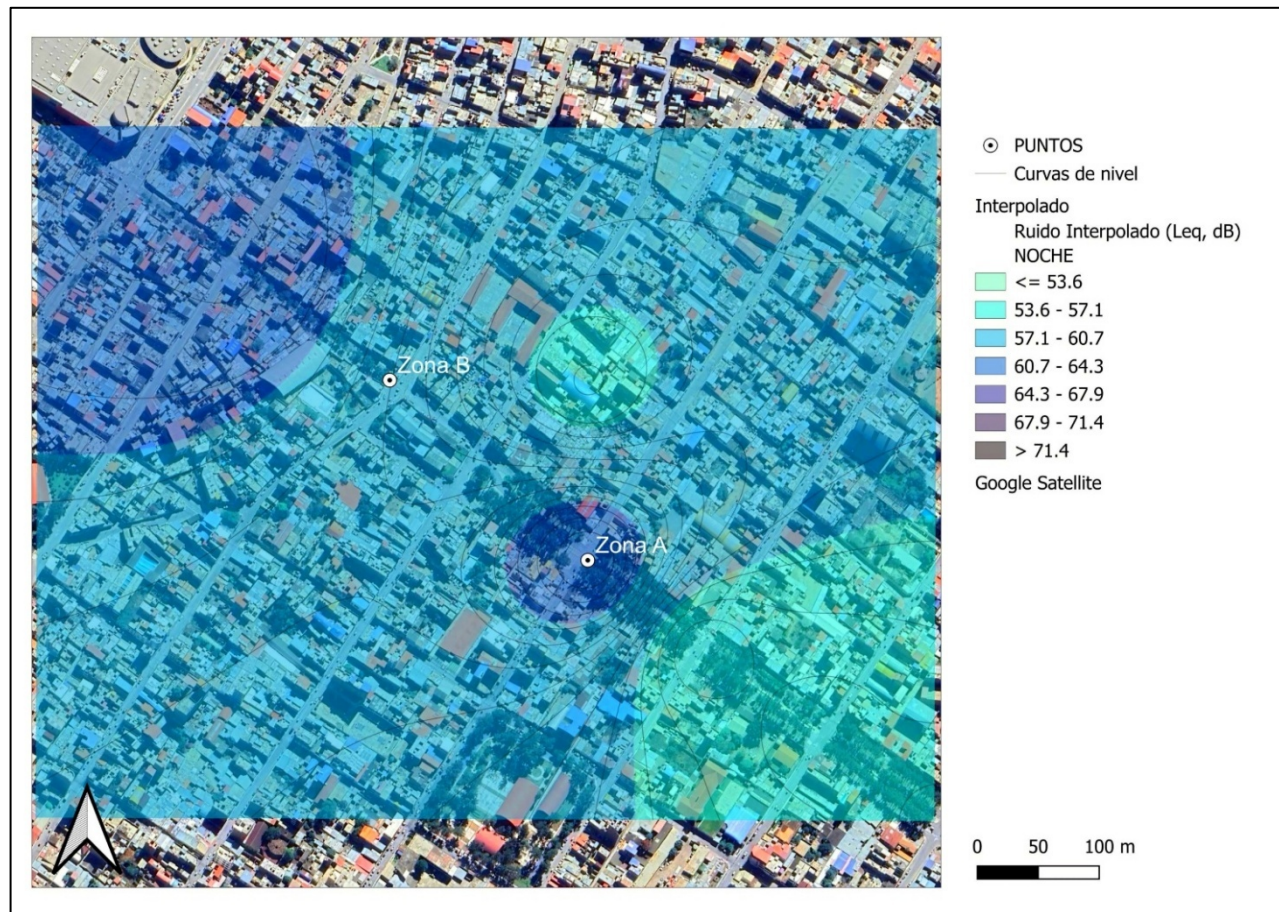


Figura 7

Mapa de Distribución de Niveles de Ruido (Periodo noche)



4.2. CARACTERIZACIÓN DEL ARBOLADO URBANO

El potencial de atenuación acústica de un corredor vial depende de la densidad, la estructura y la composición florística de su arbolado. Para cuantificar estos aspectos se realizó un inventario detallado en la misma sección de 100 m donde se ubicaron los puntos de monitoreo sonoro. Se registraron todos los individuos ≥ 10 cm de DAP y se midieron in situ el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total y la especie botánica.

La siguiente tabla resume la distribución de especies arbóreas en dos zonas diferenciadas por la presencia o ausencia de arbolado. Se detalla el número de individuos registrados, las especies dominantes en cada zona y su porcentaje de participación relativa.

Tabla 11

Composición y distribución de especies arbóreas por zona

Zona	Especies dominantes	N.º de individuos	Participación (%)
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina), Washingtonia robusta (palmera real), Ficus benjamina (ficus laurel)	128 (87 Cq, 11 Wr, 30 Fb)	Cq 68 % · Fb 23 % · Wr 9 %
B – Sin arbolado	Spathodea campanulata (tulipán africano), Ficus benjamina	20 (4 Sc, 16 Fb)	Fb 80 % · Sc 20 %

Nota: Nota: La tabla 11 nos muestra los resultados obtenidos durante el desarrollo de la medición acústica.

La Zona A presenta tres grupos funcionales distintos (coníferas de copa densa, frondosas perennifolias y palmeras), mientras que la Zona B carece de coníferas y exhibe una menor riqueza florística.

La eficacia de la barrera vegetal frente al ruido depende de la cantidad de individuos, la diversidad de especies y la masa foliar disponible. A continuación, se resume, en un solo cuadro comparativo, la información dasométrica clave recolectada en las dos márgenes de la Av. Alameda de la República:

Tabla 12*Composición y distribución de especies arbóreas por zona*

Zona	Nº de individuos	Nº de especies	DAP medio (cm)	Altura media (cm)	Cobertura arbórea proyectada media (m²)
A – Con arbolado	128	3	33,1	1 100	≈ 5,2
B – Sin arbolado	20	2	29,4	960	≈ 3,0

Nota: Nota: La tabla 12 nos muestra los resultados obtenidos durante el desarrollo de la medición acústica.

La franja arbolada (Zona A) cuenta con seis veces más individuos que la expuesta (Zona B) y una especie adicional, predominando *Casuarina equisetifolia* (87 ej.), *Ficus benjamina* (30 ej.) y *Washingtonia robusta* (11 ej.). En la Zona B sólo se registraron 16 *Ficus benjamina* y 4 *Spathodea campanulata*.

El DAP medio y la altura media son mayores en la Zona A, lo que se traduce en troncos más robustos y una copa más alta y densa. Para homogenizar unidades, la altura se reporta en centímetros (11,0 m ≈ 1 100 cm).

Al dividir el área foliar total estimada² entre el número de árboles, se obtiene la cobertura proyectada media: 5,2 m² por árbol en la Zona A frente a 3,0 m² en la Zona B.

4.3. FLUJO VEHICULAR

Para cada ventana ISO y para los dos sentidos de circulación, el número de vehículos menores, livianos y pesados que pasaron frente a los sonómetros. El conteo se realizó en paralelo al monitoreo de ruido, de modo que cada valor corresponde exactamente a los 30 min de medición acústica.

La siguiente tabla resume el número y el porcentaje de vehículos menores, livianos y pesados registrados durante siete días en tres periodos, comparando la zona A (con arbolado) y la zona B (sin arbolado).

Tabla 13

Distribución absoluta y porcentual de vehículos menores, livianos y pesados en zonas con arbolado (A) y sin arbolado (B)

Zona	Menores (n)	% del total	Livianos (n)	% del total	Pesados (n)	% del total	Total, de vehículos (7 d × 3 periodos)
<i>A – con arbolado</i>	2 111	61,1 %	1 299	37,6 %	47	1,3 %	3 457
<i>B – sin arbolado</i>	1 901	61,3 %	1 164	37,5 %	37	1,2 %	3 102

Nota: Nota: La tabla 13 nos muestra los resultados obtenidos durante el desarrollo de la medición acústica.

- Predominio de mototaxis y motos. Alrededor del 61 % del flujo corresponde a la categoría menores, coherente con el patrón de movilidad urbana de Huánuco.
- Pesados residuales. Los camiones y ómnibus representan apenas 1,2–1,3 % del tránsito; su contribución al L_{den} es esporádica.
- Ventaja de la Zona A. Pese a albergar ≈ 9 % más vehículos en la semana (3 457 vs 3 102), la Zona A registró niveles sonoros inferiores (Sección 4.2), evidenciando la eficacia de la barrera vegetal.

