



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
ESCUELA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

**TRABAJO DE TITULACION PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODESARROLLO**

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN LA CIUDAD DE
OTAVALO**

PERUGACHI CADENA ELVIS DAVID

TUTOR: MEJÍA ROMO DIEGO LEOPOLDO

IBARRA- ECUADOR

SEPTIEMBRE, 2025

Ibarra, 29 de septiembre de 2025

CERTIFICACIÓN TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Investigación titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN LA CIUDAD DE OTAVALO**, presentado por el estudiante Perugachi Cadena Elvis David con cédula de ciudadanía N° 1003659610, para obtener el Título de Licenciado en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo

Certifico que el trabajo cumple con todos los parámetros establecidos, mediante el cual el estudiante demuestra el desarrollo de competencias en el campo de conocimiento de su profesión con un nivel de argumentación coherente, para ser sometido a la evaluación por parte de los lectores.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de originalidad de TURNITIN.



(f): _____
Mgs. Diego Mejía
TUTOR DE TRABAJO
C.C.: 1001912961

PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El tribunal examinador, aprueba el presente trabajo en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ibarra:



(f).....

Diego Leopoldo Mejía Romo

C.C.: 1001912961



(f).....

Moraima Cristina Mera Aguas

C.C.: 1001743721



(f).....

Paola Alexandra Chávez Guerrero

C.C.: 1002744090

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo *Elvis David Perugachi Cadena*, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 de Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derecho de disponer de sus derechos o autorizar de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 29 de septiembre del 2025



f):

Elvis David Perugachi Cadena

C.C.: 1003659610

AUTORÍA

Yo, *ELVIS DAVID PERUGACHI CADENA*, portador de la cédula de ciudadanía N° 100365610, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.



f):

Elvis David Perugachi Cadena

C.C.: 1003659610

DEDICATORIA

Este presente trabajo de titulación se lo dedico a Dios, por ser la fuente de mi fuerza, mi inspiración y mi guía en cada paso de este camino. Su infinita sabiduría me iluminó en los momentos de mayor incertidumbre, y su gracia me permitió perseverar hasta el final.

A mis padres Manuel y María, por su amor incondicional, su paciencia y sus sacrificios. Esta tesis es el fruto de su apoyo incansable y de la confianza que siempre depositaron en mí. Su fe en mis capacidades fue el pilar sobre el que se construyó este sueño.

A mis hermanos, por ser mis compañeros de vida, confidentes y un recordatorio constante de la importancia del trabajo arduo y la dedicación. Gracias por inspirarme y por estar siempre a mi lado.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios, por ser la guía y la fuente de fortaleza que iluminó mi camino académico y personal.

A mis padres y hermanos, por su amor, su paciencia y su apoyo constante. Sus sacrificios y su fe en mí fueron el motor que me impulsó a superar cada desafío.

A mi tutor, el Msc. Mejía Romo Diego Leopoldo, por su invaluable guía, su paciencia y su sabiduría. Sus conocimientos y su dedicación fueron fundamentales para la culminación de este trabajo.

A mis amigos, especialmente a Fabricio Jacome, por las risas, por los consejos y por el apoyo incondicional en cada etapa de este viaje. Su amistad fue un refugio en los momentos difíciles.

Finalmente, a mi pareja, Anabella Tabango, por su amor, su comprensión y por ser el pilar emocional que me permitió perseverar. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba.

A todos ustedes, que de una forma u otra contribuyeron a este logro, mi más profunda y eterna gratitud.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN TUTOR	ii
PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iii
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS	iv
AUTORÍA	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN.....	16
ABSTRACT	17
CAPÍTULO I.....	18
INTRODUCCIÓN.....	18
CAPÍTULO II.....	20
OBJETIVOS.....	20
2.1. Objetivo general	20

2.2. Objetivos específicos.....	20
CAPÍTULO III	21
ESTADO DEL ARTE	21
3.1. Contaminación acústica.....	21
3.1.1. Contaminación acústica según su fuente	21
3.2. Ruido	22
3.2.1. Tipos de ruido	22
3.3. Mapas de ruido	27
3.4. Ruido Ambiental	29
3.5. Sonido.....	30
3.5.1. Características del sonido.....	30
3.6. Propiedades del sonido.....	31
3.6.1. Frecuencia	31
3.6.2. Presión Sonora	32
3.6.3. Potencia Sonora.....	32
3.6.4. Intensidad Sonora.....	32
3.7. Sonido y su propagación	33
3.8. Unidad de Medida	33
3.8.1. Belio	33

3.8.2. Decibel (dB).....	33
3.9. Velocidad del sonido.....	34
3.10. Sonómetro BSWA 308.....	34
3.10.1 Características Clave	34
3.10.2. Aplicaciones.....	34
3.11. Estrategias de reducción de ruido en el ambiente.....	35
3.11.1. Regulación del tráfico para la reducción de ruido.....	35
3.11.2. Uso de la espuma acústica para la reducción del ruido	35
3.11.3. Reducción de ruido por muros y vallas	36
3.11.4. Reducción de ruido por árboles y arbustos.....	36
CAPÍTULO IV	37
MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
4.1. Materiales	37
4.1.1. Equipos de medición	37
4.1.2. Equipos de apoyo	37
4.1.3. Software	37
4.1.4. Instrumentos de registro	37
4.2. Métodos.....	38
4.2.1. Tipos de investigación.....	38

4.2.2. Área de estudio.....	39
4.2.3. Diseño de muestreo	42
4.2.3.1. Actividad de campo.....	42
4.2.4. Protocolo de medición.....	44
4.2.5. Control de calidad	45
4.2.6. Análisis de datos	46
4.2.7. Elaboración cartográfica.	49
4.2.8. Desarrollo del plan de Manejo para la mitigación.....	55
CAPÍTULO V	56
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
5.1. Medición de ruido y registro de datos.	56
5.2. Evaluación de los datos	58
5.3. Análisis del modelo predictivo de ruido.....	62
5.3.1. Análisis estadístico.....	65
5.4. Mapas de predicción acústicas de medición de Decibeles Mínimas y Máximas	67
5.5. Cuadros de análisis de datos mínimos y máximos niveles de presión sonora (LAep)	76
5.6. Plan de mitigación.....	83
5.6.1. Objetivos	83
5.6.2. Alcance.....	83

5.6.3. Medidas.....	83
5.6.5. Planes de Acción.....	87
5.6.6. Análisis costo- beneficio.....	96
5.7. Consideraciones finales del análisis de resultados.....	100
CAPÍTULO VI.....	102
CONCLUSIONES.....	102
CAPÍTULO VII.....	104
RECOMENDACIONES.....	104
CAPÍTULO VIII.....	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
ANEXOS.....	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Gama de colores para la representación de nivel sonoro dB.....	28
Tabla 2 Niveles Máximos de ruido según uso de Suelo.....	29
Tabla 3 Horarios donde se realizarán las mediciones de los puntos.....	43
Tabla 4 Niveles Máximos de ruido según uso del Suelo.....	45
Tabla 5 Ubicación y coordenadas de los puntos de medición establecidos para la investigación.....	57
Tabla 6 Datos de la investigación en los horarios establecidos valores mínimos y máximos (DB).....	61
Tabla 7 Variables utilizadas para el modelo predictivo de ruido en el horario de 12:00 a 13:00 en la ciudad de Otavalo.....	63
Tabla 8 Estadísticas de niveles de ruido (dB) y porcentaje de superación normativa en distintos intervalos horarios.....	66
Tabla 9 Planes de acción para la mitigación del ruido en la ciudad de Otavalo.....	88
Tabla 10 Plan de costos.....	97
Tabla 11 Beneficios estimados de la implementación de medidas de control de ruido ambiental.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de los puntos en el área de estudio de la ciudad de Otavalo.....	41
Figura 2 Mapa de predicción acústica (7:00am a 8:00am) mínima y máxima.....	68
Figura 3 Mapa de predicción acústica (12:00pm a 13:00pm) mínima y máxima.....	71
Figura 4 Mapa de predicción acústica (18:00pm a 19:00pm) mínima y máxima.....	73
Figura 5 Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 1 (Registro Civil).....	77
Figura 6 Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 2 (Parque de los dinosaurios).....	77
Figura 7 Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 3 (Unidad Educativa Otavalo).....	78
Figura 8 Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 4 (Universidad Otavalo).....	78
Figura 9 Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 5 (Parque San Sebastián).....	79
Figura 10 Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 6 (Redondel de los Danzantes).....	79
Figura 11 Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 7 (Terminal terrestre Otavalo).....	80
Figura 12 Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 8 (Plaza de los ponchos).....	80
Figura 13 Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 9 (Produbanco).....	81
Figura 14 Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 10 (Parque Simón Bolívar).....	81
Figura 15 Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 11 (Iglesia San Francisco).....	82
Figura 16 Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 12 (PRODUBANCO).....	88

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Equipos para mediciones sonómetro y gps	1155
Anexo 2 Toma de mediciones en la Ciudad de Otavalo.....	116
Anexo 3 Toma de muestras de aglomeración vehicular en el horario de 12:00 a 13:00 pm.....	118

RESUMEN

La ciudad de Otavalo, caracterizada por su actividad turística, enfrenta crecientes niveles de contaminación acústica, como resultado del aumento del tráfico vehicular y la actividad urbana. Con el fin de caracterizar esta situación, se realizó un monitoreo sistemático de presión sonora en tres horarios estratégicos del comportamiento diario: mañana (07:00-8:00), mediodía (12:00-13:00) y noche (18:00-19:00). Se tomaron registros en doce puntos estratégicamente distribuidos dentro del área urbana. Con los datos obtenidos, se elaboraron mapas de ruido utilizando técnicas de interpolación espacial mediante el método Inverse Distance Weighting (IDW) en el software ArcGIS 10.5. Estas representaciones permitieron visualizar la distribución del ruido ambiental, identificar zonas críticas con altos niveles de presión sonora y comparar los valores registrados en cada horario. Los sectores con mayor impacto acústico corresponden a áreas de alta circulación vehicular, destacándose el Redondel de los Danzantes como el punto con mayores registros de contaminación acústica. La información generada constituye una herramienta técnica fundamental para la planificación urbana y la gestión ambiental, proporcionando insumos clave para la toma de decisiones orientadas a reducir la exposición al ruido en beneficio de la salud y el bienestar de la población.

Palabras clave: Contaminación acústica, ArcGIS 10.5, interpolación espacial, IDW, mapa de ruido.

ABSTRACT

The city of Otavalo is characterized by its tourism activity and is facing increasing levels of noise pollution as a result of rising vehicle traffic and urban activity. In order to characterize this situation, systematic sound pressure monitoring was carried out during three strategic time periods of daily behavior: morning (07:00–08:00), midday (12:00–13:00), and evening (18:00–19:00). Measurements were taken at twelve strategically distributed points within the urban area. Using the collected data, noise maps were created through spatial interpolation techniques using the Inverse Distance Weighting (IDW) method in ArcGIS software. These representations made it possible to visualize the distribution of environmental noise, identify critical zones with high sound pressure levels, and compare the recorded values across the different time periods. The areas with the highest acoustic impact correspond to zones with heavy vehicle circulation, with the Danzantes roundabout standing out as the point with the highest levels of noise pollution. The information generated serves as a fundamental technical tool for urban planning and environmental management, providing key inputs for decision-making aimed at reducing noise exposure for the benefit of public health and well-being.

Keywords: Noise pollution, ArcGIS 10.5, spatial interpolation, IDW, noise map.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La contaminación acústica es actualmente uno de los principales problemas ambientales que afecta la calidad de vida en América Latina, y su impacto se ha incrementado debido a factores como el crecimiento poblacional, el desarrollo urbano desordenado y el tráfico vehicular. Según el (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA), el ruido en zonas urbanas representa la segunda causa de problemas de salud ambiental, justo después de la contaminación del aire (Montejo Martínez, 2017).

La Organización Mundial de la Salud OMS (2020), clasifica los efectos de la contaminación acústica en siete categorías que incluyen pérdida auditiva, trastornos del sueño, problemas cardiovasculares y daños a la salud mental. Se estima que más de 430 millones de personas en el mundo sufren algún tipo de pérdida auditiva, y el ruido ambiental es uno de los factores que contribuye a esta problemática. Además, se calcula que más de 430 millones de personas en el mundo tienen algún tipo de pérdida auditiva, y el ruido es un factor contribuyente importante.

Los investigadores Cohen y Salinas Castillo (2017), mencionan que, con el paso de los años, la contaminación acústica se ha convertido en un problema para la salud. Es por ello, que la industria ha aumentado sus esfuerzos para disminuir la emisión de ruido en fuentes específicas. Una opción para facilitar esta determinación de ruido en dichas fuentes es localizar los puntos donde se genera la mayor cantidad de energía sonora. La contaminación acústica, además de afectar al oído, puede provocar efectos psicológicos negativos y otros efectos fisiopatológicos.

En Ecuador, el crecimiento poblacional y el desarrollo de la industria y la economía han generado una mayor contaminación acústica. Esto ha impactado negativamente en la calidad de vida de los ciudadanos. La normativa ambiental vigente en el país regula tanto las fuentes

fijas como móviles de ruido y contaminación, y fomenta programas de protección ambiental (Muñoz & Merino, 2023). Los efectos de la contaminación acústica representan un serio desafío ecológico y de salud pública, lo que demanda medidas concretas y propuestas enfocadas en mitigar el ruido y preservar el medio ambiente. La ciudad de Otavalo, reconocida por su riqueza cultural y atractivos turísticos, enfrenta un aumento de la contaminación acústica como resultado del crecimiento urbano, el tráfico vehicular, y las actividades comerciales y festivas que caracterizan a la región.

La investigación de Hemmat et al. (2023); Jariwala et al. (2017) destacan la importancia de estudiar y documentar esta problemática para desarrollar datos y tomar decisiones informadas sobre la gestión de fuentes de ruido, especialmente en ciudades en desarrollo. Estos estudios no solo permiten entender mejor el impacto del ruido en la salud pública, sino que también ofrecen bases para implementar estrategias de control que minimicen el problema y mejoren el bienestar de la población. La realización de investigaciones sobre contaminación acústica es fundamental para prevenir enfermedades relacionadas con el ruido y promover un ambiente más saludable en áreas urbanas en crecimiento.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Evaluar la contaminación acústica en los puntos de mayor presión sonora de la ciudad de Otavalo

2.2. Objetivos específicos

- Identificar los principales puntos de mayor presión sonora en la ciudad de Otavalo con el objetivo de realizar mediciones y monitorear cada uno de ellos.
- Elaborar mapas de la contaminación acústica mediante técnicas de interpolación espacial utilizando el método IDW en software ArcGIS 10.5, a través del análisis de distintos puntos de emisión de ruido.
- Proponer estrategias plan de mitigación basadas en los resultados del diagnóstico acústico para reducir los niveles de contaminación sonora identificados.

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

3.1. Contaminación acústica

Se define como una entrada de ruido el cual altera las condiciones habituales del ambiente en un determinado sitio. Normalmente, la contaminación acústica se produce por las actividades humanas como: movilización, manufactureras, centros de ocio, aeropuertos, entre otros, estas actividades consiguen consecuencias dañinas para la salud de las personas a niveles tanto fisiológicos como psicológicos (Jariwala et al., 2017). Esta forma de contaminación está estrechamente relacionada con el ruido, ya que este fenómeno se genera a partir de aquella. Dada la influencia que tiene en la salud de las personas, se han realizado numerosos estudios e informes que abordan la realidad acústica tanto en grandes como en pequeñas comunidades.

3.1.1. Contaminación acústica según su fuente

En el ámbito de la contaminación acústica, las fuentes de ruido se pueden clasificar en función de su origen. En primer lugar, se encuentran las Fuentes Emisoras de Ruido (FER), las cuales incluyen cualquier actividad, operación o proceso capaz de generar emisiones sonoras en el entorno. Estas fuentes comprenden tanto sonidos derivados de actividades humanas e industriales como aquellos producidos por organismos vivos. En términos generales, cualquier entidad que emita ruido y lo libere al medio ambiente, independientemente de su naturaleza, se considera una FER (Ortega & Cardona, 2005).

Por otro lado, las Fuentes Fijas de Ruido (FFR) corresponden a aquellas fuentes o grupos de fuentes sonoras que operan dentro de los límites físicos y legales de una zona específica. Este tipo de fuentes incluye instalaciones industriales, establecimientos de lavado de vehículos, fábricas, terminales de autobuses y discotecas, entre otros. Dado que su ubicación es establecida y permanente, se consideran emisores estacionarios de ruido. La identificación y clasificación de las FFR es fundamental para la gestión del ruido ambiental, ya que permite

regular actividades que pueden tener un impacto significativo en el entorno sonoro de una determinada área (Pallas et al., 2011).

Finalmente, las Fuentes Móviles de Ruido (FMR) corresponden a cualquier vehículo motorizado capaz de generar emisiones acústicas en su entorno. Según la normativa vigente, si una FMR se encuentra dentro del área de una FFR, se le considera como parte de la Fuente Emisora de Ruido (FER) asociada a esta última. Esta distinción es relevante para la regulación del ruido ambiental, dado que las FMR representan una categoría particular de fuentes acústicas que requieren medidas específicas para su control. La integración de las FMR dentro de las FFR resalta la interconexión entre diferentes tipos de fuentes sonoras y subraya la importancia de adoptar un enfoque integral en la gestión del ruido vehicular en contextos urbanos y ambientales (Stansfeld, 2015).

3.2. Ruido

El ruido es un conjunto complejo de sonidos que produce una sensación auditiva molesta o desagradable. A partir de la perspectiva físico, ruido y sonido son lo mismo, sin embargo, cuando resulta desagradable o no deseado, se denomina ruido. La percepción del ruido es subjetiva y varía de una persona a otra; lo que es ruido para uno puede ser música para otro. Además, el contexto en el que se produce el ruido influye en su impacto: un entorno tranquilo puede hacer que un sonido aparentemente insignificante se perciba como molesto. El ruido no solo afecta el bienestar emocional, sino que también tiene implicaciones en la salud física. La exposición prolongada a altos niveles de ruido puede causar estrés, problemas de sueño e incluso afectar la audición (Gallagher, 2016; García Ruiz & South, 2019).

3.2.1. Tipos de ruido

Según Lizcano, (2023), el ruido presenta diversas características que permiten su identificación y análisis. En primer lugar, se le reconoce como un fenómeno de naturaleza acústica, determinado por dos factores principales: un componente físico y un componente

subjetivo, este último relacionado con la percepción y el malestar que puede generar en el oído humano.

La medición y cuantificación del ruido resultan complejas, ya que, al tratarse de una onda sonora, no se acumula ni deja residuos en el entorno. Además, su propagación es limitada, dado que no se desplaza a través de los sistemas naturales, lo que restringe su alcance espacial. Desde una perspectiva estructural, el ruido involucra tres elementos fundamentales: el medio, que actúa como canal de propagación; la fuente, donde se origina el sonido; y el receptor, es decir, la persona expuesta a la emisión sonora, cuya percepción e impacto varían según su sensibilidad auditiva. En términos de salud, la exposición prolongada o intensa al ruido puede provocar molestias auditivas, generando dolor o incluso lesiones en el oído, lo que podría derivar en trastornos auditivos permanentes (Liaquat et al., 2021).

Asimismo, una de las principales fuentes de contaminación acústica proviene del tráfico vehicular y otros medios de transporte, los cuales emiten ruido de manera continua. Esta exposición constante al ruido ambiental puede tener efectos adversos en la salud humana, tales como el aumento de la frecuencia cardíaca, el incremento de la presión arterial y la aparición de cefaleas, entre otras afecciones relacionadas (Ecker et al., 2019).

3.2.1.1. Ruido rosa

Es un tipo de sonido que cuya señal de su densidad espectral es proporcional al inverso de la frecuencia, lo que significa que su energía se reduce en 3 dB por cada octava de frecuencia. Se usa para examinar la conducta de aulas, altavoces, grupos de ruido, entre otros. Es una señal popular, la misma energía en cada banda de frecuencia (espectro plano), y si lo amplificamos con un altavoz en una sala podemos obtener información sobre la conducta acústica del altavoz, la sala, etc (Isaí et al., 2020).

El ruido rosa puede contribuir a la contaminación acústica si se usa en niveles altos o en entornos inadecuados. Por ejemplo, si se emplea en pruebas de sonido en lugares donde el volumen es elevado y hay poca absorción acústica, puede causar molestias a las personas

cercanas. Además, su uso constante en estudios de grandes instalaciones o al aire libre sin una correcta regulación podría generar niveles de ruido que contribuyan al exceso de sonido en el ambiente, afectando así a la calidad de vida de las personas y al entorno sonoro. (Morgans & Duran, 2016)

3.2.1.2. Ruido blanco

El ruido blanco es una señal aleatoria con densidad espectral plana, lo que significa que distribuye su energía uniformemente en todas las frecuencias audibles. Esta característica permite que se use para enmascarar sonidos no deseados, ya que ayuda a "cubrir" otros ruidos y crear un entorno acústico más estable, útil en oficinas o ambientes de descanso. En entornos cerrados o públicos, el uso irresponsable de ruido blanco puede interferir con el descanso, la concentración o la comunicación de las personas. Además, si el ruido blanco es demasiado fuerte o se reproduce en zonas donde su presencia no es necesaria, puede convertirse en una fuente de ruido adicional y, por lo tanto, contribuir a la contaminación acústica (Rice, 2016).

3.2.1.3. Ruido de fondo

El sonido de fondo es cualquier ruido indeseado que se genera simultáneamente durante la realización de una medición acústica, y que puede perjudicar al resultado de la misma. El ruido de fondo puede contribuir a la contaminación acústica, especialmente en áreas urbanas y entornos industriales. A menudo proviene de actividades continuas y de fuentes ambientales, como el tráfico o la actividad humana cotidiana, que no necesariamente tienen un volumen alto de manera individual, pero se suman para crear un ambiente sonoro constante ya veces molesto. Este tipo de ruido puede afectar el bienestar, dificultar el sueño, la concentración y, con el tiempo, impactar la salud auditiva y psicológica (De Paiva Vianna et al., 2015).

3.2.1.4. Ruido de baja frecuencia

El ruido de baja frecuencia es un tipo de sonido que se encuentra en el extremo inferior del espectro auditivo, generalmente por debajo de los 250 Hz. Este ruido suele tener una gran capacidad para propagarse a largas distancias y atravesar estructuras como paredes y suelos, lo que lo convierte en un componente difícil de controlar en el contexto de la contaminación acústica. Este tipo de ruido es típico en grandes motores diésel de trenes, barcos y plantas de energía, puesto que este ruido es difícil de amortiguar y se extiende fácilmente en todas direcciones, puede ser oído a muchos kilómetros (Alves et al., 2020).

3.2.1.5. Ruido impulsivo

El ruido impulsivo, también conocido como ruido de explosión, se caracteriza por ser breve y repentino. Este tipo de ruido, debido a su alta intensidad en un lapso corto, puede causar molestias significativas incluso con una sola medición del nivel de presión sonora. Las fuentes que producen ruido impulsivo son variadas e incluyen actividades como obras de construcción, el uso de maquinaria pesada, explosivos, e incluso renovaciones o ampliaciones en propiedades vecinas (Morgans & Duran, 2016)

El ruido impulsivo varía en decibeles según su fuente e intensidad, alcanza niveles elevados en períodos cortos, contribuyendo significativamente a la contaminación acústica. Generalmente supera los 85 dB, lo cual es potencialmente dañino con exposición prolongada, pero sus picos intensos pueden causar daño auditivo incluso con una exposición breve (Chan et al., 2016).

