



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**  
**NATURALES**

**CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIO-AMBIENTAL GENERADO  
POR EL RUIDO DE LAS BLOQUERAS EN LA COMUNIDAD EL  
BOLICHE PROVINCIA DE COTOPAXI”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de  
Ingeniera Ambiental

**Autora:**  
Toapanta Llano Nancy Carolina

**Tutor:**  
Daza Guerra Oscar Rene

**LATACUNGA – ECUADOR (12)**

**Marzo 2026**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Toapanta Llano Nancy Carolina, con cédula de ciudadanía No. 0550625636, declaro ser autora del presente Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIO-AMBIENTAL GENERADO POR EL RUIDO DE LAS BLOQUERAS EN LA COMUNIDAD EL BOLICHE PROVINCIA DE COTOPAXI”**, siendo el Ingeniero Mg. Oscar Rene Daza Guerra Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 23 de febrero del 2026

Nancy Carolina Toapanta Llano  
C.C: 0550625636  
**ESTUDIANTE**

## CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **TOAPANTA LLANO NANCY CAROLINA**, identificada con cédula de ciudadanía **0550625636** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIO-AMBIENTAL GENERADO POR EL RUIDO DE LAS BLOQUERAS EN LA COMUNIDAD EL BOLICHE PROVINCIA DE COTOPAXI**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Octubre 2021 - Marzo 2022

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Tutor: Ing. Oscar Rene Daza Guerra, Mg.

Tema: “**EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIO-AMBIENTAL GENERADO POR EL RUIDO DE LAS BLOQUERAS EN LA COMUNIDAD EL BOLICHE PROVINCIA DE COTOPAXI**”

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.** - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 23 días del mes de febrero del 2026.

Nancy Carolina Toapanta Llano

**LA CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

**LA CESIONARIA**

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

**“EVALUACION DEL IMPACTO SOCIO-AMBIENTAL GENERADO POR EL RUIDO DE LAS BLOQUERAS EN LA COMUNIDAD EL BOLICHE PROVINCIA DE COTOPAXI”**, de Apellidos y Nombres completos, de la carrera de Agroindustria, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 23 de febrero del 2026

Ing. Oscar Rene Daza Guerra, Mg.  
C.C: 0400689790  
**DOCENTE TUTOR**

## **AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Toapanta Llano Nancy Carolina, con el título de Proyecto de Investigación: **“EVALUACION DEL IMPACTO SOCIO-AMBIENTAL GENERADO POR EL RUIDO DE LAS BLOQUERAS EN LA COMUNIDAD EL BOLICHE PROVINCIA DE COTOPAXI”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 23 de febrero del 2026

Ing. Vladimir Ortiz Bustamante, Ph.D.  
C.C: 0502188451  
**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**

Dr. Lenin Guanoquiza Tello, Mg.  
C.C: 1716622939  
**LECTOR 2 (MIEMBRO)**

Ing. Benjamin Velastegui Tapia, Mg.  
C.C: 0502547649  
**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi formación académica ya que me ha dado salud y vida para poder lograrlo y hoy poder celebrarlo con las personas que más quiero. Expreso mi profundo agradecimiento a mi familia por su apoyo incondicional, motivación y confianza en todo momento, especialmente a mis padres que siempre me dieron una palabra de aliento para seguir adelante y con el anhelo de llamarme con orgullo Ingeniera hoy solo quiero decirles que les agradezco por ser un pilar fundamental en mi vida y en mi corazón los amo mucho.*

***Nancy Carolina Toapanta Llano***

## **DEDICATORIA**

*Dedico esta tesis a Dios, por ser mi guía, mi fortaleza y mi luz en cada paso de este camino. Gracias por darme sabiduría, perseverancia y la oportunidad de cumplir esta meta.*

*A mi angelito del cielo Wilson que me cuida desde el cielo el cual estaría orgulloso de mi.*

*A mis padres los cuales amo con todo mi corazón y lo son todo para mí, les dedico mi triunfo.*

*A mi compañero de vida José el cual me a enseñado que todo en esta vida se puede y el que nunca me a dejado caer, te doy las gracias por siempre confiar en mí y por tu amor incondicional.*

*A mi ahijada Dafne la cual ha sido la luz de mis ojos y el motivo de mi alegría con cada ocurrencia suya.*

*A mis hermanas y hermanos que siempre me apoyaron y me aconsejaron a lo largo de mi vida hoy les digo muchas gracias de todo corazón.*

***Nancy Carolina Toapanta Llano***

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**TÍTULO: “EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIOAMBIENTAL GENERADO POR  
EL RUIDO DE LAS BLOQUERAS EN LA COMUNIDAD EL BOLICHE,  
PROVINCIA DE COTOPAXI”.**

**Autor:**  
Toapanta Llano Nancy Carolina

**RESUMEN**

La comunidad el Boliche, en el cantón Latacunga, presenta una concentración de bloqueras cuya actividad genera preocupación por sus efectos en la calidad acústica y el bienestar local. El objetivo del estudio fue evaluar el impacto socio-ambiental del ruido industrial producido por estas instalaciones y proponer medidas de mitigación acordes al contexto territorial. Se desarrolló una investigación de enfoque mixto, con predominio cuantitativo, de tipo no experimental, transversal y de campo. El componente cuantitativo se basó en el monitoreo de niveles de presión sonora equivalente (Leq) mediante un sonómetro clase 2 con ponderación A, en cinco puntos representativos de zonas productivas, educativas, residenciales y de transición. Se obtuvieron 380 registros válidos correspondientes a intervalos de integración acústica validados tras el proceso de depuración de datos. Los datos se procesaron en RStudio y se integraron en QGIS para el análisis espacial. La comparación con los límites diurnos del TULSMA complementó la evaluación normativa. El componente cualitativo incluyó observación directa, análisis del uso del suelo, una matriz de Leopold y la construcción de un índice integrado de riesgo mediante normalización min-max. Los resultados evidencian una exposición acústica sostenida: el 92,6 % de los registros supera el límite diurno de 55 dB(A). Los puntos productivos y educativos (P1, P2 y P3) presentan promedios entre 63,6 y 66,7 dB(A), mientras el entorno escolar (P4) registra 58,18 dB(A). La zona de referencia (P5) evidencia la menor exposición con 50,60 dB(A). Los impactos más críticos se concentran en la Unidad Educativa Germánico Rivadeneira y en los accesos a la comunidad. Se concluye que el ruido de las bloqueras constituye un problema de contaminación acústica e inequidad territorial, por lo que se proponen medidas diferenciadas en la fuente, trayectoria y receptor, junto con la delimitación de zonas de preservación acústica.

**Palabras clave:** Impacto territorial, gestión ambiental local, bienestar comunitario, ruido industrial, planificación sostenible.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES**

**THEME: “EVALUATION OF THE SOCIO-ENVIRONMENTAL IMPACT GENERATED BY THE NOISE OF THE BLOCK MACHINES IN THE COMMUNITY OF EL BOLICHE, PROVINCE OF COTOPAXI”.**

**Author:**  
Toapanta Llano Nancy Carolina

**ABSTRACT**

The el Boliche community, in the Latacunga canton, has a concentration of block factories whose activity generates concern about their effects on acoustic quality and local well-being. The objective of the study was to evaluate the socio-environmental impact of the industrial noise produced by these facilities and to propose mitigation measures according to the territorial context. A mixed approach was developed, with a predominance of quantity, of a non-experimental, cross-sectional and field type. The quantitative component was based on the monitoring of equivalent sound pressure ( $L_{eq}$ ) levels using an A-weighted class 2 sound level meter, at five representative points of productive, educational, residential and transition areas. During 27 days in January 2026, 380 valid records were obtained corresponding to acoustic integration intervals validated after the data cleansing process. The data were processed in RStudio and integrated into QGIS for spatial analysis. Comparison with the TULSMA daytime limits complemented the normative assessment. The qualitative component included direct observation, land use analysis, a Leopold matrix, and the construction of an integrated risk index through min–max normalization. The results show sustained acoustic exposure: 92.6% of the recordings exceed the daytime limit of 55 dB(A). The productive and educational points (P1, P2 and P3) show averages between 63.6 and 66.7 dB(A), while the school environment (P4) registers 58.18 dB(A). The reference area (P5) shows the lowest exposure with 50.60 dB(A). The most critical impacts are concentrated in the Germánico Rivadeneira Educational Unit and in the accesses to the community. It is concluded that the noise of the block machines constitutes a problem of noise pollution and territorial inequality, so differentiated measures are proposed in the source, trajectory and receiver, together with the delimitation of acoustic preservation zones.

**Keywords:** Territorial impact, local environmental management, community well-being, industrial noise, sustainable planning.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	1
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	4
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	8
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	8
6. OBJETIVOS.....	11
6.1 General.....	11
6.2 Específicos.....	11
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	12
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA.....	13
8.1 Ruido ambiente.....	13
8.2 Acústica ambiental.....	13
8.3 Normas y modelos técnicos.....	14
8.4 Ruido industrial.....	14
8.4.1 Contexto urbano y periurbano.....	15

8.5	Efectos del ruido en la salud humana .....	17
8.6	Dimensión social del ruido: percepción, molestia y bienestar.....	17
8.7	Indicadores del ruido ambiental.....	17
8.8	Identificación de zonas críticas .....	19
8.9	Estrategias de mitigación acústica .....	20
8.10	Marco legal .....	21
8.10.1	Derecho al ambiente sano .....	22
8.10.2	Reconocimiento del ruido como contaminante físico.....	23
8.10.3	Regulación normativa del ruido.....	23
9.	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	24
10.	AREA DE ESTUDIO .....	24
11.	METODOLOGÍA.....	27
11.1	Métodos.....	28
11.2	Método cuantitativo .....	28
11.3	Método cualitativo .....	29
11.4	Método analítico .....	29
11.5	Método inductivo-descriptivo.....	30
11.6	Método cartográfico.....	30
11.7	Método de evaluación del impacto ambiental .....	30
11.8	Técnicas de recolección de datos.....	32
11.8.1	Registro acústico.....	32
11.8.2	Observación directa .....	32
11.8.3	Georeferenciación de puntos de muestreo .....	33
11.8.4	Revisión bibliográfica.....	33
11.9	Instrumentos.....	34
11.10	Determinación de puntos de medición.....	35
11.10.1	Puntos de monitoreo .....	35
11.11	Procedimiento de monitoreo acústico.....	38

11.11.1	Preparación del equipo y calibración inicial .....	38
11.11.2	Respuesta temporal Fast, adecuada para registrar variaciones rápidas del sonido. 38	
11.11.3	Instalación del equipo en cada punto .....	38
11.11.4	Inicio manual de cada medición .....	40
11.11.5	Duración de los intervalos .....	41
11.11.6	Finalización del intervalo y registro manual.....	41
11.11.7	Descarga diaria de datos .....	41
11.11.8	Cronograma de mediciones y horarios .....	42
11.12	Normalización de indicadores.....	43
11.13	Operacionalización de variables .....	44
11.14	Procesamiento y análisis de datos.....	45
11.14.1	Construcción del índice integrado de riesgo acústico.....	47
12.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	49
12.1	Resultados del objetivo específico 1 .....	49
12.1.1	Análisis estadístico descriptivo.....	49
12.1.2	Caracterización de los niveles de ruido .....	52
12.1.3	Frecuencia de superación de límites normativos .....	55
12.1.4	Promedios, máximos y mínimos por punto .....	57
12.1.5	Tendencia horaria del ruido .....	61
12.1.6	Dispersión y variabilidad .....	62
12.2	Resultados del objetivo específico 2.....	66
12.2.1	Análisis comparativo por zonas .....	66
12.2.2	Zonas de mayor exposición: áreas productivas y mixtas.....	67
12.2.3	Zonas de exposición moderada: entorno educativo .....	68
12.2.4	Zonas de menor exposición: área rural de transición.....	70
12.2.5	Discusión crítica: desigualdad acústica como problema estructural.....	71
12.2.6	Comparación de los niveles de ruido medidos con la normativa TULSMA ...	72

12.3	Resultados del objetivo específico 3 .....	73
12.3.1	Evaluación integrada del riesgo acústico .....	73
12.3.2	Formulación de medidas de mitigación .....	76
12.3.3	Estrategias de mitigación acústica .....	76
12.3.4	Priorización territorial y sostenibilidad de las medidas propuestas .....	78
12.4	Valoración del impacto socio-ambiental del ruido .....	78
13.	IMPACTOS .....	81
13.1	Impactos técnicos .....	81
13.2	Impactos sociales .....	81
13.3	Efectos ambientales .....	82
14.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	83
15.	BIBLIOGRAFÍA .....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios del proyecto .....	8
Tabla 2. Actividades por objetivos .....	12
Tabla 3. Indicadores del ruido ambiental.....	18
Tabla 4. Instrumentos aplicados a la investigación .....	34
Tabla 5. Operacionalización de la variable de estudio .....	44
Tabla 6. Categorización de la sensibilidad del receptor .....	45
Tabla 7. Puntos de muestreo .....	49
Tabla 8. Niveles de presión sonora equivalente Leq [dB(A)] .....	53
Tabla 9. Frecuencia de superación del límite normativo .....	56
Tabla 10. Resumen estadístico por punto .....	58
Tabla 11. Comparación de resultados con la normativa .....	72
Tabla 12. Dimensiones integradas del riesgo acústico por punto de monitoreo.....	74
Tabla 13. Estrategias de mitigación acústica basadas en el riesgo integrado .....	77
Tabla 14. Matriz de Leopold aplicada al impacto del ruido industrial .....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio .....	26
Figura 2. Puntos de monitoreo .....	51
Figura 3. Distribución del Leq por punto de muestreo .....	54
Figura 4. Tendencia horaria del Leq (dB) por punto de monitoreo .....	61
Figura 5. Distribución de ruido Leq.....	63
Figura 6. Promedio de Leq por punto .....	67
Figura 7. Franjas horarias críticas .....	69
Figura 8. Radar de intensidad de amenaza acústica.....	75

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

### **Título del proyecto:**

Evaluación del impacto socio-ambiental generado por el ruido de las bloqueras en la comunidad el Boliche, provincia de Cotopaxi.

## 2. INTRODUCCIÓN

El ruido ambiental es hoy uno de los contaminantes físicos más extendidos y menos reconocidos en las políticas públicas, a pesar de sus efectos acumulativos sobre la salud humana y el ambiente, siendo definido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018) como todo sonido no deseado que interfiere con las actividades humanas, perturba el bienestar o produce efectos adversos para la salud (p. 3). Técnicamente, el ruido se mide en decibeles (dB) a partir del nivel de presión sonora continuo equivalente, que representa la exposición sonora promedio ponderada en el tiempo, y la OMS (2018) determina que niveles superiores a 55 dB(A) en el día y 45-50 dB(A) en la noche causan molestias, alteraciones del sueño y efectos fisiológicos, afectando directamente el bienestar de las poblaciones.

Los efectos del ruido van más allá de la audición. Basner et al. (2014) demostraron que la exposición crónica a altos niveles de ruido puede causar alteraciones cardiovasculares, trastornos del sueño, estrés psicológico y deterioro cognitivo, incluso en ausencia de pérdida auditiva. Estos autores señalan que los efectos no auditivos del ruido (como la activación crónica del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal y la liberación sostenida de cortisol) contribuyen al desarrollo de enfermedades crónicas y deterioran la productividad y la calidad de vida. En la misma línea, Smith et al. (2022) y la OMS (2018) destacan que el ruido ambiental interrumpe los ciclos de sueño y reduce la recuperación fisiológica nocturna, lo que puede aumentar la fatiga y el riesgo de accidentes laborales y de tráfico.

En Latinoamérica, donde el tráfico no es la única fuente de ruido y existen también ruidos agroindustriales y manufactureros, los impactos socio-ambientales son significativos: Kanu et

al. (2025) mencionan que las fuentes constantes de ruido mecánico, como maquinaria pesada o equipos industriales, superan con frecuencia los 75 dB(A), sobrepasando los límites recomendados por agencias internacionales, y su exposición prolongada causa efectos fisiológicos y psicológicos, como irritabilidad, ansiedad y deterioro del bienestar percibido. Por su parte, Alzain et al. (2021) señalan que el incumplimiento de las normas técnicas en los ambientes industriales agrava la carga de enfermedad y los costos socioeconómicos, especialmente en áreas rurales con escasa vigilancia ambiental.

La legislación ecuatoriana actual (TULSMA, 2015) define como niveles máximos 55 dB(A) para zonas rurales y 60 dB(A) para zonas residenciales mixtas, pero estudios locales han demostrado que las comunidades rurales localizadas en la vecindad de industrias superan estos límites, creando una diferencia entre la legislación y la realidad ambiental, ya que no se cuenta con la capacidad institucional para realizar monitoreos acústicos constantes. En este sentido, Santurtún et al. (2022) encontraron que incluso niveles sonoros moderados, generados por actividades domésticas o comunitarias, deterioran la calidad de vida y generan molestias psicológicas equivalentes al ruido urbano o de tráfico.