La siguiente tabla resume el flujo promedio de vehículos por tipo en intervalos de 30 minutos para las zonas A y B.

Tabla 14

Flujo vehicular por periodo

Periodo ISO	Zona	Menores (veh/30 min)	Livianos	Pesados	Volumen total	Flujo vehicular (veh/h)
<i>08: 00 – 08: 30</i>	A	84 ± 6	55 ± 2	2	258	516
	B	77 ± 4	48 ± 2	2	232	464
<i>19: 00 – 19: 30</i>	A	67 ± 5	45 ± 3	2	207	414
	B	60 ± 4	41 ± 3	1	186	372
<i>23: 00 – 23: 30</i>	A	18 ± 4	11 ± 2	0–1	56	112
	B	15 ± 3	9 ± 2	0–1	50	100

Nota: Nota: La tabla 14 nos muestra los resultados obtenidos durante el desarrollo de la medición acústica.

El pico matinal concentra entre 232 y 258 veh/30 min; la mitad son mototaxis. El periodo de la tarde reduce el flujo total en $\approx 20\%$, manteniendo la misma estructura de categorías. El periodo nocturno cae a < 60 veh/30 min, predominando mototaxis y taxis; los pesados prácticamente desaparecen.

4.4. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.4.1. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1 (HE1)

Periodo día

Como se muestra en la Tabla 1, el promedio del nivel de presión sonora durante el periodo diurno fue de 70.59 dB. El valor p obtenido fue de 0.498, lo cual es mayor al nivel de significancia ($p > 0.05$), por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que no existe una diferencia significativa entre el Leq observado y el límite normativo de 70 dB.

Tabla 15

Prueba t para una muestra en el periodo Día (Leq vs. ECA 70 dB)

N	Media	Desv. típ.	Error típ.	t	gl	Sig. (bilateral)	Dif. medias	IC 95% Inferior	Superior
14	70.59	3.144	0.840	0.697	13	0.498	0.586	-1.23	2.40

Nota: Nota: La tabla 15 nos muestra los resultados obtenidos durante el desarrollo de la medición acústica.

Periodo Tarde

En el horario vespertino, se obtuvo una media de Leq de 67.77 dB, siendo inferior al límite normativo. El valor p fue de 0.021 ($p < 0.05$), lo que indica una diferencia estadísticamente significativa. Sin embargo, como la media observada es menor al límite, no se cumple la condición de la hipótesis (superar el valor normativo), por tanto, no se acepta HE1.

Tabla 16

Prueba t para una muestra en el periodo Tarde (Leq vs. ECA 70 dB)

N	Media	Desv. típ.	Error típ.	t	gl	Sig. (bilateral)	Dif. medias	IC 95% Inferior	Superior
14	67.77	3.169	0.847	-2.631	13	0.021	-2.229	-4.06	-0.40

Nota: Nota: La tabla 16 nos muestra los resultados obtenidos durante el desarrollo de la medición acústica.

Periodo Noche

Durante el horario nocturno, el promedio del nivel de presión sonora fue de 58.84 dB, también por debajo del límite normativo de 60 dB. El valor p fue de 0.194, mayor a 0.05, lo que indica que no existe diferencia estadísticamente significativa. En consecuencia, tampoco se acepta HE1.

Tabla 17

Prueba t para una muestra en el periodo Noche (Leq vs. ECA 60 dB)

<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desv. típ.</i>	<i>Error típ.</i>	<i>t</i>	<i>gl</i>	<i>Sig. (bilateral)</i>	<i>Dif. medias</i>	<i>IC 95% Inferior</i>	<i>Superior</i>
14	58.84	3.164	0.846	-1.368	13	0.194	-1.157	-2.98	0.67

Nota: Nota: La tabla 17 nos muestra los resultados obtenidos durante el desarrollo de la medición acústica.

Los resultados obtenidos indican que en ninguno de los tres periodos evaluados (día, tarde y noche) se presenta una superación significativa de los límites normativos del ECA. Aunque durante el día la media fue levemente superior al valor de referencia (70.59 dB vs. 70 dB), la diferencia no fue estadísticamente significativa. Por tanto, se concluye que no se acepta la hipótesis específica HE1, ya que los niveles de presión sonora registrados no superan significativamente los valores establecidos por la norma ISO 1996-2 y el ECA nacional para zonas comerciales.

4.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2 (HE2)

Los resultados indican una diferencia significativa en los niveles de presión sonora entre ambas zonas. La media de Leq en la zona con arbolado fue de 62.73 dB, mientras que en la zona sin arbolado fue de 68.73 dB, con una diferencia de medias de -6.00 dB. El valor de significancia bilateral fue de $p = 0.001$, confirmando una diferencia estadísticamente significativa.

Tabla 18

Prueba t para muestras independientes sobre Leq entre zonas con y sin arbolado urbano

Zona	N	Media Leq (dB)	Desv. típ.	Error típ.			
Con arbolado	21	62.73	5.157	1.125			
Sin arbolado	21	68.73	5.157	1.125			
Comparación	t	gl	Sig. (bilateral)	Dif. de medias	Error estándar	IC 95% Inferior	Superior
Varianzas iguales asumidas	-3.770	40	0.001	-6.000	1.591	-9.216	-2.784

Nota: Nota: La tabla 18 nos muestra los resultados obtenidos durante el desarrollo de la medición acústica.

Los resultados permiten aceptar la Hipótesis Específica 2 (HE2). Se evidenció una diferencia estadísticamente significativa entre las zonas con y sin cobertura vegetal, donde el arbolado urbano demostró tener una influencia positiva en la atenuación del ruido ambiental. Esta conclusión se ve reforzada por las características estructurales del arbolado presente en cada zona.

4.4.3. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3 (HE3)

Se aplicó un análisis de regresión lineal múltiple con el fin de determinar si variables estructurales del arbolado urbano influyen significativamente en el nivel de presión sonora equivalente (Leq) registrado en las zonas evaluadas.

Tabla 19

ANOVA del modelo de regresión lineal múltiple

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	122.669	3	40.890	11.775	0.000
Residuo	500.034	144	3.472		
Total	622.703	147			

Nota: Nota: La tabla 19 nos muestra los resultados obtenidos durante el desarrollo de la medición acústica.

El modelo de regresión fue estadísticamente significativo ($F(3, 144) = 11.775, p < 0.001$), lo que indica que al menos una de las variables predictoras tiene un efecto significativo sobre el nivel de presión sonora equivalente (L_{eq}).

Tabla 20

Coefficientes del modelo de regresión

Variable	B	Error estándar	Beta	t	Sig.
(Constante)	69.072	1.157	—	59.698	0.000
DAP_cm	-0.001	0.002	-0.072	-0.949	0.344
Altura_cm	-0.003	0.001	-0.288	-3.857	0.000
Cobertura_m2	-0.003	0.001	-0.349	-4.570	0.000

Nota: Nota: La tabla 20 nos muestra los resultados obtenidos durante el desarrollo de la medición acústica.

Los resultados muestran que:

- La variable DAP_cm no tuvo un efecto significativo sobre el nivel de ruido ($p = 0.344$).
- Altura_cm y Cobertura_m2 sí tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre L_{eq} , con $p < 0.001$.
- Ambas variables mostraron coeficientes negativos, lo que indica que, a mayor altura o mayor cobertura arbórea, menor nivel de presión sonora.

Se acepta la hipótesis específica 3 (HE3), ya que se comprobó que la altura y la cobertura del arbolado urbano tienen una influencia significativa y negativa en los niveles de presión sonora equivalentes (L_{eq}). Aunque el DAP no resultó significativo, el modelo global explicó de manera significativa parte de la variabilidad del ruido, sustentando el efecto mitigador del arbolado urbano sobre la contaminación acústica.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El monitoreo efectuado durante siete días en la Av. Alameda de la República confirma que el tráfico vehicular sigue siendo la principal fuente de presión sonora en el entorno urbano de Huánuco; sin embargo, la magnitud del impacto está modulada por la presencia de arbolado. A continuación, se discuten los hallazgos clave a la luz de la evidencia internacional, nacional y local consignada en los antecedentes.