3.2.1.6. Ruido intermitente

Los niveles de sonido con fluctuaciones rápidas, conocidos como ruido intermitente, se caracterizan por alternar entre períodos de aumentos y disminuciones de intensidad. Este tipo de ruido no solo puede resultar molesto, sino que también puede tener impactos significativos

en la calidad de vida y el bienestar de las personas expuestas a él de manera constante (Salvendy et al., 2021).

Este fenómeno sonoro puede originarse de diversas fuentes en nuestro entorno cotidiano. Por ejemplo, el paso de un tren genera un sonido potente que puede aumentar y disminuir a medida que se acerca y se aleja, creando una experiencia auditiva variable. De manera similar, el sonido de un coche en movimiento puede variar conforme acelera y desacelera, contribuyendo así al paisaje sonoro de las calles y autopistas. El ruido intermitente, al variar su intensidad, puede ser percibido de manera diferente por cada individuo, ya que la sensibilidad al sonido varía de persona a persona. Esto significa que lo que puede ser tolerable para algunos puede resultar irritante, destacando la necesidad de considerar el diseño urbano y las regulaciones sobre el ruido para crear ambientes más agradables y saludables (Sołowczuk & Kacprzak, 2022).

3.2.1.7. Ruido continuo

El ruido continuo, también denominado ruido constante, se caracteriza por su persistencia temporal sin interrupciones significativas. Este tipo de sonido se genera principalmente por maquinaria que opera de manera uniforme, sin detenerse. Ejemplos comunes de fuentes de ruido continuo incluyen ventiladores, bombas y equipos de proceso en fábricas. La exposición prolongada a niveles altos (superiores a 85 dB) puede provocar problemas de concentración, fatiga, estrés y pérdida auditiva. Este tipo de ruido es común en entornos industriales, hospitales y edificios comerciales, lo que resalta la importancia de implementar medidas de control para mitigarlos (Stewart et al., 2020)

3.3. Mapas de ruido

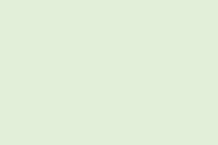
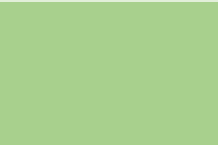




Al referirnos a mapas de contaminación acústica o de sonido ambiental indicamos la representación espacial de datos considerando los focos y aspectos de más grande predominancia de contaminación. Relacionadas de las mediciones llevadas a cabo en las cuales mostramos cada punto junto con su alteración de grado de presión sonora.

La representación de estos datos se visualiza en tablas, como las que se muestran en la tabla 1 y 2 del estudio del TULSMA, libro VI, anexo 5 (2015), donde se detallan las mediciones específicas en cada punto, incluyendo el grado de presión sonora, que indica el nivel de contaminación acústica en dicho lugar. Este enfoque permite no solo una visualización clara de las zonas más afectadas, sino también el análisis de cómo la contaminación se va extendiendo o concentrando en diferentes áreas, facilitando la toma de decisiones para su gestión y control ambiental.

La Tabla 1 representa una escala cromática que representa los niveles sonoros expresados en decibeles (dB), con la finalidad de facilitar su interpretación en términos de impacto auditivo y ambiental. Se observa que los valores iguales o inferiores a 55 dB se identifica de color verde claro, asociado a un nivel aceptable, mientras que el rango de 55 a 60 dB corresponde al color verde, que denota un nivel moderado. Conforme aumenta la intensidad del ruido, los tonos se intensifican; el amarillo (61-65 dB) señala un nivel elevado, el naranja (66-70 dB) un nivel alto y el rojo (71-75 dB) un nivel crítico. (Delgado, 2015).

Finalmente, los valores superiores a 75 dB se representan de color azul, considerando un nivel peligroso para la salud. Esta clasificación, permite visualizar de manera clara la relación entre los intervalos de ruido y sus posibles efectos negativos.

Tabla 1.*Gama de colores para la representación de nivel sonoro dB*

Nivel Sonoro (dB)	Nombre del color	Color	Descripción
≤ 55	Verde claro		Nivel aceptable
56-60	Verde		Nivel moderado
61-65	Amarrillo		Nivel elevado
66-70	Naranja		Nivel alto
71-75	Rojo		Nivel critico
>75	Azul		Nivel peligroso

Nota. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Acuerdo Ministerial 097-A

Tabla 2.*Niveles Máximos de ruido según uso de Suelo*

Tipo de zona según uso de suelo	Nivel de presión sonora equivalente LAeq (dB(A))	
	De 06H00 A 10H00	De 20H00 A 06H00
Zona hospitalaria y educativa	45	35
Zona residencial	50	40
Zona residencial mixta	55	45
Zona comercial	60	50
Zona comercial mixta	65	55
Zona industrial	70	65

Nota. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Acuerdo Ministerial 097-A

3.4. Ruido Ambiental

El ruido ambiental se define como el sonido exterior no deseado o nocivo generado por actividades humanas, incluyendo el ruido emitido por medios de transporte (tráfico terrestre, ferroviario y aéreo) y actividades industriales. En áreas urbanas, el ruido ambiental resulta principalmente del transporte, con niveles que oscilan entre 45 y 65 dB (A), afectando significativamente la calidad de vida de los habitantes (Delgado, 2015).

3.5. Sonido

Asinsten (2015), plantea que el sonido se define como una vibración que se propaga a través de un medio, ya sea sólido, líquido o gaseoso, en forma de ondas sonoras. Estas vibraciones son percibidas por el oído humano y otros organismos a través de la estimulación de los receptores auditivos. En términos físicos, el sonido se caracteriza por su frecuencia, que determina la tonalidad, su amplitud, que afecta la intensidad, y su timbre, que permite distinguir diferentes fuentes sonoras.

3.5.1. Características del sonido

3.5.1.1. Amplitud

La amplitud de una onda de ruido se refiere a la máxima desviación de la presión del aire (o de cualquier medio en el que se propague el sonido) con respecto a su estado de equilibrio. En términos más simples, la amplitud mide cuán "intenso" o "fuerte" es el sonido. Cuanto mayor sea la amplitud de la onda, más alto será el sonido percibido, mientras que una menor amplitud corresponde a un sonido más suave (Khan et al., 2018).

La amplitud se suele expresar en decibelios (dB), una escala logarítmica que permite comparar intensidades sonoras. Por ejemplo, un ruido con una mayor amplitud tendrá un nivel de decibelios más alto. En acústica, la amplitud es un factor crucial para determinar la percepción del volumen y la potencia del sonido (Campos Rivadeneira, 2018).

3.5.1.2. Velocidad

La velocidad del ruido, más comúnmente referida como la velocidad del sonido, se define como la rapidez con la que las ondas sonoras se propagan a través de un medio, como el aire, el agua o los sólidos. Según Khan et al., (2018), esta velocidad varía las condiciones ambientales, como la temperatura y la presión. En el aire a temperatura ambiente, la velocidad del sonido es aproximadamente 343 metros por segundo (m/s). Esta propiedad es fundamental en la acústica y se utiliza en diversas aplicaciones científicas y tecnológicas.

3.5.1.3. Frecuencia

La frecuencia de los sonidos pueden ser tonos graves o a su vez más agudos, la frecuencia es el número de ciclos que una onda sonora efectúa en un tiempo establecido, se mide en Hertz (ciclos por segundo). Por ejemplo, escuchamos una misma nota (la) a diferentes frecuencias, de 110,00 a 880,00 Hertz (Hz). Los seres humanos sólo podemos percibir el sonido en un rango de frecuencias relativamente reducido, aproximadamente entre 20 y 20.000 Hertz (Toribio, Aranguren, Ruiz & Maqueda, 2015).

3.5.1.4. Longitud de Onda

Consiste en un movimiento ondulatorio que se propaga a través de un medio elástico; un gran ejemplo de esto puede ser el aire; su origen es un movimiento por vibraciones, como el que se efectúa en una membrana que al llegar a nuestro oído hace que el tímpano tenga un movimiento igual al de la fuente de la que proviene. Además, la longitud de onda del sonido es una distancia perpendicular entre fuentes de onda que tienen una misma fase (Santos de la Cruz, 2007).

3.6. Propiedades del sonido

Es la propiedad que una onda de ruido tiene; a más grande extensión más grande percepción auditiva, el Pascal es su unidad de medida. Hay un grado de umbral alto y mínimo de captación auditiva; alto una vez que el ruido es percibido, pero se corre el peligro de perder la sensación auditiva y mínimo una vez que el ruido no es percibido. Siendo subjetiva la percepción de un sonido para cada individuo (Campos Rivadeneira, 2018).

3.6.1. Frecuencia

Es la medida del número de series por segundo que una onda sonora completa pasa por un punto. Se mide en ciclos por segundo o Hertz (Hz). Lo cual la intensidad establece la fuerza de un ruido por lo cual a baja frecuencia va a ser más grave el ruido y a más alta frecuencia de un ruido éste va a ser más agudo. Por lo que la capacidad del ser humano para escuchar

estos sonidos de frecuencias está comprendida entre los 20 y los 20.000 Hertz (Peralta, et al, 2016).

3.6.2. Presión Sonora

Esta genera una proporción de energía por unidad de tiempo que es popular como potencia sonora. Es una medición para saber cuánta energía acústica puede ocasionar una fuente sonora con libertad del medio. La energía sonora fluye de la fuente hacia el medio que lo circunda por lo cual se incrementa el grado de presión sonora que existe, es por esto que esta es medida no solo es dependiente de la potencia radiada y la distancia radial de la fuente, sino además de la proporción de energía absorbida y energía transmitida (Vechiatti, et al, 2012).

3.6.3. Potencia Sonora

Según Vechiatti, et al, (2012), menciona que la potencia sonora corresponde a la energía radiada por una fuente definida, el grado de esta es la proporción de energía radiada en su integridad y en un segundo, se mide en w, la alusión es $1pw = 10-12 w$. Esta además es un costo que no es dependiente del sitio en donde se halle, la potencia de un foco sonoro es constante sin embargo su presión varía al cuadro de la distancia.

3.6.4. Intensidad Sonora

Se define como la proporción de energía sonora emitida y transmitida por una dirección específica por unidad de área, además esta es definida por la amplitud que existe y que posibilita diferenciar la fuerza del ruido, o sea si este es intenso o débil. Es por esto que vemos que hay sonidos tan bajos que van a partir de los 0 decibeles paralelamente hay sonidos que no tienen que llegar al umbral máximo o de dolor que es de 140 decibeles (Vechiatti, et al, 2012).

3.7. Sonido y su propagación

Este es un fenómeno basado en la alteración de las partículas de un medio elástico, que es producida por la vibración y a su vez provocar una sensación auditiva. Estas vibraciones son transmitidas en el medio en este caso en el aire, en forma de ondas sonoras que ingresan al oído por el pabellón haciendo vibrar la membrana del tímpano, pasando a oído medio e interno para llegar a los terminales del nervio acústico para así ir al cerebro y generar la sensación sonora (García, 2006).

3.8. Unidad de Medida

3.8.1. Belio

Mosquera Cabrera (2013), explica que esta es una de las unidades con las que se mide el sonido, es capaz de medir magnitudes referentes a las sensaciones fisiológicas originadas por los sonidos como lo es:

- Intensidad acústica
 - Poder amplificador
 - Poder atenuador
- Sonoridad

3.8.2. Decibel (dB)

En acústica, reciben el nombre de parámetros estadísticos los niveles sonoros que han sido rebasados durante un porcentaje determinado del tiempo de medición. Por ejemplo, LA90 45 significa que durante el 90% del tiempo los niveles son superiores a 45 dB(A). El nivel LA90 de un ruido es conocido como el ruido de fondo (Salazar Andrade, 2015).

El nivel de evaluación es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A referido a un intervalo de tiempo determinado que tiene en cuenta ajustes o penalizaciones, entre otros, según el carácter tonal y la presencia de ruidos impulsivos.

3.9. Velocidad del sonido

Es la rapidez de propagación de las ondas sonoras en un medio, o sea, es la rapidez a la que se propaga un frente de ondas en dicho medio, la rapidez del ruido cambia en funcionalidad del medio en el cual se transmite. En la atmósfera terrestre a condiciones normales es de 343.2 m/s a 20°C de temperatura (Machado, 2016).

3.10. Sonómetro BSWA 308

El BSWA 308 es un medidor de nivel de sonido compacto y portátil diseñado para medir niveles de ruido en diversos entornos (Salazar Andrade, 2015).

3.10.1 Características Clave

- **Cumplimiento de Normas:** Cumple típicamente con las normas IEC 61672 Clase 2, lo que lo hace adecuado para diversas aplicaciones, incluyendo monitoreo de ruido ambiental y evaluaciones de ruido industrial.
- **Rango de Medición:** Ofrece un amplio rango de medición, que a menudo va de 30 dBA a 130 dBA, adaptándose a entornos tanto silenciosos como ruidosos.
- **Pesos de Frecuencia:** Proporciona opciones de ponderación de frecuencia como A, C y Z, lo que permite mediciones precisas adaptadas a evaluaciones de ruido específicas.

3.10.2. Aplicaciones

- **Monitoreo Ambiental:** Se utiliza para evaluar los niveles de contaminación acústica en áreas residenciales, urbanas y naturales.
- **Evaluación de Ruido Ocupacional:** Útil para medir los niveles de ruido en el lugar de trabajo para garantizar el cumplimiento de las regulaciones de salud y seguridad.
- **Pruebas de Calidad de Sonido:** Puede ser utilizado en la industria del audio para probar sistemas de sonido y acústica (Machado, 2016).

3.11. Estrategias de reducción de ruido en el ambiente

Existen varias soluciones acústicas para mitigar este problema, las cuales implican sellar el mecanismo que produce el ruido, como un motor o una prensa en una línea de producción, Esta solución es la más eficaz para reducir el ruido. Pero esto puede ocasionar el impedimento de utilizar correctamente el equipo o vehículo el cual se dificulta su correcto uso. Esto conlleva un alto riesgo de daño mecánico o falla (Montaño, 2015).

3.11.1. Regulación del tráfico para la reducción de ruido

La regulación del tráfico es una de las estrategias más efectivas para disminuir el ruido ambiental en las áreas urbanas. La regulación del tráfico mediante controles de velocidad lo cual establecer límites de velocidad más bajos en áreas residenciales, zonas escolares y zonas comerciales puede reducir significativamente el ruido del tráfico. A velocidades más altas, los vehículos generan más ruido debido a la fricción de los neumáticos con la carretera y al ruido del motor. Y la implementación de semáforos inteligentes, los semáforos inteligentes utilizan sensores y tecnología de análisis de datos en tiempo real para ajustar los periodos de luz verde y roja. Esto optimiza el flujo de tráfico, evitando la congestión. son soluciones clave para abordar el problema del ruido en las ciudades. Estas medidas no solo ayudan a reducir el ruido vehicular, sino que también mejoran la seguridad y la calidad de vida urbana en general. Implementar estas estrategias de manera integral y con la colaboración de las comunidades puede llevar a transformaciones significativas en el entorno urbano. (Kumar et al., 2021).

3.11.2. Uso de la espuma acústica para la reducción del ruido

La estructura de las espumas acústicas pueden ser células abiertas o cerradas. Si estas son células abiertas, los poros están conectados y la eficiencia de la absorción acústica es significativa. Si es de celda cerrada, la absorción se reduce, ya que se dificulta el paso de las ondas sonoras. Sin embargo, tras el proceso de fabricación, es posible perforar estas estructuras, aumentando la absorción acústica de este material. La espuma de poliuretano es

un material de construcción con estructura de células abiertas, flexible y tiene baja resistencia al paso del aire, lo que hace que sea altamente fonoabsorbente. Al ser poroso, funciona de manera más eficiente a altas frecuencias (Montaño, 2015), las colecciones de espumas de poliuretano pueden considerarse un producto de origen reciclado, ya que se toman del resto de la espuma de poliuretano. Cómo usar este material es cada vez más popular, debido a su alta eficiencia para absorber el sonido, pero también por su beneficio ambiental.

3.11.3. Reducción de ruido por muros y vallas

Los muros o vallas no son barreras acústicas eficaces que solucionen el ruido de forma significativa, pero en algunos casos son el único método viable de control del ruido. Si los requisitos para la reducción de ruido no son demasiado altos, se puede recomendar la construcción de este tipo de muros. Es importante tomar en cuenta que la reducción en el punto de observación depende tanto de la altura como del ángulo de la barrera. Cuanto mayor sea el volumen, menor será el nivel de sonido. También hay que recordar que mientras más alta esté la valla en relación con la fuente de sonido y al punto de observación, mayor será el ángulo, y 18 el efecto máximo se consigue si la valla está cerca de la fuente o del receptor, y no a una distancia intermedia entre ellos dos (Kumar et al., 2021).

3.11.4. Reducción de ruido por árboles y arbustos

La reducción de ruido se controla eficazmente el ruido en áreas de trabajo al aire libre o en áreas residenciales, los árboles y arbustos deben crear barreras con gran profundidad y alta densidad de follaje. Al usar árboles, la superficie de las hojas debe estar cerca del suelo. No se ha realizado ningún estudio sistemático sobre el desgaste a causa de la vegetación. Sin embargo, las pérdidas de transmisión entre diferentes tipos de bosques pueden resultar útiles como guía. El uso de plantas para barreras acústicas solo se justifica cuando se desean efectos marginales o cuando otros métodos no son rentables (García et al., 2022).

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

4.1.1. Equipos de medición

- Sonómetro clase 1. Modelo BSWA 308
- Analizadores de Frecuencia
- Calibrador Acústico

4.1.2. Equipos de apoyo

- GPS
- Cámara fotográfica.

4.1.3. Software

- Software ArcGIS 10.5
- Microsoft Excel
- Microsoft Word

4.1.4. Instrumentos de registro

- Ficha de registro de campo
- Computador
- Cronómetro

4.2. Métodos

4.2.1. Tipos de investigación

4.2.1.1. Métodos de Investigación

Con el propósito de llevar a cabo la presente investigación, se describen en detalle las diversas técnicas empleadas en su desarrollo. La metodología incluyó investigaciones de campo, descriptivas y bibliográficas que sirvieron como base para sustentar el estudio, orientada hacia la identificación de posibles soluciones o estrategias de mitigación frente a la contaminación acústica. A continuación, se explican de manera más precisa cada una de las técnicas de investigación utilizadas.

4.2.1.2. Revisión Bibliográfica

En el desarrollo de esta investigación se realizaron búsquedas y consultas en diversas fuentes, entre ellas sitios web especializados, artículos académicos, publicaciones científicas y libros. Estas fuentes permitieron:

- Recopilar información técnica sobre los niveles de contaminación acústica y sus métricas de evaluación (dB, dB(A), límites regulatorios).
- Analizar efectos en la salud y en la calidad de vida de la población expuesta.
- Identificar normativas y estándares nacionales e internacionales aplicables.
- Examinar soluciones y buenas prácticas en urbanismo, transporte y gestión ambiental para mitigar el ruido.
- Comparar casos de éxito y desafíos en distintos países para contextualizar la problemática a nivel local.

4.2.1.3. Investigación Descriptiva

La investigación descriptiva facilitó la elaboración de un diagnóstico detallado que permitió caracterizar las condiciones de los diferentes puntos con elevados niveles de presión sonora o contaminación acústica. A partir de este análisis, se definió la propuesta de mitigación más adecuada y factible para la ciudad de Otavalo.

4.2.1.4. Investigación de Campo

Mediante la investigación de campo, se llevó a cabo la caracterización de los puntos de estudio seleccionados, con el fin de obtener un diagnóstico preciso y representativo de las condiciones sonoras del área bajo análisis. Para ello, se dispusieron instrumentos de medición de presión sonora, como sonómetros calibrados, ubicados en lugares estratégicos que permiten capturar de manera efectiva la variabilidad del nivel de ruido en diferentes entornos.

4.2.2. Área de estudio

La presente investigación se desarrolló en el cantón Otavalo que está ubicado en el área norte del Ecuador y al sur oriente de la provincia de Imbabura. Tiene un área de 579 kilómetros cuadrados, según los nuevos parámetros brindados por el Régimen Municipal de Otavalo.

El espacio donde se realizará la investigación fue en el sector urbano donde su extensión es de 82km. La urbe de Otavalo se ubica al norte del callejón interandino a 110 kilómetros de la localidad más importante Quito y a 20 kilómetros de la ciudad de Ibarra, está a una elevación de 2.565 metros sobre el nivel del mar, y está situada geográficamente en las próximas coordenadas: (Zhang & Li, 2023).

- Latitud: 0° 13' 43'' N
- Longitud: 78° 15' 49'' W
- Longitud: Según el gobierno descentralizado Municipal del cantón Otavalo los límites del cantón son: al norte con los cantones Cotacachi, Antonio Ante e Ibarra, al

sur limita con el cantón Quito (Pichincha), al este con los cantones Ibarra y Cayambe (Pichincha) y al oeste con los cantones Quito y Cotacachi

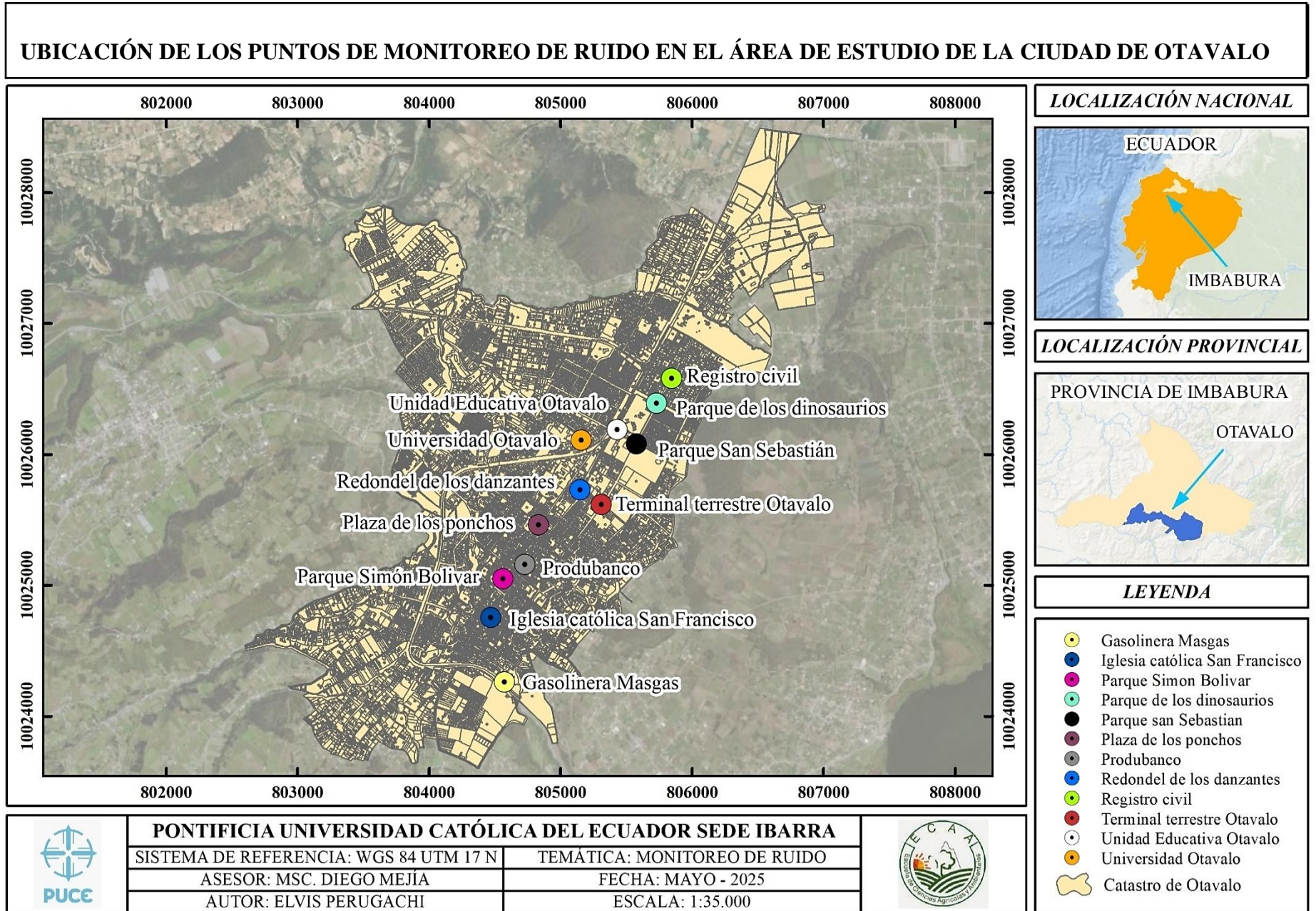
El cantón Otavalo se caracteriza por una amplia variación altitudinal, que abarca desde los 1.100 metros sobre el nivel del mar (msnm) en la zona de Selva Alegre, hasta los 4.700 msnm en el monte Imbabura. La temperatura media registrada en esta región es de aproximadamente 14 °C

La investigación se llevó a cabo en la zona urbana de Otavalo (figura 1), un área que combina actividades económicas diversas, tales como comercio, industria y servicios. Esta ciudad, ubicada en la provincia de Imbabura, Ecuador, es conocida por su vibrante vida comercial y su afluencia de turistas, especialmente en mercados y ferias Zhang & Li, 2023).