El ruido industrial, como el de las bloqueras, es una forma importante de contaminación acústica en comunidades rurales de Ecuador, ya que estas fábricas usan mezcladoras, compresoras, vibradoras y motores eléctricos que generan más de 70 dB(A) a corta distancia, una exposición continua para trabajadores y vecinos. En el Boliche (Cotopaxi), las bloqueras se ubican junto a zonas habitadas sin barreras naturales o estructurales de aislamiento acústico, y la población se queja de alteraciones del sueño, irritabilidad, interferencia con actividades diarias y deterioro del entorno, evidenciando un problema socio-ambiental que va más allá de lo técnico.

Según Gannouni et al. (2024), el ruido ambiental se ha de estudiar en sus dimensiones física, social y psicológica, como un determinante estructural de la salud pública, ya que sus efectos

no dependen solo de su intensidad, sino también de su frecuencia, duración y contexto social de percepción. En línea con esto, Sackey et al. (2024) encontraron que, en locales comerciales con ruido constante, pero por debajo de los límites laborales, la exposición prolongada se relaciona con cefaleas, tensión muscular y estrés psicológico, demostrando que la percepción y valoración subjetiva del ruido son variables clave para entender su impacto socio-ambiental. Especialmente, Wu et al. (2025) y Zhao et al. (2023) señalan que el ruido ambiental no se distribuye de manera uniforme en el territorio, sino que se concentra en “zonas críticas” o hot spots, donde se superponen infraestructuras productivas y densidad poblacional, llegando a superar en un 30 % los límites normativos diurnos, en un patrón de desigualdad acústica que perjudica a las poblaciones más vulnerables, como manifestación de desigualdades ambientales más amplias, en las cuales las comunidades con menor capacidad de gestión o política soportan los mayores niveles de exposición sonora. En el caso rural ecuatoriano, la ausencia de instrumentos técnicos de medición (como mapas sonoros o estaciones de monitoreo continuo) ha impedido conocer con precisión los impactos del ruido industrial. Como afirman Hayward y Helbich (2024), las zonas con menor desarrollo institucional son más vulnerables ambientalmente, ya que al no existir mecanismos de vigilancia no se logran identificar los riesgos de exposición y generar respuestas oportunas, a lo que se suma que, como indican Oluwaseun et al. (2023), el ruido afecta la salud física, la convivencia social, la comunicación y la sensación de bienestar colectivo, convirtiéndose en un problema de cohesión social.

En este contexto, el Boliche es un caso paradigmático para estudiar los impactos socio-ambientales del ruido industrial en el territorio rural. La mezcla entre las actividades productivas y las viviendas expuestas sin planificación territorial genera conflictos entre el desarrollo económico y el bienestar ambiental, y la sensación de abandono institucional agudiza la sensación de injusticia ambiental entre los pobladores, quienes asocian el ruido con pérdida de tranquilidad, deterioro del paisaje sonoro y perjuicios a la salud.

Por ello, el objetivo de esta investigación es determinar el impacto socio-ambiental que provocan las bloqueras en la comunidad el Boliche, provincia de Cotopaxi, identificando las fuentes emisoras, midiendo los niveles de presión sonora, analizando su distribución espacial y valorando la percepción comunitaria sobre sus efectos. Se asume que la exposición prolongada a niveles superiores a 55 dB(A) sobrepasa los estándares nacionales y de la OMS (2018), lo que tiene efectos negativos para la salud y el bienestar de la población.

Además, busca proporcionar evidencia empírica para informar las políticas locales de gestión del ruido y fortalecer la planificación territorial sostenible, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente el ODS 3 (Salud y bienestar) y el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), para hacer visible el ruido industrial rural como un problema de salud pública y justicia ambiental y generar una línea base acústica georreferenciada para la toma de decisiones ambientales, sanitarias y comunitarias en Cotopaxi.

### **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

La valoración de las repercusiones sociales y ambientales que el ruido de las bloqueras ha tenido sobre la comunidad el Boliche se basa en el hecho de que la contaminación acústica, antes considerada un problema poco importante, ahora es vista como una amenaza emergente para la salud pública a nivel mundial. Investigaciones recientes de síntesis y revisión científica indican que el ruido ambiental está asociado con una carga de enfermedad considerable, ya que se asocia con trastornos mentales, problemas cardiovasculares, alteraciones del sueño y un deterioro del bienestar subjetivo. Investigaciones como las de Santurtún et al. (2022), que se enfocan en el norte de España, demuestran que el ruido doméstico tiene un impacto significativo sobre la calidad de vida y el bienestar de las personas. Además, la revisión tipo "umbrella" que publicó Chen et al. (2023), examina de forma crítica la correlación entre la exposición a ruido ambiental y varios resultados de salud, corroborando así el tamaño y la

solidez de dichas asociaciones. Además, se incluye un estudio reciente acerca del impacto en la salud humana que tienen el ruido ambiental y ocupacional, en el que se describen tanto los efectos auditivos como los no auditivos y se reafirma la concepción de que el ruido debe ser visto como un elemento de riesgo estructural en las políticas ambientales y sanitarias (Gannouni et al., 2024). En estas circunstancias, la existencia de fábricas de bloques en funcionamiento constante en una comunidad rural como el Boliche deja de ser un asunto local aislado y pasa a ser un ejemplo específico de una problemática que es reconocida por la comunidad científica a nivel mundial.

El problema tiene una dimensión social que también es crítica, ya que el ruido no solamente afecta la salud física, sino que también transforma las relaciones comunitarias y la vida diaria. Estudios llevados a cabo en barrios costeros, como el de Oluwaseun et al. (2023), revelan que la expansión del ruido produce incomodidades duraderas y deteriora la percepción de habitabilidad. Esta situación se ve agravada por el escaso conocimiento de las comunidades sobre las causas y efectos de la contaminación acústica. Un estudio reciente en *Environmental Research* revela que, de manera convergente, los barrios con menos recursos económicos tienden a experimentar niveles de ruido más altos. Esto incluye un elemento de desigualdad ambiental y justicia social en la conversación (Hayward & Helbich, 2024).

Simultáneamente, la labor de Santurtún y su equipo corrobora que el malestar por ruido conlleva un deterioro directo del bienestar mental y emocional. Por otro lado, estudios sobre la reacción de la comunidad al ruido en Quito, como el realizado por Puyana-Romero, Cueto, Ciaburro y sus colaboradores, demuestran que una exposición constante provoca problemas para dormir, irritabilidad y un aumento en la percepción de vulneración del derecho a tener un entorno saludable. Todo esto subraya la importancia de examinar detalladamente cómo el ruido de las bloqueras afecta la vida emocional y social de los residentes de el Boliche.

Los estudios más recientes revelan, desde un enfoque territorial, que el ruido ambiental no se distribuye uniformemente en el espacio. En su lugar, se agrupa en ciertos "puntos calientes" donde la interacción de las infraestructuras, los usos del suelo y las rutinas de la gente incrementan el impacto acústico. El estudio de análisis espaciotemporal de quejas vecinales por ruido en los barrios de Beijing demuestra que las denuncias se concentran en áreas concretas y cambian según el horario, lo cual demanda una gestión precisa y diferenciada del ruido a nivel barrial (Wu et al., 2025). Como complemento, Li, Cao y sus coautores analizan los patrones espaciotemporales de sonidos ambientales mediante datos de sensores urbanos. Ellos evidencian que para entender el paisaje sonoro es necesario combinar las mediciones objetivas con información contextual acerca de la dinámica social y de cómo se utiliza el espacio (Zhao et al., 2023).

En tiempos más recientes, se han creado indicadores como el "índice de molestia por ruido", sugerido en investigaciones sobre administración urbana. Estos indicadores fusionan niveles de sonido medidos con percepciones subjetivas con el objetivo de optimizar la predicción del efecto real del ruido en las distintas áreas urbanas (Jiao et al., 2025). Estos métodos son muy relevantes para el Boliche, ya que la ubicación de las bloqueras, los horarios de funcionamiento y la proximidad a espacios comunitarios y viviendas determinan directamente el nivel de molestia y exposición de la población.

En Ecuador, la regulación del ruido ambiental ha progresado en años recientes; sin embargo, según la literatura, para adaptar las normativas internacionales a los contextos locales es necesario contar con información técnica concreta y análisis de casos. Los estudios de respuesta comunitaria al ruido en puntos críticos de una vía principal en Quito, realizados por Puyana et al. (2022), demuestran que la unión de encuestas de percepción, mediciones acústicas y análisis espaciales posibilita determinar zonas prioritarias para el manejo del ruido y guiar los cambios normativos y urbanísticos. Este tipo de evidencia se complementa con

investigaciones que examinan los desafíos de la normativa medioambiental en Ecuador en relación al ruido, destacando la importancia de incluir aspectos locales (como la densidad de población, el tipo de construcción, los patrones de movilidad y las labores productivas) en los procedimientos para controlar el ruido. Simultáneamente, documentos técnicos recientes de la Organización Mundial de la Salud (2022), subrayan que el ruido ambiental no solo produce incomodidades, sino que también acrecienta el peligro de sufrir trastornos del sueño, hipertensión, deterioro cognitivo y enfermedades cardiovasculares. Esto pone de relieve el deber de los Estados de convertir estas directrices en acciones específicas para monitorear y reducir estos problemas. La producción de bloques en el Boliche es una actividad económica importante, pero produce altos niveles de ruido que perjudican la salud y el bienestar de la población. Por ello, este proyecto tiene como objetivo colmar una carencia informativa local con el fin de respaldar un manejo ambiental más equitativo y eficiente.

La razón por la que el proyecto es justificable ya que se basa en su apoyo directo y tangible al fortalecimiento de la comunidad el Boliche en términos sociales, económicos y ambientales. En el ámbito social, la investigación creará una base técnica local que va a posibilitar localizar áreas y momentos con mayor impacto acústico en zonas vulnerables. Esto favorecerá el diálogo informado dentro de la comunidad y disminuirá los conflictos entre la población y la actividad productiva. Desde el punto de vista económico, la iniciativa brinda datos propios que guía mejoras en las operaciones y estrategias de mitigación que sean factibles para las bloqueras. Esto beneficia su sostenibilidad en términos de producción, la protección de fuentes locales de empleo y la estabilidad económica a nivel parroquial.

El principal aporte de esta investigación es generar un precedente de base acústica georreferenciada en la comunidad el Boliche, donde no existen antecedentes de medición ni diagnóstico del ruido industrial generado por bloqueras, integrando mediciones objetivas de presión sonora, análisis territorial mediante SIG y evaluación socio-ambiental, demostrando

que la contaminación sonora es un problema de salud pública y justicia ambiental en un contexto rural-productivo, y entregando información técnica verificable y estrategias de mitigación adaptadas a la realidad local para compatibilizar la actividad productiva con el bienestar comunitario, siendo un insumo directo para la gestión ambiental, planificación territorial y toma de decisiones de las autoridades locales y la comunidad.

#### 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

En la Tabla 1 se muestran los residentes de la comunidad el Boliche, que se encuentra situada en el cantón Latacunga, parroquia rural San Juan de Pastocalle, son los beneficiarios directos. La población que no vive en la zona de influencia directa del proyecto es el grupo que se considera beneficiario indirecto.

**Tabla 1.**

*Beneficiarios del proyecto*

<b>Beneficiarios directos</b>	<b>Beneficiarios indirectos</b>
Comunidad el Boliche	Parroquia San Juan de Pastocalle
Hombres: 282 Hb.	Hombres: 7 184 Hb.
Mujeres: 318 Hb.	Mujeres: 7 700 Hb.
Total: 600 Hb.	Total: 14 884 Hb.

*Nota.* Elaborado con base en datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos. Población por sexo al nacer, según provincia, cantón y área de residencia. (INEC, 2023).

En la tabla 1 se especifican los beneficiarios directos e indirectos del proyecto, separados por género. La parroquia San Juan de Pastocalle es la que tiene a los beneficiarios indirectos, mientras que la comunidad el Boliche cuenta con los beneficiarios directos. En cada caso, se muestra la cantidad de hombres y mujeres, así como el total de habitantes.

#### 5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Hoy en día, la contaminación acústica es vista como un problema de salud pública y de calidad de vida, no solo en áreas urbanas, sino también rurales. La exposición a un ruido elevado durante un periodo largo de tiempo, según datos epidemiológicos y experimentales, causa no solo pérdida auditiva, sino también efectos no auditivos como trastornos del sueño, molestias persistentes, problemas para concentrarse, hipertensión, incremento del estrés y riesgo

cardiovascular. Basner et al. (2014) sintetizan estos efectos y determinan que el ruido ambiental es un factor de riesgo significativo para la salud pública y la calidad de vida de las comunidades. El descanso durante la noche es uno de los sectores más vulnerables a la contaminación acústica. Smith et al. (2022), han actualizado el estudio sistemático de la OMS sobre sueño y ruido, y sus hallazgos muestran que el ruido ambiental modifica la estructura del sueño, provoca más despertares por la noche y ocasiona somnolencia durante el día, aunque los niveles de ruido sean considerados "moderados". Estas conclusiones concuerdan con las guías sobre el ruido ambiental en la región europea de la Organización Mundial de la Salud (2018), las cuales sugieren límites concretos para la exposición comunitaria al ruido, con el objetivo de salvaguardar el bienestar y la salud de los ciudadanos.

Al mismo tiempo, investigaciones recientes acerca del ruido comunitario y ocupacional destacan que las fuentes industriales y de industria ligera, como fábricas de bloques, ladrilleras, talleres y otras instalaciones con maquinaria mecánica, producen exposiciones permanentes que impactan a la población cercana a los trabajadores. En una revisión de la bibliografía acerca del ruido ocupacional, Kanu et al. (2025), indican que los niveles de ruido entre 75 y 85 dB(A) mantenidos en el tiempo están vinculados a impactos psicológicos y fisiológicos importantes. Además, enfatizan la importancia de implementar medidas de control en el origen, el trayecto y el receptor. Igual, las revisiones de Alzain et al. (2021), acerca de ruido industrial y comunitario subrayan que, si no hay un monitoreo o una regulación apropiados, este tipo de fuentes puede producir una carga de enfermedad y costos socioeconómicos significativos.

La dimensión social del problema es igualmente crítica. Estudios realizados en áreas con actividad económica intensa, mercados y espacios públicos revelan que las personas suelen considerar el ruido como una molestia permanente que afecta la calidad de vida, causa irritabilidad y obstaculiza la realización de actividades diarias. Sackey et al. (2024), al analizar las percepciones de salud y los niveles de ruido en clientes de un mercado, identificaron que el

volumen sonoro superaba las recomendaciones y que una gran cantidad de individuos asociaban el ruido con estrés, cefaleas y problemas para descansar.

La comunidad el Boliche, situada en la provincia de Cotopaxi, tiene un diseño territorial que incluye viviendas, lugares de uso comunitario y actividades productivas como las bloqueras (fábricas de bloques para construcción). Estas bloqueras utilizan maquinaria que produce ruidos mecánicos continuos por varias horas diarias, lo cual podría exponer a los habitantes de manera ininterrumpida a niveles de presión sonora que podrían exceder los límites establecidos por la normativa ecuatoriana sobre ruido ambiental y por la OMS. Sin embargo, previo a la presente investigación, no existían mediciones sistemáticas del ruido en la comunidad el Boliche. Tampoco existe información local sobre el ruido, ni mapas, ni análisis oficiales sobre la exposición comunitaria.

La falta de información técnica es un gran problema porque dificulta que los gobiernos autónomos descentralizados pongan en marcha medidas de gestión. Además, limita la capacidad para medir con precisión el impacto social y ambiental, y complica la creación de estrategias sostenibles que se ajusten a las condiciones rurales. En el Boliche las decisiones se toman sin datos, lo que incrementa la probabilidad de disputas entre el bienestar de la población y la actividad productiva. Esto contrasta con lo que sugieren las pautas internacionales: basar las decisiones en estudios de percepción y mediciones objetivas.

En este contexto, se podría plantear el problema principal de la investigación de esta forma. No está claro en la comunidad el Boliche cuál es el efecto que produce en términos sociales y ambientales el ruido de las bloqueras. Tampoco hay datos sistemáticos acerca de los niveles de ruido, las áreas más perjudicadas y las eventuales medidas para mitigar a nivel técnico y socialmente viables. Esta circunstancia hace necesario comprobar cuál es el impacto social y medioambiental que causa el ruido generado por las bloqueras en la localidad de el Boliche, en la provincia de Cotopaxi. Esto se puede hacer a través de la caracterización del área investigada

y de los puntos de monitoreo. También se debe considerar el establecimiento de una base de datos con los niveles sonoros y el diseño de estrategias para mitigar el problema. Estas estrategias deben hacer posible la conciliación entre la actividad productiva y la salud.