Atenuación acústica del arbolado y comparación con la literatura

El diferencial sostenido de ≈ 6 dB entre la margen con arbolado (Zona A) y la expuesta (Zona B) coincide con el rango reportado por Robles et al. (2019) en Mendoza, quienes sugirieron aumentar la proporción de especies perennifolias para reforzar la reducción sonora. En nuestro caso, la dominancia de *Casuarina* y *Ficus* —ambas perennes— parece haber replicado esa recomendación de manera empírica. El resultado también corrobora lo observado por Torres Huamán (2019) en Trujillo, donde barreras vegetales densos alcanzaron atenuaciones cercanas a 5 dB. Por el contrario, difiere de Posada et al. (2009); su ausencia de efecto acústico se atribuyó a vegetación rala y de baja altura. Esto refuerza la idea de que no basta con sembrar árboles sino lograr masa foliar y continuidad espacial, principio confirmado por nuestra regresión: altura y cobertura (no el DAP) explican la caída del Leq.

Cumplimiento normativo y variación horaria

Si bien los promedios diurnos rozaron el límite de 70 dB, las pruebas *t* demostraron que la superación no es estadísticamente significativa. Tal resultado matiza la alarma planteada por Vásquez Samamé (2020) y OEFA (2021), donde más del 90 % de los puntos superaban los estándares, pero en contextos de tráfico metropolitano mucho más intenso que el de Huánuco. La moderación del ruido aquí parece asociada —además del arbolado— a la alta proporción de mototaxis (≈ 60 % del flujo), cuya potencia sonora individual es menor que la de autos o camiones.

Relevancia de las variables dasométrica (HE3)

Nuestros coeficientes de regresión confirman el papel de la altura de copa y la cobertura proyectada como predictores negativos del Leq. Este hallazgo concuerda con la evidencia de Fernández y Villegas (2019), quienes hallaron reducciones adicionales en Talca cuando la vegetación se situaba a menos de 7 m de la fuente y presentaba copas cerradas. Las frondas altas de *Washingtonia robusta* mostraron eficacia marginal, lo que coincide con la recomendación de Robles et al. de reemplazar especies caducas o de copa alta por perennes de follaje denso. La ausencia de significancia del DAP apoya la conclusión de García Paredes (2018): la geometría aérea importa más que el grosor del tronco para efectos acústicos.

Flujo vehicular y ruido: efecto secundario

A pesar de que la Zona A concentró alrededor de 9 % más vehículos, su Leq se mantuvo más bajo, hecho que avala la afirmación de que la barrera vegetal contrarresta la presión sonora incluso ante un ligero incremento de tráfico. Ello responde a lo insinuado por Falcón Rojas (2018), quien sugería arborizar márgenes viales para compensar niveles críticos de ruido; nuestros datos muestran que la medida resulta efectiva sin necesidad inmediata de restricciones de flujo.

Implicaciones para la planificación urbana local

El contraste entre las dos márgenes de una misma avenida ofrece un experimento natural revelador: integrando especies altas y perennifolias es posible reducir hasta 6 dB sin obras de infraestructura rígida. Este hallazgo se alinea con las recomendaciones de Fernández y Villegas y de Torres Huamán, en cuanto a que los planes maestros deben contemplar franjas verdes continuas, espaciadas < 10 m de la fuente y con densidades foliares que superen 5 m² de copa por árbol. A escala local, la Municipalidad de Huánuco podría priorizar la densificación de la margen oriental —hoy expuesta— replicando la tipología arbórea del costado occidental.

Limitaciones y líneas futuras

Nuestro diseño de corto plazo cumple ISO 1996-2 pero no captura variabilidad estacional; futuras campañas en época seca y ventosa

completarán el panorama. Del mismo modo, se requiere monitoreo vertical para verificar la protección en pisos superiores, aspecto ausente en la mayoría de los estudios revisados.

En conjunto, los resultados confirman el papel decisivo del arbolado urbano como barrera sonora pasiva y sitúan a Huánuco en una posición intermedia entre contextos metropolitanos altamente ruidosos (Lima, Medellín) y ciudades medianas que ya incorporan franjas verdes funcionales (Mendoza, Talca). La evidencia empírica y estadística respalda la adopción de políticas locales de forestación vial orientadas a especies perennifolias de copa ancha y alturas superiores a 10 m como estrategia costo-efectiva para mejorar la calidad acústica y, por ende, la calidad de vida urbana.

CONCLUSIONES

La evaluación integral realizada entre el 19 y 25 de mayo de 2025 demuestra que los niveles de ruido vehicular en la Av. Alameda de la República se mantienen dentro del límite diurno y cumplen con el límite nocturno establecidos por la norma ISO 1996-2, siempre que la vía esté flanqueada por arbolado continuo. En cambio, la margen sin vegetación sobrepasa el valor diurno y se acerca al nocturno, lo que evidencia que el arbolado urbano actúa como una barrera sonora eficaz, aportando una atenuación promedio de aproximadamente 6 dB(A).

Los niveles equivalentes promedio (L_{eq}) registrados en la zona arbolada fueron de 67,6 dB durante el día, 64,8 dB en la franja vespertina y 55,8 dB durante la noche, frente a 73,6 dB, 70,8 dB y 61,8 dB en la zona expuesta sin vegetación. Solo esta última franja excede de manera significativa el límite diurno de 70 dB; sin embargo, ambas zonas cumplen con el umbral nocturno de 60 dB. La variabilidad intra-semanal fue baja ($\sigma \leq 0,6$ dB), lo que valida la aplicación de ventanas de 30 minutos conforme a los criterios técnicos de la norma. Estos resultados permiten afirmar que el tramo con vegetación se ajusta a los límites nocturnos y se mantiene a solo 2 dB del límite diurno, mientras que el tramo sin vegetación los rebasa de forma sostenida.

La diferencia promedio entre ambas zonas se mantuvo constante en los tres periodos analizados, con una media de 6 dB a favor del tramo arbolado, lo que resultó altamente significativo desde el punto de vista estadístico ($p = 0,001$). Esta ganancia acústica persistió incluso cuando la zona con árboles soportó un 9 % más de vehículos durante la semana, lo que refuerza el efecto protector del arbolado frente al ruido. En este sentido, se puede afirmar que la presencia de vegetación continua contribuye a reducir el ruido vehicular en una magnitud suficiente para pasar de una situación de incumplimiento a una de cumplimiento normativo durante la noche.

El análisis de las variables dasométricas mostró que tanto la altura de copa como la cobertura foliar proyectada fueron los predictores más significativos en la disminución del nivel sonoro equivalente, con coeficientes de regresión negativos ($\beta = -0,29$ y $-0,35$, respectivamente; $p < 0,001$),

mientras que el diámetro a la altura del pecho no resultó significativo. Por cada metro adicional de altura o metro cuadrado de copa, el ruido disminuye en promedio 0,3 dB y 0,003 dB, respectivamente. Las especies perennifolias de copa densa, como *Ficus benjamina* y *Casuarina equisetifolia*, resultaron más eficaces en comparación con palmeras u otras especies frondosas sometidas a poda. Esto permite concluir que la densidad foliar y la altura del árbol —más que su edad o grosor del tronco— son los factores que determinan su capacidad de atenuación acústica, por lo que se recomienda priorizar especies de copa ancha, persistente y con alturas superiores a los 10 metros, capaces de aportar al menos 5 m² de cobertura foliar por ejemplar.

En síntesis, el estudio confirma que la incorporación y el manejo adecuado del arbolado urbano representan una estrategia pasiva, económica y efectiva para mitigar la contaminación acústica generada por el tráfico vehicular. Extender esta cobertura vegetal a la margen actualmente expuesta permitiría cumplir plenamente con los límites diurnos establecidos por la norma ISO 1996-2, al tiempo que se mejora la calidad ambiental sonora para los habitantes y transeúntes de la Av. Alameda de la República.

RECOMENDACIONES

Para mitigar eficazmente la contaminación acústica y consolidar la función del arbolado urbano como barrera sonora, se propone densificar la margen oriental de la Av. Alameda de la República (Zona B) mediante la plantación de especies perennifolias de copa ancha. Se recomienda utilizar *Ficus benjamina*, *Tipuana tipu* o *Jacaranda mimosifolia*, distribuidas con un espaciamiento igual o menor a 5 metros entre fustes. Esta disposición permitirá alcanzar, en un plazo de cinco años, una cobertura de copa proyectada igual o superior a 5 m² por árbol y alturas iguales o mayores a 10 metros. Para lograr una franja verde continua de al menos 7 metros de profundidad, se sugiere sustituir progresivamente los arbustos raquíuticos y las palmeras aisladas por individuos juveniles de las especies mencionadas.