Otavalo enfrenta un crecimiento urbano acelerado, en el que muchas de las actividades económicas no están adecuadamente localizadas conforme al uso de suelo establecido. El desorden en la planificación urbana ha resultado en la proximidad de zonas residenciales y áreas comerciales e industriales, lo que puede contribuir significativamente a la contaminación acústica.

Figura 1.

Ubicación de los puntos en el área de estudio de la ciudad de Otavalo.



Para llevar a cabo la investigación, se consideró el trabajo realizado en campo en la ciudad de Otavalo. Se efectuaron recorridos por la ciudad para identificar áreas o puntos específicos donde se realizaron las mediciones, siendo estos horarios de 7:00 a 8:00 a.m., de 12:00 a 1:00 p.m. y de 6:00 a 7:00 p.m. A partir de los datos recopilados, se elaboraron cartografías temáticas de los puntos evaluados, lo que permitió avanzar en el desarrollo de un plan de mitigación y en la socialización de los resultados de la investigación.

4.2.3. Diseño de muestreo

4.2.3.1. Actividad de campo

Estas fueron fundamentales para identificar y localizar los puntos que se monitorearon, utilizando información proporcionada por el Departamento de Gestión Ambiental del Gobierno Autónomo Descentralizado. Este proceso se realizó en cumplimiento de la Ordenanza de Uso de Suelo que rige para el cantón de Otavalo, según lo establecido en el del TULSMA, libro VI, anexo 5 (2015), la colaboración de esta entidad es vital para asegurar que las regulaciones de uso del suelo se apliquen adecuadamente, garantizando así un desarrollo sostenible en la región.

Los horarios de medición se establecieron de la siguiente manera (horario diurno de 6:00-8:00 pm), seleccionando tres periodos representativos de máxima actividad urbana: 7:00-8:00 (hora pico matutina), 12:00-13:00 (hora pico de mediodía) y 18:00-19:00 (hora pico vespertina).

López (2015), en su investigación determinó que el tiempo de muestreo fue de 5 semanas, debido a que utilizaba 20 puntos de la ciudad de Ibarra, siendo estos puntos clasificados y muestreados todos los días de la semana, determinando que, independientemente del día, los niveles de ruido sobrepasan los niveles máximos de la normativa ambiental vigente.

Los días que se realizaran las mediciones son: Martes, viernes y sábado, estos días se establecieron siguiendo el criterio de que los días viernes son días de mayor concurrencia en la ciudad, debido a que se termina la jornada laboral de muchos lugares, presenta una mayor aglomeración en el tráfico vehicular favoreciendo la contaminación acústica, mientras que los días restantes de la semana son días de menor concurrencia en comparación a los días viernes, es por este motivo que en el estudio se tomó en cuenta un día de mayor concurrencia que es el día viernes y un día de relativa mayor tranquilidad que puede ser lunes, martes, miércoles, jueves o sábado. Como se observa en la tabla 3.

Tabla 3.

Horarios donde se realizarán las mediciones de los puntos

Horas	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
07:00 a 08:00		X			X	X	
12:00 a 1:00		X			X	X	
18:00 a 19:00		X			X	X	

4.2.3.2. Zonas y horarios de conflicto

Se llevó a cabo un análisis para identificar los lugares y horarios con mayor concentración de personas; para evaluar el ruido ambiental en las distintas zonas establecidas en el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Acuerdo Ministerial 097-A (2015). En dicho documento incluye una tabla (tabla 3) con los límites máximos permitidos de ruido ambiental.

4.2.4. Protocolo de medición

4.2.4.1. Monitoreo

Para la medición del ruido se utilizó el sonómetro móvil BSWA 308 Digital Sound Level, debidamente calibrado y ajustado en ponderación "A", Durante el procedimiento, se llevó a cabo una cuidadosa recolección de datos, los cuales fueron registrados detalladamente en una ficha de campo para asegurar un control riguroso antes de su ingreso en la base de datos.

Para la medición de criterios según (MAATE, 2015).

Distancia mínima: 3 m de superficies reflectantes

- Altura del micrófono: 1,5 m sobre el suelo
- Orientación: 45° respecto a la horizontal
- Método: Leq 15s (nivel equivalente de 15 segundos).
- Número mínimo de muestras: 5 por punto por horario
- Parámetros registrados: LAmin, LAmax, LAeq.

4.2.4.2. Ruido Fluctuante

Durante la investigación, se realizó las mediciones en distintas ubicaciones, priorizando los horarios de mayor ruido ambiental asociados a la congestión vehicular. Estos periodos (tabla 4) fueron; de 7:00 a 8:00 am en la mañana, de 12:00 a 1:00 pm al mediodía y de 6:00 a 7:00 pm durante la noche.

Tabla 4.*Niveles Máximos de ruido según uso del Suelo*

TIPO DE ZONA SEGÚN USO DE SUELO	Niveles de presión sonora equivalente	
	LAeq [dB(A)]	
	DE 06H00 A 20H00	DE 20H00 A 06H00
Zona hospitalaria y educativa	45	35
Zona Residencial	50	40
Zona Residencial mixta	55	45
Zona Comercial	60	50
Zona Comercial mixta	65	55
Zona Industrial	70	65

Nota. Registro Oficial -- Edición Especial N.º 387; MAATE (2015).

4.2.5. Control de calidad

La presente investigación no se limitó únicamente a la calibración de los equipos de medición, sino que se aplicó de forma transversal en todas las fases del proceso de monitoreo desde la planificación hasta el procesamiento final de datos. El objetivo es asegurar la integridad, precisión y representatividad de los resultados obtenidos sobre la contaminación acústica en la ciudad de Otavalo.

Es por ello, que se tomó en cuenta los siguientes parámetros:

- Supervisión del procedimiento en campo, lo cual incluyó el uso adecuado del sonómetro para la correcta ubicación de los puntos de medición conforme a los criterios establecidos en la Ordenanza de Uso de Suelo y el Acuerdo Ministerial 097-A (2015).
- **Condiciones ambientales estables:** Se monitorearon continuamente factores externos que pudieran afectar las mediciones, como lluvia, ráfagas de viento o eventos temporales (marchas, ferias, accidentes). Solo se consideraron válidas aquellas mediciones realizadas bajo condiciones climáticas normales, sin interferencias sonoras puntuales que alteren los valores promedio.
- **Verificación de cumplimiento normativo:** Se comparó la ubicación y clasificación de las zonas de monitoreo con la zonificación establecida en la normativa ambiental ecuatoriana del TULSMA, libro VI, anexo 5 (2015), para asegurar que los datos recolectados fueran interpretados correctamente en relación con los límites máximos permisibles de ruido ambiental según el tipo de zona (residencial, comercial, mixta, etc.).

4.2.6. Análisis de datos

Se llevó a cabo un análisis completo de los datos de presión sonora con el propósito de identificar aquellos puntos que superan los límites máximos permitidos según lo establecido en el del TULSMA, libro VI, anexo 5 (2015), para alcanzar este objetivo, se tomaron en cuenta las referencias definidas en dicho documento, lo que facilitó la identificación precisa de las áreas donde se manifiesta la contaminación acústica. Este proceso es fundamental para implementar medidas adecuadas que mitiguen el impacto de esta forma de contaminación en el entorno y en la salud de las personas.

4.2.6.1. Desarrollo del modelo predictivo del nivel de ruido

El proyecto se basa en el análisis de los datos obtenidos en mediciones directas; por lo cual, permita estimar los niveles de presión sonora equivalente (L_{eq}) en función de varias urbanas

relevantes. Este modelo contribuye a la planificación ambiental como para la identificación de zonas críticas en las que no se cuenta con datos de medición directa. (Campos, 2018).

4.2.6.2. Selección de variables independientes

El modelo se basó en la investigación de Moromenacho Oña (2016), por lo cual se tomó como referencia para utilizar las cuatro variables independientes que influyen significativamente en los niveles de ruido urbano:

- Vehículos pesados (Q_p ; veh/min)
- Vehículos ligeros (Q_l)
- Velocidad de promedio
- Nivel de presión sonora equivalente (L_{eq})

Dichas variables fueron seleccionadas en función de estudio previos y observaciones en campo realizadas en la ciudad de Otavalo.

Marmanillo (2022), en su investigación nos menciona la medición de vehículos pesados y livianos por lo que se pudo optar para la recolección de los datos de la siguiente manera:

- Para la medición de vehículos pesados (Q_p), se midió manualmente en cada punto de muestreo, durante intervalo de 1 hora en los horarios donde se generó mayor incidencia de contaminación acústica. Se calculó el promedio de vehículos por minuto.
- La medición de vehículos livianos (Q_l), se midió manualmente en cada punto de muestreo, durante intervalos de 1 hora en los horarios donde se generó mayor incidencia de contaminación acústica. Se calculó el promedio de vehículos por minuto.
- La velocidad promedio de los vehículos en cada punto de muestreo se determinó mediante el método de cronometraje en campo, es por ello, que se empleó una distancia de referencia previamente medida. Para ello, se seleccionó un tramo

rectilíneo de vía con una longitud conocida de 30 metros y se registró el tiempo que tardaban distintos vehículos en recorrer dicho tramo, utilizando un cronómetro digital.

Posteriormente, la velocidad individual de cada vehículo se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$V=d/t$$

Donde d representa la distancia (30 metros) en metros y t el tiempo en segundos. Los valores que se obtuvieron fueron convertidos de metros por segundo (m/s) a kilómetros por hora (km/h). Finalmente, se calculó la velocidad de promedio de cada punto como el promedio aritmético de las velocidades individuales registradas. Este método se repitió para cada punto.

- Los niveles de presión sonora Leq fueron obtenidos directamente con sonómetros durante las campañas de monitoreo.

4.2.6.3. Modelo matemático

El modelo aplicado fue una regresión lineal, cuya fórmula general es:

$$Y= a+bx_1$$

Donde las variables matemáticas indican lo siguiente:

- Y= variable dependiente
- X_1 = variable independiente

Por ende, al aplicar la fórmula de regresión lineal al modelo predictivo quedaría de la siguiente manera:

$$Leq= a+b \log Qt$$

Donde:

- Leq : Nivel de presión sonora equivalente (dB(A))
- a, b: Constantes propias de la región.
- Qt : Es el flujo vehicular total (suma vehículos livianos y vehículos pesados)

4. 2.6.4. Procedimiento de análisis

El modelo fue calculado utilizando la herramienta de regresión lineal múltiple en Microsoft Excel. Se utilizó la función de “Análisis de datos” para obtener los coeficientes, el error estándar y el coeficiente de determinación R^2 , que mide el grado de ajuste del modelo.

El análisis se realizó para un conjunto de puntos de medición distribuidos en diferentes zonas de la ciudad de Otavalo, clasificadas según el tipo de uso del suelo (residencial o comercial) (Chávez, 2023).

Los datos utilizados en la regresión lineal univariante fueron los siguientes:

- **Leq (A):** Nivel de ruido equivalente en dB
- **Qt :** suma de vehículos livianos y pesados.
- **$\log Qt$:** Logaritmo base 10 del flujo vehicular.

4.2.7. Elaboración cartográfica.

Los 12 puntos de monitoreo de ruido ambiental fueron definidos previamente con coordenadas geográficas en el sistema UTM (Universal Transverse Mercator), zona 17N, datum WGS 84; la información tabular fue organizada en Microsoft Excel, incluyendo los nombres de los sitios de muestreo, junto con sus respectivas coordenadas UTM (X, Y). Posteriormente, el archivo Excel (.xlsx) fue importado al ArcGIS 10.5 mediante la

herramienta "Add Data" y luego convertido a entidad espacial (shapefile) utilizando la herramienta Display XY Data.

Durante este proceso, se especificó el sistema de referencia espacial como WGS 1984 UTM Zone 17N, asegurando la correcta georreferenciación de los puntos sobre el espacio geográfico correspondiente a la ciudad de Otavalo. Para contextualizar espacialmente los puntos de monitoreo, se incorporó una imagen satelital como capa base raster, descargada a través del servicio de mapas base Imagery de Esri; además, se cargó una capa vectorial en formato shapefile correspondiente al catastro urbano de Otavalo, delimitando las zonas consolidadas y permitiendo una mayor precisión en la ubicación de los puntos dentro del área urbana (Espinal & Zelada, 2024).

La simbología del catastro fue personalizada mediante una clasificación por tipo de uso del suelo o edificaciones, utilizando colores neutros para no interferir visualmente con los símbolos de los puntos de muestreo; cada uno de los 12 puntos fue representado mediante simbología categorizada según el nombre del sitio. Se utilizó el campo de texto "sitio" para aplicar un Unique Values Symbology, asignando a cada ubicación un color y forma diferenciada; para facilitar la interpretación del lector, se creó una leyenda explicativa con el nombre y color correspondiente de cada sitio evaluado:

Por ejemplo, PRODUBANCO fue simbolizado en fucsia, Registro Civil en azul, Gasolinera MASGAS en amarillo, entre otros; la simbología fue diseñada con el propósito de mantener el contraste visual, considerando aspectos de diseño cartográfico como la visibilidad, jerarquía visual y legibilidad en escalas pequeñas (1:35.000).

Se procedió al diseño del layout cartográfico (composición de mapa) con los siguientes elementos esenciales:

- **Título:** "Ubicación de los puntos de monitoreo de ruido en el área de estudio de la ciudad de Otavalo".
- **Norte geográfico:** Añadido mediante la herramienta Insert North Arrow.

- **Barra de escala:** Insertada en kilómetros con intervalos de 0.45 km hasta 1.8 km, calculada automáticamente por el software en base a la escala del mapa.
- **Leyenda:** Personalizada e insertada con elementos clave codificados por colores.
- **Marcos de localización:** Se generaron dos mapas de localización:
 - **Nacional** (Ecuador – provincia de Imbabura).
 - **Provincial** (Ubicación de Otavalo dentro de Imbabura).

Ambos insertados en el panel lateral derecho, usando polígonos de localización y flechas para mayor claridad.

- **Gráfico ilustrativo:** Se añadió una fotografía panorámica de Otavalo para contextualizar visualmente el área de estudio.
- **Sistema de referencia:** WGS 1984 UTM Zone 17N, registrado en el margen inferior del layout.

Todos los datos fueron armonizados bajo el sistema de proyección WGS 1984 UTM Zone 17N, lo cual permitió un tratamiento espacial exacto y compatible con otros insumos cartográficos del Ecuador; esto asegura una precisión espacial adecuada para análisis posteriores como interpolaciones, zonificaciones de ruido o análisis multicriterio en futuros capítulos de la tesis.

El mapa fue finalmente exportado desde ArcGIS 10.5 en formato PNG y PDF, configurando la resolución en 300 dpi para garantizar calidad de impresión. El diseño se ajustó en el “Layout View” para que todos los elementos (mapa principal, localizadores, leyenda, norte, barra de escala y logos institucionales) fueran visibles y organizados adecuadamente, respetando principios de cartografía temática como equilibrio visual, alineación y contraste de colores.

4.2.7.1. Análisis espacial de niveles de ruido ambiental en la ciudad de Otavalo mediante interpolación IDW.

A partir del monitoreo de ruido realizada en 12 puntos estratégicos de la ciudad de Otavalo, los cuales fueron seleccionados considerando factores como la proximidad a fuentes de ruido, zonas residenciales y áreas de alta actividad comercial. Este proceso se realizó en cumplimiento de la Ordenanza de Uso de Suelo que rige para el cantón de Otavalo, según lo establecido en el (del TULSMA, libro VI, anexo 5, 2015).

Los horarios de medición se establecieron de la siguiente manera (horario diurno de 6:00-8:00 pm), seleccionando tres periodos representativos de máxima actividad urbana: 7:00-8:00 (hora pico matutina), 12:00-13:00 (hora pico de mediodía) y 18:00-19:00 (hora pico vespertina).

Cada uno de estos horarios cuenta con mediciones de ruido mínimo y máximo, las cuales fueron organizadas en una tabla estructurada en Microsoft Excel; esta información fue importada a ArcGIS 10.5 y asociada a los puntos georreferenciados previamente generados; se creó un archivo shapefile con atributos que contenían los valores de dB por cada horario y tipo de medición (mínimo y máximo), permitiendo el análisis multitemporal del fenómeno.

4.2.7.2. Interpolación espacial de niveles de ruido.

Para representar la distribución espacial de la contaminación acústica en la ciudad, se utilizó el método de interpolación espacial IDW (Inverse Distance Weighted), una técnica determinística ampliamente usada en sistemas de información geográfica aplicados al ambiente, que permite estimar valores en ubicaciones no muestreadas a partir de puntos conocidos, ponderando los valores de acuerdo a la distancia inversa.

La elección de IDW se justifica por su idoneidad en fenómenos ambientales que tienden a variar suavemente en el espacio, como el ruido urbano. Además, su capacidad de reflejar el

decaimiento de la intensidad sonora con la distancia resulta coherente con la propagación del sonido en entornos urbanos. (Chávez, 2023).

4.2.7.3. Parámetros de interpolación usados en arcGIS 10.5

- **Método:** IDW
- **Campo de interpolación:** Nivel mínimo y máximo de dB por horario
- **Power (potencia):** 2
- **Número de puntos vecinos:** 12
- **Search Radius:** Variable (usando método estándar)
- **Resolución de celda del ráster generado:** 10 metros
- **Unidad de medida:** decibelios (dB)

Cada interpolación generó una capa ráster que fue posteriormente clasificada mediante una rampa de colores secuenciales. Los valores más bajos se representaron en verde y los más altos en rojo, siguiendo una simbología de riesgo visual intuitiva.

4.2.7.4. Análisis temporal y comparativo.

Se elaboraron seis mapas temáticos que presentan la distribución espacial de los niveles mínimos y máximos de ruido para cada uno de los tres horarios monitoreados:

- Mañana:

Mínimo (mapa izquierdo)

Máximo (mapa derecho)

- Tarde:

Mínimo (mapa izquierdo)

Máximo (mapa derecho)

- Noche:

Mínimo (mapa izquierdo)

Máximo (mapa derecho)

En cada mapa se pueden observar los polígonos interpolados de ruido, sobrepuestos a una imagen satelital de fondo y con los puntos originales señalados como referencia. Esto permite validar visualmente la relación espacial entre las zonas más críticas y su proximidad a áreas de alta actividad humana, como el Terminal Terrestre, Registro Civil, Unidad Educativa Otavalo, entre otros. (Espinal & Zelada, 2024).

4.2.7.5. Diseño cartográfico de salidas

Cada una de las salidas cartográficas se compuso con los siguientes elementos:

- Mapa principal dividido en dos paneles (mínimo y máximo)
- Norte geográfico y escala gráfica
- Rampa de color tipo “Heatmap” clasificada por intervalos de decibelios
- Leyenda codificada por sitio de muestreo y valor interpolado
- Mapa de localización nacional y provincial

- Fotografía referencial del cantón Otavalo
- Logos institucionales y metadatos técnicos (escala, proyección, autor, fecha)

La escala empleada fue 1:35.000, y todos los mapas fueron exportados en alta resolución (300 dpi) en formato PNG para su inclusión en la tesis (Espinal & Zelada, 2024).

4.2.7.6. Síntesis de resultados integrados

A través de este procedimiento metodológico se logró representar de forma precisa y visualmente clara la variación espacio-temporal de los niveles de contaminación acústica urbana. Las interpolaciones IDW generadas evidencian una persistencia de valores elevados en sectores comerciales y de transporte, con tendencia a aumentar en horarios de mediodía y noche, lo que contradice la expectativa de disminución nocturna.

Estos mapas constituyen herramientas fundamentales para la planificación urbana, la evaluación de impactos ambientales y la formulación de políticas públicas en la gestión del ruido en zonas urbanas.

4.2.8. Desarrollo del plan de Manejo para la mitigación

El presente plan de mitigación se sustenta en las directrices y recomendaciones establecidas por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Otavalo, complementadas con un análisis detallado de los niveles de presión sonora registrados en diferentes sectores de la ciudad. Su propósito es aplicar estrategias eficaces para disminuir el ruido, considerado como un contaminante que afecta significativamente la calidad de vida de la población Otavaleña. Mediante la identificación y tratamiento de las principales fuentes de contaminación acústica, se busca no solo mejorar las condiciones de la población, sino también fomentar un entorno urbano sostenible y saludable.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Medición de ruido y registro de datos.

Los datos obtenidos de los niveles de presión sonora en los diferentes puntos de medición fueron recolectados durante los dos meses iniciales del estudio. Para garantizar un análisis exhaustivo, se determinaron 12 puntos estratégicos (tabla 5) distribuidos en el área de interés. Estos puntos fueron seleccionados considerando factores como la proximidad a fuentes de ruido, zonas residenciales y áreas de alta actividad comercial. Las mediciones se realizaron en horarios establecidos de mañana, tarde y noche, lo que permitió captar las variaciones acústicas a lo largo del día (MAATE, 2015)

El proceso de medición se llevó a cabo utilizando equipos especializados, como sonómetros calibrados, que garantizaron la precisión y confiabilidad de los datos registrados. Además, se implementó un protocolo estandarizado para asegurar que las mediciones fueran consistentes en todos los puntos y horarios. Este enfoque metodológico permitió minimizar errores y obtener resultados representativos de las condiciones acústicas del entorno evaluado.