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1 General**

Evaluar el impacto socio-ambiental generado por el ruido de las bloqueras en la comunidad el Boliche.

### **6.2 Específicos**

- Diagnosticar la situación actual del área de estudio y ubicación de puntos de monitoreo.
- Levantar una base de datos sobre los niveles de ruido de las bloqueras mediante el sonómetro y compararlos con la normativa vigente.
- Proponer estrategias de mitigación que minimicen el ruido de las bloqueras.

## 7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS

### OBJETIVOS PLANTEADOS

Las actividades que se han planeado para alcanzar los objetivos del proyecto, junto con la metodología utilizada y los resultados esperados, se muestran en la Tabla 2. La información se estructura en función de cada objetivo particular, especificando las acciones a realizar, los métodos y técnicas empleadas y los resultados previstos para cada etapa del análisis.

**Tabla 2.**

#### *Actividades por objetivos*

Objetivo	Actividad	Metodología	Resultados esperados
1. Caracterizar el área de estudio y definir los puntos de monitoreo del ruido.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Delimitación del área de influencia de las bloqueras.</li> <li>- Identificación de viviendas, escuelas y espacios sensibles.</li> <li>- Georreferenciación de las fuentes emisoras y selección de puntos de medición conforme A ISO 1996-2.</li> <li>- Elaboración de un plano base en SIG.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trabajo de campo.</li> <li>- GPS y Sistemas de Información Geográfica (QGIS/ArcGIS).</li> <li>- Análisis espacial de zonas críticas.</li> <li>- Levantamiento fotográfico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mapa detallado del área de estudio.</li> <li>- Ubicación precisa de puntos de monitoreo.</li> <li>- Identificación de zonas de mayor vulnerabilidad acústica.</li> <li>- Base cartográfica para el análisis posterior.</li> </ul>
2. Levantar una base de datos sobre los niveles de ruido generados por las bloqueras mediante sonómetro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medición de niveles acústicos (Leq, Lmax, Lmin) en distintos horarios.</li> <li>- Registro de condiciones meteorológicas.</li> <li>- Verificación de cumplimiento con límites nacionales (TULSMA) y recomendaciones de la OMS.</li> <li>- Organización y limpieza de datos para análisis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonómetro clase 2 (norma IEC 61672).</li> <li>- Fichas de monitoreo acústico.</li> <li>- Estadística descriptiva (media, percentiles, variabilidad).</li> <li>- Comparación normativa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Base de datos validada de niveles de ruido.</li> <li>- Identificación de horarios y puntos con mayor presión sonora.</li> <li>- Determinación del grado de cumplimiento normativo.</li> <li>- Insumo técnico para la evaluación del impacto socio-ambiental.</li> </ul>
3. Proponer estrategias de mitigación que minimicen el ruido de las bloqueras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de alternativas de control en la fuente.</li> <li>- Revisión de experiencias y soluciones aplicadas en industrias similares.</li> <li>- Diseño de un plan básico de mitigación acústica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión técnica de normas (ISO 9613-1/2).</li> <li>- Entrevistas semiestructuradas a operadores y comunidad.</li> <li>- Análisis comparativo de opciones de mitigación.</li> <li>- Matriz de priorización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Propuesta integral de mitigación del ruido.</li> <li>- Estrategias sostenibles con viabilidad comunitaria.</li> <li>- Recomendaciones para reducir la exposición al ruido.</li> <li>- Lineamientos para un eventual plan de monitoreo continuo.</li> </ul>

Fuente. Elaboración propia.

## **8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA**

Para evaluar el efecto socio-ambiental del ruido industrial, es necesario contar con una base conceptual firme que incorpore saberes de la acústica ambiental, la salud pública, la ingeniería, la percepción comunitaria y la sociología del ambiente. Este segmento fundamenta teóricamente el proyecto, describiendo los principios, modelos y conceptos que posibilitan la comprensión y análisis del ruido generado por las bloqueras en la comunidad el Boliche, ubicada en la provincia de Cotopaxi.

### **8.1 Ruido ambiente**

El ruido ambiental se refiere al sonido no deseado o nocivo al exterior, producido por las actividades humanas, que perturban el bienestar, las actividades diarias o la salud de las personas. La contaminación sonora se genera principalmente por los procesos relacionados con el desarrollo urbano, productivo y de transporte, y su efecto no solo depende de su intensidad, sino también de su duración, frecuencia y contexto de exposición (Montes et al., 2024). Entre las principales fuentes de ruido se encuentran el tráfico rodado, aéreo y ferroviario, las actividades industriales y agroindustriales, las obras de construcción y las operaciones de recogida de residuos urbanos, las los cuales, al ser continuos o repetitivos, deterioran la calidad acústica del entorno y provocan efectos negativos para la salud humana y el bienestar colectivo (Oiamo & Aasvang, 2020). A esto, Stansfeld & Clark (2019) manifiestan que el ruido ambiental es un tipo de contaminación ambiental que más impacta la salud y el bienestar humano.

### **8.2 Acústica ambiental**

La investigación del ruido ambiental se basa en conceptos acústicos que posibilitan caracterizar el comportamiento del sonido, sus niveles, su difusión y sus consecuencias. Basner et al. (2014), caracterizan el ruido ambiental como un sonido no deseado capaz de impactar tanto los sistemas auditivos como los no auditivos. Ellos subrayan que incluso las exposiciones moderadas generan efectos acumulativos en términos fisiológicos. Los parámetros acústicos,

como el nivel máximo ( $L_{max}$ ), el nivel equivalente de presión sonora ( $L_{eq}$ ) y las ponderaciones de frecuencia, son fundamentales para analizar el impacto ambiental de fuentes como las bloqueras.

La Organización Mundial de la Salud (2018), sostiene que es necesario medir la exposición al ruido usando indicadores estandarizados, los cuales posibilitan la comparación entre los valores conseguidos y los límites sugeridos para salvaguardar la salud humana.

### **8.3 Normas y modelos técnicos**

La evaluación profesional del ruido se basa en normas internacionales que establecen procedimientos y métodos para su medición. La norma ISO 1996-1/2 marca pautas para la descripción, medición y evaluación del ruido ambiental, determinando las condiciones de monitoreo, los periodos de integración y los cálculos del nivel equivalente. Además, la IEC 61672 (2013), establece las especificaciones necesarias para los sonómetros de clase 2, que se emplean para obtener mediciones exactas y comparables en investigaciones ambientales y laborales.

Por otra parte, la ISO 9613-1/2 (2024), ofrece técnicas para prever la difusión del ruido en el exterior, teniendo en cuenta elementos tales como distancia, absorción atmosférica y la existencia de barreras físicas. Estos modelos posibilitan calcular la forma en que el ruido de fuentes mecánicas, como las máquinas de bloqueras, se propaga en un ambiente comunitario. Como guían la elección de los puntos de monitoreo, los procesos de medición y la evaluación posterior de los niveles registrados, estas normas son el fundamento técnico del estudio actual.

### **8.4 Ruido industrial**

Las bloqueras y otras fuentes industriales de tamaño menor producen ruido debido a la repetición de procesos mecánicos, las vibraciones de los motores y el manejo de materiales. Las exposiciones de 75 a 85 decibeles dB(A) son frecuentes en operaciones mecánicas, según

Kanu et al. (2025); estos niveles de exposición pueden tener efectos acumulativos sobre la salud del personal laboral y de los habitantes próximos.

#### **8.4.1 Contexto urbano y periurbano**

La contaminación acústica industrial es un problema ampliamente extendido no solo en ciudades, sino también en áreas rurales y periurbanas, donde la proximidad ambiental de las actividades productivas a las zonas habitadas hace que la población esté más expuesta al ruido ; hay estudios que demuestran que el ruido industrial se propaga más allá de los límites urbanos, afectando a comunidades rurales localizadas en las proximidades de las industrias, lo que convierte a la contaminación acústica en un fenómeno ampliamente distribuido y persistente en el territorio (Moravec et al., 2021; Simion et al., 2021); en estos contextos, la ausencia de barreras físicas, la falta de planificación territorial y la mezcla de usos favorecen que el ruido se extienda a las zonas habitadas.

La exposición crónica al ruido industrial en áreas rurales y periurbanas se relaciona con diversos efectos negativos para la salud humana, en términos fisiológicos, psicológicos y sociales, y estudios recientes muestran que las personas expuestas de manera continua a altos niveles de ruido industrial tienen mayor probabilidad de manifestar estrés crónico, trastornos del sueño, irritabilidad y deterioro del bienestar general, afectado la calidad de vida individual y la vida social de las comunidades expuestas (Kulkarni et al., 2025; Shepherd et al., 2016), efectos que se intensifican en el contexto rural, donde se espera persistente tranquilidad y cualquier fuente sonora. genera molestias.

Las principales fuentes de ruido industrial en estos ambientes son los procesos tecnológicos, el tráfico vehicular asociado a la producción y las actividades propias de la industria, como carga/descarga o plantas de tratamiento e instalaciones industriales, cuyos niveles sonoros pueden afectar directamente a zonas habitacionales aledañas (Moravec et al., 2021; Simion et al., 2021). Para evaluarlas se utilizan técnicas de medición acústica con sonómetros y software

especializado que permiten diferenciarlas y caracterizarlas; el mapeo de ruido y las cámaras acústicas han sido útiles para identificar, localizar y jerarquizar las principales fuentes dominantes de emisión sonora en ambientes complejos (Moravec et al., 2021; Ponomarev et al., 2022).

Ante esta problemática, la literatura propone medidas de mitigación enfocadas principalmente en disminuir el ruido en la fuente, a través de medidas técnicas como barreras acústicas, modificación de equipos y procesos industriales para reducir el ruido antes de que llegue a zonas habitadas; Complementariamente, el uso de soluciones basadas en la naturaleza, como vegetación y cobertura de suelo, también son una alternativa para atenuar el ruido en áreas rurales, ya que bosques, corredores vegetados y pastizales de hierbas altas pueden reducir el ruido, aunque su efectividad depende de la estacionalidad, el tipo de vegetación y el terreno (Gaudon et al., 2022).

Desde la perspectiva de la gestión ambiental, las políticas públicas y la planificación territorial son herramientas para controlar el ruido industrial en áreas rurales y periurbanas, y las encuestas periódicas a la población expuesta y la planificación de acciones concretas contra el ruido pueden crear ajustadas a las realidades locales, en las cuales la participación ciudadana genera aceptación social y efectividad en las acciones para disminuir la contaminación sonora (Benz et al., 2025; Michaud et al., 2022). Estudios de caso, como el de una planta de tratamiento de aguas residuales, demuestran que las técnicas medidas apropiadas pueden disminuir significativamente el ruido en las comunidades vecinas (Moravec et al., 2021), y la investigación realizada en el sur de Ontario muestra que la combinación de diferentes tipos de cobertura vegetal y los cambios estacionales pueden mejorar la atenuación del ruido, lo que refuerza la necesidad de enfoques integrados para controlar la contaminación acústica en estos paisajes (Gaudon et al., 2022).

### **8.5 Efectos del ruido en la salud humana**

Los efectos del ruido en la salud están ampliamente respaldados por la evidencia científica. Según Basner et al. (2014), el ruido ambiental aumenta la probabilidad de que ocurran trastornos del sueño, estrés a nivel fisiológico, alteraciones cognitivas y enfermedades cardiovasculares. Los autores determinan que el ruido es un factor de riesgo para la salud pública, incluso si no llega a niveles extremos.

Smith et al. (2022), observan que el ruido perturba la estructura del sueño, fomenta los despertares frecuentes y causa somnolencia durante el día, lo que repercute negativamente en la calidad de vida. La OMS (2022), asegura que la exposición al ruido durante la noche es uno de los elementos más cruciales para la salud de las comunidades.

### **8.6 Dimensión social del ruido: percepción, molestia y bienestar**

La percepción de incomodidad que los residentes expresan en respuesta a la exposición prolongada es la base de la dimensión social del ruido. Sackey et al. (2024), evidenciaron que las comunidades expuestas a ruido constante padecen de estrés, irritabilidad, cefaleas y problemas para llevar a cabo actividades diarias, incluso cuando los niveles de ruido no superan los límites ocupacionales.

### **8.7 Indicadores del ruido ambiental**

Para la evaluación del ruido ambiental y la caracterización de su impacto socio-ambiental, la literatura científica y las normas técnicas internacionales recomiendan usar indicadores acústicos estandarizados que expresen de manera objetiva la magnitud, variabilidad y distribución temporal del sonido, los cuales permiten compararlo con los límites normativos y las recomendaciones de organismos internacionales, identificar zonas críticas y orientar la toma de decisiones en la planificación territorial y la gestión ambiental del ruido. En este marco, los indicadores más empleados en estudios de ruido ambiental e industrial son el nivel sonoro

continuo equivalente (Leq), los niveles máximo y mínimo (Lmax y Lmin) y los niveles percentiles (L10, L50 y L90), que se resumen en la Tabla 3.

**Tabla 3.**

*Indicadores del ruido ambiental*

<b>Indicador</b>	<b>Definición</b>	<b>Uso</b>	<b>Aplicación</b>
<b>Leq</b>	Nivel sonoro medio a lo largo de un período de tiempo determinado.	Ruido ambiental y seguridad laboral.	Planificación urbana y estudios de contaminación acústica.
<b>Lmáx</b>	Nivel de presión sonora más alto registrado durante la medición.	Evaluación de eventos de ruido máximo.	Salas de música y zonas urbanas.
<b>Lmin</b>	Nivel de presión sonora más bajo registrado durante la medición.	Comprensión del ruido de referencia del entorno.	Hospitales y zonas residenciales.
<b>L10</b>	Nivel de sonido superado durante el 10 % del tiempo de medición.	Identificación de los niveles de ruido más altos.	Estudios de ruido urbano.
<b>L50</b>	Nivel sonoro superado durante el 50 % del tiempo de medición.	Medida de tendencia central del ruido.	Evaluaciones generales del ruido.
<b>L90</b>	Nivel de sonido superado durante el 90 % del tiempo de medición.	Identificación de los niveles de ruido de fondo.	Instalaciones sanitarias y ruido laboral.

Nota. La presente tabla fue construida en base a la literatura de (Barrigón et al., 2025; Helboe & Pedersen, 2024; Tittman et al., 2021).

La Tabla 3 muestra que, para evaluar el ruido ambiental en la comunidad el Boliche, es necesario emplear indicadores acústicos de manera conjunta, con el fin de caracterizar no solamente la magnitud media de la exposición sonora sino también sus fluctuaciones temporales y episodios críticos. El uso del Leq posibilita la comparación de los niveles anotados con las regulaciones ambientales que están en vigor, mientras que los indicadores Lmax, Lmin y percentiles (L10, L50 y L90) hacen posible

distinguir sucesos de elevada intensidad, ruido ambiental y tendencias de variabilidad acústica. Estos indicadores, en su totalidad, forman la base técnica para el diagnóstico acústico del territorio, el reconocimiento de áreas críticas y la evaluación subsiguiente de las repercusiones sociales y ambientales del ruido producido por las bloqueras.

### **8.8 Identificación de zonas críticas**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una herramienta para analizar espacialmente el ruido ambiental, integrando datos acústicos con datos territoriales para crear mapas de ruido y localizar zonas críticas de exposición sonora. El mapeo de ruido con SIG combina modelos de cálculo acústico con datos espaciales para visualizar cómo se distribuye el ruido y cómo afecta las áreas urbanas y rurales. Los SIG se utilizan para monitorear la contaminación acústica, planificar el territorio y tomar decisiones en la gestión ambiental del ruido, al permitir representar gráficamente los niveles de ruido en relación con el uso del suelo y la ubicación de los receptores sensibles (Benameur et al., 2021).

En los últimos años se han propuesto metodologías complementarias basadas en la detección participativa urbana que extienden la cobertura espacial de los datos acústicos a través de la participación ciudadana. Por ejemplo, *Ear-Phone* usa teléfonos móviles para tomar mediciones de ruido y técnicas de detección compresiva para reconstruir mapas de ruido a partir de muestras dispersas aleatoriamente, lo que proporciona una solución de bajo costo para mapear el ruido y generar información actualizada y representativa en áreas con recursos limitados para el monitoreo continuo (Baclet et al., 2023).

Además, las tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) han abierto la puerta a metodologías de mapeo dinámico de ruido en tiempo casi real que combinan sensores de tráfico, datos en tiempo real y simulaciones computacionales para modelar la emisión y propagación del ruido en función de las condiciones reales de tráfico. La integración de datos IoT con modelos acústicos permite estimar indicadores ricos de exposición al ruido y su variación temporal, lo cual es

crucial para la gestión del ruido en áreas con alta variabilidad en las actividades humanas (Paszkowski & Sobiech, 2018).