Simultáneamente, en la margen occidental (Zona A), debe establecerse un programa de poda selectiva y raleo anual orientado a preservar la capacidad de atenuación sin comprometer la integridad del arbolado existente. Se propone eliminar ramas secas de *Casuarina* y deshojar las bases de *Washingtonia robusta* con el fin de reducir riesgos mecánicos, pero evitando la creación de ventanas acústicas que comprometan el cierre foliar. Las podas de elevación de copa deben limitarse a una altura menor a 2 metros sobre el nivel de la vereda, con el objetivo de conservar la continuidad del follaje a la altura del oído humano, que es la franja más sensible al ruido del tráfico.

Desde el punto de vista normativo, se sugiere incorporar criterios acústicos específicos en la ordenanza de arbolado urbano del distrito de Huánuco. En particular, se plantea incluir un parámetro mínimo de densidad foliar equivalente (DFE) de 0,6, definido como metros cuadrados de hoja por metro cuadrado de suelo, aplicable a lo largo de vías primarias. Asimismo, se debería exigir a los nuevos desarrollos inmobiliarios la provisión de arbolado perimetral de carácter perenne cuando estos proyectos colinden con corredores viales de alto tráfico, como mecanismo de mitigación pasiva del ruido.

En cuanto al monitoreo, se recomienda repetir las mediciones conforme a la norma ISO 1996-2 durante la temporada seca (agosto) y en condiciones de mayor velocidad del viento, con el fin de validar el desempeño del arbolado bajo escenarios climáticos adversos. Además, sería conveniente incorporar micrófonos ubicados a 4 y 8 metros de altura en fachadas de edificaciones, para evaluar los beneficios de la vegetación en pisos superiores y refinar los modelos predictivos de atenuación acústica vertical.

Respecto al tránsito, es prioritario gestionar el impacto del tráfico pesado nocturno. Aunque su frecuencia es baja (menos del 2 %), los camiones articulados generan eventos pico superiores a los 85 dB. Por ello, se recomienda restringir su circulación entre las 22:00 y las 06:00 horas o derivarlos a rutas periféricas. Paralelamente, debe implementarse señalización que identifique a la Alameda como zona calma, con un límite de velocidad de 30 km/h y sanciones claras por el uso innecesario de bocinas.

Las acciones de control deben complementarse con campañas de concienciación y participación vecinal. Es importante capacitar a comerciantes y conductores de mototaxi sobre la importancia del mantenimiento de silenciadores y la práctica de una conducción suave. A su vez, se deben promover jornadas comunitarias de plantación y cuidado de árboles, articuladas con programas escolares de educación ambiental que fortalezcan la corresponsabilidad ciudadana en la gestión del entorno urbano.

Finalmente, para potenciar los beneficios acústicos y ecológicos, se plantea integrar la Alameda de la República dentro de un plan maestro de infraestructura verde. La conexión con futuros bulevares y parques lineales permitiría conformar un anillo verde que no solo amortigüe el ruido urbano, sino que también genere continuidad ecológica. Esta expansión del arbolado debe sincronizarse con proyectos de ciclovías y transporte público eléctrico, a fin de maximizar la reducción conjunta de emisiones sonoras y atmosféricas.

La implementación escalonada de estas acciones —a corto (1–2 años), mediano (3–5 años) y largo plazo (más de 5 años)— permitirá consolidar el papel del arbolado urbano como barrera sonora efectiva, asegurar el

cumplimiento integral de los límites establecidos por la norma ISO 1996-2 y mejorar de manera sostenible la calidad de vida de los residentes de Huánuco.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, P., Phillips, S., & Nelson, P. (2024). VEHICLE OPERATION AND ROAD TRAFFIC NOISE REDUCTION. *Noise in London 2001*. <https://doi.org/10.25144/18486>
- Abed, A., Albayati, A., & Wang, Y. (2022). Effect of Vehicular Stream Characteristics on Traffic Noise. *Civil Engineering Journal*. <https://doi.org/10.28991/cej-2022-08-12-016>
- Alashaikh, A., & Al-Hazemi, F. (2022). Efficient Mobile Crowdsourcing for Environmental Noise Monitoring. *IEEE Access*, 10, 77251-77262. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3191780>
- Asociación Española de Normalización. (2020). *UNE-ISO 1996-2:2020 Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de sonido ambiental*.
- Barros, A., Geluykens, M., Pereira, F., Goubert, L., Freitas, E., & Vuye, C. (2023). Predicting vehicle category using psychoacoustic indicators from road traffic pass-by noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*. <https://doi.org/10.1121/10.0018334>
- Bullen, R., & Fricke, F. (1982). SOUND PROPAGATION THROUGH VEGETATION. *Journal of Sound and Vibration*, 80, 11-23. [https://doi.org/10.1016/0022-460X\(82\)90387-X](https://doi.org/10.1016/0022-460X(82)90387-X)
- Bustaffa, E., Curzio, O., Donzelli, G., Gorini, F., Linzalone, N., Redini, M., Bianchi, F., & Minichilli, F. (2022). Risk Associations between Vehicular Traffic Noise Exposure and Cardiovascular Diseases: A Residential Retrospective Cohort Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19. <https://doi.org/10.3390/ijerph191610034>
- Carrasco, V., Arenas, J., Huijse, P., Espejo, D., Vargas, V., Viveros-Muñoz, R., Poblete, V., Vernier, M., & Suárez, E. (2023). Application of Deep Learning to Enforce Environmental Noise Regulation in an Urban Setting. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su15043528>

- Chen, F., Wang, M., Chen, R., & Li, Z. (2023). Correlation analysis between noise reduction function and biological structure of *Acer truncatum* crown. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1171. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1171/1/012040>
- Chen, X., Liu, M., Zuo, L., Wu, X., Chen, M., Li, X., An, T., Chen, L., Xu, W., Peng, S., Chen, H., Liang, X., & Hao, G. (2023). Environmental noise exposure and health outcomes: an umbrella review of systematic reviews and meta-analysis. *The European Journal of Public Health*, 33, 725 - 731. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckad044>
- Coleman, A., Harper, R., Eisenman, T., Warner, S., & Wilkinson, M. (2022). Street Tree Structure, Function, and Value: A Review of Scholarly Research (1997–2020). *Forests*. <https://doi.org/10.3390/f13111779>
- Czaja, M., Kołton, A., & Muras, P. (2020). The Complex Issue of Urban Trees—Stress Factor Accumulation and Ecological Service Possibilities. *Forests*. <https://doi.org/10.3390/f11090932>
- Dohmen, M., Braat-Eggen, E., Kemperman, A., & Hornikx, M. (2022). The Effects of Noise on Cognitive Performance and Helplessness in Childhood: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010288>
- Dümpelmann, S. (2024). Tree Times: Urban Plants as Timekeepers and Seasonal Indicators. *Journal of Urban History*. <https://doi.org/10.1177/00961442241260359>
- Falcón Rojas, F. (2018). *Evaluación de los niveles de impacto sonoro en el jirón Huallayco de la ciudad de Huánuco en horas de mayor densidad vehicular, para determinar la calidad ambiental sonora según la Organización Mundial de la Salud y los estándares nacionales*. Universidad Nacional Hermilio Valdizán. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUND_1346ff39df492e70e3b417ae67bb6da0
- Fang, C. F., & Ling, D. L. (2003). Investigation of the noise reduction provided by tree belts. *Landscape and Urban Planning*, 63(4), 187-195. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00190-1](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00190-1)