Los resultados preliminares revelaron fluctuaciones significativas en los niveles de presión sonora, especialmente durante las horas pico de actividad, como el tráfico vehicular y la afluencia de personas en zonas comerciales. Estos hallazgos son fundamentales para identificar las principales fuentes de ruido y proponer medidas correctivas. El análisis continuará con la interpretación detallada de los datos, con el objetivo de elaborar recomendaciones que contribuyan a mejorar la calidad acústica y el bienestar de la comunidad en la zona estudiada.

Tabla 5.*Ubicación y coordenadas de los puntos de medición establecidos para la investigación*

PUNTOS	SITIO	Coordenadas UTM	
		X	Y
1	Registro Civil	805845	10026580
2	Parque de los dinosaurios	805731	10026391
3	Unidad Educativa Otavalo	805432	10026188
4	Universidad Otavalo	805159	10026109
5	Parque san Sebastián	805578	10026079
6	Redondel de los Danzantes	805150	10025727
7	Terminal terrestre Otavalo	805311	10025616
8	Plaza de los ponchos	804834	10025461
9	PRODUBANCO	804730	10025158
10	Parque Simón Bolívar	804561	10025048
11	Iglesia católica San Francisco	804469	10024751
12	Gasolinera MASGAS	804575	10024259

Nota. los puntos de medición con coordenadas UTM (X, Y) en metros. Los lugares corresponden a sitios de interés en Otavalo, con ubicaciones cercanas según el registro.

5.2. Evaluación de los datos

La elección de los puntos estratégicos para el análisis de la contaminación acústica en la ciudad de Otavalo se realizó en base a criterios técnicos establecidos en las normativas nacionales sobre gestión del ruido ambiental. Se consideraron principalmente las zonas con alta densidad vehicular, concentración de actividades comerciales y presencia de unidades educativas ya que estos factores inciden directamente en el incremento de los niveles de contaminación acústica. De igual forma, se tomaron como referencia los lineamientos establecidos por el MAATE (2015), que sugieren ubicar los puntos de medición en lugares representativos de la dinámica urbana, tanto en sectores de alto impacto acústico como en zonas de baja exposición.

De esta manera, la selección de puntos permitió obtener datos contrastantes que reflejan de forma integral el comportamiento acústico en diferentes contextos del entorno de la ciudad de Otavalo.

El análisis comparativo de los puntos de monitoreo (tabla 6) revela dinámicas acústicas diferenciadas por el uso de suelo y la morfología urbana de Otavalo. En el punto 1 (Registro Civil), se observó que los niveles mínimos son significativamente altos, lo que técnicamente se conoce como un elevado ruido de fondo. Al ser una zona de uso mixto, la alta densidad de vehículos y la constante actividad de residentes y comerciantes impiden que el ambiente alcance niveles de calma, bloqueando la recuperación auditiva de los habitantes. Este fenómeno valida la teoría de que la saturación en ciudades intermedias está superando la capacidad de resiliencia de su entorno urbano.

Esta saturación estructural en el Punto 1 coincide con lo expuesto por Campos (2018), quien señala que el crecimiento exponencial de Otavalo, impulsado por el parque automotor y la industrialización, ha convertido a las actividades humanas especialmente el transporte y el comercio en los principales motores de degradación acústica. A diferencia del Punto 2 (Parque de los dinosaurios), donde existen ligeros intervalos de atenuación, el Punto 1 representa un núcleo de contaminación sostenida. Científicamente, esto implica que la

población no solo enfrenta una molestia sonora, sino un escenario de riesgo para la salud, donde la exposición prolongada a estos niveles críticos puede derivar en daños neurovegetativos y una disminución drástica en la calidad de vida de quienes transitan y habitan este sector.

En cuanto a los niveles críticos, el punto 3 (Unidad Educativa Otavalo) registró puntos máximos de ruido significativamente superiores a los del punto 4 (Universidad de Otavalo). Esta discrepancia se explica mediante caracterización del ruido fluctuante propio de los centros de educación educativa. En el punto 3 la convergencia de fuentes móviles (transporte escolar y vehículos particulares) y fuentes fijas temporales (comercio autónomo) durante los horarios de máxima demanda generó una saturación acústica que supera los umbrales de confort. Este fenómeno se denomina ruido de eventos, donde la simultaneidad de emisiones de alta intensidad (bocinas, motores en ralentí y gritos) eleva los niveles máximos por encima de los 85 dB(A).

Por el contrario, la Universidad de Otavalo presenta una firma acústica más estable. Al poseer una población estudiantil adulta con horarios de ingreso y salida diversificados, se produce una dispersión del flujo, evitando la acumulación de energía sonora en momentos específicos. Esta diferencia de comportamiento entre ambos puntos valida lo expuesto por Avsar & Gonullu (2005), quienes sostienen que la percepción del ruido de tráfico es más crítica en entornos donde el receptor es más vulnerable, como las zonas escolares cercanas a carreteras. Estos resultados sugieren que la comunidad educativa del Punto 3 no solo enfrenta una molestia sonora, sino un riesgo de enmascaramiento del habla, lo cual es crítico en procesos de aprendizaje, confirmando que la morfología social y el uso del suelo son los principales determinantes de la variabilidad acústica en la ciudad. (Chávez & Jalomo, 2023)

El análisis de los puntos 5, 6 y 12 permite identificar tres tipologías de saturación sonora derivadas de la funcionalidad urbana de Otavalo. El Punto 5 (Parque San Sebastián) actúa como una interfaz donde convergen actividades recreativas y tránsito, generando un paisaje sonoro heterogéneo donde el ruido de fondo es constantemente interrumpido por eventos de alta intensidad. Por su parte, el Punto 6 (Redondel de los Danzantes) se comporta como un

nodo de distribución vial de alta densidad; aquí, el flujo vehicular no solo es elevado, sino que la geometría del redondel obliga a cambios de marcha y aceleraciones, lo que incrementa el ruido de propulsión. Finalmente, el Punto 12 (Gasolinera MASGAS) representa una fuente de emisión continua debido al flujo ininterrumpido de vehículos de carga pesada y liviana, donde el ruido mecánico de los motores en ralentí se suma a la dinámica de servicio.

Para sustentar lo anteriormente expuesto, Chávez & Jalomo (2023), señala que la emisión sonora no deseada, representa un problema ambiental que se deteriora progresivamente la calidad de vida de las personas debido a los procesos modernos de industrialización, urbanización y desarrollo, los cuales han causado un desequilibrio en la naturaleza, en las últimas décadas, el crecimiento vertiginoso de la población en las ciudades, los medios de transporte y el desarrollo científico e industrial han dado lugar al aumento en los niveles de ruido y gran parte de la población no otorga la debida importancia, dejando pasar de forma desapercibida a un contaminante ambiental que ocasiona efectos irreversibles con el paso del tiempo, con esto podemos consolidar que los 3 puntos corresponden a áreas con alto flujo vehicular y actividades humanas, lo que explica por qué presentan los mayores niveles de contaminación acústica en Otavalo.

Posteriormente, los datos obtenidos se compararon con los límites establecidos por la normativa vigente, específicamente estipulado por el Acuerdo Ministerial 097-A (2015), que establece un límite máximo de 65 LAeq(dB) para zonas comerciales o residenciales mixtas. Esta comparación reveló que todos los puntos analizados superan el límite normativo de 65 dB, con excesos que oscilan entre 8.1 dB (punto más bajo) y 24.8 dB (punto más alto), especialmente durante las horas de mayor tráfico, lo que indica un incumplimiento de la normativa y un potencial riesgo para la salud y el bienestar de los residentes. Estos hallazgos resaltan la importancia de tomar acciones de mitigación estratégica, como la implementación de barreras acústicas, la optimización de flujos vehiculares o la revisión de las políticas urbanas, para garantizar que los niveles de ruido se mantengan dentro de los parámetros permitidos y se proteja la integridad biológica y la calidad de vida de la población.

Tabla 6.

Datos de la investigación en los puntos del 1 al 12 con horarios establecidos de 7:00-8:00, 12:00-13:00 y 18:00-19:00 valores mínimos y máximos en (dB).

Puntos	Mínima			Máxima		
	7:00am- 8:00am	12:00am- 13:00pm	18:00pm- 19:00pm	7:00am- 8:00am	12:00pm- 13:00pm	18:00pm- 19:00pm
Punto 1	79,2	80,8	79,9	85,3	87,9	86,8
Punto 2	75,6	74,1	75,8	85,1	86,9	87,3
Punto 3	82,7	83,6	82,5	88,8	89,0	87,6
Punto 4	73,9	75,7	75,8	84,0	84,2	85,3
Punto 5	77,1	76,2	74,2	88,1	88,8	88,5
Punto 6	80,3	83,8	81,6	85,8	89,8	86,3
Punto 7	80,4	79,5	80,1	85,9	86,8	86,2
Punto 8	78,9	78,3	79,8	85,7	84,2	86,2
Punto 9	77,1	79,6	75,7	85,2	86,8	86,5
Punto 10	79,7	77,4	80,6	85,5	85,5	87,8
Punto 11	78,3	78,5	77,7	86,7	86,2	86,9
Punto 12	79,2	82,5	78,4	87,0	88,2	88,1
Norma	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0

Nota “Norma” indica el umbral de referencia de 65,0 dB.

5.3. Análisis del modelo predictivo de ruido

El análisis del modelo predictivo de ruido constituye una etapa fundamental para comprender y evaluar el comportamiento del ruido ambiental en la ciudad Otavalo. A través de este modelo, se busca estimar los niveles sonoros en diferentes puntos estratégicos y horarios, lo cual permitió identificar las principales fuentes de contaminación acústica y su impacto sobre la calidad de vida de población (Pachón et al., 2023).

Para este estudio, se seleccionó el horario de 12:00 a 13:00 pm como objetivo de análisis principal, ya que, durante este tramo, se obtuvieron niveles más altos de presión sonora equivalente (L_{eq}) en comparación con los otros horarios monitoreados. Este aumento puede estar asociado al incremento del flujo vehicular, actividades comerciales y mayor presencia peatonal durante al mediodía.

Se consideraron las mediciones de niveles sonoros (L_{eq}) registradas en diferentes puntos estratégicos de la ciudad, así como variables relacionadas como el número de vehículos livianos, número de vehículos pesados y la velocidad promedio. El modelo de regresión lineal permitió establecer la relación entre estas variables y los niveles de ruido medidos. Es por ello que se ha utilizado los siguientes datos obtenidos en la (tabla 7) (Navarro et al., 2024).

Tabla 7.

VARIABLES UTILIZADAS PARA EL MODELO PREDICTIVO DE RUIDO EN EL HORARIO DE 12:00 A 13:00 EN LA CIUDAD DE OTAVALO

Puntos	Leq (dB)	Velocidad promedio (km/h)	Promedio de flujo vehicular liviano (Ql)	Promedio de flujo vehicular pesado (Qp)	Flujo vehicular total (Qt)
1.Registro Civil	87,9	32,7	91	30	121
2. Parque de los dinosaurios	86,9	32,7	96	30	126
3. Unidad Educativa Otavalo	89,0	41,5	99	50	149
4.Universidad Otavalo	84,2	34,5	88	45	133
5. Parque san Sebastián	88,8	38,6	84	50	134
6. Redondel de los Danzantes	89,8	43,2	106	50	156
7. Terminal terrestre	86,8	35,8	54	85	139
8. Plaza de ponchos	84,2	33,8	131	5	136
9. PRODUBANCO	86,8	33,5	129	5	134
10. Parque Simón Bolívar	85,5	34,6	137	2	139
11. Iglesia San Francisco	86,2	34,8	82	45	127
12. Gasolinera MASGAS	88,2	40,5	85	65	150

Nota. Detalle de variables para el modelo predictivo de ruido en Otavalo (12:00–13:00). Leq (dB) = nivel sonoro equivalente. Velocidad promedio (km/h) = velocidad media de los vehículos en el punto. Ql = flujo vehicular liviano (vehículos/h), Qp = flujo vehicular pesado (vehículos/h), Qt = flujo vehicular total (vehículos/h).

Para el diseño del modelo matemático por regresión lineal se usaron los datos de nivel de ruido equivalente (Leq dB) y el logaritmo base 10 del flujo vehicular total. La ecuación obtenida para el modelo de regresión lineal sigue el modelo de $Y = a + b X$, en donde “a” es el punto de intercepción y “b” la pendiente de la recta (Pachón et al., 2023).

La regresión múltiple se consideró tanto el logaritmo del flujo vehicular total entonces quedaría de la siguiente manera:

$$Leq = a + b \log_{10}(Qt) + V_{prom}$$

A partir del análisis estadístico mediante regresión lineal múltiple se construyó el modelo predictivo de nivel de presión sonora equivalente (Leq) considerando como variables independientes el logaritmo decimal del flujo vehicular total (\log_{10}) y la velocidad promedio de circulación vehicular (V_{prom}). El modelo que se obtuvo es el siguiente:

$$Leq = 157.82 - 45.27 \log_{10}(Qt) + 0.71 \cdot V_{prom}$$

Este modelo accede a estimar con óptima precisión los niveles de ruido ambiental en base a la dinámica vehicular en los distintos puntos evaluados. El coeficiente de determinación obtenido se obtuvo de $R^2 = 0,0,688$, indica que el modelo que el modelo explica que el 68,8% de la variabilidad observada en los niveles de ruido registrados (Martínez et al., 2022). Por ende, el valor que se obtuvo manifiesta una buena capacidad predictiva y otorga una buena capacidad predictiva y sugiere que tanto la intensidad del flujo vehicular como la velocidad a la que circulan los vehículos son factores primordiales en la generación de la contaminación acústica en la ciudad de Otavalo.

La correlación positiva entre la velocidad promedio y el Nivel de Presión Sonora Equivalente (Leq) confirma que el ruido de rodadura y el comportamiento mecánico de los vehículos son los principales precursores de la contaminación en Otavalo. Este hallazgo es consistente con lo reportado por Díaz-Balteiro *et al.* (2023) que mencionan que a mayor velocidad de circulación tiende a generar niveles de ruido más elevados. Por otra parte, el coeficiente, el

coeficiente negativo asociado a $\log_{10}(Q_t)$ podría deberse a los efectos de congestión vehicular, donde a mayores flujos vehiculares totales se reduce a la velocidad promedio, atenuando parcialmente el nivel de ruido generado Zamorano et al., (2023). Asimismo, a las características específicas del entorno urbano, como amortiguación por edificaciones (Navarro et al., 2024). Esto indica que el compartimiento sugiere la necesidad de sugerir incorporar variables ambientales y estructurales para optimizar el ajuste al modelo.

5.3.1. Análisis estadístico

Los resultados que se presentan a continuación, en la tabla 8, demuestran que los niveles de presión sonora registrados durante los tres horarios analizados (7:00–8:00, 12:00–13:00 y 18:00–19:00), superan en todos los casos los límites comúnmente establecidos por las normativas del control de ruido ambiental. (Navarro et al., 2024).

El mayor nivel de promedio se registró en el horario de e 12:00–13:00 en la categoría "Max", con un valor de 87,1 dB y una desviación estándar de 1,8 de dB, lo que muestra una exposición sostenida a altos niveles de ruido con baja variabilidad. El menor nivel promedio, aunque igualmente elevado, se presentó en las mediciones "Min" del horario 7:00–8:00 con un valor de 78,2 dB. Estos valores manifiestan una exposición constante y generalizada a niveles de ruido considerados perjudiciales para la salud auditiva y mental (Basner et al., 2014).

Por otra parte, el porcentaje de exceso sobre la norma es alarmante, ya que en el horario de 12:00–13:00 ("Max"), el 34% del tiempo se excedió el valor normativo, lo que evidencia una tendencia sostenida de contaminación acústica. Estos valores reflejan no solo la intensidad del ruido, sino también su persistencia, lo que incrementa el riesgo de efectos negativos acumulativos en la población expuesta. La baja variabilidad en los registros "Max" sugiere la presencia de fuentes de ruido constantes y de alta intensidad, como maquinaria, tráfico pesado o altoparlantes, lo que exige una intervención normativa más rigurosa (Torija & Flindell, 2015).

Finalmente, en términos de gestión ambiental, estos hallazgos destacan la necesidad de implementar políticas públicas más efectivas de control de ruido, así como son las estrategias de mitigación como el rediseño del tráfico, el uso de barreras acústicas o la zonificación adecuada de actividades ruidosas (Miedema & Oudshoorn, 2001).

Tabla 8.

Estadísticas de niveles de ruido (dB) y porcentaje de superación normativa en distintos intervalos horarios

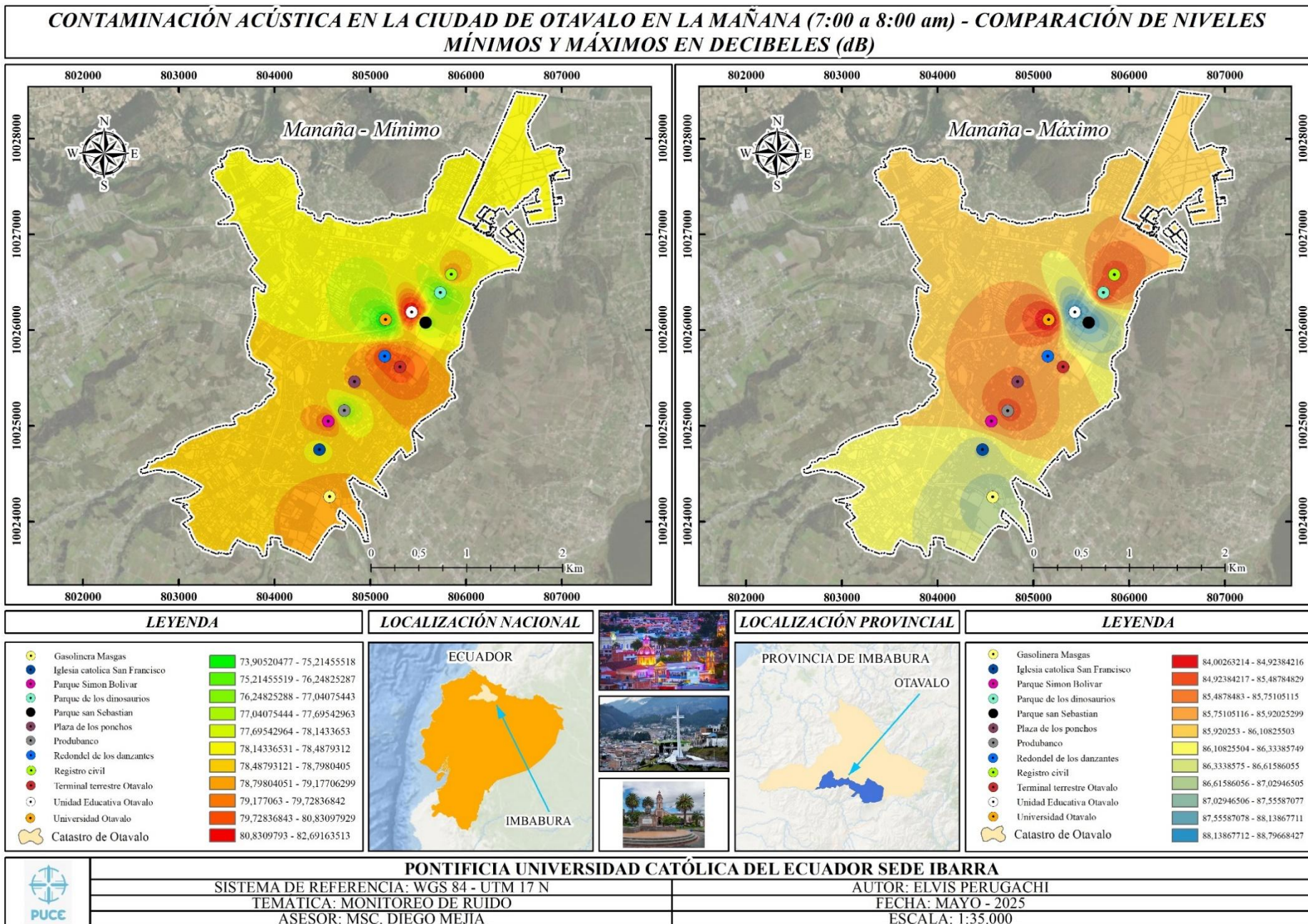
Horario, Norma	Promedio (dB)	Desv. Estándar	Máximo	Mínimo	% Superación
7:00-8:00Min	78,2	2,8	82,7	73,9	20,3%
7:00- 8:00Max	86,1	1,6	88,8	84,0	32,5%
12:00- 13:00Min	78,8	3,1	83,8	74,1	21,2%
12:00- 13:00Max	87,1	1,8	89,8	84,2	34,0%
18:00- 19:00Min	78,2	2,4	82,5	74,2	20,3%
18:00- 19:00Max	86,8	1,1	88,5	85,3	33,5%

Nota. Datos de niveles de ruido en dB y porcentaje de superación de la normativa para tres franjas horarias (7:00–8:00, 12:00–13:00, 18:00–19:00). Por franja, se reportan Promedio (dB), Desviación Estándar, Máximo y Mínimo, en dos registros (Min y Max). El porcentaje de superación indica la proporción de mediciones que exceden la norma aplicable. Interpretar conforme a la normativa local de ruido.

5.4. Mapas de predicción acústicas de medición de Decibeles Mínimas y Máximas

Figura 4.

Mapa de predicción acústica (7:00am a 8:00am) mínima y máxima



En esta investigación se realizó un análisis de los puntos críticos de contaminación sonora en la ciudad de Otavalo, específicamente en el horario de 7:00 a 8:00 de la mañana (figura 3). Para ello se empleó el software de ArcGIS 10.5, lo que permitió generar una representación espacial de los niveles de ruido a través de una escala de colores.

La presente figura 2 muestra un análisis comparativo de los niveles sonoros de contaminación registrados en la ciudad de Otavalo. En la parte izquierda del mapa se representan los niveles mínimos de ruido, mientras que en la parte derecha se visualiza los niveles máximos. En la cartografía de interpolación, de la parte izquierda que representa los puntos mínimos de la contaminación, se identificaron con el color verde los siguientes lugares como son el de PRODUBANCO, el parque San Sebastián y el parque de los dinosaurios; en estas áreas presentan niveles sonoros reducidos debido a un menor flujo vehicular y a la lejanía de zonas de alta actividad comercial o institucional, lo cual coincide con lo señalado por Barreno Flores *et al.* (2021), en entornos urbanos con alta densidad vehicular y concentración de servicios, los niveles de ruido no descienden considerablemente ni en los momentos de menor tránsito, lo que coincide con los datos registrados. Aunque estas áreas presentan los valores más bajos dentro del conjunto de mediciones, siguen estando por encima de los límites recomendados para zonas urbanas residenciales (65 dB). Este hallazgo sugiere que en la ciudad de Otavalo no se limita únicamente a los picos de actividad, sino que existe una presencia constante de ruido elevado, incluso en los niveles mínimos registrados durante la mañana.