### **8.9 Estrategias de mitigación acústica**

El control de ruido significa disminuir el ruido no deseado a través de medidas tales como la ubicación del lugar, la orientación del edificio y barreras de ruido. El control del ruido es importante para reducir los efectos negativos del ruido ambiental en la salud, como el estrés, los trastornos del sueño y las enfermedades cardiovasculares (Harvie & Fenech, 2024).

Para hacerle frente a la contaminación sonora urbana, la literatura científica plantea diversas estrategias de mitigación acústica que se pueden integrar en la planificación y diseño urbano, combinando soluciones físicas, territoriales, naturales y tecnológicas, donde entre las más utilizadas se encuentran las soluciones arquitectónicas y estructurales, como el uso de materiales absorbentes del sonido en fachadas y estructuras las cuales han demostrado disminuir significativamente los niveles de presión sonora y mejorar el confort acústico interior y exterior (Badino et al., 2023). Complementariamente, las barreras acústicas, muros o pantallas, para bloquear o atenuar el ruido de fuentes localizadas, han sido optimizadas con herramientas simplificadas para su aplicación práctica en contextos urbanos e industriales (Iordache & Ionita, 2018); Los muros verdes emergen como soluciones multifuncionales, capaces de regular la temperatura y con capacidad de absorción acústica que varía en función del tipo de vegetación, sustrato y sistema constructivo utilizado (Oquendo et al., 2022).

Desde la planificación y el diseño urbano, la localización de las fuentes de ruido y la zonificación del territorio son medidas eficaces para reducir la exposición al ruido, al situar en lugares apropiados los equipamientos ruidosos y definir usos de suelo compatibles, disminuyendo así la población expuesta a altos niveles de ruido y convirtiéndose en herramientas de gestión ambiental urbana (Singh & Kennedy, 2024). En esta línea, la gestión del tráfico y la relocalización de centros de interés son medidas capaces de disminuir el ruido

urbano, pero deben planificarse para que no generen traslación del problema a otras zonas de la ciudad (Rey et al., n.d.). El diseño paisajístico con fines acústicos también es una medida que puede ayudar a reducir el ruido, al integrar accidentes geográficos, superficies vegetadas y elementos naturales que atenúen el ruido, estrategia utilizada en zonas cercanas a aeropuertos y grandes vías de transporte (Bar et al., 2023).

Un enfoque complementario es la planificación basada en el paisaje sonoro, que busca tener en cuenta desde el principio las características sonoras del entorno en la planificación urbana. En este sentido, el abordaje integral implica el estudio del paisaje sonoro, las técnicas de auralización y los modelos predictivos acústicos para generar paisajes sonoros más saludables y restauradores para las personas (Alves et al., 2016; Hernandez et al., 2022); en este contexto, la tipificación del paisaje sonoro urbano es una forma de clasificar y valorar los sonidos de la ciudad, considerándolos como recursos ambientales y culturales y no como residuos (Tan et al., 2022). Las soluciones verdes también son estrategias de mitigación acústica, como el uso de árboles como barreras acústicas naturales en áreas periurbanas, cuya efectividad depende de las especies elegidas, la densidad y la disposición espacial, que determinan su capacidad de absorción y dispersión del sonido (Bakker et al., 2023). Finalmente, las nuevas tecnologías han abierto la puerta a soluciones utilizando metamateriales acústicos, diseñados para manipular sonidos de baja frecuencia y que son una alternativa prometedora para la mitigación del ruido de tráfico y la acústica arquitectónica (Kumar & Lee, 2019), así como el uso de enfoques basados en Big Data y redes de sensores acústicos para el monitoreo continuo del ruido, la gestión de eventos sonoros y la generación de información para mejorar la planificación urbana y la toma de decisiones en la gestión ambiental del ruido (Navarro et al., 2017).

### **8.10 Marco legal**

La regulación que establece los límites máximos permisibles de ruido ambiental en el Ecuador se encuentra definida en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del

Ambiente (TULSMA), Libro VI, Anexo 5, publicado en el Registro Oficial No. 387 del 4 de noviembre de 2015. Este documento constituye la base legal para la gestión del ruido a nivel nacional y fija los valores límites para distintos tipos de zonificación, incluyendo áreas residenciales, educativas, mixtas e industriales.

En el contexto de este estudio, dichos valores normativos son fundamentales, puesto que permiten evaluar el grado de cumplimiento acústico de la comunidad el Boliche y determinar si los niveles medidos representan una infracción ambiental. Todas las comparaciones realizadas en los capítulos de resultados se basan estrictamente en esta normativa, que constituye la referencia oficial vigente para el control del ruido ambiental en el país.

#### ***8.10.1 Derecho al ambiente sano***

El derecho de los ciudadanos a vivir en un entorno equilibrado desde el punto de vista ecológico y saludable está reconocido por la Constitución de La República Del Ecuador, (2008) en su artículo 14. Este principio requiere que el Estado asegure que las acciones humanas no produzcan tipos de contaminación que perjudiquen la calidad de vida o la salud.

El artículo 15 también prohíbe llevar a cabo actividades que perjudiquen el medio ambiente. A pesar de que la polución se ha vinculado desde hace tiempo con sustancias químicas, la legislación de Ecuador acepta de manera explícita que los factores físicos, como el ruido, son también contaminantes. Esta disposición respalda la necesidad de examinar los niveles de ruido en áreas residenciales que puedan verse afectadas por el mismo.

El Artículo 32 relaciona el derecho a la salud con los elementos medioambientales, lo cual fortalece la idea de que la polución acústica representa un peligro para el bienestar mental y físico de las personas. El artículo 66, inciso 27, asegura la protección frente a todo tipo de contaminación ambiental y brinda una base firme para justificar la intervención en sectores donde las actividades productivas produzcan emisiones. Por último, el artículo 83, inciso 6, establece la obligación del ciudadano de cuidar el medio ambiente.

### ***8.10.2 Reconocimiento del ruido como contaminante físico***

La ley marco de la gestión medioambiental en el país es el Código Orgánico Del Ambiente (2017). El Artículo 14 establece que la contaminación es la existencia de cualquier tipo de agente biológico, químico o físico que modifique la calidad del medio ambiente. En esta línea, el ruido es identificado de manera explícita como un contaminante físico, lo que lo transforma en un parámetro ambiental que puede ser regulado y supervisado.

Las actividades que causen impacto deben ser supervisadas, valoradas y reguladas por la autoridad ambiental o los GAD (gobiernos autónomos descentralizados), según el artículo 138. Los artículos 292 y 293 prevén sanciones para las acciones que produzcan emisiones contaminantes más allá de lo permitido.

### ***8.10.3 Regulación normativa del ruido***

En el marco técnico-normativo, la regulación específica para ruido ambiental en Ecuador se encuentra estipulada en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Libro VI, Anexo 5, Norma de Calidad Ambiental para Ruido Ambiente, que establece los límites máximos permisibles de niveles de presión sonora en función del uso de suelo y período de tiempo expuesto; define valores diferenciados para zonas residenciales, comerciales, industriales y de equipamiento sensible, en horario diurno y nocturno, y determina que los niveles de ruido se midan principalmente con el nivel sonoro continuo equivalente (Leq), en decibeles ponderados A [dB(A)]. Estos límites técnicos presentes en el Anexo 3 se definen de manera objetiva si las actividades productivas cumplen o no con la normativa ambiental actual y son la principal referencia legal para comparar los datos acústicos recolectados en el terreno y definir si existe algún impacto socio-ambiental por exposición al ruido.

## 9. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

En línea con el objetivo de la investigación, el estudio se plantea la siguiente pregunta científica:

¿Qué efectos socio-ambientales provocan los ruidos de las bloqueras en la comunidad el Boliche, según los niveles de presión sonora medidos, su distribución espacial y su asociación con el uso de suelo y receptores sensibles?

Los datos del monitoreo acústico demuestran que el ruido de las bloqueras en la comunidad el Boliche genera un impacto socio-ambiental negativo y territorialmente diferenciado, ya que los niveles de presión sonora equivalente ( $L_{eq}$ ) superan persistentemente los límites permisibles por la normativa ambiental nacional (TULSMA) y la Organización Mundial de la Salud, en puntos localizados en la proximidad de fuentes productivas, viales de alto tránsito y centros educativos. El análisis espacial revela que casi el 80 % de las superaciones normativas se localizan en áreas de alta interacción entre actividad productiva y población, creando zonas críticas de exposición sonora, lo que se traduce en una afectación directa a la calidad ambiental del territorio y una exposición prolongada de la población a niveles de ruido incompatibles con el bienestar y el derecho a un ambiente sano, manifestándose como un problema socio-ambiental que necesita medidas de mitigación técnica y de ordenamiento territorial para hacer compatible la actividad económica con la salud y la calidad de vida comunitaria.

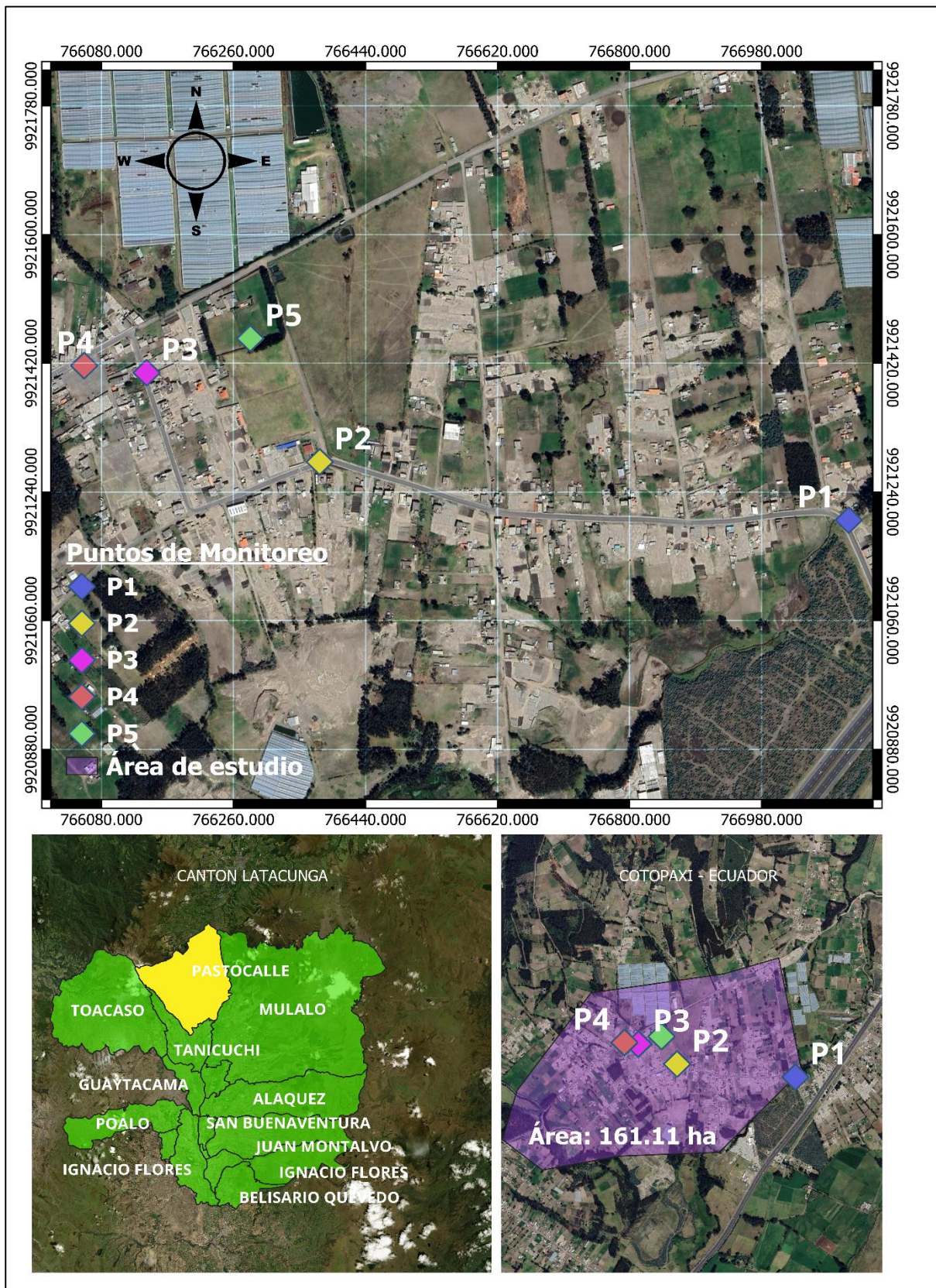
## 10. AREA DE ESTUDIO

En la parroquia rural de San Juan de Pastocalle, que pertenece al cantón Latacunga y a la provincia de Cotopaxi, en el centro andino ecuatoriano, se encuentra situada la comunidad el Boliche. La región de estudio se localiza a una altitud cercana a los 3 000 a 3 100 metros sobre el nivel del mar, con un clima frío andino y temperaturas medias anuales que varían entre los 8 y los 14 °C. En términos territoriales, el Boliche tiene una estructura mayormente rural, que se distingue por la existencia simultánea de áreas residenciales, educativas, viales y

productivas. En el sector, se llevan a cabo actividades industriales artesanales, sobre todo las bloqueras, que se encuentran próximas a hogares y lugares de la comunidad. Esta cercanía entre fuentes emisoras de ruido y receptores sensibles provoca que la población esté expuesta a un sonido constante. Así, la Figura 1 muestra el área de estudio de forma visual.

**Figura 1.**

*Área de estudio*



Fuente: Elaboración propia.

De este modo, la Figura 1 posibilita visualizar el área de estudio en un contexto espacial y la conexión territorial entre las áreas pobladas y las actividades productivas; se convierte así en una referencia para determinar los puntos de monitoreo acústico.

## 11. METODOLOGÍA

La unidad de análisis de esta investigación se centró en los niveles de presión sonora ambiental registrados en la comunidad el Boliche. Estos son expresados en decibeles ponderados A [dB(A)], que constituyen el indicador técnico fundamental para valorar la magnitud del ruido industrial generado por las bloqueras y su interacción con el paisaje sonoro del territorio. La elección de esta unidad responde a la necesidad de medir el ruido como un contaminante físico, caracterizado por su intensidad, variabilidad horaria y capacidad de afectar la salud y el bienestar de la población expuesta.

Sin embargo, el ruido ambiental no puede analizarse únicamente como un valor numérico aislado, pues su comportamiento real está condicionado por elementos territoriales, sociales y productivos que determinan la forma en que se propaga y a quién afecta. Por ello, la unidad de análisis no se limitó al registro de decibeles, sino que incorporó las características del espacio donde dichos valores se generan y se experimentan. Esto incluyó la proximidad a las fuentes emisoras, los usos de suelo definidos por el GAD, la presencia de receptores sensibles como escuelas y viviendas, la configuración física de las bloqueras (muchas de ellas instaladas en zanjas o bajo estructuras techadas que modifican la dispersión del sonido) y las actividades circundantes vinculadas al tránsito vehicular, especialmente en la zona de influencia de la E35. El análisis se estructuró considerando cinco puntos estratégicos de medición distribuidos en zonas productivas, residenciales, educativas, viales y rurales, permitiendo evaluar cómo varía el ruido según el contexto territorial y social de cada punto. Esta selección asegura que la unidad de análisis represente la complejidad del fenómeno y no una versión reducida o aislada de él.

Asimismo, se incorporó la variable temporal, dado que la exposición al ruido no se presenta de forma homogénea a lo largo del día. Las jornadas laborales de las bloqueras, que se desarrollan habitualmente entre las 08h00 y 12h00 y entre las 14h00 y 18h00, configuran momentos de alta actividad mecánica, mientras que los sábados se observa una dinámica productiva reducida, pero igualmente relevante para efectos de evaluación ambiental. A ello se suma la necesidad de diferenciar los momentos de mayor carga vehicular provenientes de la E35, cuyos picos pueden interferir con los niveles asociados exclusivamente a la maquinaria industrial. Así, la unidad de análisis temporal se construyó atendiendo los horarios que expresan de manera más fiel la realidad operativa del sector y los periodos de exposición de la comunidad.

### **11.1 Métodos**

El estudio se desarrolló empleando una combinación de métodos que permitieron comprender el fenómeno acústico desde su dimensión física, territorial y socio-ambiental. La selección de estos métodos respondió a la naturaleza compleja del ruido industrial y a la necesidad de analizarlo en un entorno real donde intervienen múltiples factores –maquinaria, tránsito, usos de suelo, configuraciones infraestructurales y dinámicas comunitarias– que transforman tanto su propagación como sus efectos. La integración metodológica permitió construir un proceso investigativo sólido, capaz de relacionar la evidencia instrumental con la realidad contextual del territorio.