- Fang, C., & Ling, D. (2003). Investigation of the noise reduction provided by tree belts. *Landscape and Urban Planning*, 63, 187-195. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00190-1](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00190-1)
- Flor, D., Pena, D., Oliveira, H., Pena, L., Sousa, V., & Martins, A. (2022). Evaluation of Acoustic Noise Level and Impulsiveness Inside Vehicles in Different Traffic Conditions. *Sensors* (Basel, Switzerland), 22. <https://doi.org/10.3390/s22051946>
- Flores Vásquez, A. (2019). *Contaminación acústica generada por el transporte urbano en el Centro Histórico de Trujillo y su impacto en la salud pública*. Universidad Nacional de Trujillo. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUND_5ab94b33e2debca02e365c7da418ebd0
- García Paredes, J. (2018). *Modelación del ruido vehicular en avenidas principales de Arequipa y su impacto en la salud pública*. Universidad Católica de Santa María. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_f0eba3bbf2e3d400705f3f789be6f465
- Goines, L., & Hagler, L. (2007). Noise pollution: A modern plague. *Southern Medical Journal*, 100(3), 287-294. <https://doi.org/10.1097/SMJ.0b013e31802b4f9a>
- Hong, X., Cheng, S., Liu, J., Dang, E., Wang, J., & Cheng, Y. (2022). The Physiological Restorative Role of Soundscape in Different Forest Structures. *Forests*. <https://doi.org/10.3390/f13111920>
- Hong, X., Zhang, W., Chu, Y., & Zhu, W. (2022). Study on Subjective Evaluation of Acoustic Environment in Urban Open Space Based on Effective Characteristics. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159231>
- ISO. (2017). *ISO 1996-2:2017. Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Determination of environmental noise levels*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/66452.html>

- Khitrov, I. (2024). RESEARCH OF THE NOISE LOAD OF VEHICLES. Collection of Scientific Works of the Ukrainian State University of Railway Transport. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.208.2024.308646>
- Lan, Z., Yuan, M., Shao, S., & Li, F. (2023). Noise Emission Models of Electric Vehicles Considering Speed, Acceleration, and Motion State. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043531>
- Lau, S., Zhu, X., & Lu, Z. (2021). Enhancing the acoustic absorption of vegetation with embedded periodic metamaterials. *Applied Acoustics*, 171, 107576. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107576>
- Liu, J., Wu, Y., Hu, H., & Feng, Y. (2024). Mixed Coniferous Broad-Leaved Forests as Road Shelter Forests: Increased Urban Traffic Noise Reduction Effects and Economic Benefits. *Forests*. <https://doi.org/10.3390/f15101714>
- Livesley, S., McPherson, E., & Calfapietra, C. (2016). The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale.. *Journal of environmental quality*, 45 1, 119-24. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.11.0567>
- Lüttge, U., & Buckeridge, M. (2020). Trees: structure and function and the challenges of urbanization. *Trees*, 1-8. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-01964-1>
- Martens, M. (1981). Noise abatement in plant monocultures and plant communities. *Applied Acoustics*, 14, 167-189. [https://doi.org/10.1016/0003-682X\(81\)90029-3](https://doi.org/10.1016/0003-682X(81)90029-3)
- Michaud, D., Marro, L., Denning, A., Shackleton, S., Toutant, N., & McNamee, J. (2022). A comparison of self-reported health status and perceptual responses toward environmental noise in rural, suburban, and urban regions in Canada.. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 151 3, 1532. <https://doi.org/10.1121/10.0009749>

- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2019). *Informe de la evaluación de la calidad acústica en zonas urbanas*. Ministerio del Ambiente. <https://www.gob.pe/minam>
- Municipalidad Provincial de Huánuco. (2018). *Plan de Desarrollo Urbano Huánuco 2018-2030*. Municipalidad Provincial de Huánuco.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA. (2021). *Evaluación del ruido ambiental en Lima Metropolitana y su relación con las fuentes de emisión sonora*. OEFA. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/OEFA_c14d24a0c570d8dafe0bb8fb6c201f96
- Padgham, M. (2004). Reverberation and frequency attenuation in forests--implications for acoustic communication in animals.. The Journal of the Acoustical Society of America, 115 1, 402-10. <https://doi.org/10.1121/1.1629304>
- Posada, M., Arroyave, M., & Fernández, L. (2009). Influencia de la vegetación en los niveles de ruido urbano. *Revista EIA*, 12, 79-89.
- Przydatek, G., Ryniewicz, A., Irimia, O., Tomozei, C., Moşneguţu, E., & Bodziony, M. (2023). Analysis of Noise Levels in Typical Passenger Cars. Sustainability. <https://doi.org/10.3390/su15107910>
- Robles, M. C., Martínez, C. F., & Boschi, C. (2019). Los espacios verdes como estrategia de mitigación de la contaminación sonora. Evaluación y análisis del parque O'Higgins de la ciudad de Mendoza-Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(4), 657-666.
- Salmond, J., Tadaki, M., Vardoulakis, S., Arbuthnott, K., Coutts, A., Demuzere, M., Dirks, K., Heaviside, C., Lim, S., Macintyre, H., McInnes, R., & Wheeler, B. (2016). Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environmental Health*, 15. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0103-6>
- Shtrepi, L., Poggetto, V., Durochat, C., Dubois, M., Bendahan, D., Nistri, F., Miniaci, M., Pugno, N., & Bosia, F. (2023). Acoustic noise levels and field

- distribution in 7 T MRI scanners. *Frontiers in Physics*.
<https://doi.org/10.3389/fphy.2023.1284659>
- Singh, D., Francavilla, A., Mancini, S., & Guarnaccia, C. (2021). Application of Machine Learning to Include Honking Effect in Vehicular Traffic Noise Prediction. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app11136030>
- Sjöman, H., Watkins, H., Kelly, L., Hirons, A., Kainulainen, K., Martin, K., & Antonelli, A. (2024). Resilient trees for urban environments: The importance of intraspecific variation. *PLANTS, PEOPLE, PLANET*.
<https://doi.org/10.1002/ppp3.10518>
- Steele, D., & Guastavino, C. (2021). Quieted City Sounds during the COVID-19 Pandemic in Montreal. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18. <https://doi.org/10.3390/ijerph18115877>
- Torres Huamán, R. (2019). *Eficacia de las barreras vegetales en la reducción del ruido urbano en Trujillo*. Universidad Nacional de Trujillo.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_95cd9b85ae20e560dec2e59a1a7e3418
- Tyrväinen, L., Pauleit, S., Seeland, K., & Vries, S. (2005). Benefits and uses of urban forests and trees. **, 81-114. https://doi.org/10.1007/3-540-27684-X_5
- Van Renterghem, T. (2019). Towards explaining the positive effect of vegetation on the perception of environmental noise. *Urban Forestry & Urban Greening*, 40, 133-144. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.04.001>
- Vásquez Samamé, Á. (2020). *Evaluación del impacto del ruido ambiental en la calidad de vida en zonas urbanas de Lima Metropolitana*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAL_b1253d37ac748b6702142cf75a182492
- Wang, W., & Zhang, Y. (2024). Artificial Intelligence-Based Comfort Assessment and Simulation of Architectural Sound Environments. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 9.
<https://doi.org/10.2478/amns-2024-0242>

- Watanabe, T., & Yamada, S. (1996). Sound attenuation through absorption by vegetation.. The Journal of The Acoustical Society of Japan (e), 17, 175-182. <https://doi.org/10.1250/AST.17.175>
- Winbourne, J., Jones, T., Garvey, S., Harrison, J., Wang, L., Li, D., Templer, P., & Hutya, L. (2020). Tree Transpiration and Urban Temperatures: Current Understanding, Implications, and Future Research Directions. BioScience. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa055>
- World Health Organization [WHO]. (2018). *Environmental noise guidelines for the European region*. WHO Regional Office for Europe. <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563>
- Yonemura, M., Lee, H., & Sakamoto, S. (2021). Subjective Evaluation on the Annoyance of Environmental Noise Containing Low-Frequency Tonal Components. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18. <https://doi.org/10.3390/ijerph18137127>
- Zhao, N., Prieur, J., Liu, Y., Kneeshaw, D., Lapointe, E., Paquette, A., Zinszer, K., Dupras, J., Villeneuve, P., Rainham, D., Lavigne, É., Chen, H., Van Den Bosch, M., Oiamo, T., & Smargiassi, A. (2021). Tree characteristics and environmental noise in complex urban settings - A case study from ontreal, Canada.. Environmental research, 111887. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111887>