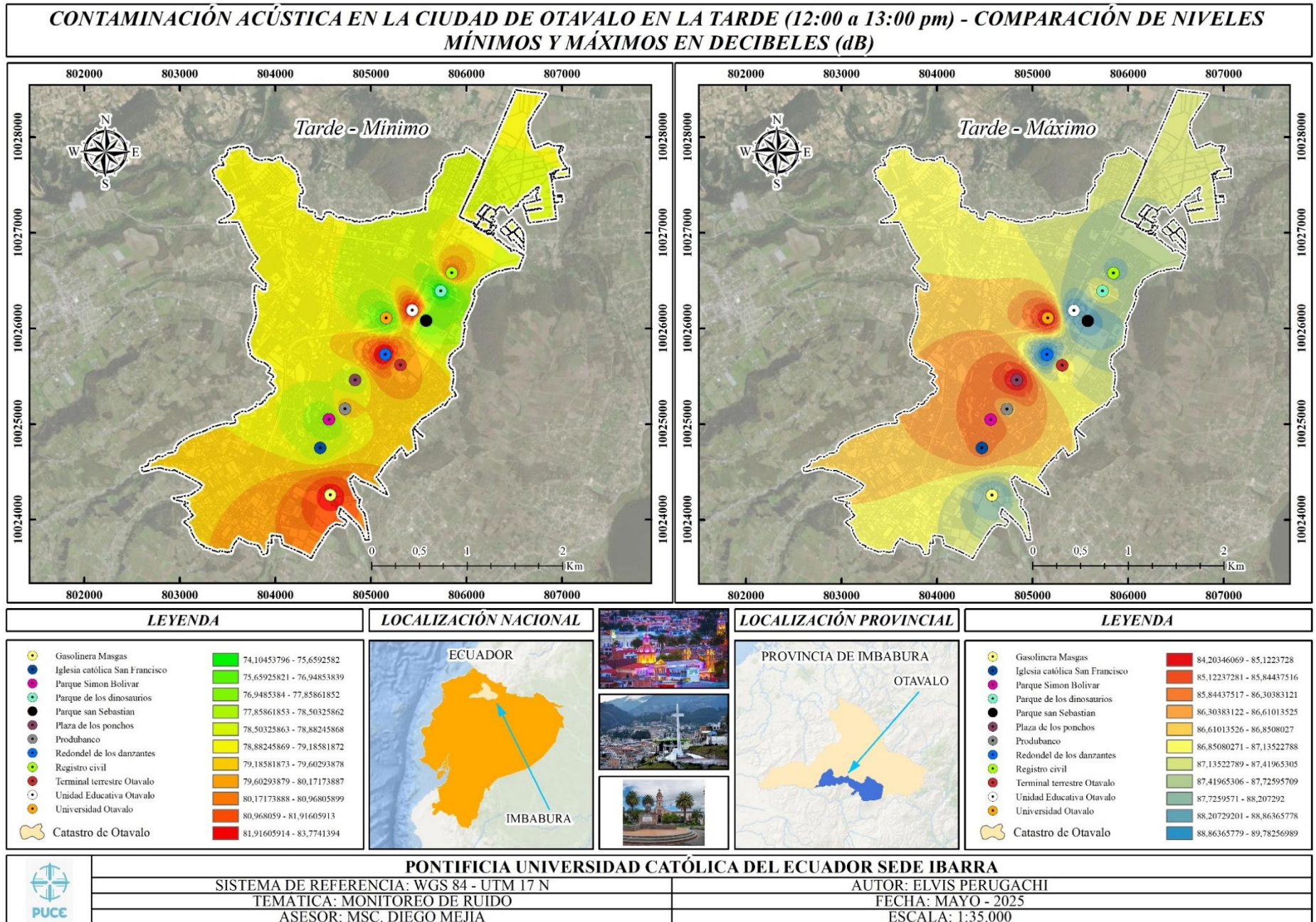
Por otra parte, en la cartografía ubicada en el lado derecho de la figura 2 se visualiza los puntos máximos registrados en la mañana. En esta representación se determinó los puntos que alcanzaron los valores más elevados de ruido reflejando una mayor intensidad de ruido ambiental. Para facilitar la interpretación de los resultados, se utilizó una escala de color que va del rojo al azul. Entre las zonas que presentaron los niveles más altos se encuentran la gasolinera (Troncal de la sierra panamericana y Copacabana Guayaquil), unidad educativa Otavalo, parque los danzantes y el parque san Sebastián. Estas áreas coinciden con espacios

de alta concentración de personas y congestión vehicular y esto da el incremento notable de ruido ambiental

En contraste con lo mencionado anteriormente, González & Rivas (2019), menciona que las intersecciones viales, zonas escolares y espacios públicos concurridos son focos habituales de contaminación sonora debido al aumento del flujo motorizado y las dinámicas propias del entorno urbano. Asimismo, Vera *et al.* (2020) señalan que las estaciones de servicio y los centros educativos, al operar en horarios específicos de alta movilidad, tienden a registrar picos de ruido que superan los 75 dB, valor que según la OMS (2020), ya representa un riesgo para la salud auditiva con exposiciones prolongadas.

Figura 7.

Mapa de predicción acústica (12:00pm a 13:00pm) mínima y máxima

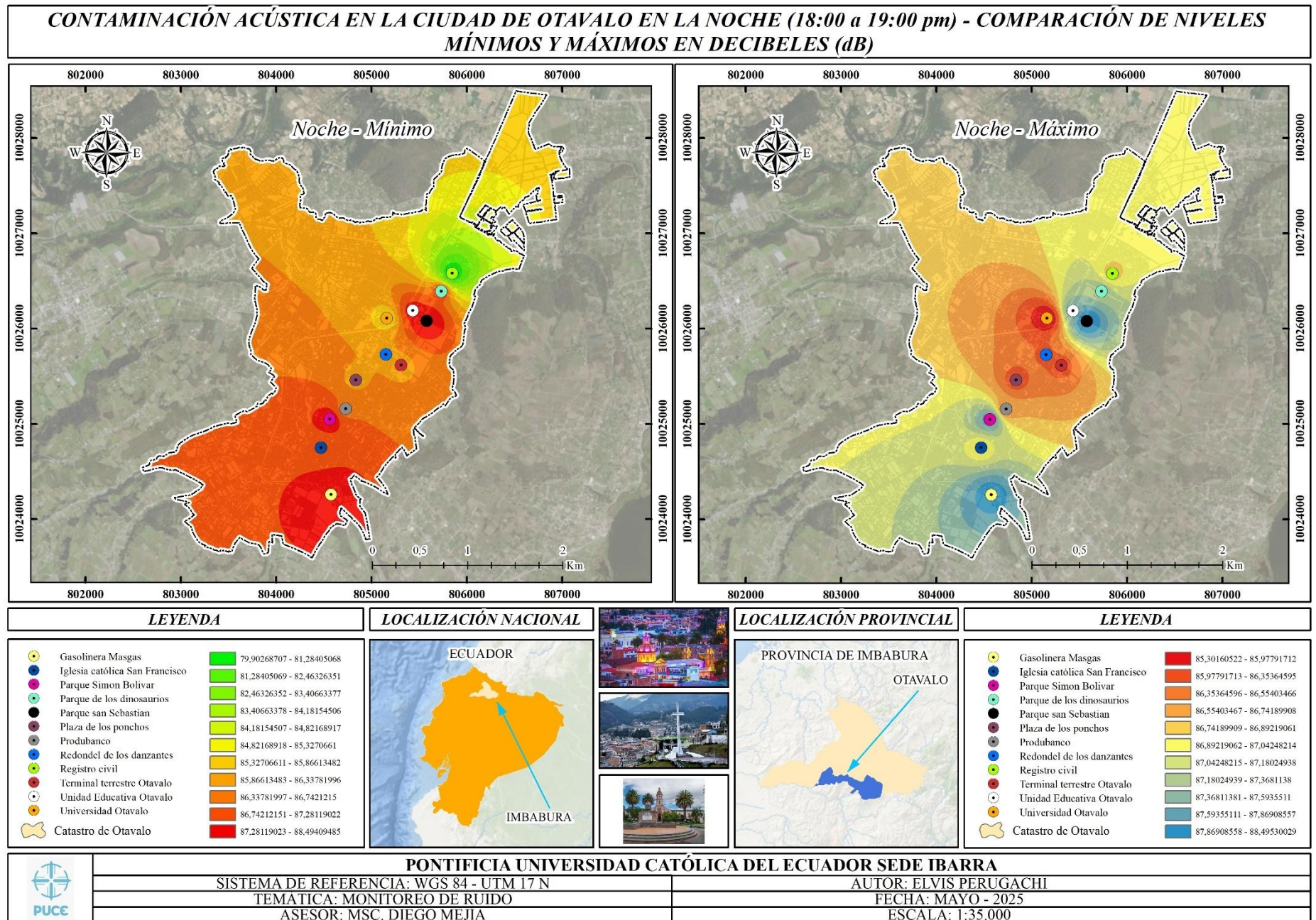


La figura 3 revela la contaminación sonora en la ciudad de Otavalo durante el horario de mayor actividad diurna. Mediante el uso del sistema software ArcGIS 10.5 se compararon los niveles mínimos y máximos de ruido en diferentes puntos estratégicos de la ciudad, entre las 12:00 y la 13:00 pm. La figura se dividió en dos secciones en mínimos y máximos.

El análisis espacial mostró que todos los puntos monitoreados superan ampliamente dichos umbrales, incluso en sus valores mínimos (71.08 dB a 79.66 dB), mientras que los valores máximos alcanzan niveles entre 81.04 dB y 93.26 dB, como se muestra en la leyenda del mapa. Es importante mencionar que en la parte derecha se logró identificar el punto mayor de ruido ambiental de todos los 3 mapas realizados que corresponde al punto 6 (Redondel de las danzantes) obteniendo 89,8 decibeles. Es por ello por lo que (OMS, 2020), menciona que los niveles recomendados para preservar la salud en áreas residenciales deben no superar los 55 dB en el día. Entonces podemos deducir que los valores que se obtuvieron implican una exposición constante a niveles de ruido peligrosos para la salud pública, lo cual puede provocar problemas auditivos, trastornos del sueño, estrés, hipertensión y otras patologías, como lo han señalado Basner *et al.*, (2014); Stansfeld & Matheson (2017).

Figura 10.

Mapa de predicción acústica (18:00pm a 19:00pm) mínima y máxima



La figura 4 demuestra que durante la noche (18:00pm a 19:00pm) en la ciudad de Otavalo hay sectores con altos niveles de ruido (rojos y naranjas intensos), especialmente en el sur y centro de Otavalo. En la cartografía que corresponde a la zona izquierda que representa los niveles mínimos de ruido, se demuestra que gran parte del territorio presenta una exposición sonora entre media y alta como son las zonas de la Universidad de Otavalo, parque San Sebastián y PRODUBANCO, en estas zonas alcanzan incluso niveles superiores a los 75 dB, estos valores mínimos, ya elevados de por sí, sugieren una persistencia de fuentes sonoras activas incluso en momentos de baja actividad relativa. Es por ello que la OMS (2020), el umbral recomienda que para las zonas residenciales durante la noche no debe superar los 45-55 dB, ya que niveles superiores pueden interferir con el descanso y afectar la salud cardiovascular a largo plazo. Lo obtenido en los puntos mínimos de contaminación acústica en Otavalo durante la hora nocturna, indica una situación de exposición constante que podría impactar negativamente en la calidad de vida de los habitantes (Morales Pérez & Fernández Gómez, 2012).

Por otro lado, en el mapa de los niveles máximo de ruido (derecho de la figura 4), se observa que aún sigue existiendo puntos críticos de valores altos, especialmente en áreas como Parque San Sebastián, Parque Simón Bolívar, gasolinera (Troncal de la sierra panamericana y Copacabana Guayaquil). Estas zonas manifiestan una intensidad acústica que podría atribuirse a la afluencia vehicular, actividades recreativas que continúan hasta horas de la noche. (Jara Rojas 2016).

Según Münzel et al. (2018) han señalado que el ruido urbano nocturno, aunque suele ser menos intenso que el diurno, no debe subestimarse, ya que la percepción del ruido aumenta durante la noche por la reducción del ruido de fondo. Además, estudios en ciudades intermedias indican que el mantenimiento de valores elevados en ambos extremos (mínimo y máximo) refleja un exceso de ruido ambiental estructural, no solo asociada a picos temporales.

Al contrastar los niveles registrados con investigaciones realizadas en urbes ecuatorianas, se evidencia que ciudad de Otavalo presenta una saturación sonora crítica con valores máximos que superan los reportados por Gonzáles et al. (2020) en la ciudad de Loja (75-85 dB). Desde el análisis de los datos obtenidos, estos resultados podrían estar relacionados con la configuración urbana de Otavalo, caracterizada por calles estrechas y una elevada concentración de transporte público en el centro urbano, condiciones que favorecen la reverberación y el confinamiento del sonido, incrementando la carga de contaminación acústica frente a ciudades con mayor extensión territorial.

En el estudio de Paredes y Castillo (2019), en Ambato se identificó puntos críticos que oscilan entre 80 y 87 dB, con una menor persistencia nocturna de ruido en comparación con Otavalo. Por otra parte, en el estudio realizado por Pérez y Andrade (2019), los niveles de ruido en sectores céntricos de Quito, como la Av. 10 de agosto, El Ejido y la Av. Mariscal Sucre, presentan valores promedio entre 80 y 90 dB durante el día, alcanzando picos de hasta 95 dB en horas pico.

No obstante, en zonas residenciales alejadas del tráfico y actividad comercial, como Cumbayá y Nayón, los valores descienden hasta un rango de 50 a 65 dB, cumpliendo parcialmente con las recomendaciones de la OMS. A diferencia de la ciudad de Otavalo, donde incluso los niveles mínimos superan los 70 dB en la noche, en Quito existen zonas con manejo más eficiente del ruido nocturno, gracias a regulaciones municipales y controles a fuentes emisoras (como discotecas, transporte y talleres industriales) (Espinoza et al., 2023)

Este análisis demuestra que, aunque Otavalo es una ciudad más pequeña, los niveles de contaminación acústica registrados son comparables e incluso superiores a los de Quito en ciertas franjas horarias, especialmente en la noche. Esto resalta la necesidad de implementar políticas de mitigación del ruido más rigurosas en ciudades intermedias que, como Otavalo, enfrentan una urbanización acelerada sin una gestión ambiental efectiva.

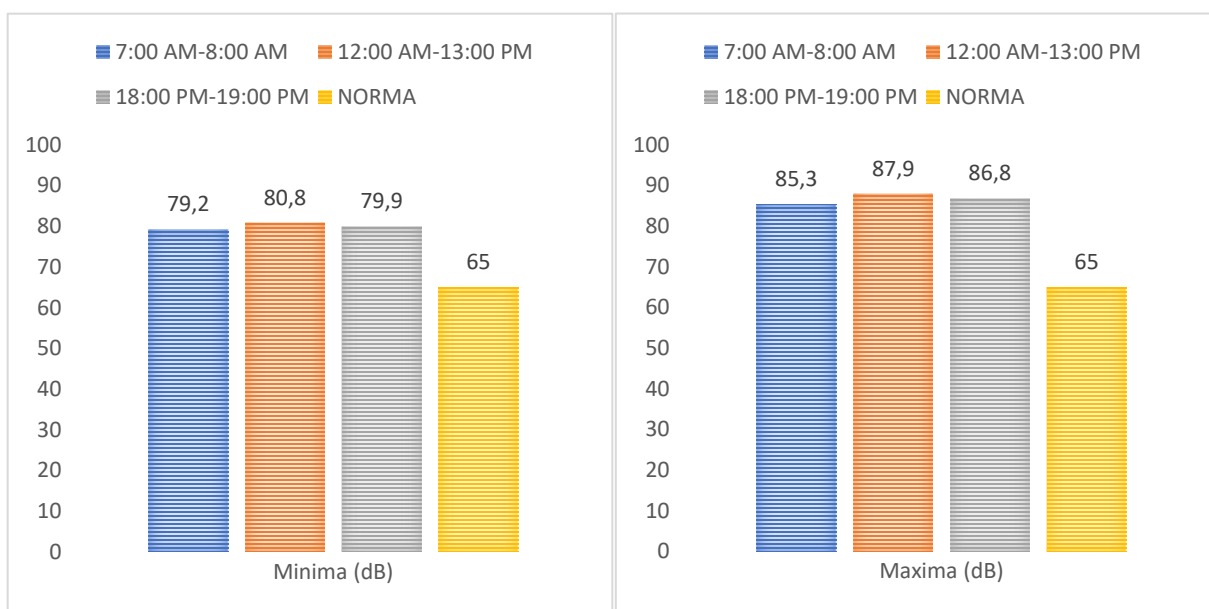
5.5. Cuadros de análisis de datos mínimos y máximos niveles de presión sonora (LAep)

En la presente investigación se analizaron los niveles mínimos y máximos de presión sonora en 12 puntos estratégicos de la ciudad de Otavalo, con el objetivo de evaluar la magnitud del ruido urbano y compararla con los valores establecidos por la normativa ambiental vigente. Las siguientes figuras (5-16) muestran los niveles mínimos y máximos de presión sonora que son registrados en tres horarios representativos del comportamiento diario: en la mañana (7:00 am-8:00 am), al mediodía (12:00 horas-13:00 horas) y en la noche (18:00 pm -19:00 pm). Los puntos seleccionados para la medición fueron: Registro Civil, Parque de los dinosaurios, Unidad educativa Otavalo, Universidad Otavalo, parque san Sebastián, Redondel de los Danzantes, terminal terrestre, Plaza de ponchos, PRODUBANCO, parque Simón Bolívar, Iglesia y gasolinera. Estos lugares fueron seleccionados por su representatividad en cuanto a concentración de población, actividad comercial, tránsito vehicular y uso del espacio público (Rodríguez et al., 2020).

Los datos fueron contrastados con el valor referencial a 65 dB, que consideran este nivel como límite permisible, es por ello que si se tienen niveles superiores pueden ocasionar efectos negativos en la salud humana. Cabe mencionar que, en todos los puntos evaluados, tanto los niveles mínimos como los máximos superaron el umbral normativo lo cual evidencia una situación de contaminación sonora. Este hallazgo es coherente con investigaciones similares realizadas en otras ciudades de América Latina, donde la urbanización acelerada, el crecimiento del parque automotor y la falta de planificación acústica urbana han contribuido al aumento sostenido del ruido ambiental (Zamorano González et al., 2015)

Figura 13.

Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 1 (Registro Civil)

**Figura 16.**

Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 2 (Parque de los dinosaurios)

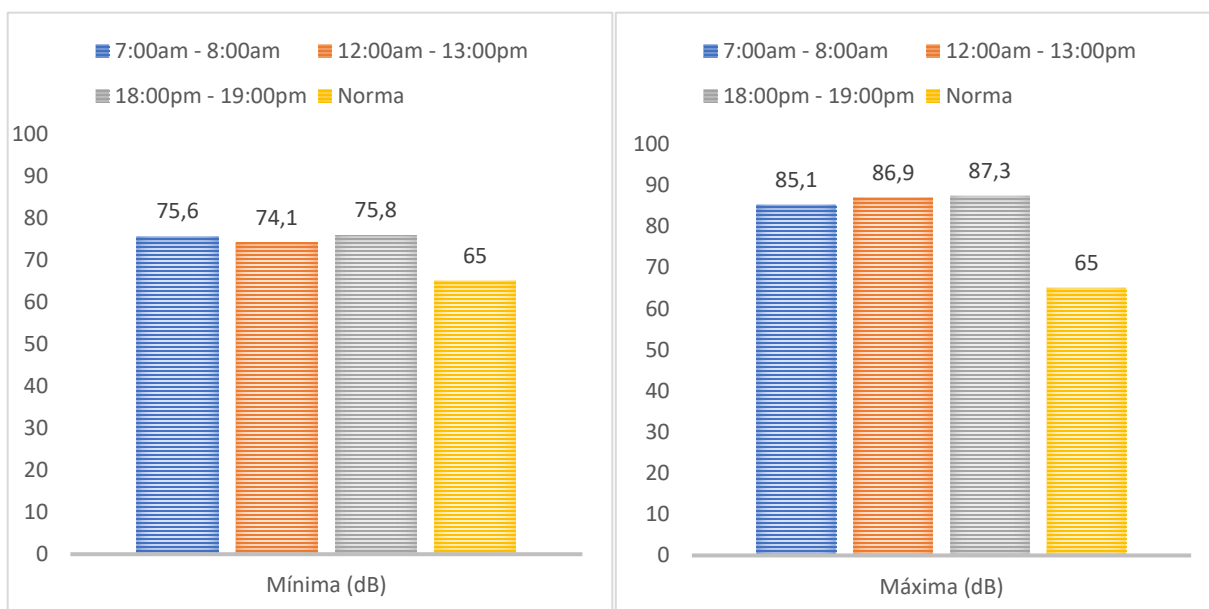
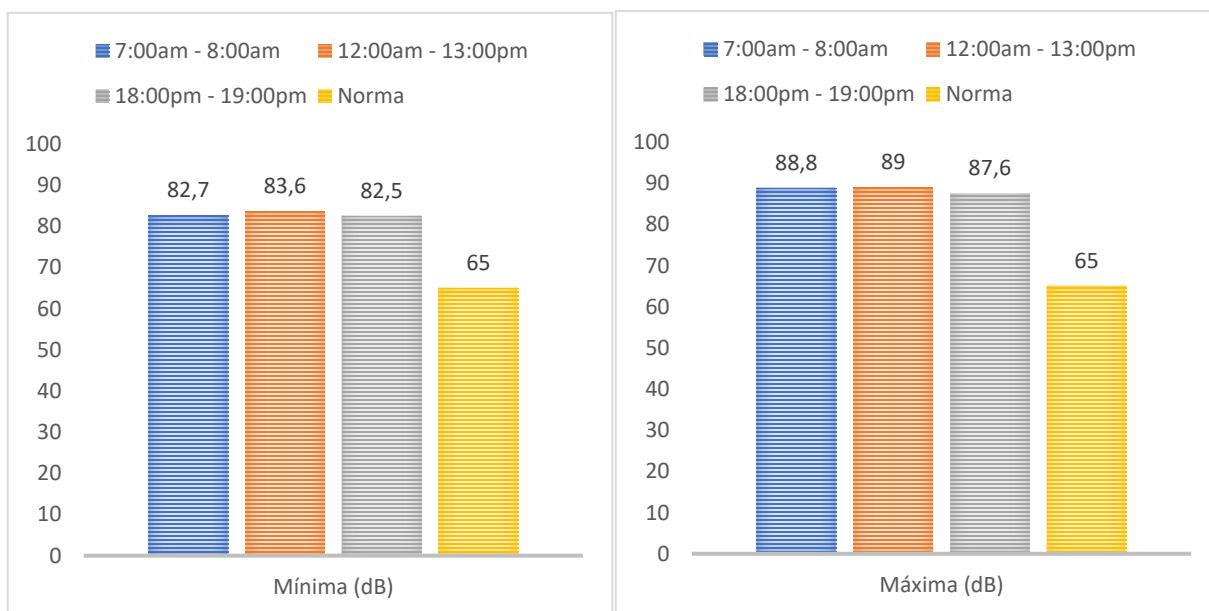


Figura 22.

Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 3 (Unidad Educativa Otavalo)

**Figura 19.**

Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 4 (Universidad Otavalo)

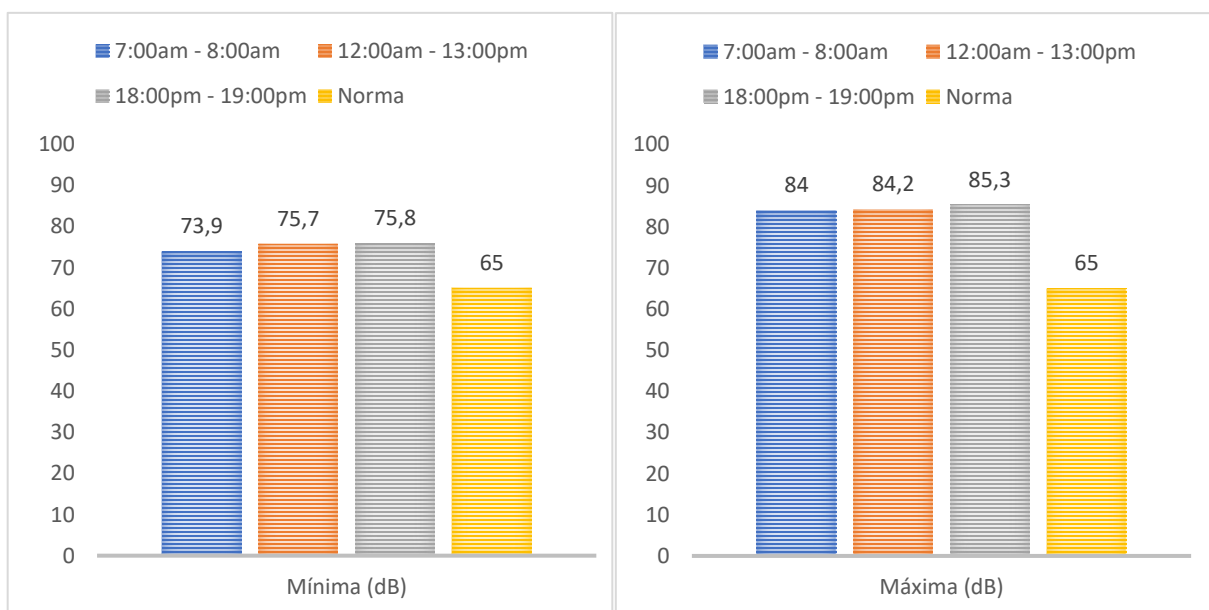
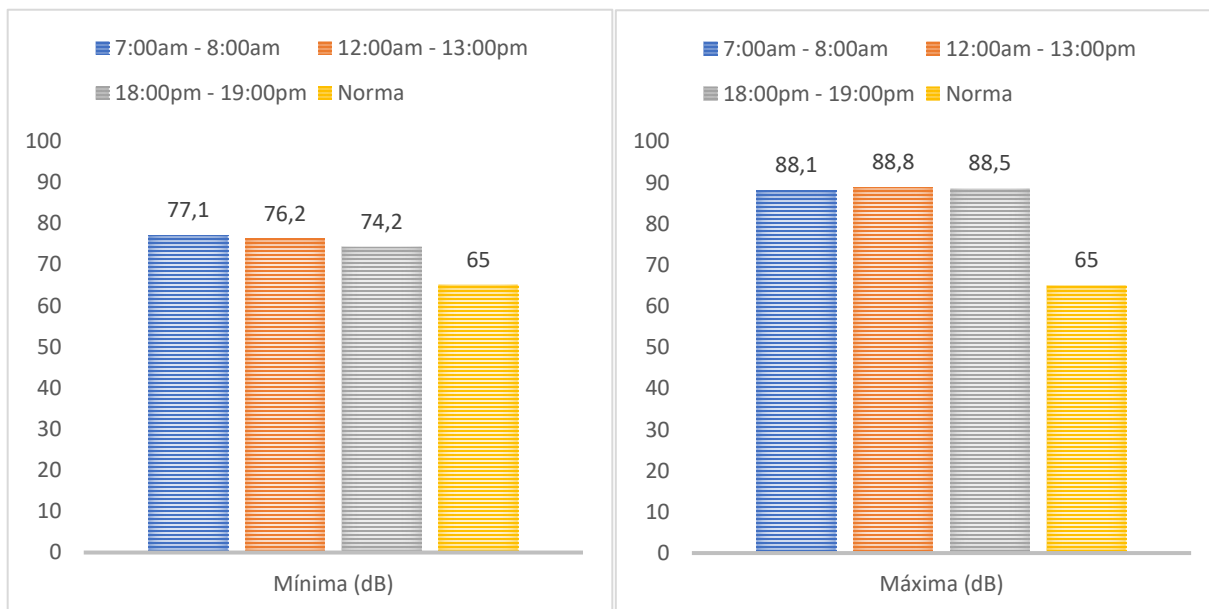


Figura 25.

Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 5 (Parque San Sebastián)

**Figura 28.**

Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 6 (Redondel de los Danzantes)

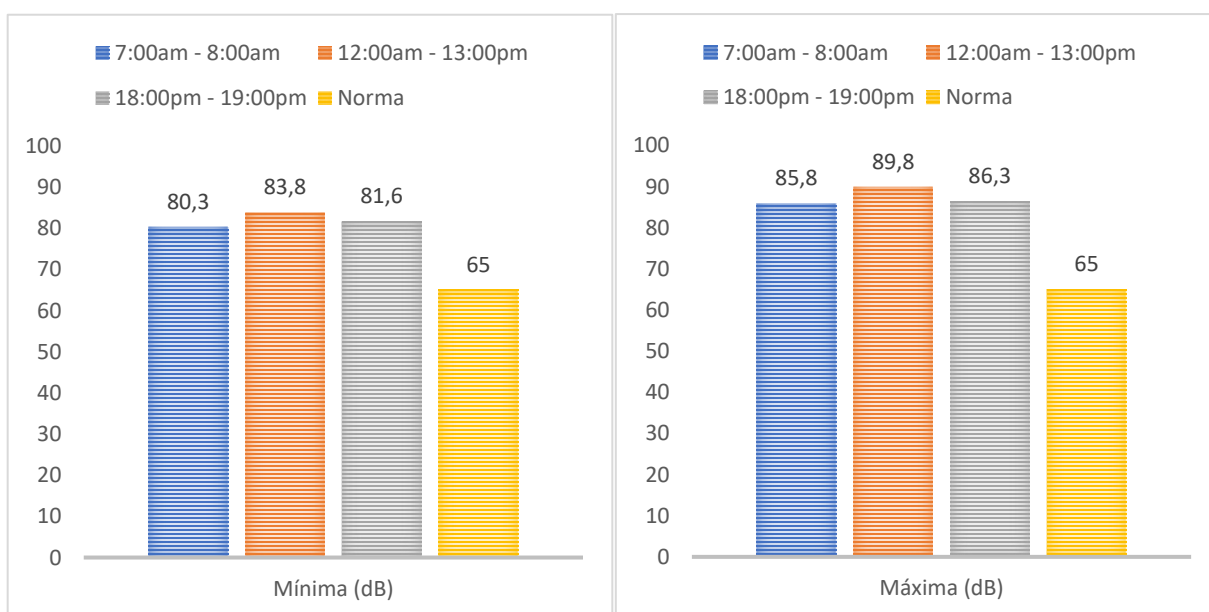
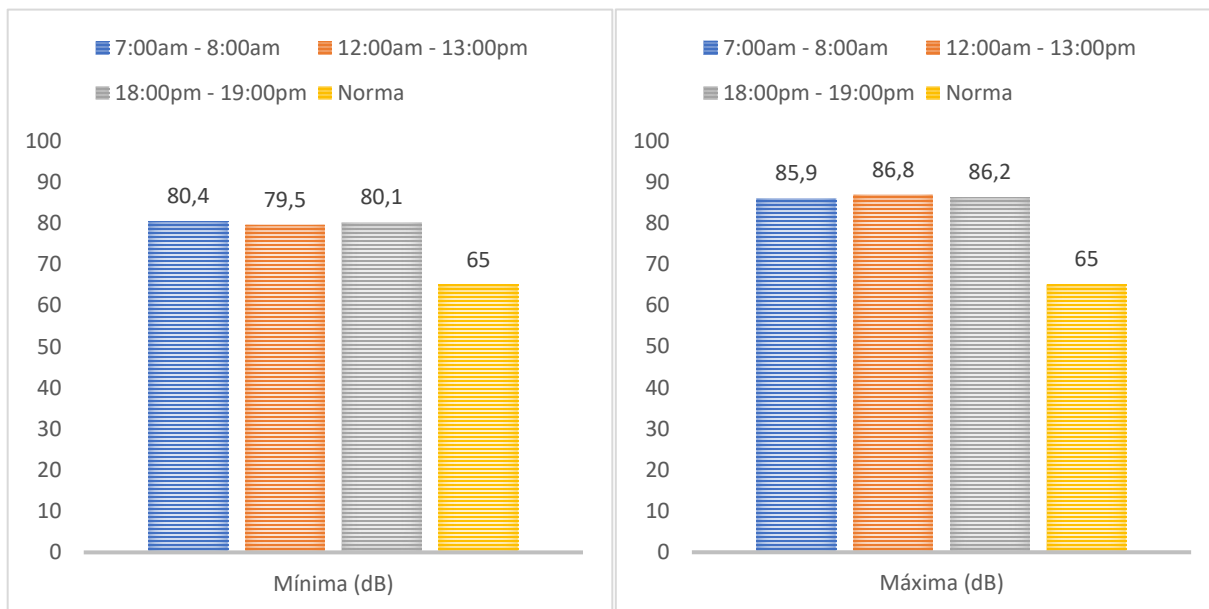


Figura 34.

Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 7 (Terminal terrestre Otavalo)

**Figura 31.**

Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 8 (Plaza de los ponchos)

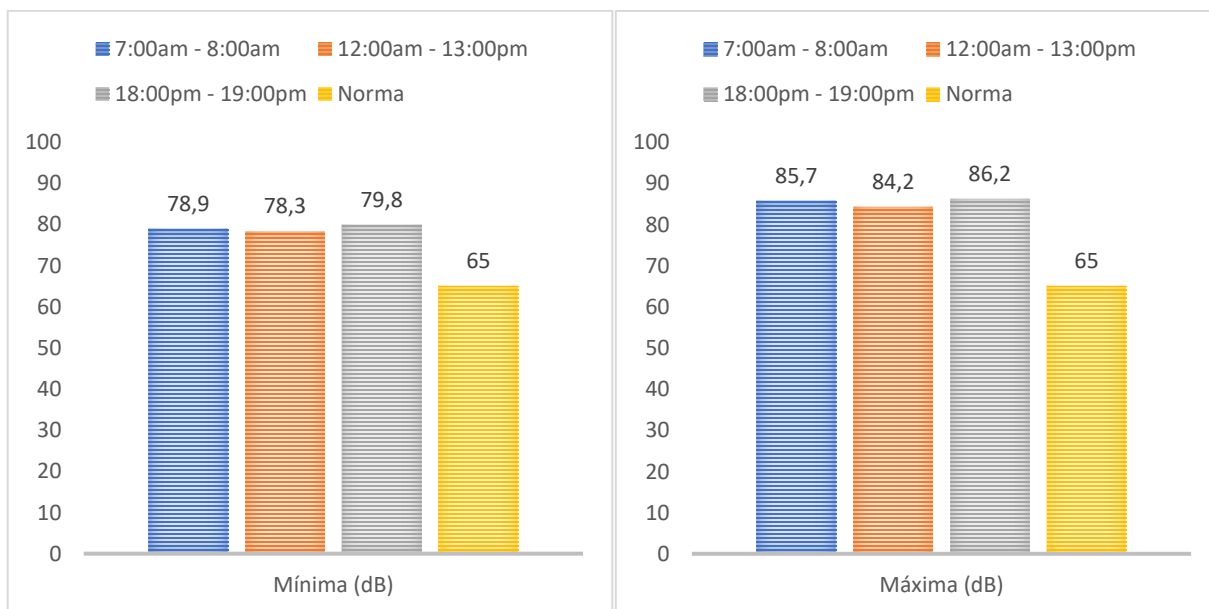
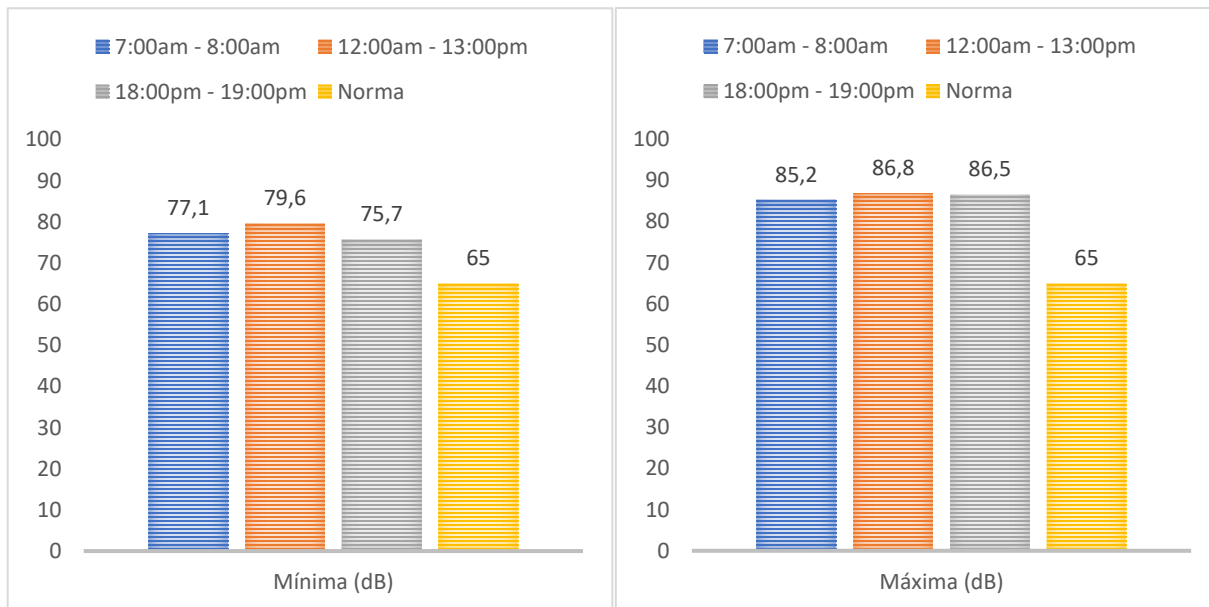


Figura 37.

Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 9 (PRODUBANCO)

**Figura 40.**

Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 10 (Parque Simón Bolívar)

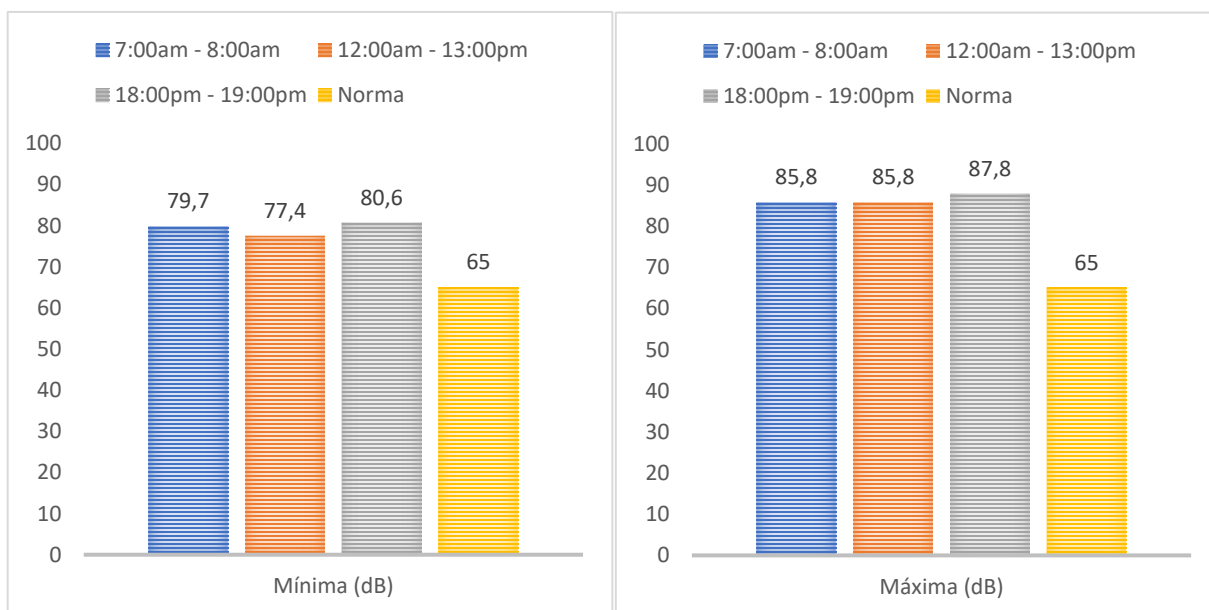
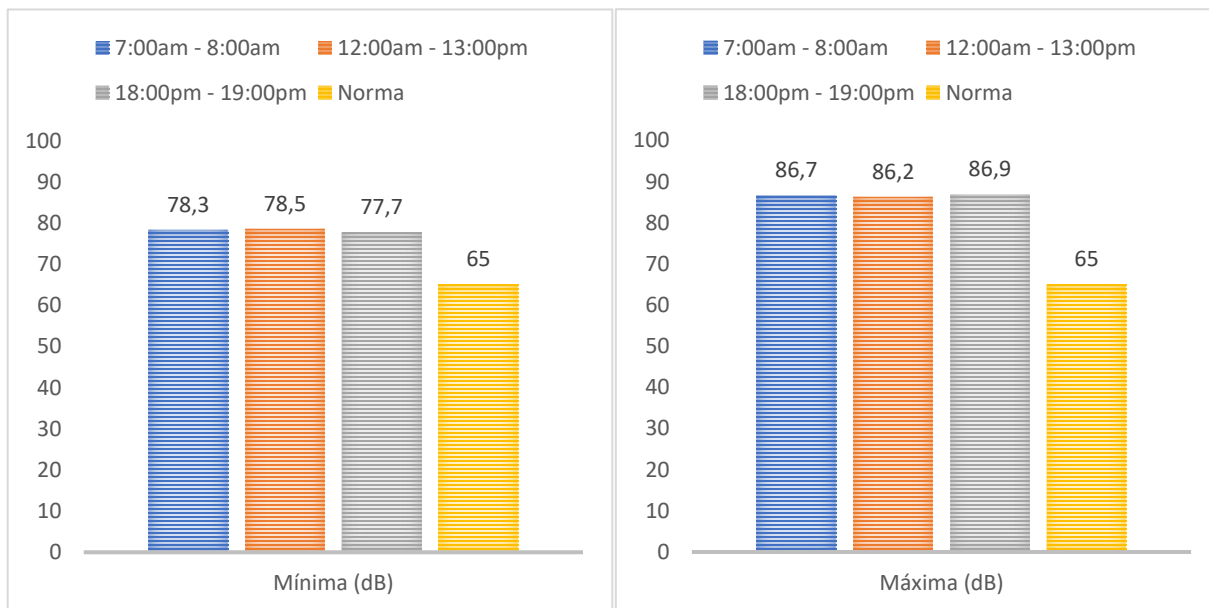
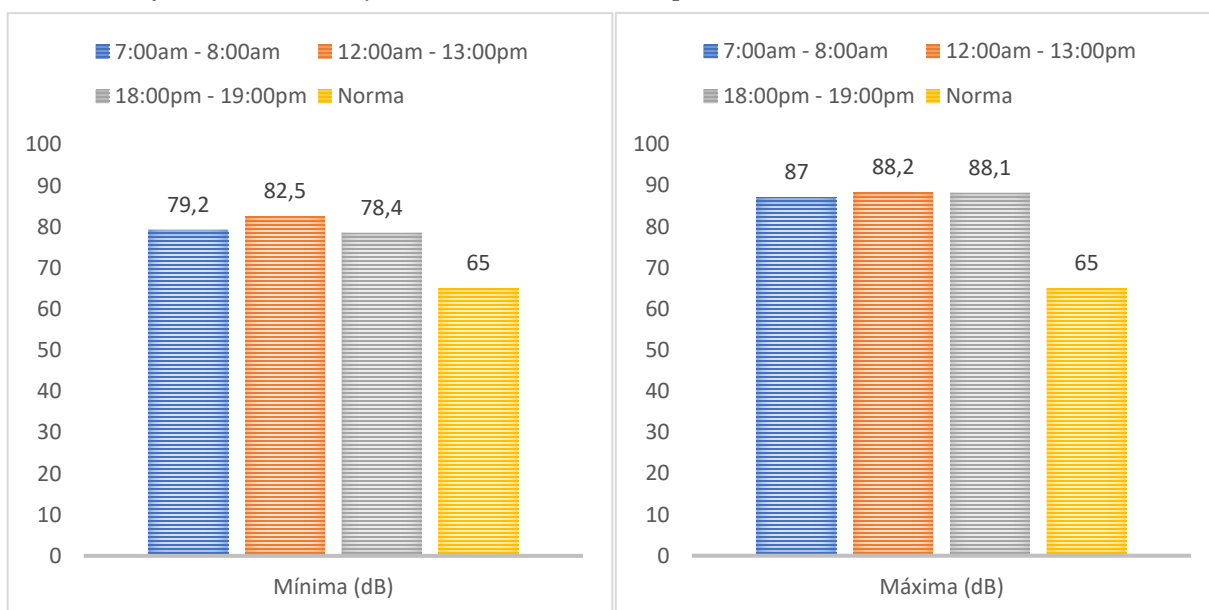


Figura 43.

Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 11 (Iglesia San Francisco)

**Figura 46.**

Resultados finales mínimos y máximos de decibeles punto 12 (PRODUBANCO)



5.6. Plan de mitigación

El plan de mitigación contempla una serie de medidas normativas, correctivas, preventivas y de seguimiento, integradas dentro de planes de acción estructuradas que garantiza el cumplimiento de estrategias propuestas, que permitirá la generación de crear medidas alternativas para la prevención de impactos al ambiente dentro del área de estudio e iniciar una administración más ecológica y sustentable creando alianzas con instituciones, comunidades y ciudadanos que tengan como prioridad el cuidado de la naturaleza y el mejoramiento de su calidad de vida.

5.6.1. Objetivos

Diseñar e implementar estrategias de gestión ambiental participativa que reduzcan los niveles de ruido urbano en un 15% en un plazo de 24 meses.

5.6.2. Alcance

El alcance del presente plan se define como una Fase Piloto de un año focalizada en el Casco Urbano Central (específicamente en las zonas de mayor conflicto identificadas: Gasolinera MASGAS, Parque San Sebastián y el redondel de los danzantes). Esta delimitación garantiza el uso eficiente del presupuesto de 5.670 USD, permitiendo evaluar resultados antes de una expansión integral al resto del área urbana.