### **11.2 Método cuantitativo**

El método cuantitativo constituyó el eje central del análisis, ya que permitió medir el ruido industrial con precisión y convertirlo en información comparable, verificable y técnicamente sustentada. A través de las mediciones directas se obtuvieron valores de presión sonora continua, máximos y mínimos, que reflejan la magnitud real de la exposición acústica en los distintos puntos de la comunidad. Esta aproximación permitió establecer patrones horarios, identificar picos vinculados a la operación de maquinaria y contrastar los resultados con la

normativa ecuatoriana y con las recomendaciones internacionales. Como lo señalan Sampieri y otros referentes metodológicos, el enfoque cuantitativo resulta esencial cuando se busca describir y caracterizar fenómenos físicos bajo parámetros técnicos cuyo comportamiento puede medirse mediante instrumentos validados.

### **11.3 Método cualitativo**

Complementariamente, se incorporó el método cualitativo con el propósito de entender las circunstancias territoriales y sociales que influyen en la variación de los niveles acústicos registrados. La observación directa del entorno permitió documentar las condiciones materiales de las bloqueras (como su instalación en zanjas, la presencia de techos metálicos o coberturas que modifican la dispersión del sonido, los momentos en que se activan las vibradoras, mezcladoras o compresores) así como el tránsito vehicular en la E35, la actividad comunitaria cotidiana y los factores meteorológicos que condicionan la propagación acústica. Esta aproximación cualitativa aportó la lectura interpretativa necesaria para comprender por qué determinados horarios presentan niveles superiores o cómo la morfología del espacio amplifica o atenúa el ruido. De esta manera, los registros numéricos dejaron de ser simples valores aislados y adquirieron sentido dentro de un contexto real, dinámico y socialmente significado.

### **11.4 Método analítico**

El método analítico se incorporó para descomponer el fenómeno acústico en sus componentes fundamentales y establecer relaciones lógicas entre ellos. A través de este método fue posible interpretar la interacción entre la maquinaria industrial, la distancia a los receptores sensibles, la estructura física de las bloqueras, la tipología de las vías, el tránsito vehicular y los usos de suelo definidos por el GAD. Este proceso permitió revelar las conexiones internas del fenómeno, identificar los factores que explican la aparición de picos sonoros y comprender cómo diferentes condiciones territoriales producen exposiciones dispares en cada punto de medición.

### **11.5 Método inductivo-descriptivo**

El método inductivo-descriptivo permitió partir de observaciones puntuales y mediciones específicas para generar interpretaciones generales sobre el comportamiento del ruido industrial en el Boliche. Este método resulta especialmente pertinente para investigaciones ambientales donde los fenómenos no pueden controlarse experimentalmente y deben analizarse tal como se presentan en el entorno. A través de esta lógica inductiva se identificaron tendencias recurrentes, como los periodos del día asociados a mayor actividad mecánica o los sectores donde la superposición de actividades productivas y comunitarias incrementa significativamente la exposición acústica.

### **11.6 Método cartográfico**

Finalmente, el método cartográfico constituyó una herramienta fundamental para representar espacialmente la información obtenida y analizar la distribución del ruido en el territorio. La incorporación de los datos acústicos en sistemas de información geográfica permitió visualizar la intensidad del sonido en relación con el uso de suelo, la ubicación de las bloqueras, la proximidad de centros educativos y viviendas, y la influencia del tráfico de la E35. Esta representación espacial aportó una lectura integral de la problemática, revelando patrones territoriales que no podrían ser percibidos únicamente mediante tablas o análisis numéricos. Gracias a este enfoque cartográfico, fue posible identificar zonas críticas, gradientes de exposición y áreas donde la mitigación resulta prioritaria.

### **11.7 Método de evaluación del impacto ambiental**

La valoración del impacto socio-ambiental generado por el ruido de las bloqueras se fundamentó exclusivamente en métodos que pueden aplicarse con los datos disponibles en la investigación, garantizando consistencia metodológica y validez técnica. Debido a que el estudio se basa en mediciones instrumentales, observación directa del entorno y análisis territorial, se emplearon métodos de evaluación ambiental que no requieren paneles de expertos

ni procesos participativos, sino que pueden ejecutarse a partir de información objetiva y criterios técnicos del investigador.

Dentro de estos métodos, la matriz de Leopold se convirtió en la herramienta central para identificar y valorar los impactos asociados a las actividades productivas de las bloqueras. Este método permite relacionar de manera estructurada cada actividad generadora de ruido (como el funcionamiento de mezcladoras, vibradoras, motores eléctricos o el tránsito de vehículos pesados asociados a la producción) con componentes ambientales susceptibles a afectación, entre ellos la calidad acústica del entorno, la salud y bienestar de la población, la funcionalidad educativa y el paisaje sonoro de la comunidad.

La matriz de Leopold utiliza un sistema de valoración numérica que puede representarse mediante la expresión:

$$I = M \times I_m$$

Donde,  $M$  corresponde a la magnitud del impacto derivado de la actividad ruidosa.  $I_m$  representa la importancia del impacto sobre el componente afectado. Ambas variables se estiman en rangos estandarizados de 1 a 10, lo que hace posible comparar la severidad relativa de los impactos entre diferentes puntos del territorio. La aplicación de esta fórmula permitió traducir los valores acústicos obtenidos en campo en una jerarquización ambiental coherente, en la que los sectores con mayor superación normativa y mayor concentración de maquinaria presentaron valores combinados más altos, reflejando una afectación significativa del territorio. La matriz fue complementada con un análisis cuantitativo directo, basado en la comparación de los niveles medidos con los límites permitidos por la normativa ecuatoriana (TULSMA) y con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud. Este método permitió identificar el grado de cumplimiento o incumplimiento normativo, cuantificar la frecuencia con la que se superan los límites durante la jornada laboral y establecer diferencias entre zonas productivas, educativas, residenciales y rurales.

Este análisis normativo se integró con la evaluación territorial mediante SIG, que permitió visualizar la distribución espacial del ruido y detectar zonas críticas donde la interacción entre actividades productivas y receptores sensibles intensifica la exposición acústica. La combinación de estas herramientas permitió construir una lectura ambiental sólida del fenómeno, sustentada en evidencia objetiva y criterios técnicos verificables.

### **11.8 Técnicas de recolección de datos**

La recolección de datos se llevó a cabo mediante un conjunto articulado de técnicas que permitieron capturar con precisión el comportamiento real del ruido industrial generado por las bloqueras en la comunidad el Boliche.

#### ***11.8.1 Registro acústico***

La técnica principal correspondió al registro acústico directo, realizado mediante un sonómetro clase 2 calibrado conforme a las normas IEC 61672. Este equipo permitió medir el nivel de presión sonora equivalente, así como los niveles máximos y mínimos experimentados en cada intervalo. A diferencia de metodologías que dependen de estimaciones o mediciones puntuales, en este estudio se adoptó un esquema de medición por intervalos durante las jornadas de operación real de las bloqueras. Esto permitió registrar el ruido en los momentos en que la maquinaria se encontraba activa, lo que resultó indispensable para capturar la relación entre la actividad productiva y los picos sonoros observados. Los intervalos seleccionados correspondieron a períodos laborales característicos del sector (entre las 08h00 y 12h00, y entre las 14h00 y 18h00) además de la jornada reducida de los días sábado, de 09h00 a 13h00, lo que permitió cubrir el ciclo operativo relevante sin generar vacíos metodológicos ni mediciones artificialmente bajas que pudieran distorsionar el diagnóstico.

#### ***11.8.2 Observación directa***

El registro acústico se complementó con la observación directa del entorno, técnica indispensable para interpretar las variaciones sonoras y comprender las condiciones físicas,

territoriales y operativas que influyen en la propagación del ruido. La observación permitió documentar aspectos que no pueden inferirse a partir del dato numérico, como la ubicación de las bloqueras dentro de zanjas excavadas en el terreno, la presencia de techos rígidos o coberturas metálicas que intensifican o canalizan el sonido, la frecuencia de operación de mezcladoras y vibradoras, la circulación de vehículos de carga vinculados a la producción y la existencia de barreras naturales o construidas que atenuaban el ruido en ciertos puntos del territorio. Esta técnica también permitió distinguir el ruido estrictamente industrial del ruido de fondo generado por la vía E35, cuya influencia debía ser cuidadosamente diferenciada para evitar atribuir impactos al componente equivocado.

### ***11.8.3 Georeferenciación de puntos de muestreo***

Adicionalmente, se empleó la georeferenciación de todos los puntos de medición mediante un dispositivo GPS, lo que permitió ubicar espacialmente cada registro y asegurar que los datos pudieran integrarse en un Sistema de Información Geográfica (SIG). La georeferenciación no solo garantizó precisión en la representación espacial, sino que permitió analizar la relación entre los niveles de ruido y los usos de suelo definidos por el GAD, logrando así una lectura ambiental más completa. Gracias a esta técnica, fue posible determinar la distancia exacta entre las fuentes industriales y los receptores sensibles, relacionar los niveles acústicos con la proximidad a escuelas, viviendas y zonas de tránsito, y establecer gradientes de exposición que posteriormente fueron incorporados al análisis territorial.

### ***11.8.4 Revisión bibliográfica***

Finalmente, se desarrolló una revisión documental normativa y técnica que sirvió para contextualizar los datos obtenidos dentro del marco regulatorio ecuatoriano y las recomendaciones internacionales. Esta revisión permitió establecer los límites de comparación necesarios para determinar si los valores registrados representan superación normativa y para sustentar la posterior valoración ambiental. Asimismo, proporcionó criterios técnicos para

justificar la selección de horarios de medición, la altura del micrófono, la distancia a las fuentes industriales y la necesidad de diferenciar el ruido industrial del ruido de fondo asociado a la vía E35.

### 11.9 Instrumentos

La investigación empleó un conjunto de instrumentos técnicos plasmados en la Tabla 4 diseñados para asegurar que la medición, el análisis estadístico y la representación espacial del ruido ambiental en la comunidad el Boliche cumplieran con estándares de precisión, confiabilidad y trazabilidad. La selección de estos instrumentos responde tanto a criterios internacionales en la evaluación acústica como a las necesidades específicas del estudio, garantizando que los resultados obtenidos fueran consistentes y metodológicamente válidos.

**Tabla 4.**

*Instrumentos aplicados a la investigación*

Tipo de instrumento	Función / uso	Especificaciones técnicas
Sonómetro clase 2 (IEC 61672)	Medición de niveles de presión sonora ambiental: Leq, Lmax, Lmin y variaciones durante los intervalos de monitoreo.	Equipo certificado con ponderación A, tiempo de respuesta adecuado, calibración previa y posterior a cada jornada para garantizar precisión.
Google Maps	Corroboración cartográfica de coordenadas, accesos, distancias y ubicación de zonas sensibles y fuentes emisoras.	Plataforma digital que permite validar localizaciones y complementar la georreferenciación cuando la señal satelital presenta variaciones.
Ficha de campo estructurada	Registro sistemático de condiciones ambientales, actividad de maquinaria, tránsito, estructuras físicas y observaciones contextuales.	Formato estandarizado diseñado para documentar factores cualitativos que influyen en la propagación del ruido.

RStudio	Procesamiento estadístico avanzado y análisis descriptivo de series temporales acústicas.	Permite generar gráficos, calcular indicadores estadísticos, validar datos y reproducir análisis con rigurosidad técnica.
Microsoft Excel	Organización, depuración y estructuración inicial de la base de datos acústica.	Utilizado para ordenar registros, revisar consistencia y preparar información para análisis estadístico y espacial.
Software SIG (QGIS)	Elaboración de mapas temáticos, análisis espacial del ruido e identificación de zonas críticas.	Facilita interpolación, georreferenciación, superposición de capas y representación cartográfica de niveles sonoros.

Fuente: elaboración propia.

La utilización combinada de estos instrumentos garantiza la adquisición de datos acústicos fiables y la gestión apropiada tanto estadística como espacial, lo que representa el fundamento técnico para analizar el ruido ambiental e identificar áreas problemáticas en el campo de estudio.

### **11.10 Determinación de puntos de medición**

La determinación de los puntos de medición respondió a un proceso técnico y territorial cuidadosamente estructurado, orientado a capturar la variabilidad acústica real de la comunidad el Boliche y a representar las condiciones de exposición sonora experimentadas diariamente por sus habitantes. La selección de los puntos no fue arbitraria, sino que se fundamentó en criterios ambientales, productivos, sociales y operativos que permiten caracterizar la interacción entre las fuentes industriales, la configuración espacial del territorio y la presencia de receptores sensibles. Este proceso aseguró que cada punto elegido reflejara una dinámica sonora específica del entorno y que, en conjunto, los puntos conformaran una muestra representativa del impacto del ruido generado por las bloqueras.

#### **11.10.1 Puntos de monitoreo**

Cada punto fue elegido deliberadamente para capturar una dinámica acústica específica, considerando la localización de las bloqueras, la presencia de receptores sensibles y la

influencia de fuentes complementarias como el tránsito vehicular. Esta selección estratégica permitió construir una lectura integral del fenómeno, combinando zonas de alta exposición con áreas de referencia acústica.

El primer punto de medición se ubicó en la entrada principal de la comunidad, un sector donde convergen las actividades productivas y el tránsito asociado a la ruta de acceso a las bloqueras. Esta zona representa un punto crítico en términos de ruido debido a la circulación de camiones que transportan materiales, a la proximidad de las plantas de producción y al flujo constante de maquinaria. Elegir este punto permitió registrar la intensidad del ruido en un espacio donde el componente industrial y el vehicular se superponen, representando la primera barrera de exposición para quienes ingresan o residen cerca de la vía principal.

El segundo punto se situó en el Centro Infantil Nueva Esperanza, un espacio considerado receptor sensible por la presencia de niños pequeños. Este punto fue escogido porque se encuentra cerca de una vía pavimentada de uso frecuente y está rodeado por áreas recreativas, viviendas y pequeñas actividades productivas. La confluencia de estos usos convierte al entorno del centro infantil en un lugar particularmente vulnerable, en el que las fluctuaciones del ruido afectan directamente a una población sensible. Medir aquí permitió evaluar cómo la exposición sonora podría incidir en el bienestar y el entorno educativo de la niñez.

El tercer punto se seleccionó en el Infocentro comunitario, un espacio que, además de brindar servicios educativos y tecnológicos, se encuentra directamente frente a una bloquera en funcionamiento activo. Esta ubicación constituye un punto estratégico porque la maquinaria opera a escasa distancia y sin barreras acústicas suficientes para mitigar su propagación. Medir en este lugar permitió registrar niveles acústicos que representan la exposición directa y cotidiana a la maquinaria industrial, además de captar la interacción entre las actividades productivas y el tránsito vehicular que circula por la vía adyacente.

El cuarto punto de medición se ubicó en la Unidad Educativa Germánico Rivadeneira, uno de los espacios más sensibles de la comunidad, no solo por su función formativa sino por su localización en el corazón del territorio. La escuela está rodeada por dos bloqueras, viviendas, comercios y espacios comunitarios como la iglesia, lo que la convierte en un punto donde convergen múltiples fuentes sonoras. Esta combinación genera un ambiente acústico particularmente complejo y relevante desde la perspectiva de salud pública y desempeño escolar. Medir aquí permitió analizar el grado de exposición de estudiantes, docentes y familias que transitan diariamente por el sector, así como identificar los momentos de mayor perturbación sonora.

El quinto punto fue establecido en la zona rural de transición, ubicada lejos de las actividades productivas y del flujo vehicular intenso. Este sector, caracterizado por actividades agropecuarias y por un paisaje sonoro más estable y silencioso, fue seleccionado como punto de referencia para evaluar el ruido de fondo natural de la comunidad. Incorporar un punto de medición con estas características permitió establecer un contraste con los niveles registrados en las zonas más intervenidas, ayudando a determinar el incremento real de decibeles atribuidos exclusivamente a la actividad industrial.

Cada uno de estos cinco puntos fue escogido para capturar matices distintos del paisaje acústico de el Boliche. Desde la exposición directa a las máquinas, pasando por áreas de tránsito mixto, hasta espacios educativos y zonas rurales poco intervenidas. Esta estructura de puntos garantiza un análisis ambiental completo, permitiendo comprender cómo el ruido industrial se distribuye, a quién afecta y con qué intensidad lo hace. La selección, lejos de ser aleatoria, responde a la necesidad de adaptar la medición a la realidad socio-ambiental del territorio, asegurando que la investigación represente fielmente las condiciones sonoras de la comunidad.

## **11.11 Procedimiento de monitoreo acústico**

### ***11.11.1 Preparación del equipo y calibración inicial***

Antes de iniciar cada jornada de campo, el sonómetro clase 2 fue encendido y sometido a un proceso de verificación mediante su calibrador interno. Esta operación permitió comprobar que el nivel de referencia coincidiera con los parámetros establecidos por el fabricante, asegurando la correcta linealidad y sensibilidad del instrumento.