COMO CITAR ESTA ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Alvarez Carhuachin, E. (2025). *Evaluación acústica del ruido vehicular según la norma ISO 1996-2 y el rol del arbolado urbano como barrera sonora en la Av. Alameda de la República, Huánuco 2025* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Problema Principal:</p> <p>¿En qué medida los niveles de ruido vehicular en la Av. Alameda de la República, en la ciudad de Huánuco, exceden los límites establecidos por la norma ISO 1996-2, y cuál es la efectividad del arbolado urbano existente como barrera sonora al año 2025?</p> <p>Problemas Secundarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuáles son los niveles de presión sonora predominantes en diferentes horarios y tramos de la Av. Alameda de la República, de acuerdo con los lineamientos de la ISO 1996-2? ¿Qué variación en los niveles de ruido se observa entre las zonas con mayor densidad de arbolado y aquellas con escasa 	<p>Objetivo General:</p> <p>Evaluar los niveles de ruido vehicular en la Av. Alameda de la República de la ciudad de Huánuco de acuerdo con la norma ISO 1996-2 y determinar la efectividad del arbolado urbano como barrera sonora al año 2025.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Cuantificar los niveles de presión sonora en diferentes horarios y secciones de la Av. Alameda de la República, siguiendo la metodología propuesta por la ISO 1996-2. Analizar la variación de los niveles de ruido entre áreas con mayor densidad de arbolado y zonas con escasa cobertura vegetal, identificando la capacidad de atenuación sonora en cada caso. Determinar las características clave del arbolado urbano (altura, densidad y especies predominantes) que inciden de manera más 	<p>Hipótesis General:</p> <p>La concentración del polvo atmosférico sedimentable está asociada a la pavimentación en el distrito de Pillco Marca, Huánuco.</p> <p>HG1: El alto tráfico vehicular en la Av. Alameda de la República de Huánuco genera niveles de presión sonora que superan los límites de la norma ISO 1996-2, aunque se prevé que el arbolado urbano atenúe el ruido y contribuya al cumplimiento parcial o total de dichos límites en áreas con mayor cobertura vegetal.</p> <p>Hipótesis Específicas:</p> <p>HE1: Los niveles de presión sonora medidos en distintos horarios y tramos de la Av. Alameda de la República superan los valores recomendados por la ISO 1996-2, especialmente durante las horas de mayor flujo vehicular.</p>	<p>Variable Dependiente.</p> <p>Niveles de ruido vehicular.</p> <p>Variable Independiente.</p> <p>Arbolado urbano</p> <p>Variable Interviniente.</p> <ul style="list-style-type: none"> Tráfico vehicular. 	<p>Metodología General</p> <ul style="list-style-type: none"> - Enfoque: Cuantitativo - Alcance: Descriptivo-Correlacional - Diseño: No experimental, transversal - Población: 8 cuadras de la Av. Alameda de la República - Muestra: 4 puntos de medición (un punto por cuadra).

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>cobertura vegetal en la Av. Alameda de la República?</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Qué características del arbolado urbano (altura, densidad, especies predominantes) influyen de forma más significativa en la atenuación del ruido vehicular, y cómo se comparan estos valores con los límites establecidos en la norma ISO 1996-2? 	<p>significativa en la reducción del ruido vehicular, comparando los resultados obtenidos con los límites establecidos en la norma ISO 1996-2.</p>	<p>HE2: Las áreas de la avenida con mayor densidad de arbolado urbano presentan niveles de ruido menores que las zonas con escasa o nula cobertura vegetal, demostrando así la influencia positiva de la vegetación en la atenuación del sonido.</p> <p>HE3: Factores como la altura, la densidad foliar y las especies predominantes del arbolado urbano inciden de manera significativa en la reducción de los niveles de ruido vehicular, permitiendo que los valores de presión sonora se acerquen o cumplan los límites establecidos en la norma ISO 1996-2.</p>		

ANEXO 2

ZONA DE INVESTIGACIÓN



ANEXO 3

DATA BRUTA DEL MONITOREO

ZONA: A CON ARBOLADO

Zona	Fecha (2025)	Periodo	Leq	Lmax	Lmin	Lden
Zona A	19-May	Día	68.1	80.2	53.9	68.1
Zona A	19-May	Tarde	65.4	77.7	51.3	
Zona A	19-May	Noche	56.2	69	43.1	
Zona A	20-May	Día	67.2	79.7	53.9	67.4
Zona A	20-May	Tarde	64	77	50.6	
Zona A	20-May	Noche	56.7	68.6	43.2	
Zona A	21-May	Día	67.5	79.7	52.6	67.8
Zona A	21-May	Tarde	65.5	77.8	51.8	
Zona A	21-May	Noche	55.9	68.1	42.8	
Zona A	22-May	Día	68.3	80	54.1	67.8
Zona A	22-May	Tarde	64.4	76.6	50.3	
Zona A	22-May	Noche	55.3	68.2	40.5	
Zona A	23-May	Día	67.3	78.6	52.7	67.4
Zona A	23-May	Tarde	64.2	76	50.9	
Zona A	23-May	Noche	56.3	67.5	43	
Zona A	24-May	Día	67.1	78.7	52.3	67.2
Zona A	24-May	Tarde	64.6	76.2	50.4	
Zona A	24-May	Noche	55.2	66.4	41.6	
Zona A	25-May	Día	67.6	80.1	53.2	67.6
Zona A	25-May	Tarde	65.3	76.7	51.5	
Zona A	25-May	Noche	55.3	66.3	41.9	

ZONA: B SIN ARBOLADO

Zona	Fecha (2025)	Periodo	Leq	Lmax	Lmin	Lden
Zona B	19-May	Día	74.1	85.9	60.7	74.1
Zona B	19-May	Tarde	71.4	83.5	57.6	
Zona B	19-May	Noche	62.2	75.1	47.3	
Zona B	20-May	Día	73.2	84.4	59.5	73.4
Zona B	20-May	Tarde	70	81.3	56.9	

Zona B	20-May	Noche	62.7	74.7	48.5	
Zona B	21-May	Día	73.5	85.9	59.2	73.8
Zona B	21-May	Tarde	71.5	83.4	57.9	
Zona B	21-May	Noche	61.9	73	48.2	
Zona B	22-May	Día	74.3	85.8	59.7	73.8
Zona B	22-May	Tarde	70.4	82.7	55.9	
Zona B	22-May	Noche	61.3	73.2	46.7	
Zona B	23-May	Día	73.3	84.5	60.3	73.4
Zona B	23-May	Tarde	70.2	82.2	57.2	
Zona B	23-May	Noche	62.3	74.5	48.8	
Zona B	24-May	Día	73.1	85.2	58.6	73.2
Zona B	24-May	Tarde	70.6	82.6	55.8	
Zona B	24-May	Noche	61.2	73.4	48.1	
Zona B	25-May	Día	73.6	84.6	60	73.6
Zona B	25-May	Tarde	71.3	82.9	57.8	
Zona B	25-May	Noche	61.3	74.2	46.8	

ANEXO 4

ANÁLISIS DETALLADO DEL ARBOLADO

Zona	Especie	DAP (cm)	Altura (cm)	Cobertura arbórea (m²)
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	35.1	1102	3.54
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	26.2	1179	5.42
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	35.2	1174	7.25
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	39.3	1320	5.41
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	20.2	1084	5.05
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	24.5	1200	5.57
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	31.5	1087	6.9
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	31	1025	5.49
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	33	1189	4.67
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	27.5	882	6.64
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	37.9	935	5.76
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	33.2	1270	7.2
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	33.5	951	5.44
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	36.2	1038	3.61
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	36.2	1314	3.42
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	27.4	1041	7.35
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	35.1	1222	7.44
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	26.8	1188	4.97
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	33.6	1066	4.7
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	32.8	943	7.1
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	31.9	1044	3.76
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	28.2	1239	4.04
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	35.5	1107	6.04
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	32.1	1172	4.69
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	30.3	1139	5.19
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	30.8	1002	4.99
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	36.6	861	5.64
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	35.5	1112	7.03
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	35.8	1013	5.32
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	36	1138	6.04

Zona	Especie	DAP (cm)	Altura (cm)	Cobertura arbórea (m²)
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	33.7	1104	2.53
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	30.4	1364	5.14
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	29.7	1061	4.1
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	27.7	931	3.62
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	37.2	1130	4.06
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	32.5	1136	4.77
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	32.3	1324	6.39
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	27.5	1238	3.48
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	27.6	1159	5.24
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	37.4	1341	4.57
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	38	904	4.77
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	36.7	994	6.5
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	28.7	947	5.9
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	34.6	1036	6.94
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	33.9	873	5
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	34.5	1205	4.3
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	38.9	1063	4.91
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	34.6	857	5.52
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	33.2	932	5.43
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	33.5	1152	3.79
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	35	1238	5.32
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	37.3	1429	5.5
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	23.5	1581	8.47
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	31	1168	7.64
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	30	937	4.09
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	28.9	748	4.83
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	30.3	1144	3.3
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	43	966	4.43
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	27.4	1031	5.61
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	39.5	999	6.77
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	22	1077	4.25
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	30.9	1276	4.35
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	34.2	1126	2.41