5.6.3. Medidas

5.6.3.1. Medidas Normativas

Según Goines Y Hagler (2007), las medidas de carácter normativa son elaboradas con el respecto de diversas entidades encargadas de la regulación y el control, entre ellas la Dirección de Gestión Ambiental del GAD Municipal de Otavalo, así como otros organismos ambientales. La propuesta contempla una variedad de disposiciones normativas que deben

ser consideradas para garantizar una gestión adecuada del ruido ambiental, que son las siguientes normativas:

- Las edificaciones destinadas a usos industriales, comerciales o de servicios, ya sean públicos o privados deberán contar con las condiciones constructivas necesarias para garantizar un adecuado aislamiento acústico. Esto permitirá que el ruido producido en su interior no exceda los niveles permitidos por la normativa local, bajo la supervisión del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Otavalo.
- La autorización para la instalación de ferias, circos y juegos mecánicos en las proximidades de centros educativos, hospitales, guarderías, asilos y zonas destinadas al descanso estará sujeta a cumplir el límite máximo permitido de emisión sonora establecido que es de 55 dB, con el fin de no perturbar el entorno.
- Se prohíbe el uso innecesario de bocinas en el transporte público, como buses y taxis, debido a su constante presencia en las vías urbanas. Esta medida deberá ser regulada mediante ordenanza municipal en coordinación con la Agencia Nacional de Tránsito.
- Todo vehículo que circule dentro del cantón deberá contar con la aprobación de la revisión vehicular emitida por la Agencia Nacional de tránsito y el GAD, certificando que cumple con los límites de emisión sonora permitidos conforme a la normativa ambiental vigente.
- Se restringe la circulación de vehículos que operen con escapes abiertos, así como aquellos que generen ruido excesivo por el arrastre de piezas metálicas u otros elementos, con el fin de reducir la contaminación acústica.
- Establecer horarios específicos y rutas autorizadas para la circulación de vehículos de carga pesada, con el objetivo de restringir su tránsito en zonas sensibles como áreas residenciales, centros hospitalarios y establecimientos educativos. Esta medida busca prevenir la exposición de la población a niveles elevados de ruido, especialmente en espacios que requieren tranquilidad.

5.6.3.2. Medidas correctivas

Como nos menciona Stewart et al., (2020), las medidas correctivas se relacionan a las acciones orientadas a mitigar los efectos adversos provocados por determinadas actividades. Estas deben ser aplicadas de forma inmediata por las entidades competentes, con el propósito de disminuir los impactos asociados a la contaminación acústica presente en los diversos sectores identificados durante el estudio. En este contexto, la propuesta se plantea varias medidas correctivas que deben ser implementadas:

- Establecer zonas de tolerancia cero con respecto al uso de bocinas en vehículos, priorizando áreas sensibles como entornos residenciales, centros educativos y hospitales, donde es primordial resguardar un ambiente de calma, concentración y descanso.
- Plantear la implementación de nuevas tarifas o sanciones para los vehículos que incumplan las normas de circulación, en especial aquellos que se estacionen en lugares no autorizados. Dicha medida explora la disminución de la congestión vehicular, y esto dará como resultado que reduzca el uso innecesario de uso de bocinas.
- Regular la presencia de comerciantes informales en zonas estratégica, como áreas comerciales de alta afluencia, con el objetivo de proporcionar la movilidad peatonal y vehicular para así evitar la generación de caos que fomente el uso inapropiado de señales sonoras por parte de los conductores.
- Reubicar los establecimientos informales de venta de alimentos hacia zonas estratégicamente definidas que permitan un desarrollo adecuado de su actividad económica sin generar afectaciones al orden urbano. Esta acción tiene como finalidad de reducir la congestión vehicular y peatonal para poder controlar la emisión de ruido que es ocasionado por equipos de amplificación, especialmente durante los horarios nocturnos.

5.6.3.3. Medidas preventivas

Según Goines Y Hagler (2007), las medidas preventivas establecen disposiciones anticipadas que contribuyen a reducir los riesgos derivados de determinadas actividades. En este sentido, el presente estudio planea diversas acciones orientadas a la prevención de la contaminación acústica en la ciudad de Otavalo, entre estas alternativas son importantes mencionar las siguientes:

- Implementar campañas de concientización dirigidas a la ciudadanía Otavaleña, esto con la finalidad de iniciar un cambio de actitud frente al ruido ambiental. Estas campañas buscarán fortalecer la corresponsabilidad ciudadana en torno al impacto sonoro, fomentando practicas responsables que eviten generar molestias a otras personas mediante sonidos innecesarios.
- Examinar el uso del suelo en la ciudad de Otavalo, esto permitirá una adecuada identificación y delimitación de las distintas zonas que la conforman, con el fin de prevenir conflictos y minimizar los impactos generados por actividades incompatibles en determinadas áreas. Mediante una planificación territorial y zonificación eficiente, se podrá garantizar que las actividades desarrolladas en cada sector sean coherentes con las características ambientales, sociales y funcionales del espacio, promoviendo así un desarrollo urbano sostenible.
- Incorporar el componente de contaminación acústica dentro los estudios de impacto ambiental con la finalidad de aplicar medidas preventivas que permitan anticiparse a posibles afectaciones sonoras generadas por proyectos o actividades, y así proteger el entorno desde las fases iniciales de planificación.
- Diseñar intervenciones en las vías con alta congestión vehicular, orientadas a mitigar los niveles de ruido en estas zonas. Entre las posibles medidas de control acústico se contemplan la instalación de barreras sonoras, el aislamiento de fachadas y la implementación de coberturas vegetales, las cuales contribuyen significativamente a la reducción del impacto acústico urbano.

5.6.3.4. Medidas de seguimiento

Las medidas de seguimiento tienen como objetivo de supervisar y controlar el cumplimiento de las garantías asociadas a las acciones implementadas. Esto permite verificar la eficacia y calidad de las características definidas para la gestión de la polución sonora, con el fin de disminuir sus impactos. A partir del análisis de monitoreo realizado en la ciudad de Otavalo, se han establecido varias alternativas de seguimiento que son las siguientes:

- Efectuar monitoreos semestrales, en coordinación con las entidades competentes, en las zonas comerciales que utilicen sistemas de amplificación sonora. Esta alternativa busca impedir que se excedan los límites permitidos según la normativa vigente, para así garantizar el bienestar de los ciudadanos.
- Cumplir inspecciones anuales sobre el uso del suelo en las diferentes zonas de la ciudad de Otavalo, con el fin de regular el desarrollo de actividades que ser incompatibles con el entorno urbano.
- Restablecer anualmente los mapas de ruido en todos los sectores del cantón, con el objetivo de identificar los niveles acústicos en las zonas evaluadas y reconocer aquellos espacios más vulnerables a la contaminación acústica.

5.6.5. Planes de Acción

Las acciones ambientales diseñadas en el plan de mitigación de la contaminación acústica en la ciudad de Otavalo, incluyendo disposiciones normativas, correctivas, preventivas y de seguimiento, se exponen de forma estructurada mediante la descripción de varios planes de acción que sustentan su implementación. (tabla 9)

5.6.5.1. Plan de acción de para implementar medidas normativas en la ciudad de Otavalo

Tabla 9.*Planes de acción para la mitigación del ruido en la ciudad de Otavalo*

Procedimiento
<p>Objetivo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proponer un conjunto de medidas normativas dirigidas a la entidad pública competente de la ciudad de Otavalo, con el fin de regular y controlar adecuadamente los niveles de contaminación acústica en el ámbito urbano.
<p>Alcance</p> <ul style="list-style-type: none"> • El plan de acción está dirigido a la ciudad de Otavalo.
<p>Responsable</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gobierno Autónomo Descentralizado de la Ciudad de Otavalo.
<p>Condiciones Generales</p> <ul style="list-style-type: none"> • La exposición del presente plan de acción se sustenta en los siguientes parámetros fundamentales: • Desempeño eficiente del recurso humano, con el compromiso y participación del departamento de gestión Ambiental del GAD OTAVALO. • Capacitación y fortalecimiento de las competencias técnicas del personal involucrado en la implementación del plan • Planificación estratégica y coordinación interinstitucional, orientadas a garantizar una ejecución integral y efectiva de las medidas propuestas.
<p>Recursos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Humanos y Financieros
<p>Aspecto Ambiental</p> <ul style="list-style-type: none"> • Control de ruido y vibración
<p>Impacto</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contaminación acústica

Actividades						
N°	Acción	Medidas de propuestas	Departamento de medio ambiente	Indicador	Medios de verificación	Tiempo de ejecución
1	Propuesta de acciones	Formular regulaciones con el objetivo de controlar el ruido urbano en la ciudad de Otavalo	Departamento de Gestión Ambiental del GAD de Otavalo.	Número de disposiciones a ejecutar	Documentación oficial de las medidas regulatorias	3 meses
2	Talleres formativos	Brindar formación al personal correspondiente sobre las normativas que se planean aplicar.	Unidad de Gestión Ambiental del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Otavalo	Cantidad de participantes en las capacitaciones.	Listado de participantes con fotografías.	3 meses
3	Aplicación	Elaboración de una estrategia orientada a implementar las nuevas disposiciones normativas relacionadas con la contaminación acústica.	Unidad de Gestión Ambiental del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Otavalo	Diseño del plan de acción orientado a la implementación de las recientes normativas sobre la contaminación acústica.	Informe del registro de la documentación	Inmediato

5.6.5.2. Plan de acción para reducir el uso inadecuado de las bocinas en los medios de transporte en la ciudad de Otavalo.

Procedimiento
<p>Objetivo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Formular un plan de acción orientado a disminuir el uso excesivo e injustificado de la bocina en vehículos de transporte público, con la finalidad de mitigar los efectos negativos que esta práctica genera en la población en general.
<p>Alcance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Está dirigido principalmente a los vehículos de transporte público como son los buses, y los taxis, no obstante, debería enfocarse al transporte de manera general.
<p>Responsable</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gobierno Autónomo Descentralizado de la Ciudad de Otavalo. • Departamento de Gestión Ambiental.
<p>Condiciones Generales</p> <p>El presente plan desarrolla las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Promoción del rendimiento eficiente del personal a cargo del Departamento de Gestión Ambiental. • Desarrollo de programas de capacitación y formación dirigidos al personal involucrado. • Asignación de los recursos financieros necesarios para la implementación efectiva del plan de acción.
<p>Recursos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Humanos y Financieros
<p>Aspecto Ambiental</p> <ul style="list-style-type: none"> • Control de ruido
<p>Impacto</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contaminación acústica

Actividades						
N°	Acción	Medidas propuestas	Departamento de medio ambiente	Indicador	Medios de verificación	Tiempo de ejecución
1	Capacitaciones	Ejecutar jornadas de capacitación de la bocina a a los transportistas del servicio público en la ciudad de Otavalo.	Departamento de Gestión Ambiental del GADM de Otavalo. Agencia Nacional de Tránsito	Numero de asistidores a la capacitación	Fotografías de las capacitaciones.	2 meses
2	Implementación de campañas para la ciudadanía de Otavalo	Establecer campañas de concientización para la ciudadanía con la finalidad de dar a conocer sobre el mal uso de las bocinas	Gestión Ambiental del GADM de Otavalo y Agencia Nacional de Tránsito	Promoción de campañas	Registros fotográficos del inicio y fin de las campañas.	2 meses
3	Aplicación del plan	Diseño estratégico de un plan de intervención dirigido a mitigar los niveles de contaminación acústica en el entorno urbano de la ciudad de Otavalo	Gestión Ambiental del GADM de Otavalo. Agencia Nacional de Tránsito	Informe del plan de acción de la mitigación de la contaminación acústica.	Registro de documentación	Inmediata

5.6.5.3. Plan de acción de capacitación y sensibilización con la comunidad.

Procedimiento
<p>Objetivo</p> <ul style="list-style-type: none"> Llevar a cabo procesos de capacitación dirigidos a la comunidad local y a los visitantes de la ciudad de Otavalo, con base a la normativa vigente sobre la emisión de ruido y a los niveles permisibles establecidos.
<p>Alcance</p> <ul style="list-style-type: none"> El plan de acción está dirigido a la comunidad local y a los turistas de la ciudad.
<p>Responsable</p> <ul style="list-style-type: none"> Gobierno Autónomo Descentralizado de la Ciudad de Otavalo. Departamento de Gestión Ambiental.
<p>Parámetros Generales</p> <p>El proyecto consta de los siguientes parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fomento de un rendimiento eficiente del personal perteneciente al departamento de Gestión Ambiental. Implementación de programas de capacitación y actualización dirigidos al personal responsable Asignación de los recursos económicos necesarios para la puesta en marcha del plan de acción.
<p>Recursos</p> <ul style="list-style-type: none"> Humanos y Financieros
<p>Aspecto Ambiental</p> <ul style="list-style-type: none"> Control de ruido
<p>Impacto</p> <ul style="list-style-type: none"> Contaminación acústica

Actividades						
N°	Acción	Medidas propuestas	Departamento de medio ambiente	Indicador	Medios de verificación	Tiempo de ejecución
1	Invitación	Coordinar la participación de organizaciones barriales de la ciudad de Otavalo en procesos de formación y campañas de concienciación, enfocadas en la mitigación del ruido ambiental.	Departamento de Gestión Ambiental del GADM de Otavalo	Numero de invitaciones enviadas.	Listado de organizaciones barriales convocadas.	1 mes
2	Capacitaciones	Implementar acciones de concientización ciudadana sobre los efectos negativos del ruido generado de manera imprudente en el entorno urbano.	Departamento de Gestión Ambiental del GADM de Otavalo	Desarrollo de campañas	Registros fotográficos de la campaña	2 meses
3	Aplicación del plan de acción.	Elaboración de un plan para disminuir la contaminación acústica en Otavalo.	Departamento de Gestión Ambiental del GADM de Otavalo	Informe del plan de acción	Registro de documentación	Inmediata

5.6.5.4. Plan de acción de seguimiento y monitoreo continuo de fuentes de emisión de ruido.

Procedimiento
<p>Objetivo</p> <ul style="list-style-type: none"> Llevar a cabo un monitoreo constante de las diversas fuentes generadores de ruido en la ciudad de Otavalo.
<p>Alcance</p> <ul style="list-style-type: none"> El plan de acción está dirigido a las zonas de estudio en la ciudad de Otavalo.
<p>Responsable</p> <ul style="list-style-type: none"> Gobierno Autónomo Descentralizado de la Ciudad de Otavalo. Departamento de Gestión Ambiental.
<p>Condiciones Generales</p> <p>El proyecto consta de los siguientes parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fomento de un rendimiento eficiente del personal perteneciente al departamento de Gestión Ambiental. Implementación de programas de capacitación y actualización dirigidos al personal responsable Asignación de los recursos económicos necesarios para la puesta en marcha del plan de acción.
<p>Recursos</p> <ul style="list-style-type: none"> Humanos y Financieros
<p>Aspecto Ambiental</p> <ul style="list-style-type: none"> Control de ruido y vibración
<p>Impacto</p> <ul style="list-style-type: none"> Contaminación acústica

Actividades						
N°	Acción	Medidas propuestas	Departamento del medio ambiente	Indicador	Medios de verificación	Tiempo de ejecución
1	Planificación	Planificar y gestionar de manera integral el seguimiento de las fuentes fijas con elevados niveles de ruido dentro del área urbana.	Departamento de Gestión Ambiental del GADM de Otavalo.	Número de fuentes de emisión de ruido.	Registro fotográfico de las fuentes de emisión de ruido.	2 meses
2	Capacitaciones	Capacitar al personal designado en la selección de sitios de monitoreo, operación de equipos y procesamiento e interpretación de los datos acústicos recolectados.	Departamento de Gestión Ambiental del GADM de Otavalo.	Número de asistentes que asistieron a la capacitación	Fotografías de los participantes	2 meses
3	Aplicación	Desarrollo de un plan para monitorear fuentes de ruido y reducir los niveles acústicos en la ciudad de Otavalo.	Departamento de Gestión Ambiental del GADM de Otavalo.	Informe del plan de acción	Registro de documentación	Inmediata

5.6.6. Análisis costo- beneficio

5.6.6.1. Objetivo del análisis

Evaluar los costos involucrados en la implementación del plan de mitigación de ruido ambiental frente a los beneficios sociales, económicos y de salud que se obtendrán con su ejecución. A continuación, se desarrolla un análisis de costo-beneficio que permite evaluar la viabilidad económica y social de su implementación, con énfasis en la relación costo-efectividad y en la sostenibilidad a largo plazo.

5.6.6.2. Estimación de costos del plan de mitigación

Con el objetivo de asegurar la viabilidad del proyecto, se ha planteado un escenario de costos mínimos, priorizando el uso de recursos locales, donaciones institucionales, colaboración ciudadana y alianzas interinstitucionales (tabla 10). Los costos presentados corresponden a una intervención estratégica de 12 meses en zonas críticas. El valor total de \$5,670 USD es posible gracias a que el GAD Municipal de Otavalo aporta el personal técnico, la infraestructura de comunicación y la logística operativa como recursos ya existentes (aportes en especie), reduciendo así la necesidad de inversión externa directa (Goines Y Hagler, 2007).

Esta estrategia busca optimizar la asignación presupuestaria, fomentar la participación comunitaria y aprovechar capacidades y equipamiento disponibles en el entorno, reduciendo así la dependencia de financiamiento externo y fortaleciendo la sostenibilidad a largo plazo. Además, se propone gestionar riesgos mediante transparencia en la asignación de recursos, monitoreo continuo y mecanismos de rendición de cuentas que faciliten la validación por parte de actores clave y la sociedad.

Tabla 10.*Plan de costos fase piloto por 1 año*

Actividad/ Acción	Costo estimado (USD)	Detalle
Monitoreo con sonómetro (Alquiler/Uso)	1200	Alquiler de un equipo profesional por periodos clave. (\$100/mes promedio).
Capacitación continua y talleres	800	Realización de 4 talleres al año (uno por trimestre). Incluye materiales y logística
Material Informativo (Afiches/Trípticos)	600	Impresión de 3000 unidades anuales a color.
Campañas de sensibilización en campo	500	Fondo para activaciones mensuales (hidratación, transporte)
Mantenimiento de señalética	300	Reposición de señales vandalizadas o dañadas y limpieza.
Pauta digital y medios locales	1200	Una inversión constante de \$100 mensuales en redes sociales y menciones en radio.
Informes Técnicos trimestrales	800	Elaboración de 4 informes de seguimiento (\$200 c/u)
Imprevistos (5%)	270	Fondo para reparaciones de emergencia o cambios en precios de materiales.
Costo total estimado (fase piloto por 1 año)	5,670	Presupuesto base para mantener el programa activo.

Nota. Costos por acción: alquiler de equipos Monitoreo con sonómetro (Alquiler/Uso), capacitación, afiches/trípticos, charlas comunitarias, señalética, difusión en redes/radios (con aportes en especie), informe técnico. Costo total: \$5,670 USD Incluye un 5% de contingencias directas.

5.6.6.3. Beneficios esperados del plan de mitigación

Aunque muchos de los beneficios del plan no son fácilmente cuantificables, estos tienen un impacto directo en la calidad de vida de la población, en la salud colectiva y en la imagen turística de la ciudad. Entre los aportes más significativos se destacan (tabla 11):

Tabla 11.

Beneficios estimados de la implementación de medidas de control de ruido ambiental

Beneficio	Impacto estimado
Reducción de molestias por ruido	Mejora en la calidad del sueño, concentración y descanso
Disminución de conflictos vecinales	Reducción en quejas por ruido y conflictos comunitarios
Concienciación ciudadana	Participación activa en el cuidado del ambiente sonoro
Ahorro en tratamientos de salud relacionados al ruido	Ahorros en salud pública
Mejora en la imagen urbana y turística	Incremento del atractivo para visitantes nacionales e internacionales

Nota. Descripciones breves de impactos esperados: reducción de molestias, menor conflictos vecinales, concienciación ciudadana, ahorro en salud, mejora de imagen urbana y turística.

5.6.6.4. Relación costo-beneficio

El costo total del plan, considerado como una fase piloto, se estima en 5.670 USD, lo cual lo cual representa una inversión eficiente al concentrarse en las áreas con mayores niveles de presión sonora (puntos críticos), maximizando el impacto preventivo en salud pública con un presupuesto optimizado. Este desembolso cubre la implementación inicial, la capacitación del personal, la instalación de equipos y los gastos operativos durante el periodo de prueba.

Se estima un beneficio social y económico indirecto de 7.087,50 USD anuales en ahorros de salud pública y mejora de la productividad local, lo que arroja una relación costo-beneficio positiva. Este valor se calcula considerando la reducción de externalidades negativas, tales como:

- Disminución en gastos médicos por enfermedades relacionadas al estrés y problemas auditivos.
- Aumento de la productividad laboral y mejora en la calidad del descanso de los ciudadanos en el casco urbano.
- Valorización del entorno comercial y turístico al reducir la contaminación sonora.

Además de los ahorros cuantificables, se prevén beneficios intangibles significativos, como la mejora de la salud y el bienestar de la comunidad, mayor conciencia ambiental, y posibles efectos positivos en la productividad y la reputación institucional.

Las relaciones son las siguientes:

- Relación C/B (costo-beneficio) aproximada: por cada 1 USD invertido, se obtienen al menos 1,25 USD en beneficios directos. Al ser el resultado mayor a 1, el proyecto se considera financieramente viable y socialmente rentable.

Utilizando la fórmula $B/C = \frac{7.087,50}{5.670} = 1,25$

- Retorno de inversión (ROI): El retorno de la inversión se alcanza dentro del primer año de ejecución. Dado que los beneficios sanitarios y sociales (\$7.087,50) superan el costo total de implementación (\$5.670) en el periodo de 12 meses, la inversión se recupera de forma inmediata a través del bienestar ciudadano y el ahorro en salud pública.

El análisis de costo-beneficio evidencia que la implementación de un plan de mitigación de la contaminación acústica en la ciudad de Otavalo es económicamente viable incluso con recursos limitados. A través de una estrategia basada en la participación ciudadana, el uso de medios de bajo costo y el aprovechamiento de alianzas interinstitucionales, es posible obtener resultados significativos con una inversión mínima. Los beneficios en salud, bienestar y percepción urbana justifican plenamente la ejecución del plan, sentando las bases para su expansión futura y consolidación como política pública local. (Stewart et al., 2020).

5.7. Consideraciones finales del análisis de resultados

El análisis de los resultados obtenidos en este estudio revela que la ciudad de Otavalo presenta una problemática significativa de contaminación acústica especialmente en horarios de alta actividad vehicular y comercial. Los niveles promedio de presión sonora registrados superan los niveles permitidos por el Acuerdo Ministerial 097-A (2015), que es de 65 dB, por lo cual, estos hallazgos evidencian una exposición sostenida de la población a niveles de ruido perjudiciales.

Desde una perspectiva de salud pública, este nivel de exposición constante puede tener consecuencias graves, tanto auditivas como no auditivas. Diversos estudios han demostrado que el ruido ambiental está asociado con problemas como estrés crónico, trastornos del sueño, enfermedades cardiovasculares y deterioro cognitivo en niños y adultos mayores. Por tanto, la contaminación acústica en Otavalo no solo representa un problema ambiental, sino también un factor de riesgo para el bienestar de sus habitantes (Stewart et al., 2020).