Una vez verificadas sus condiciones, el equipo fue configurado en:

Ponderación A, requerida por el TULSMA para la evaluación del ruido ambiental y la comparación con los límites máximos permisibles establecidos para fuentes fijas. Esta ponderación es la oficialmente adoptada en Ecuador, ya que el Anexo 5 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, reformado mediante Acuerdo Ministerial 097-A, publicado en el Registro Oficial Edición Especial N.º 387 (4 de noviembre de 2015) establece que todos los niveles de emisión de ruido se expresan en dB(A), lo que implica el uso obligatorio de la curva de ponderación A para efectos de control, monitoreo y evaluación normativa.

### ***11.11.2 Respuesta temporal Fast, adecuada para registrar variaciones rápidas del sonido.***

Con estas configuraciones, el sonómetro quedó listo para operar en las condiciones reales del entorno.

### ***11.11.3 Instalación del equipo en cada punto***

Cada punto fue elegido deliberadamente para capturar una dinámica acústica específica, considerando la localización de las bloqueras, la presencia de receptores sensibles y la influencia de fuentes complementarias como el tránsito vehicular. Esta selección estratégica permitió construir una lectura integral del fenómeno, combinando zonas de alta exposición con áreas de referencia acústica.

El primer punto de medición se ubicó en la entrada principal de la comunidad, un sector donde convergen las actividades productivas y el tránsito asociado a la ruta de acceso a las bloqueras. Esta zona representa un punto crítico en términos de ruido debido a la circulación de camiones que transportan materiales, a la proximidad de las plantas de producción y al flujo constante de maquinaria. Elegir este punto permitió registrar la intensidad del ruido en un espacio donde el componente industrial y el vehicular se superponen, representando la primera barrera de exposición para quienes ingresan o residen cerca de la vía principal.

El segundo punto se situó en el Centro Infantil Nueva Esperanza, un espacio considerado receptor sensible por la presencia de niños pequeños. Este punto fue escogido porque se encuentra cerca de una vía pavimentada de uso frecuente y está rodeado por áreas recreativas, viviendas y pequeñas actividades productivas. La confluencia de estos usos convierte al entorno del centro infantil en un lugar particularmente vulnerable, en el que las fluctuaciones del ruido afectan directamente a una población sensible. Medir aquí permitió evaluar cómo la exposición sonora podría incidir en el bienestar y el entorno educativo de la niñez.

El tercer punto se seleccionó en el Infocentro comunitario, un espacio que, además de brindar servicios educativos y tecnológicos, se encuentra directamente frente a una bloquera en funcionamiento activo. Esta ubicación constituye un punto estratégico porque la maquinaria opera a escasa distancia y sin barreras acústicas suficientes para mitigar su propagación. Medir en este lugar permitió registrar niveles acústicos que representan la exposición directa y cotidiana a la maquinaria industrial, además de captar la interacción entre las actividades productivas y el tránsito vehicular que circula por la vía adyacente.

El cuarto punto de medición se ubicó en la Unidad Educativa Germánico Rivadeneira, uno de los espacios más sensibles de la comunidad, no solo por su función formativa sino por su localización en el corazón del territorio. La escuela está rodeada por dos bloqueras, viviendas, comercios y espacios comunitarios como la iglesia, lo que la convierte en un punto donde

convergen múltiples fuentes sonoras. Esta combinación genera un ambiente acústico particularmente complejo y relevante desde la perspectiva de salud pública y desempeño escolar. Medir aquí permitió analizar el grado de exposición de estudiantes, docentes y familias que transitan diariamente por el sector, así como identificar los momentos de mayor perturbación sonora.

El quinto punto fue establecido en la zona rural de transición, ubicada lejos de las actividades productivas y del flujo vehicular intenso. Este sector, caracterizado por actividades agropecuarias y por un paisaje sonoro más estable y silencioso, fue seleccionado como punto de referencia para evaluar el ruido de fondo natural de la comunidad. Incorporar un punto de medición con estas características permitió establecer un contraste con los niveles registrados en las zonas más intervenidas, ayudando a determinar el incremento real de decibeles atribuidos exclusivamente a la actividad industrial.

#### **11.11.4      *Inicio manual de cada medición***

Se realizó un desplazamiento diariamente a cada uno de los puntos de monitoreo siguiendo siempre el mismo orden, garantizando así la uniformidad del procedimiento a lo largo de todas las jornadas. Una vez en el sitio, instalaba el trípode a una altura aproximada de 1,40 metros, nivelándolo cuidadosamente para asegurar la estabilidad del sonómetro y evitar cualquier vibración que pudiera distorsionar la medición. El micrófono se orientaba hacia el espacio abierto del entorno, procurando que no existieran elementos que interfirieran con la propagación natural del sonido, como paredes, superficies reflectantes, postes metálicos u objetos que pudieran generar reverberación. Antes de iniciar la medición se realizaba una verificación visual del área inmediata, confirmando que no hubiera conversaciones cercanas, vehículos estacionados en marcha, objetos vibrando o cualquier otro tipo de interferencia que pudiera alterar el registro acústico. Solo cuando se comprobaba que el punto ofrecía

condiciones adecuadas y representativas, el operador procedía a iniciar la medición correspondiente.

#### **11.11.5 Duración de los intervalos**

Cada medición se mantuvo activa durante un intervalo continuo que osciló entre ocho y doce minutos, tiempo suficiente para capturar varios ciclos completos de operación de las vibradoras y mezcladoras de las bloqueras, así como el comportamiento habitual del tránsito proveniente tanto de la E35 como del interior de la comunidad. Este rango fue seleccionado para evitar intervalos excesivamente largos que pudieran incorporar condiciones atípicas o eventos no representativos. Durante toda la duración del registro, el operador no abandonaba el punto y permanecía en silencio, atento a cualquier variación del entorno que pudiera afectar la calidad de los datos. Este procedimiento permitió obtener registros acústicos estables y comparables entre jornadas.

#### **11.11.6 Finalización del intervalo y registro manual**

Al concluir el tiempo establecido para cada medición, se detenía manualmente el registro. Inmediatamente después se anotaba la hora exacta de finalización y se documentaban observaciones pertinentes relacionadas con sonidos específicos, movimientos de maquinaria, cambios atmosféricos u otros elementos relevantes que hubiesen surgido durante el intervalo. El archivo correspondiente quedaba automáticamente almacenado en la memoria interna del sonómetro, garantizando un registro cronológico ordenado y acompañado por la información contextual necesaria para su interpretación posterior.

#### **11.11.7 Descarga diaria de datos**

Al finalizar cada jornada de mediciones, los archivos almacenados en la memoria del sonómetro eran descargados mediante el software propietario del equipo. Para ello, el instrumento se conectaba al computador, generando de forma automática los archivos digitales correspondientes a cada intervalo. Estos archivos se exportaban en formatos compatibles con

Excel, como CSV o XLS, asegurando la conservación íntegra de la fecha, la hora, la duración y los valores acústicos registrados. Una vez exportados, la información era verificada frente a las anotaciones de la ficha de campo para confirmar la coherencia entre los datos instrumentales y el contexto observado. Finalmente, todos los intervalos del día se consolidaban en una base única, proceso que se realizaba diariamente para asegurar la trazabilidad y evitar acumulaciones que dificultaran el control de calidad.

#### **11.11.8 Cronograma de mediciones y horarios**

El trabajo de campo se desarrolló con base en un cronograma continuo. En total, se realizaron mediciones en 27 días distintos, distribuidos entre jornadas laborales y sábados, lo cual permitió obtener una lectura representativa y completa del comportamiento acústico asociado a las bloqueras durante un mes operativo típico. La base de datos generada contiene 380 registros válidos, cada uno correspondiente a intervalos de monitoreo realizados de manera secuencial en los cinco puntos establecidos dentro de la comunidad.

Las mediciones se efectuaron en horarios que coinciden con la dinámica de funcionamiento real de las bloqueras. Aunque la planificación metodológica consideraba dos bloques amplios de medición (08h00 a 12h00 y 14h00 a 18h00), las condiciones operativas del campo mostraron que el intervalo más estable, consistente y libre de variaciones climáticas extremas se presentaba entre las 09h30 y 11h00, horario en el cual las máquinas se encontraban en plena actividad y existía suficiente interacción entre las actividades industriales, comunitarias y vehiculares. Por esta razón, el registro incorporado en la base de datos se consolidó alrededor del bloque horario de la mañana, garantizando uniformidad bajo condiciones operativas controladas y repetibles.

En el caso de los sábados, las mediciones se realizaron bajo la misma lógica horaria, coincidiendo con la jornada reducida típica del sector, que inicia aproximadamente después de las 09h00. Estas mediciones permitieron comparar la actividad acústica de días laborables con

la dinámica productiva atenuada de los fines de semana, sin incorporar horarios nocturnos, ya que las bloqueras no operan en ese periodo y el nivel sonoro desciende de manera artificial por la ausencia de actividades humanas y productivas.

El cronograma aplicado evitó deliberadamente periodos de congestión vehicular elevada asociados a la E35, debido a que este tráfico genera un ruido de fondo que podría enmascarar el aporte real del ruido industrial. Asimismo, se descartó la medición en días con condiciones meteorológicas atípicas que pudieran alterar la propagación sonora. Esta planificación permitió asegurar que cada registro reflejara el comportamiento auténtico del ruido producido por la actividad industrial y su interacción directa con la comunidad.

### **11.12 Normalización de indicadores**

Con el fin de integrar en un mismo modelo interpretativo los distintos componentes que influyen en el riesgo acústico territorial, se aplicó un proceso de normalización min–max a los indicadores seleccionados: intensidad acústica ( $L_{eq}$  promedio), variabilidad sonora (desviación estándar), cumplimiento normativo (% de excedencia) y sensibilidad del receptor. Estos indicadores presentan unidades heterogéneas (decibeles, porcentajes, valores estadísticos y escalas cualitativas) lo cual impide compararlos directamente o incorporarlos en un análisis conjunto sin generar sesgos en la ponderación de cada dimensión.

La normalización min–max permitió transformar cada indicador a una escala porcentual homogénea entre 0 y 100%, manteniendo su estructura interna y garantizando que todos contribuyan de manera equilibrada al análisis multivariable. Este procedimiento es ampliamente recomendado en estudios ambientales y de gestión del riesgo cuando se requiere comparar variables de naturaleza diversa sin perder su relación proporcional (Jiao et al., 2025; Wu et al., 2025).

La fórmula utilizada fue:

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} * 100$$

Donde  $X$  corresponde al valor original del indicador,  $X_{\min}$  y  $X_{\max}$  representan los valores mínimos y máximos registrados para ese indicador en los cinco puntos de monitoreo.

Este método garantiza que el punto con el valor más alto en cada dimensión alcance un índice normalizado del 100%, mientras que el menor valor se aproxima a 0%, preservando las relaciones relativas entre ellos sin distorsionar la magnitud interna del fenómeno. De esta manera, la normalización impide que indicadores con mayor rango numérico (como el  $L_{eq}$  o la desviación estándar) dominen el análisis frente a otros indicadores igualmente relevantes, como la sensibilidad del receptor o la frecuencia de incumplimiento normativo.

La adopción de la normalización min–max permitió integrar de manera robusta las cuatro dimensiones del riesgo acústico en modelos comparativos y, posteriormente, representarlas mediante la figura radar del análisis integrado. Este enfoque metodológico asegura la trazabilidad estadística del proceso, la comparabilidad entre zonas y la coherencia analítica necesaria para fundamentar la priorización estratégica de mitigación acústica.

### 11.13 Operacionalización de variables

La variable independiente fue el nivel de presión sonora ambiental que se presenta en la Tabla 5, operacionalizada a través de los indicadores  $L_{eq}$ ,  $L_{\max}$  y  $L_{\min}$ , los cuales fueron medidos directamente en terreno y comparados con los límites establecidos en la normativa ambiental vigente, para determinar el cumplimiento y magnitud del impacto sonoro.

**Tabla 5.**

*Operacionalización de la variable de estudio*

Variable	Tipo	Indicador acústico	Instrumentación	Forma de medición	Validación
Nivel de presión sonora ambiental	Cuantitativa	dB(A) – $L_{eq}$ , $L_{\max}$ , $L_{\min}$	Sonómetro clase 2	Medición directa en el campo de fuentes externas fijas durante el periodo T	Comparación con los límites establecidos por el TULSMA

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la sensibilidad del receptor se incorporó como una variable cualitativa ordinal destinada a representar el grado de vulnerabilidad funcional de cada zona frente al ruido ambiental. Este indicador se utilizó posteriormente en el análisis integrado del riesgo acústico para ponderar de manera diferenciada la exposición sonora según las características sociales y territoriales del entorno.

La asignación metodológica de la sensibilidad se basó en criterios definidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018) y por lineamientos de planificación territorial para zonas urbanas mixtas:

Esta operacionalización permite traducir la variable de estudio en indicadores medibles y comparables, asegurando la coherencia entre los objetivos de la investigación, el proceso de medición y la evaluación normativa del ruido ambiental.

Tabla 6. Categorización de la sensibilidad del receptor

<b>Categoría del receptor</b>	<b>Descripción funcional</b>	<b>Valor asignado</b>
Receptor altamente sensible	Centros educativos, guarderías, centros infantiles	4
Receptor sensible	Zonas residenciales, viviendas, espacios comunitarios	3
Receptor moderadamente sensible	Áreas mixtas con comercio o tránsito intermedio	2
Receptor de baja sensibilidad	Zonas productivas o rurales con baja densidad	1

Nota. Elaboración propia en base a los criterios delimitados por la Organización Mundial de la Salud.

Esta clasificación permitió integrar en el modelo de riesgo el peso diferencial que posee cada zona según su función territorial, garantizando una lectura más precisa del impacto socio-ambiental del ruido.

#### **11.14 Procesamiento y análisis de datos**

El procesamiento de los datos inició con la extracción de la información registrada por el sonómetro. El equipo generó automáticamente archivos digitales que fueron descargados mediante el software propio del instrumento, exportándose posteriormente a formatos compatibles con Excel. Esta transferencia aseguró que cada intervalo registrado en campo

conservara su integridad temporal, incluyendo hora, duración, parámetros acústicos y condiciones de configuración del equipo. Una vez descargados, los archivos fueron unificados en una sola base de datos correspondiente a los 380 registros obtenidos .

La hoja consolidada fue depurada inicialmente en Microsoft Excel, donde se verificó la coherencia de las fechas, los horarios y la correcta asignación de cada registro a los cinco puntos de medición establecidos. Se eliminaron intervalos afectados por interferencias excepcionales anotadas en las fichas de campo, manteniendo únicamente aquellos que representaban condiciones operativas habituales. Esta depuración permitió obtener un conjunto ordenado y consistente que facilitó el análisis estadístico posterior.

Posteriormente, los datos depurados fueron procesados en RStudio, donde se aplicaron procedimientos estadísticos descriptivos orientados exclusivamente a caracterizar la estructura interna de la información. Se calcularon medidas de tendencia central, rangos y variaciones básicas con el fin de comprender la distribución horaria y diaria de los niveles sonoros, sin emitir interpretaciones conclusivas. RStudio permitió evaluar la consistencia temporal del ruido y confirmar la estabilidad de los registros entre días equivalentes, garantizando la robustez metodológica del análisis.

Una vez validados los datos estadísticos, se integraron las coordenadas geográficas en el entorno de QGIS, donde se generaron capas territoriales para representar la distribución espacial de los puntos medidos. Este paso posibilitó visualizar patrones espaciales preliminares y preparar el insumo cartográfico para el análisis ambiental posterior. La georreferenciación previa mediante GPS, contrastada con Google Maps, permitió asegurar la precisión espacial de cada registro dentro de la comunidad.

Es importante precisar que el sonómetro genera internamente miles de registros instantáneos de presión sonora por cada intervalo de medición, debido a su frecuencia de muestreo automática. No obstante, para fines de evaluación ambiental conforme a la normativa

TULSMA, no se utilizan valores instantáneos aislados, sino niveles de presión sonora equivalentes ( $L_{eq}$ ) integrados por intervalos de tiempo definidos.

En consecuencia, los 380 registros consolidados no representan datos instantáneos individuales, sino valores equivalentes integrados correspondientes a cada intervalo de monitoreo validado. Este procedimiento garantiza que los datos analizados sean comparables con los límites normativos nacionales y evita distorsiones asociadas a picos momentáneos no representativos de la exposición real.

Finalmente, se realizó una triangulación metodológica que comparó los comportamientos estadísticos obtenidos en RStudio, la distribución territorial observada en QGIS y las anotaciones de campo. Este proceso garantizó la coherencia interna del conjunto de datos y fortaleció la validez metodológica del estudio, asegurando que los análisis realizados en los capítulos posteriores se sustentaran en información depurada, verificable y adecuadamente estructurada.

#### ***11.14.1 Construcción del índice integrado de riesgo acústico***

Además del análisis estadístico convencional, se construyó un índice multivariable de riesgo acústico con el propósito de integrar en una sola representación cuatro dimensiones fundamentales del fenómeno sonoro: intensidad del ruido, variabilidad temporal, incumplimiento normativo y sensibilidad del receptor. Este índice permitió comparar de manera homogénea zonas con características territoriales distintas.