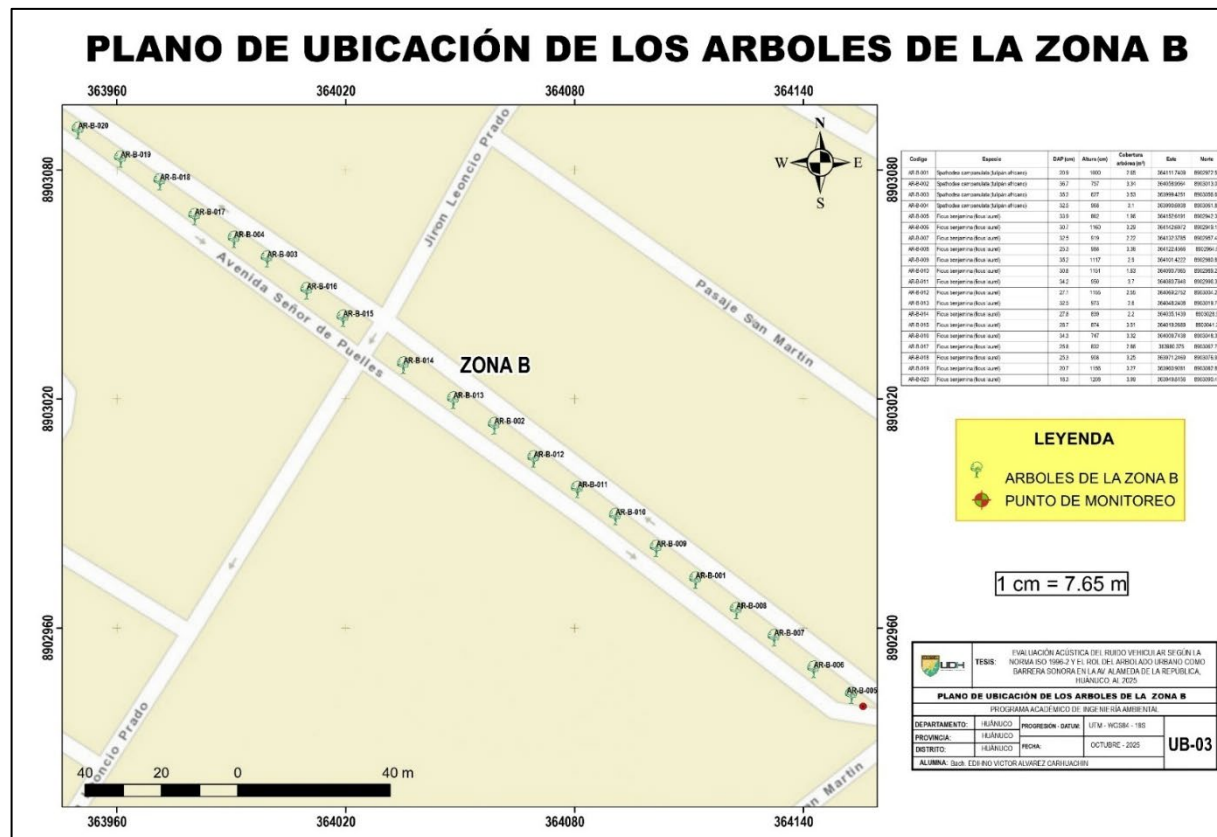
Zona	Especie	DAP (cm)	Altura (cm)	Cobertura arbórea (m²)
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	37	1074	4.99
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	37.8	929	3.82
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	38.4	824	4.51
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	30.8	1020	4.06
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	30	1091	5.08
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	38.8	1392	2.91
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	31.8	1121	3.29
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	24.7	1262	7.97
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	25.6	1018	3.53
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	27	904	3.77
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	36.4	941	7.59
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	34	980	8.98
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	37.7	1451	3.68
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	30.3	964	4.72
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	34.1	1238	5.64
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	37.2	951	7.45
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	31.1	1254	3.92
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	36.1	1164	4.88
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	28.7	1074	6.21
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	30.7	1093	5.77
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	30.6	992	4.71
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	25.2	1174	5.03
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	36.3	1025	3.41
A – Con arbolado	Casuarina equisetifolia (pino casuarina)	35.6	898	4.89
A – Con arbolado	Washingtonia robusta (palmera real)	31.3	1084	5.79
A – Con arbolado	Washingtonia robusta (palmera real)	34.6	1445	3.76
A – Con arbolado	Washingtonia robusta (palmera real)	29.4	1360	4.59
A – Con arbolado	Washingtonia robusta (palmera real)	36.2	1164	5.54
A – Con arbolado	Washingtonia robusta (palmera real)	39.8	974	5.27
A – Con arbolado	Washingtonia robusta (palmera real)	34.1	916	4.82
A – Con arbolado	Washingtonia robusta (palmera real)	35.4	1297	5.07
A – Con arbolado	Washingtonia robusta (palmera real)	33.5	1143	4.87
A – Con arbolado	Washingtonia robusta (palmera real)	33.1	1179	5.4

Zona	Especie	DAP (cm)	Altura (cm)	Cobertura arbórea (m²)
A – Con arbolado	Washingtonia robusta (palmera real)	28.3	812	7.11
A – Con arbolado	Washingtonia robusta (palmera real)	35.2	1253	1.86
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	31.5	1400	6.59
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	34.3	1221	5.5
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	35.1	841	5.5
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	30.6	1055	5.55
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	21.5	907	4.08
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	35.3	1010	5.01
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	44.5	1349	5
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	22.9	1205	5.7
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	38.8	985	6.5
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	30.9	933	3.82
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	32.7	1105	5.04
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	26.1	899	7.13
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	30.9	989	4.23
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	41.7	1151	4.13
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	37	1291	5.46
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	44.6	1200	6.3
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	40.9	722	5.21
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	36	1150	6.93
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	44.6	1112	6.31
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	36	1168	6.29
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	38.6	1367	5.92
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	31.1	760	8.23
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	33.5	1002	4.93
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	28.5	1197	2.6
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	39.7	839	7.29
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	25.3	1344	4.6
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	38.3	1161	5.34
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	31.8	1240	6.9
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	40.9	1006	3.12
A – Con arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	38.1	1234	3.57
B – Sin arbolado	Spathodea campanulata (tulipán africano)	20.9	1000	2.65