En cuanto a la eficacia esperada del plan de mitigación, según Goines Y Hagler (2007), propone que, si se cumple adecuadamente las estrategias planteadas como es el reordenamiento del tránsito, instalación de barreras acústicas y campañas de concienciación, se podría lograr unas reducciones de hasta un 30% de niveles de ruido promedio en zonas mixtas (residencial-comercial).

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones amplíen el alcance del presente estudio incluyendo monitoreos nocturnos, elaboración de mapas de ruido georreferenciados, encuestas de percepción ciudadana y análisis longitudinales que permitan evaluar la evolución del problema y la efectividad de las medidas implementadas. Estas acciones proporcionarían una base más sólida para la toma de decisiones y el diseño de políticas públicas eficaces en materia de control del ruido urbano.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- La evaluación de la contaminación acústica en la ciudad de Otavalo permitió identificar los niveles reales de presión sonora en zonas críticas, mediante mediciones sistemáticas realizadas con sonómetro durante un mes. Los datos se recopilieron en tres horarios específicos (mañana, mediodía y noche), realizando el muestreo en 12 puntos estratégicos: Registro Civil, Parque de los Dinosaurios, Unidad Educativa Otavalo, Universidad Otavalo, Parque San Sebastián, Redondel de los Danzantes, Terminal Terrestre, Plaza de Ponchos, PRODUBANCO, Parque Simón Bolívar, Iglesia y Gasolinera. Los datos recolectados revelaron que los valores presión sonora oscilaron entre 73 dB(A) y 88 dB(A) evidenciando, que en todos puntos muestreados los niveles de ruido superaron los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente.
- Los registros evidenciaron una variación significativa en los niveles de ruido en función del horario. Se calcularon los promedios de los niveles de presión sonora clasificándolos en valores mínimos y máximos según los horarios de mañana, tarde y noche. El análisis de las mediciones máximas realizadas entre las 7:00 y 8:00 am se identificó cinco puntos críticos que destacan por su alta intensidad sonora, evidenciando tanto la dispersión del ruido en el entorno como el grado de afectación a las áreas circundantes. Estos puntos se ubican principalmente en del centro urbano, donde el ruido se genera por el elevado flujo vehicular, la concentración de automóviles y la cercanía a instituciones educativas y zonas residenciales.
- El punto estratégico con mayor incidencia de contaminación acústica fue el punto 6 (Redondel de los Danzantes) en el horario de las 12:00 horas-13:00 horas. Esta elevada presión sonora se debe, principalmente al alto flujo vehicular que converge en esta intersección vial, la presencia de transporte público.
- Se construyó tres mapas de contaminación acústica mediante método de interpolación espacial Inverse Distance Weighting (IDW) en el software ArcGIS 10.5. Estos mapas

permitieron visualizar claramente la distribución del ruido ambiental en la ciudad y facilitaron la identificación de zonas de mayor riesgo acústico, constituyendo una herramienta técnica útil para la planificación urbana y la gestión ambiental. El análisis comparativo de los niveles mínimos y máximos en cada franja horaria reveló que el mediodía presenta los puntos de mayor contaminación acústica.

- Los datos obtenidos y el análisis realizado constituyen una base sólida para el diseño de un plan de manejo acústico. Se recomienda priorizar medidas como la restricción del tráfico pesado en horarios críticos, la instalación de barreras sonoras en zonas vulnerables, y el desarrollo de campañas de concienciación ciudadana con el fin reducir la exposición al ruido y mejorar la calidad de vida de la población otavaleña.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Se propone como medida clave el control de los niveles de ruido generados tanto propuesta por fuentes móviles como fijas en la ciudad de Otavalo. Esta acción debe fundamentarse en la aplicación de las ordenanzas, normas y reglamentos vigentes, cuyo objetivo principal es salvaguardar la salud de la población y proteger el entorno natural. La implementación de estos mecanismos de control debe enmarcarse en el cumplimiento de lo estipulado por el Acuerdo Ministerial 097-A (2015), el cual establece límites máximos permitidos de emisión sonora que deberán ser respetados por los vehículos, las actividades económicas y los establecimientos comerciales, permitiendo así una regulación efectiva del tránsito y las actividades urbanas.
- Se recomienda llevar a cabo monitoreos periódicos acompañados de análisis constante de datos que permitan diagnosticar de manera continua los niveles de contaminación acústica, facilitando así la elaboración de mapas sonoros actualizados que identifiquen las zonas con mayor intensidad o incremento de presión sonora y permitan evaluar la efectividad de las medidas implementadas.
- Para obtener mejores resultados en la reducción de la contaminación acústica en la ciudad de Otavalo, se recomienda que las autoridades municipales promuevan procesos educativos dirigidos a la ciudadanía y socialicen la propuesta del plan de mitigación. El objetivo es fomentar la participación activa de la comunidad y lograr una disminución más efectiva de los niveles de presión sonora mediante la concentración sobre los efectos del ruido en la salud y el bienestar de la población.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, J. A., Paiva, F. N., Silva, L. T., & Remoaldo, P. (2020). Low-frequency noise and its main effects on human health-A review of the literature between 2016 and 2019. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 10, Issue 15). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app10155205>
- Asinsten, J. (2015). *Fundamentos físicos del sonido y su percepción en el ser humano*. Editorial Acústica y Ciencia.
- Avsar, Y., & Gonullu, M. T. (2005). *Determination of safe distance between roadway and school buildings to get acceptable school outdoor noise level by using noise barriers*. *Building and Environment*, 40(9), 1255–1260. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.10.020>
- Barreno Flores, C. F., Marcatoma Tixi, J. A., Mullo Guaminga, H. S., & Ramos Araujo, C. E. (2021). *Evaluación de la contaminación acústica mediante análisis Kriging, en la zona urbana del cantón Riobamba*. *Polo del Conocimiento*, 6(10), 1–20. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/5026>
- Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., & Stansfeld, S. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383(9925), 1325–1332. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X)
- Campos Rivadeneira, M. (2018). *Características físicas y percepción subjetiva del ruido en entornos urbanos*. Editorial Acústica Ambiental.
- Campos Rivadeneira, J. (2018). *Monitoreo y evaluación de la contaminación acústica para la elaboración de un plan de mitigación en la ciudad de Otavalo*. Tesis de ingeniería. Universidad PUCE. Ibarra.

- Cohen, M. A., & Salinas Castillo, O. (2017). *Ruido en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad caminable noise in the city*. Acoustic pollution and the walkable city.
- Chan, P., Ho, K., & Ryan, A. F. (2016). Impulse noise injury model. *Military Medicine*, *181*(5), 59–69. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-15-00139>
- Chávez Cruz, A. J. (2023). *Validación y corrección de los modelos predictivos de ruido ambiental por regresión lineal y análisis multivariante en la zona la delicia, estudio enfocado en unidades educativas*.
- Chávez Orozco, C. A., & Jalomo Aguirre, F. (2023). *Contaminación acústica y sus efectos en la calidad ambiental del espacio urbano*. *Revista Tecnogestión: Una Mirada al Ambiente*, *20*(1), 114–115.
- Cohen, M. A., & Salinas Castillo, O. (2017). *Ruido en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad caminable Noise in the city. Acoustic pollution and the walkable city*.
- Delgado, J. (2015). *La contaminación acústica en zonas urbanas: Causas y efectos en la calidad de vida* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Medio Ambiente]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.universidad.edu.ec/>.
- De Paiva Vianna, K. M., Alves Cardoso, M. R., & Rodrigues, R. M. C. (2015). Noise pollution and annoyance: An urban soundscapes study. *Noise and Health*, *17*(76), 125–133. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.155833>
- Díaz-Balteiro, L., Romero, C., & González-Pachón, J. (2023). *Urban noise pollution and traffic dynamics: A multivariate modeling approach*. *Environmental Modelling & Software*, *167*, 105624. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105624>
- Ecker, S., Bouchard, F., Bulla, L., Brandt, F., Kohout, O., Steinlechner, F., Fickler, R., Malik, M., Guryanova, Y., Ursin, R., & Huber, M. (2019). Overcoming Noise in Entanglement Distribution. *Physical Review X*, *9*(4).

- Espinal Guerrero, Y., & Zelada Tacilla, M. (2024). *Evaluación y elaboración de mapas de ruido ambiental en la zona urbana de Cajamarca en los meses de febrero, marzo y abril del año 2023*.
- Espinoza, D., Morales, P., & Gallegos, V. (2023). *Evaluación de ruido ambiental en zonas urbanas y suburbanas del dmq*. *Revista de Medio Ambiente y Sostenibilidad*, 15(2), 45–58. <https://doi.org/10.32719/rmas.152.2023>
- Gallagher M (2016) El sonido como afecto: Diferencia, poder y espacialidad. *Emoción, Espacio y Sociedad*. <https://doi.org/10.1016/j.emospa.2016.02.004> (consultado el 23 de mayo de 2016).
- García Rodríguez, A. (2006). *La contaminación acústica: fuentes, evaluación, efectos y control* (Sociedad E). https://books.google.com.mx/books/about/La_contaminación_acústica.html?id=mSLtPAAACAAJ&redir_esc=y
- García Ruiz, A., & South, N. (2019). Surrounded by sound: Noise, rights and environments. *Crime, Media, Culture*, 15(1), 125–141. <https://doi.org/10.1177/1741659017751223>
- García, M., Torres, A., & López, J. (2022). *Estrategias de control de ruido ambiental: Barreras acústicas en zonas urbanas*. *Revista Internacional de Ingeniería Ambiental*, 14(3), 150-162. <https://doi.org/10.1016/j.riea.2022.04.005>
- Goines, L., & Hagler, L. (2007). *Noise pollution: A modern plague*. *Southern Medical Journal*, 100(3), 287–294.
- González, A., & Rivas, M. (2019). *Impacto del ruido en entornos urbanos: un estudio de caso en intersecciones viales y zonas escolares*. *Revista de Medio Ambiente Urbano*, 15(2), 45–58.

- Hemmat, W., Hesam, A. M., & Atifnigar, H. (2023). Exploring noise pollution, causes, effects, and mitigation strategies: A review paper. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences*, 1(5), 995–1005. [https://doi.org/10.59324/ejtas.2023.1\(5\).86](https://doi.org/10.59324/ejtas.2023.1(5).86)
- Isaí, D., Gómez, G., De Haro Mota, R., & Flores, S. M. (2020). *assessment of environmental noise in cities, a theoretical approach*.
- Isabel Solórzano Muñoz, J. I., & Angel Osejos Merino, M. I. (2023). *Contaminación acústica y su incidencia en la salud de habitantes de la ciudad de Portoviejo-Ecuador Noise pollution and its impact on the health of inhabitants of the city of Portoviejo-Ecuador Poluição sonora e seu impacto na saúde dos habitantes da cidade de Portoviejo-Ecuador*. 84(7), 746–764. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i7>
- Jariwala, H., Jariwala, H. J., Syed, H. S., Pandya, M. J., & Gajera, Y. M. (2017). " *Noise Pollution & Human Health: A Review* " " *Noise Pollution & Human Health: A Review*." <https://www.researchgate.net/publication/319329633>
- Jara Rojas, J. (2016). *Relación entre la percepción del ruido ambiental y los niveles de presión sonora en horario nocturno San Borja - Lima 2015* [Tesis de licenciatura, Universidad Científica del Sur]. Repositorio Institucional UCSUR. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/250>
- Khan, J., Ketzler, M., Kakosimos, K., Sørensen, M., & Jensen, S. S. (2018). Road traffic air and noise pollution exposure assessment – A review of tools and techniques. In *Science of the Total Environment* (Vol. 634, pp. 661–676). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.374>
- Kumar, S., Patel, R., & Singh, A. (2021). *Optimizing sound barrier placement for traffic noise reduction*. *Environmental Noise Management*, 7(4), 210-220. <https://doi.org/10.1016/j.envnoise.2021.08.013>

- Lizcano, J. (2023). 2023 artículo contaminación acústica completo. *revista tecno gestión: una mirada al ambiente*, 20, 9–23.
- Liaquat, M. U., Munawar, H. S., Rahman, A., Qadir, Z., Kouzani, A. Z., & Mahmud, M. A. P. (2021). Localization of sound sources: A systematic review. In *Energies* (Vol. 14, Issue 13). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en14133910>
- López, (2015). *Monitoreo Evaluación de la contaminación acústica y diseño de un plan de mitigación para la ciudad de Ibarra*. Ibarra, Ecuador: Repositorio PUCE-SI.
- MAATE. (2015). Ministerio del Ambiente, agua y transición ecológica.
- Machado, D. (2016). *La velocidad del sonido*. Academia: Noticias del Cine Español.
- Marmanillo, V. I. V. (2022). Monitoreo de ruido ambiental por tráfico vehicular en la UAC e interpretación de resultados en comparación al DS 085-2003-PCM. *Yachay-Revista Científico Cultural*, 11(1), 556-561.
- Martínez, F., Guevara, M., & Díaz, J. (2022). *Traffic flow and noise correlation in medium-sized Latin American cities: A case study approach*. *Journal of Environmental Management*, 305, 114317.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). *Acuerdo ministerial No. 097-A reforma de los anexos del libro VI del Texto unificado de legislación secundaria*. Registro oficial edición especial 387. Quito, Ecuador. <https://ambiente.gob.ec>
- Miedema, H. M. E., & Oudshoorn, C. G. M. (2001). *Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure metrics*. *Environmental Health Perspectives*, 109(4), 409–416. <https://doi.org/10.1289/ehp.011109409>

- Moromenacho Oña, T. M. (2016). *Diseño de un modelo predictivo de ruido urbano para el DMQ, por linealización de una función no lineal y análisis multivalente con datos históricos desde el año 2012 al 2015* [Tesis de pregrado, Universidad Internacional SEK]. Repositorio UISek. <https://repositorio.uisek.edu.ec/>
- Montejo Martínez. (2017). *Universidad de Oviedo*.
- Montaño, A. (2015). *Diagnóstico Ambiental de Ruido Generado en el Sector Industrial y Vehicular en la Localidad de Kennedy y Propuesta de Mitigación o Reducción de los Niveles de Presión Sonora*. Obtenido de La Salle Repository: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14705/00798088.pdf>
- Morgans, A. S., & Duran, I. (2016). Entropy noise: A review of theory, progress and challenges. *International Journal of Spray and Combustion Dynamics*, 8(4), 285–298. <https://doi.org/10.1177/1756827716651791>.
- Morales Pérez, J., & Fernández Gómez, J. (2012). *Análisis discriminante de algunas variables que influyen en la contaminación acústica debida al tráfico urbano en una gran ciudad*. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 11(21), 13–22
- Mosquera Cabrera, I. (2013). *Influencia de la música en las emociones: una breve revisión*. *Realitas: revista de Ciencias Sociales, Humanas y Artes*, 1(2), 34–38. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4876425>
- Münzel, T., Sørensen, M., Gori, T., Schmidt, F. P., Rao, X., Brook, J., & Rajagopalan, S. (2018). Environmental stressors and cardio-metabolic disease: part II—mechanistic insights. *European Heart Journal*, 38(8), 557–564. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw269>

- Navarro, J., López, F., & Gómez, D. (2024). *The role of urban morphology in traffic noise attenuation: A GIS-based regression model*. *Applied Acoustics*, 214, 109373. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2023.109373>
- Organización Mundial de la Salud. (2020). *Environmental noise guidelines for the European region*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789289053563>
- Ortega, M., & Cardona, J. (2005). *Metodología para evaluación del ruido ambiental urbano en la ciudad de Medellín*. *Revista facultad nacional de salud pública* 23(2), 70–77. <http://www.scielo.org.co/img/revistas/rfnsp/v23n2/v23n2a>.
- Pachón, D., Calderón, J., & Rosero, M. (2023). *Evaluación de la contaminación acústica vehicular mediante modelos estadísticos en ciudades intermedias*. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Ambiental*, 38(1), 25–34. <https://doi.org/10.23854/riea.3812023>
- Pallas, M. A., Lelong, J., & Chatagnon, R. (2011). Characterisation of tram noise emission and contribution of the noise sources. *Applied Acoustics*, 72(7), 437–450. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.01.008>.
- Paredes, M., & Castillo, R. (2019). *Análisis de la contaminación acústica en zonas urbanas de Ambato*. *Revista de Investigación Técnica*, 7(1), 31–39.
- Peralta, J. G., Narváez, I., Gonzáles, M. M. V. (2016). *Determinación de la contaminación acústica de fuentes fijas y móviles en la vía a Samborondón en Ecuador*. *Ambiente y Desarrollo*.
- Pérez, J., & Andrade, L. (2019). *Monitoreo de ruido ambiental en sectores de alta densidad vehicular del Distrito Metropolitano de Quito*. *Revista Ecuatoriana de Ingeniería y Medio Ambiente*, 13(2), 21–30.

- Rice, F. (2016). A frequency-domain derivation of shot-noise. *American Journal of Physics*, 84(1), 44–51. <https://doi.org/10.1119/1.4934706>
- Rodríguez, R., Armienta, M. A., & Mejía, J. A. (2005). Arsenic contamination of the Salamanca aquifer system in Mexico: A risk analysis. En J. Bundschuh, P. Bhattacharya, & D. Chandrasekharam (Eds.), *Natural arsenic in groundwater: Occurrence, remediation and management* (pp. 77–83). Taylor & Francis/Balkema
- Salazar Andrade, R. D. (2015). *Evaluación de la exposición laboral a ruido en el área de encolado en una empresa gráfica y propuesta de medidas de prevención y control* (Tesis de licenciatura, Universidad Internacional SEK). <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/1674>
- Salvendy, G., Karwowski, W., & Casali, J. G. (2021). *Part 4 design for health, safety, and comfort Handbook of Human Factors and Ergonomics, Fifth Edition sound and noise: measurement and design guidance*.
- Santos de la Cruz, E. (2007). Contaminación sonora por ruido vehicular en la Avenida Javier Pardo. *Industrial Data*, 10(1), 011–015. <https://doi.org/10.15381/idata.v10i1.6201>
- Sołowczuk, A. B., & Kacprzak, D. (2022). Effect of Lane Narrowing Implemented on an Urban Dual Carriageway on Speed Reduction and Acoustic Environment. *Buildings*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/buildings12010031>
- Solórzano Muñoz, J. I., & Osejos Merino, M. Á. (2023). *Contaminación acústica y su incidencia en la salud de habitantes de la ciudad de Portoviejo – Ecuador*. Polo del conocimiento (Edición núm. 84), 8(7), 746–764. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i7>
- Stansfeld, S. A. (2015). Noise effects on health in the context of air pollution exposure. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 12, Issue 10, pp. 12735–12760). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijerph121012735>

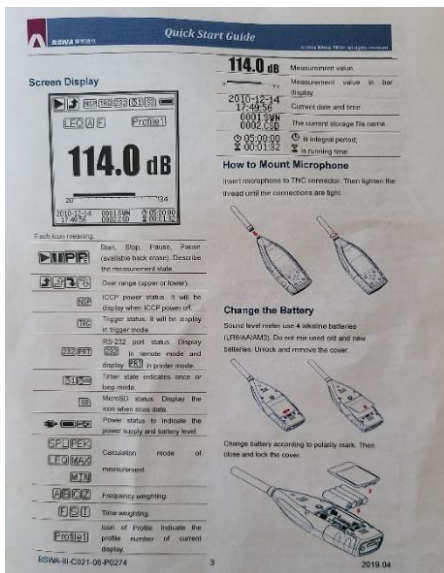
- Stansfeld, S. A., & Matheson, M. P. (2003). Noise pollution: non-auditory effects on health. *British Medical Bulletin*, 68(1), 243–257. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg033>
- Stewart, C. E., Holt, A. G., Altschuler, R. A., Cacace, A. T., Hall, C. D., Murnane, O. D., King, W. M., & Akin, F. W. (2020). Effects of Noise Exposure on the Vestibular System: A Systematic Review. In *Frontiers in Neurology* (Vol. 11). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.593919>
- Toribio, L. A., Aranguren, D. C., Ruiz, D. M., & Maqueda, M. J. R. (2015). *Ruido ambiental, seguridad y salud: respuesta auditiva del oído humano. Tecnológi@ y desarrollo*, VIII, ResearchGate
- Toriya, A. J., & Flindell, I. H. (2015). *Qualitative aspects of acoustic environment in urban settings: Research trends and policy needs*. *Science of the Total Environment*, 505, 844–856. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.072>
- TULSMA. (2015). *Acuerdo ministerial No. 097-A reforma de los anexos del libro VI del Texto unificado de legislación secundaria*. Registro oficial edición especial 387. Quito, Ecuador. <https://ambiente.gob.ec>
- Vechiatti N., Gomez, P., Gavinowich, D., Feo Rodriguez, W., Iasi, F., Sinnewald, D. & Ruffa, F. (2012). *Mediciones comparativas de niveles de presión sonora a diferentes alturas en el ámbito urbano*. LACEAC. UBA. Tecno Acústica, Cádiz.
- Vera, L., Martínez, J., & Torres, P. (2020). *Evaluación de la contaminación acústica en estaciones de servicio y centros educativos*. *Revista de Acústica y Medio Ambiente*, 22(3), 101–112.
- Zamorano, M., Rodríguez, L., & Molina, J. (2023). *Impact of vehicular congestion on urban noise levels: A statistical perspective*. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 117, 103715. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103715>

Zamorano González, B., Peña Cárdenas, F., Parra Sierra, V., Velázquez Narváez, Y., & Vargas Martínez, J. I. (2015). *Contaminación por ruido en el centro histórico de Matamoros. Acta Universitaria*, 25(5), 20-27. <https://doi.org/10.15174/au.2015.819>

Zhang, H., & Li, X. (2023). *Acoustic barrier design and effectiveness in urban noise control. Journal of Environmental Acoustics*, 9(1), 45-59. <https://doi.org/10.1080/jeac.2023.0112>

ANEXOS

Anexo 1. Equipos que se utilizaron para las mediciones sonómetro y gps



Anexo 2. Toma de las mediciones que fueron realizadas en la Ciudad de Otavalo



Anexo 3. Toma de muestras de aglomeración vehicular en el horario de 12:00 a 13:00 pm.

		Horario de 12:00am a 13:00pm											
Puntos	Sitio	Minutos										Promedio	Total, en 1 hora
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	Registro Civil	20	21	23	19	18	25	18	16	20	22	20,2	121
2	Parque de los dinosaurios	21	21	20	18	19	24	26	22	21	19	21,1	127
3	Unidad Educativa Otavalo	27	26	25	21	26	27	25	28	23	21	24,9	149
4	Universidad Otavalo	21	22	21	24	21	22	20	25	24	22	22,2	133
5	Parque San Sebastián	20	24	21	24	24	25	26	21	20	19	22,4	134
6	Redondel de los Danzantes	20	24	28	23	28	28	26	27	29	28	26,1	157
7	Terminal terrestre Otavalo	26	24	21	22	25	23	24	25	21	22	23,3	140
8	Plaza de los ponchos	25	23	21	24	19	27	23	21	23	22	22,8	137
9	PRODUBANCO	18	24	23	21	25	26	20	21	22	24	22,4	134
10	Parque Simón Bolívar	19	23	21	24	26	23	21	25	27	24	23,3	140
11	Iglesia Católica San Francisco	19	21	25	21	19	17	22	23	24	21	21,2	127
12	Gasolinera MASGAS	22	27	23	25	25	25	29	28	22	25	25,1	151