Los indicadores seleccionados fueron:

- $L_{eq}$  promedio (intensidad sonora)
- Desviación estándar del  $L_{eq}$  (variabilidad interna)
- Porcentaje de superación del límite normativo
- Sensibilidad del receptor (escala 1–4)

Dado que los indicadores presentan unidades disímiles, se aplicó un proceso de normalización min–max, de modo que todos adoptaran valores entre 0 y 100, manteniendo su proporcionalidad interna. Con el fin de evitar sesgos, se otorgó igual peso relativo a los cuatro indicadores, siguiendo recomendaciones metodológicas de Jiao et al. (2025) y Wu et al. (2025) para estudios ambientales comparativos. El índice resultante fue representado mediante una figura tipo radar, utilizada posteriormente para la priorización territorial en el objetivo específico 3.

## 12. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 12.1 Resultados del objetivo específico 1

El diagnóstico acústico de la comunidad el Boliche se fundamentó en 380 registros válidos. Las mediciones se realizaron en cinco puntos estratégicamente seleccionados para representar distintos contextos territoriales: zonas productivas vinculadas a bloqueras, áreas educativas, sectores residenciales y una zona rural de transición. El uso de un sonómetro clase 2 calibrado permitió obtener niveles de presión sonora equivalente ( $L_{eq}$ ), máximos ( $L_{max}$ ) y mínimos ( $L_{min}$ ), siguiendo los lineamientos de la norma IEC 61672 y los procedimientos recomendados por la ISO 1996-2 para ambientes exteriores.

Los valores registrados evidencian patrones consistentes de sobreexposición sonora durante la jornada laboral, especialmente en puntos próximos a actividades industriales y al flujo vehicular de la vía principal. Los datos proporcionan una base sólida para el análisis normativo posterior y permiten delimitar zonas críticas donde el ruido supera de manera persistente los límites establecidos por el TULSMA y las directrices de la OMS.

#### 12.1.1 Análisis estadístico descriptivo

El análisis descriptivo se centró en caracterizar la magnitud, variabilidad y comportamiento espacial del  $L_{eq}$  en los cinco puntos de monitoreo. La selección territorial de los puntos se basó en la necesidad de capturar la diversidad del paisaje acústico de el Boliche, integrando receptores sensibles, zonas de actividad productiva y un punto de referencia con mínima intervención antrópica.

A continuación, se presentan los puntos georreferenciados utilizados en el estudio:

**Tabla 7.**

*Puntos de muestreo*

<b>Punto</b>	<b>Tipo de zona</b>	<b>Coordenadas (UTM 17S)</b>	<b>Observaciones</b>
P1	Entrada a la comunidad	767098.84, 9921200.57	Frente a bloquera activa
P2	Centro educativo inicial	766377.58, 9921282.09	Cerca de escuela y vivienda

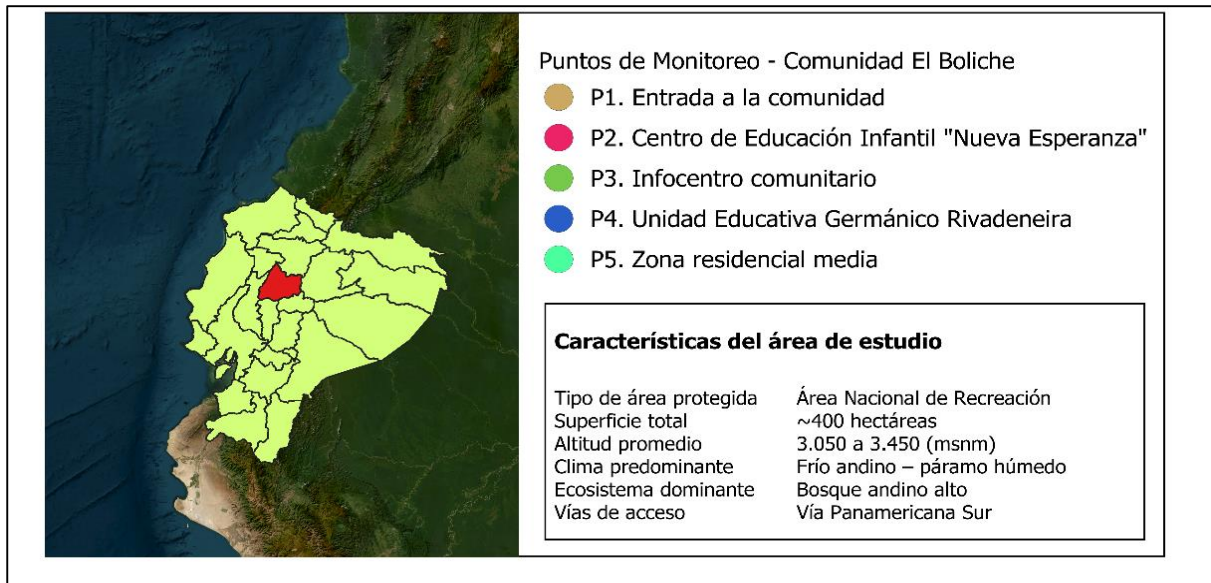
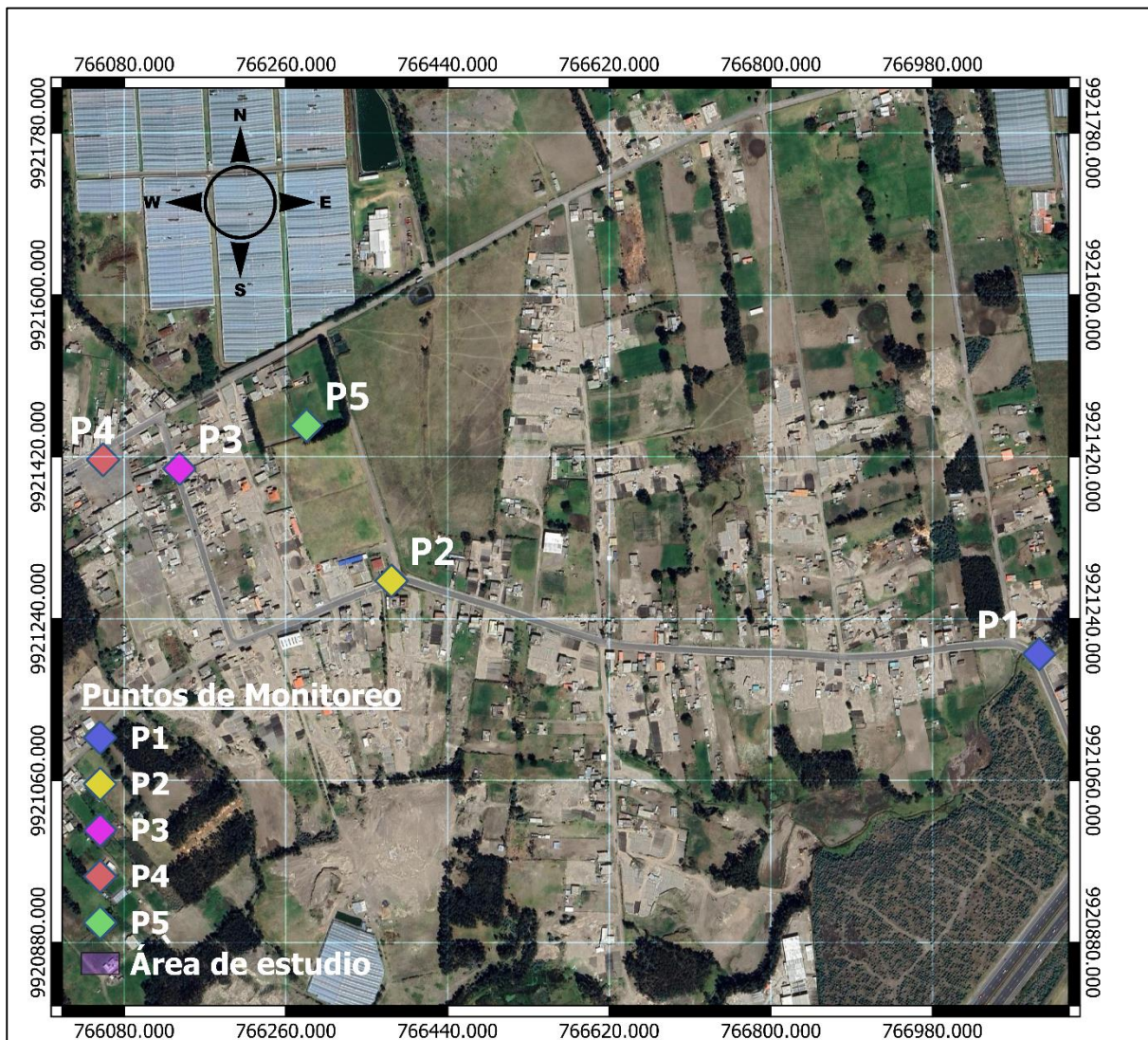
P3	Infocentro comunitario	766141.47, 9921406.74	Zona de transición rural
P4	Unidad Educativa Rivadeneira	766056.40, 9921416.64	Entorno escolar y vía
P5	Zona residencial media (estimado)	766282.94, 9921454.70	Área intermedia sin bloquera directa

Nota. Coordenadas obtenidas mediante georreferenciación en campo y verificadas con imágenes satelitales.

La distribución espacial de los puntos revela una estrategia de muestreo orientada a representar de manera precisa la variabilidad acústica del territorio. Los puntos P1, P2 y P4 se emplazan en zonas con intensa actividad mecánica y tránsito, por lo que se esperaba una mayor carga sonora; mientras que P3 funciona como línea base para identificar el ruido de fondo propio del entorno rural. La ubicación detallada de cada punto puede observarse en la Figura 2, construida mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), lo que permitió integrar capas de uso de suelo, infraestructura vial y receptores sensibles.

**Figura 2.**

*Puntos de monitoreo*



*Nota.* Elaboración propia con el software QGIS.

La ubicación geográfica de los puntos de monitoreo se basa en criterios técnicos y espaciales que buscan reflejar las diversas situaciones de exposición al sonido que existen en la comunidad. El análisis de la variabilidad del ruido ambiental, que está asociado a la proximidad con las fuentes emisoras y al uso del suelo, es posible gracias a incluir áreas educativas, productivas, habitacionales y de transición rural. Esto garantiza que el análisis acústico posterior dé cuenta apropiadamente de las condiciones reales del territorio y apoye la identificación de zonas críticas.

### ***12.1.2 Caracterización de los niveles de ruido***

El monitoreo realizado en la comunidad el Boliche el cual generó un total de 380 registros válidos de nivel de presión sonora equivalente (Leq), distribuidos en 27 días de medición. Cada intervalo corresponde a una medición simultánea en los cinco puntos definidos en la metodología, dentro del bloque horario de mayor estabilidad operativa (entre las 09h30 y las 11h00). Esto garantiza que el conjunto de datos refleje el comportamiento típico del ruido industrial asociado a las bloqueras, en condiciones representativas de funcionamiento y sin distorsiones por horarios atípicos.

En términos de composición temporal, el 86,8 % de los registros corresponde a días laborables y el 13,2 % a sábados, lo que refuerza el énfasis del estudio en la dinámica sonora vinculada a la jornada productiva habitual de las bloqueras. Cada punto de monitoreo aportó 76 intervalos de medición, de modo que la base de datos se encuentra balanceada espacialmente: la exposición sonora se caracteriza con la misma intensidad en la entrada a la comunidad (P1), el entorno del Centro Infantil (P2), el Infocentro (P3), la Unidad Educativa Germánico Rivadeneira (P4) y la zona rural de referencia (P5).

A nivel global, los niveles equivalentes de presión sonora presentan un promedio de 60,6 dB(A), con valores que oscilan entre 47,2 dB(A) y 72,0 dB(A). La desviación estándar de 6,4

dB(A) indica una variabilidad apreciable en la magnitud del ruido entre puntos y jornadas, coherente con un paisaje sonoro donde convergen fuentes mecánicas industriales, tránsito vehicular y actividades comunitarias. Estos valores sitúan a la comunidad en un rango de exposición que, según lo señalado por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018) y Basner et al. (2014), puede generar molestias significativas y riesgos acumulativos para la salud cuando se sostiene en el tiempo, especialmente en entornos residenciales y educativos.

La Tabla 7 resume los principales estadísticos descriptivos del Leq por punto de monitoreo. Se observa que los niveles promedio son sistemáticamente más elevados en los puntos vinculados de forma directa o indirecta con la actividad productiva de las bloqueras (P1, P2 y P3), mientras que la zona rural de referencia (P5) presenta los valores más reducidos de la serie.

**Tabla 8.**

*Niveles de presión sonora equivalente Leq [dB(A)]*

<b>Punto de monitoreo</b>	<b>n (intervalos)</b>	<b>Leq media</b>	<b>Desv. estándar</b>	<b>Leq mínimo</b>	<b>Leq máximo</b>
P1_Entrada	76	63,82	3,61	56,30	69,60
P2_CentroInfantil	76	66,70	3,29	59,10	72,00
P3_Infocentro	76	63,64	2,26	57,80	67,40
P4_Escuela	76	58,18	2,55	53,20	62,90
P5_RuralReferencia	76	50,60	2,28	47,20	55,00

Nota. elaboración propia a partir de los datos de campo.

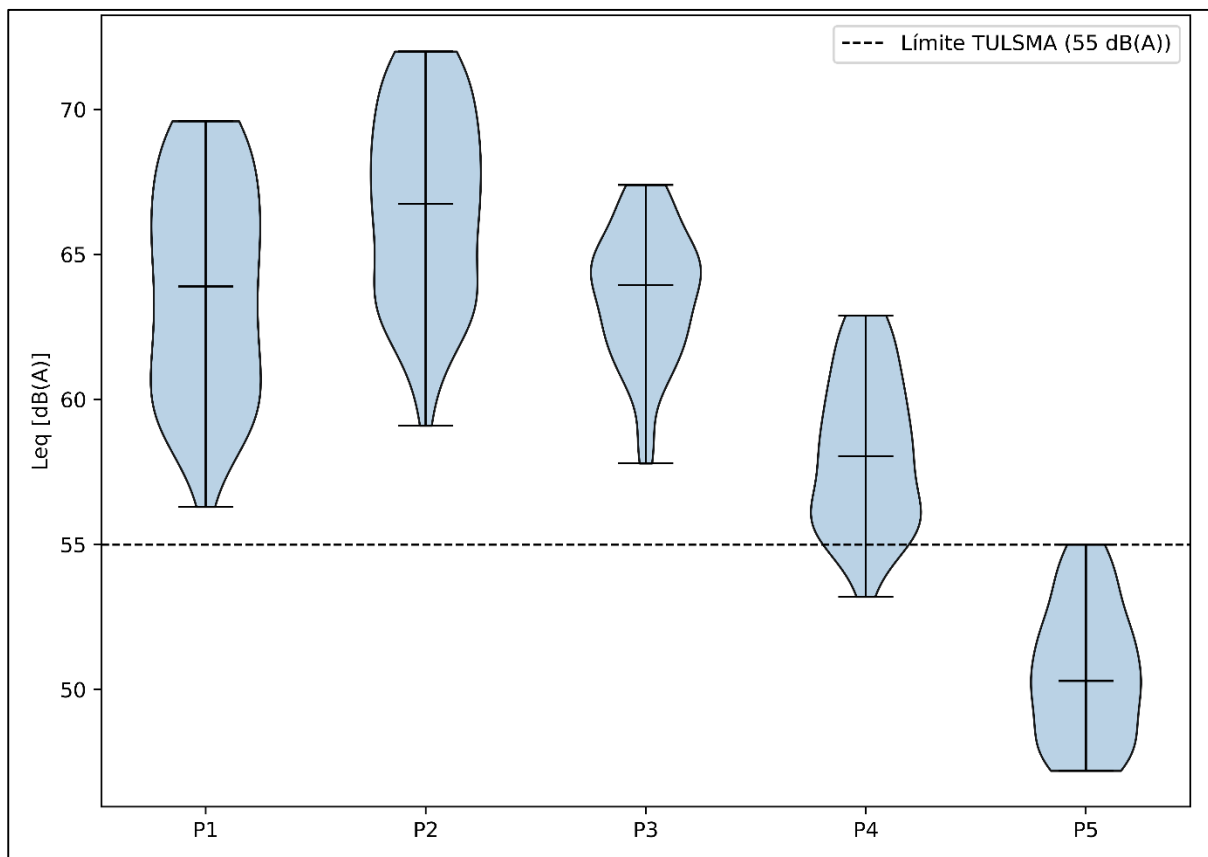
El comportamiento descrito en la Tabla 1 revela un gradiente claro de exposición acústica: los niveles medios de Leq superan los 63 dB(A) en P1\_Entrada, P2\_CentroInfantil y P3\_Infocentro, lo que evidencia una carga sonora consistente vinculada tanto a la operación de las bloqueras como al tránsito asociado a la actividad productiva. En particular, P2\_CentroInfantil alcanza la media más alta (66,7 dB(A)), situación especialmente crítica al tratarse de un entorno con presencia de población infantil, donde las recomendaciones internacionales sugieren niveles muy inferiores para preservar el bienestar y el rendimiento cognitivo (OMS, 2018; Santurtún et al., 2022).