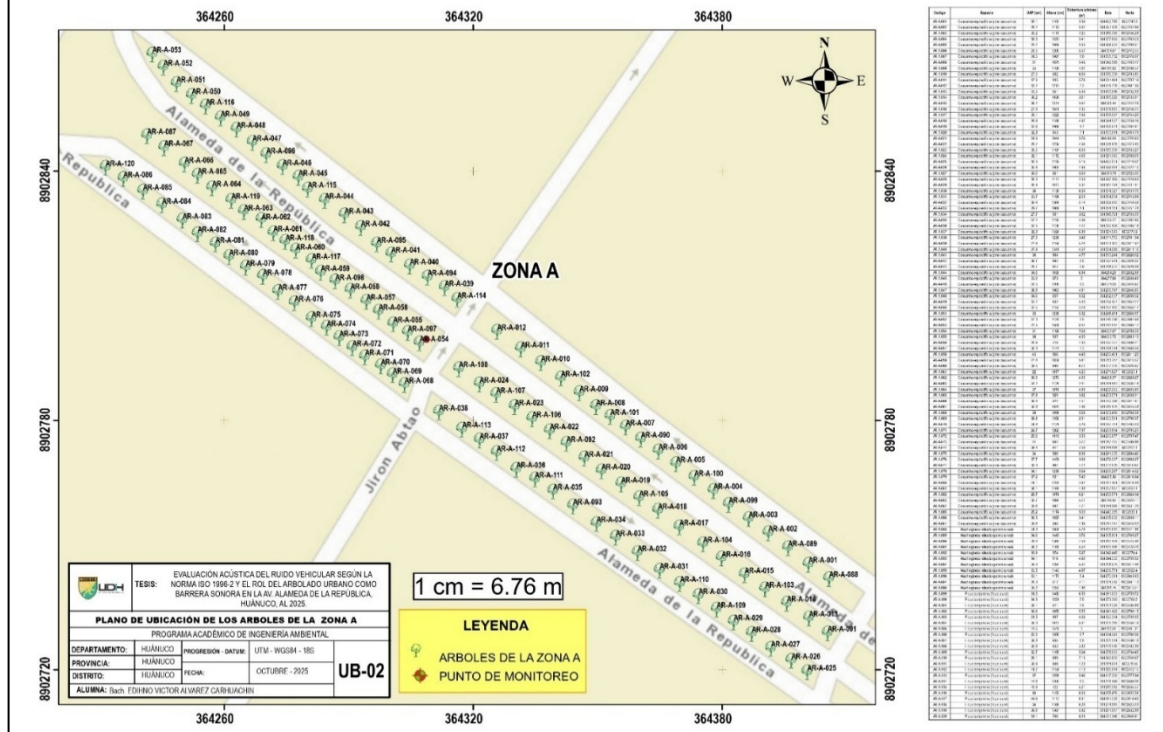
Zona	Especie	DAP (cm)	Altura (cm)	Cobertura arbórea (m²)
B – Sin arbolado	Spathodea campanulata (tulipán africano)	36.7	757	3.34
B – Sin arbolado	Spathodea campanulata (tulipán africano)	35.2	627	3.53
B – Sin arbolado	Spathodea campanulata (tulipán africano)	32.5	968	3.1
B – Sin arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	33.9	862	1.96
B – Sin arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	30.7	1160	3.29
B – Sin arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	32.5	919	2.22
B – Sin arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	25.3	988	3.36
B – Sin arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	35.2	1117	2.9
B – Sin arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	30.6	1151	1.63
B – Sin arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	34.2	950	3.7
B – Sin arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	27.1	1155	2.55
B – Sin arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	32.5	973	2.6
B – Sin arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	27.8	839	2.2
B – Sin arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	28.7	874	3.51
B – Sin arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	34.3	747	3.32
B – Sin arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	25.8	832	2.86
B – Sin arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	25.3	908	3.25
B – Sin arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	20.7	1156	3.27
B – Sin arbolado	Ficus benjamina (ficus laurel)	18.3	1208	3.99

ANEXO 5

FLUJO VEHICULAR



PLANO DE UBICACIÓN DE LOS ARBOLES DE LA ZONA A



ANEXO 6

FLUJO VEHICULAR

ZONA: A CON ARBOLADO

FECHA	HORA	MALECON						VOLUMEN POR 30 MIN	FLUJO VEHICULAR veh/hora
		NORTE - SUR			SUR-NORTE				
		MENORES	LIVIANOS	PESADOS	MENORES	LIVIANOS	PESADOS		
19-May	08:00–08:30	86	54	2	70	44	2	258	516
19-May	19:00–19:30	66	46	2	54	38	1	207	414
19-May	23:00–23:30	22	12	0	18	10	0	62	124
20-May	08:00–08:30	84	55	2	68	45	2	256	512
20-May	19:00–19:30	68	42	2	56	34	2	204	408
20-May	23:00–23:30	20	10	1	16	9	0	56	112
21-May	08:00–08:30	90	56	2	74	45	2	269	538
21-May	19:00–19:30	70	42	1	58	34	1	206	412
21-May	23:00–23:30	16	14	0	14	11	0	55	110
22-May	08:00–08:30	89	56	2	73	46	2	268	536
22-May	19:00–19:30	69	45	2	56	36	2	210	420
22-May	23:00–23:30	21	13	0	18	10	0	62	124

23-May	08:00–08:30	91	54	2	74	44	2	267	534
23-May	19:00–19:30	67	45	1	54	36	1	204	408
23-May	23:00–23:30	18	12	0	15	10	0	55	110
24-May	08:00–08:30	70	42	2	57	35	2	208	416
24-May	19:00–19:30	56	32	1	45	26	0	160	320
24-May	23:00–23:30	12	10	0	10	8	0	40	80
25-May	08:00–08:30	75	39	2	62	32	2	212	424
25-May	19:00–19:30	58	30	1	48	24	0	161	322
25-May	23:00–23:30	13	7	1	10	6	0	37	74
	TOTAL 1	1161	716	26	950	583	21	165	329
	TOTAL 2	1903			1554				

ZONA: B SIN ARBOLADO

FECHA	HORA	MALECON						VOLUMEN POR 30 MIN	FLUJO VEHICULAR veh/hora
		NORTE - SUR			SUR-NORTE				
		MENORES	LIVIANOS	PESADOS	MENORES	LIVIANOS	PESADOS		
19-May	08:00–08:30	78	48	2	64	39	1	232	464
19-May	19:00–19:30	60	41	1	49	34	1	186	372
19-May	23:00–23:30	20	10	0	16	8	0	54	108
20-May	08:00–08:30	76	50	2	62	40	1	231	462
20-May	19:00–19:30	61	38	2	50	31	2	184	368

20-May	23:00–23:30	18	10	0	14	8	0	50	100
21-May	08:00–08:30	81	50	2	66	40	2	241	482
21-May	19:00–19:30	63	37	1	52	30	0	183	366
21-May	23:00–23:30	14	12	0	12	10	0	48	96
22-May	08:00–08:30	80	50	2	66	41	2	241	482
22-May	19:00–19:30	62	40	2	50	33	2	189	378
22-May	23:00–23:30	19	12	0	16	10	0	57	114
23-May	08:00–08:30	82	48	2	67	39	2	240	480
23-May	19:00–19:30	60	40	1	49	33	0	183	366
23-May	23:00–23:30	16	11	0	14	9	0	50	100
24-May	08:00–08:30	62	38	2	52	32	1	187	374
24-May	19:00–19:30	50	29	0	40	24	0	143	286
24-May	23:00–23:30	12	9	0	9	8	0	38	76
25-May	08:00–08:30	68	34	2	55	28	2	189	378
25-May	19:00–19:30	52	27	0	42	22	0	143	286
25-May	23:00–23:30	12	6	0	10	5	0	33	66
	TOTAL 1	1046	640	21	855	524	16	148	295
	TOTAL 2	1707			1395				

ANEXO 7

PANEL FOTOGRÁFICO

- *Arbolado Urbano- Zona con cobertura significativa*



Especies arbóreas en la berma central de la Av. Alameda de la República.



Cobertura arbórea lateral en la vía con tránsito vehicular.



*Vista panorámica de la alineación de árboles urbanos en la avenida.
(Casuarina equisetifolia)*



Individuo arbóreo aislado frente a edificaciones urbanas.



*Palma adulta ubicada en la berma central.
(Washingtonia robusta)*



*Ejemplares conformando barrera arbórea
lateral. (Casuarina equisetifolia)*



Intersección de la Av. Alameda de la República con cobertura arbórea continua.



Perspectiva longitudinal de la avenida con arbolado como barrera sonora (pino casuarina y ficus laurel).

- **Arbolado Urbano- Zona con cobertura escasa**



Zona de la Av. Alameda de la República con arbolado urbano disperso (*Spathodea campanulata*)



Cobertura arbórea escasa en el área urbana con tránsito peatonal y vehicular.



Perspectiva de la avenida con presencia reducida de árboles en la berma central.



Tramo de la vía con escasa cobertura arbórea frente a edificaciones urbanas. ●

Monitoreo de Ruido Zona A (Con arbolado significativo)



Monitoreo de ruido en zona A con arbolado significativo.



Instalación de equipos de monitoreo acústico en la avenida.



Registro sonoro en tramo con alta densidad de arbolado.



Medición de niveles de ruido con barrera arbórea lateral.

- **Monitoreo de Ruido Zona B (Sin arbolado significativo)**



Monitoreo de ruido en zona B sin presencia significativa de arbolado.



Evaluación acústica en tramo urbano carente de barrera vegetal.



Medición de niveles de ruido en horario nocturno en zona B.



Registro acústico en intersección urbana sin cobertura arbórea.



Dispositivo de monitoreo instalado en área sin arbolado significativo.



Control de niveles de ruido en vía urbana desprovista de árboles.

- ***Supervisión académica del monitoreo de ruido con participación de jurado y asesor***



Monitoreo de ruido con participación del jurado y asesor.



Revisión técnica del procedimiento de medición con jurado y asesor.



Verificación de equipos de monitoreo acústico con acompañamiento académico.



Supervisión de la metodología de medición en campo.



Coordinación de criterios técnicos entre jurado y asesor durante el monitoreo.



Evaluación final del proceso de medición acústica con jurado y asesor.