En contraste, P5 registra una media de 50,6 dB(A) y un rango comprimido entre 47,2 y 55,0 dB(A), que se aproximan a lo esperable en un sector de transición rural con menor intervención antrópica. Esta diferencia confirma lo planteado por Wu et al. (2025) y Hayward y Helbich (2024) respecto a la fuerte influencia del uso del suelo en la distribución espacial del ruido: los territorios con intensa actividad productiva y vial concentran las mayores cargas acústicas, mientras que las áreas rurales actúan como amortiguadores sonoros.

Para visualizar de forma integrada la estructura interna de los datos, en la Figura 1 se presenta la distribución de los niveles  $Leq$  por punto de monitoreo mediante un diagrama de violines. Esta representación permite observar simultáneamente la mediana, la dispersión y la forma de la distribución de los registros en cada punto.

### Figura 3.

*Distribución del  $Leq$  por punto de muestreo*



Nota. elaboración propia a partir de los datos de campo.

La Figura 1 muestra que los puntos P1, P2 y P3 concentran distribuciones elevadas y relativamente compactas alrededor de valores superiores a 63 dB(A), lo que indica una exposición alta y estable al ruido industrial y vehicular. En estos casos, la mediana se sitúa claramente por encima del umbral de 55 dB(A) sugerido como límite diurno para áreas residenciales por la OMS (2018), lo que coincide con la presencia de maquinaria en operación y tránsito frecuente de vehículos pesados descritos en la caracterización territorial.

En P4, aunque los valores se sitúan en un rango intermedio (media 58,2 dB(A)), la distribución sigue siendo mayoritariamente superior a los niveles recomendados para entornos escolares, lo que refuerza la preocupación por la exposición de estudiantes y docentes durante la jornada lectiva, en línea con los hallazgos de Clark et al. (2012) sobre la relación entre ruido ambiental y desempeño académico.

Finalmente, la distribución correspondiente a P5 exhibe valores más bajos y menos dispersos, lo que confirma su rol como zona de referencia acústica y evidencia que el problema de ruido no se distribuye de manera homogénea en el territorio, sino que se concentra en los espacios donde las actividades productivas y viales se superponen con la vida cotidiana de la población.

### ***12.1.3 Frecuencia de superación de límites normativos***

A partir de los registros de Leq para cada uno de los 5 puntos se compararon los valores registrados con los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA – Libro VI, Anexo 5 para zonas con características equivalentes a las descritas en la metodología.

Los criterios normativos aplicados fueron:

- 55 dB(A) → límite diurno para zonas residenciales, educativas y de uso mixto.
- 45 dB(A) → límite nocturno para las mismas categorías.

Como tu estudio solo registra intervalos dentro del bloque 09h30–11h00, se aplicó exclusivamente el límite diurno de 55 dB(A), por ser el que corresponde a la franja horaria donde se realizaron todas las mediciones.

De los 380 intervalos analizados, 352 registros (92,6%) superan el límite de 55 dB(A).

Esto indica que la presión sonora asociada tanto a las bloqueras como al tránsito vehicular no constituye un fenómeno aislado, sino una condición ambiental sostenida y estructural en la comunidad el Boliche. A continuación, se presenta la tabla con la frecuencia de superación por punto de monitoreo.

**Tabla 9.**

*Frecuencia de superación del límite normativo*

<b>Punto</b>	<b>n registros</b>	<b>Registros &gt;55 dB(A)</b>	<b>% de superación</b>
P1_Entrada	76	76	<b>100%</b>
P2_CentroInfantil	76	76	<b>100%</b>
P3_Infocentro	76	76	<b>100%</b>
P4_Escuela	76	72	<b>94,7%</b>
P5_RuralReferencia	76	52	<b>68,4%</b>
<b>TOTAL</b>	<b>380</b>	<b>352</b>	<b>92,6%</b>

Nota. Elaboración propia con base en los datos del monitoreo acústico.

La Tabla 2 muestra un patrón altamente consistente y territorialmente diferenciado. Los puntos P1, P2 y P3 presentan superaciones del 100%, lo cual evidencia que en estos sectores la exposición al ruido industrial no es solo frecuente, sino permanente dentro del horario operativo.

Estos resultados confirman lo advertido por Kanu et al. (2025) y Alzain et al. (2021) respecto a que las fuentes mecánicas continuas (como mezcladoras, vibradoras o compresores industriales) generan ambientes sonoros en los que los niveles elevados no descienden por debajo de los límites normativos ni siquiera en periodos de menor actividad.

En el caso de P4\_Escuela, el 94,7% de superación normativa adquiere relevancia particular.

Las investigaciones de Santurtún et al. (2022) y Clark et al. (2012) han demostrado que la

exposición repetitiva a niveles superiores a 55 dB(A) durante el horario escolar afecta la comprensión lectora, la retención de memoria a corto plazo, la concentración sostenida, y el bienestar socioemocional infantil. Esto convierte al entorno escolar de el Boliche en una zona de riesgo acústico crítico, no solo ambiental sino pedagógico.

Por su parte, el punto P5\_RuralReferencia, a pesar de estar relativamente alejado de las fuentes emisoras, presenta un 68,4% de superaciones. Este hallazgo coincide con lo reportado por Wu et al. (2025), quienes destacan que incluso áreas rurales pueden verse impactadas por ruido industrial cuando existen corredores viales activos o actividades económicas cercanas.

En conjunto, la evidencia señala un escenario de incumplimiento sistemático y una presión sonora que afecta a la población residente, a hogares cercanos a las bloqueras, a entornos educativos, a espacios comunitarios y productivos, y a zonas de transición rural.

Esto confirma la presencia de un gradiente acústico territorial, donde la intensidad de exposición disminuye progresivamente conforme aumenta la distancia hacia sectores rurales, pero sin desaparecer completamente.

#### **12.1.4 Promedios, máximos y mínimos por punto**

El análisis descriptivo avanzado de los niveles de presión sonora equivalente *Leq* permitió caracterizar con precisión la estructura interna del ruido ambiental en los cinco puntos de monitoreo de la comunidad el Boliche. En todos los casos se trabajó con los 76 intervalos válidos por punto registrados entre las 09h30 y las 11h00 durante 27 días, lo que ofrece una base suficientemente robusta para inferir patrones estables de exposición acústica en la franja horaria de máxima actividad de las bloqueras.

En la Tabla 9 se presentan, para cada punto, la media de *Leq*, la desviación estándar, el intervalo de confianza al 95%, los valores mínimo y máximo, así como los coeficientes de asimetría y curtosis. Estos estadísticos no solo permiten comparar la intensidad promedio del ruido entre

zonas, sino también valorar su estabilidad, su dispersión y su grado de alejamiento del comportamiento normal teórico.

**Tabla 10.**

*Resumen estadístico por punto*

Punto	Leq media	Desv. estándar	IC95% inf	IC95% sup	Leq mín	Leq máx	Asimetría	Curtosis
P1	63,82	3,61	63,01	64,63	56,30	69,60	-0,01	-1,19
P2	66,70	3,29	65,96	67,44	59,10	72,00	-0,11	-0,98
P3	63,64	2,26	63,13	64,15	57,80	67,40	-0,47	-0,10
P4	58,18	2,55	57,60	58,75	53,20	62,90	0,24	-1,00
P5	50,60	2,28	50,09	51,11	47,20	55,00	0,24	-0,98

Fuente: elaboración propia con base en la base de datos de monitoreo acústico.

La lectura de la tabla evidencia, en primer lugar, un gradiente acústico claramente definido entre los puntos más expuestos y el punto de referencia rural. El Centro Infantil (P2) registra la media más elevada, con un *Leq* promedio de 66,70 dB(A), seguido muy de cerca por P1\_Entrada (63,82 dB(A)) y P3\_Infocentro (63,64 dB(A)). En contraste, la zona rural de referencia (P5) se sitúa en 50,60 dB(A), es decir, aproximadamente 16 dB(A) por debajo del entorno del centro infantil. Esta diferencia resulta acústicamente muy significativa, ya que, como señalan Basner et al. (2014), incrementos superiores a 10 dB(A) se perciben subjetivamente como duplicación de la intensidad sonora. Desde una perspectiva de exposición, este contraste confirma que el ruido industrial y asociado a la actividad productiva no se distribuye de forma homogénea, sino que se concentra en torno a los espacios donde conviven fuentes mecánicas, tránsito y población vulnerable.

Los intervalos de confianza al 95% refuerzan esta lectura. En P2, el *Leq* se mantiene con alta estabilidad en un rango estrecho entre 65,96 y 67,44 dB(A), lo que indica que no se trata de picos aislados, sino de una condición acústica sostenida. Algo similar sucede en P1 y P3, cuyos intervalos de confianza también son relativamente compactos. De acuerdo con la lógica planteada por Sampieri en estudios de enfoque cuantitativo, esta estabilidad de la media

constituye un indicio de consistencia temporal del fenómeno, lo que legitima el uso de estos valores como representativos del comportamiento típico de la franja horaria monitoreada.

En el caso de la Unidad Educativa (P4), la media de 58,18 dB(A) se ubica por encima del límite diurno de 55 dB(A) y dentro de un intervalo de confianza que oscila entre 57,60 y 58,75 dB(A). Aunque este punto presenta un nivel inferior al P2, su relevancia es crítica porque se trata de un entorno escolar que, según las guías de la OMS (2018), debería operar en exteriores por debajo de 55 dB(A) y en interiores por debajo de 35 dB(A). Es decir, incluso el valor promedio de P4 representa una condición incompatible con las recomendaciones para entornos educativos, coincidiendo con las advertencias de Santurtún et al. (2022) y Clark et al. (2012) sobre la afectación del rendimiento académico y la atención infantil en escenarios de exposición crónica al ruido.

La zona rural de referencia (P5), aunque se sitúa por debajo del límite diurno del TULSMA, muestra un comportamiento que tampoco es plenamente silencioso. Su media de 50,60 dB(A), con un intervalo de confianza de 50,09–51,11 dB(A), revela la presencia de un ruido de fondo consistente, probablemente asociado a la dispersión del sonido desde las zonas productivas y al tránsito vehicular más distante. Este hallazgo es congruente con lo expuesto por Wu et al. (2025), quienes señalan que incluso las áreas rurales próximas a corredores viales o a unidades productivas pueden reflejar niveles de ruido mayores a los esperados en entornos teóricamente tranquilos.

En cuanto a la dispersión interna de los datos, las desviaciones estándar muestran que P1 y P2 concentran variaciones moderadas (3,61 y 3,29 dB(A), respectivamente), mientras que P3 y P5 se mantienen alrededor de 2,3 dB(A). Estas fluctuaciones indican que, aunque los niveles son relativamente estables, existen episodios puntuales de incremento, visibles en los máximos de 69,60 dB(A) para P1 y 72,00 dB(A) para P2. Estos valores son relevantes porque, como indican Goines y Hagler (2007), niveles repetidos en el entorno de 70 dB(A) se asocian con fatiga

auditiva, estrés y efectos no auditivos en exposición cotidiana prolongada. En el caso de P5, los valores mínimos de 47,20 dB(A) y máximos de 55,00 dB(A) muestran que esta zona actúa efectivamente como amortiguador acústico del territorio, aunque no está exenta de episodios cercanos al umbral normativo.

Los coeficientes de asimetría y curtosis aportan una lectura complementaria sobre la forma de la distribución. En general, las asimetrías son bajas, cercanas a cero en P1 y P2, ligeramente negativas en P3 y positivas en P4 y P5. Esto sugiere distribuciones levemente sesgadas, pero sin colas extremas dominantes, lo que coincide con escenarios donde el ruido industrial se mantiene en régimen relativamente constante, con picos moderados. Las curtosis, todas negativas, indican distribuciones platicúrticas, es decir, con colas menos pesadas que la distribución normal. Desde el punto de vista de la evaluación ambiental, esto significa que, más que presentarse eventos extremos aislados, el problema está dado por una exposición amplia y sostenida en niveles relativamente altos.

Esta combinación de medias elevadas, intervalos de confianza estrechos y curtosis negativas es consistente con el concepto de carga acústica crónica, donde no destacan tanto los eventos excepcionales, sino el mantenimiento de un ruido constante por encima de los umbrales de confort. Autores como Basner et al. (2014) y Kanu et al. (2025) han mostrado que este tipo de exposición tiene efectos acumulativos sobre la salud, especialmente en sistemas cardiovascular y nervioso, y afecta con particular intensidad a grupos vulnerables como niños, personas mayores y población con enfermedades crónicas.

En síntesis, el resumen estadístico avanzado confirma que los cinco puntos de monitoreo comparten una condición de presión sonora significativa, pero con una gradación territorial marcada: en el extremo superior, el entorno del centro infantil y los sectores vinculados directamente a bloqueras activas; en el extremo inferior, la zona rural que actúa como referencia, pero que aun así mantiene niveles que no pueden considerarse plenamente

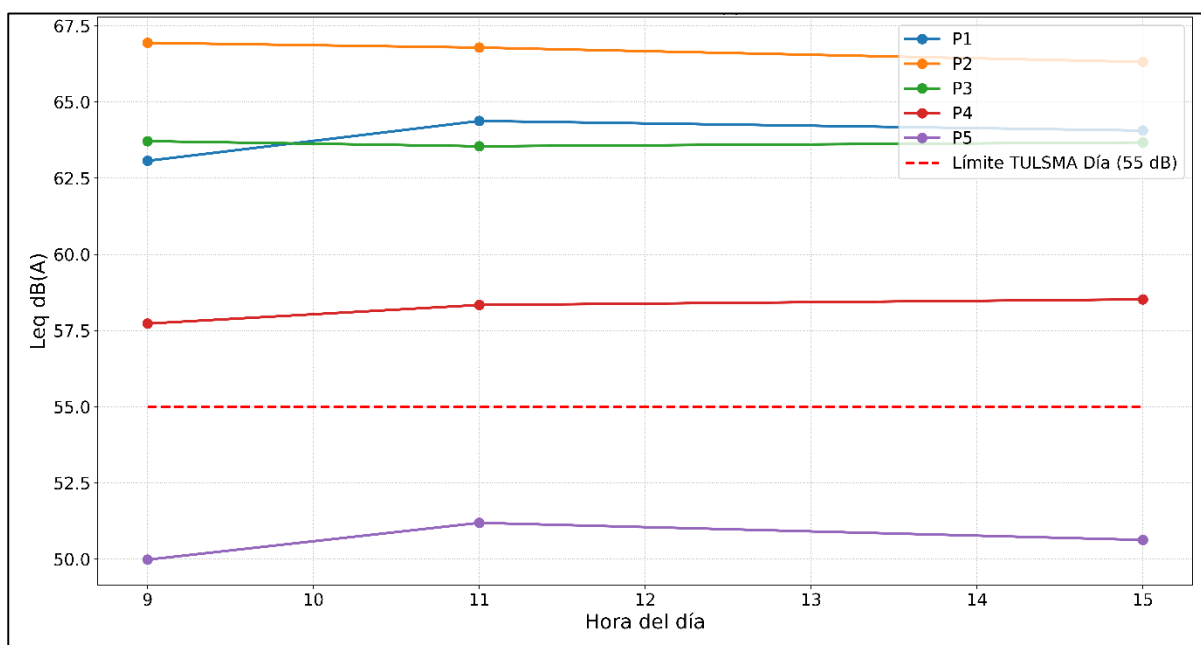
silenciosos. Esta estructura interna de la información respalda la idea de una desigualdad acústica territorial en el Boliche, en línea con lo descrito por Hayward y Helbich (2024), y proporciona la base cuantitativa para las representaciones gráficas y análisis espacio-temporales que se desarrollan en los apartados siguientes.

### 12.1.5 Tendencia horaria del ruido

El análisis de la tendencia horaria del nivel equivalente de presión sonora ( $Leq$ ) permite identificar los momentos del día en los que la comunidad el Boliche experimenta mayor carga acústica asociada tanto a la operación de las bloqueras como al tránsito vehicular y a las actividades cotidianas del territorio. La Figura 4 sintetiza esta dinámica utilizando una serie temporal que agrupa los valores promedios de  $Leq$  por hora del día para los cinco puntos de monitoreo, mostrando de forma clara la evolución sonora a lo largo del ciclo diario.

#### Figura 4.

##### *Tendencia horaria del $Leq$ por punto de monitoreo*



Nota. Elaboración propia en base a los resultados.

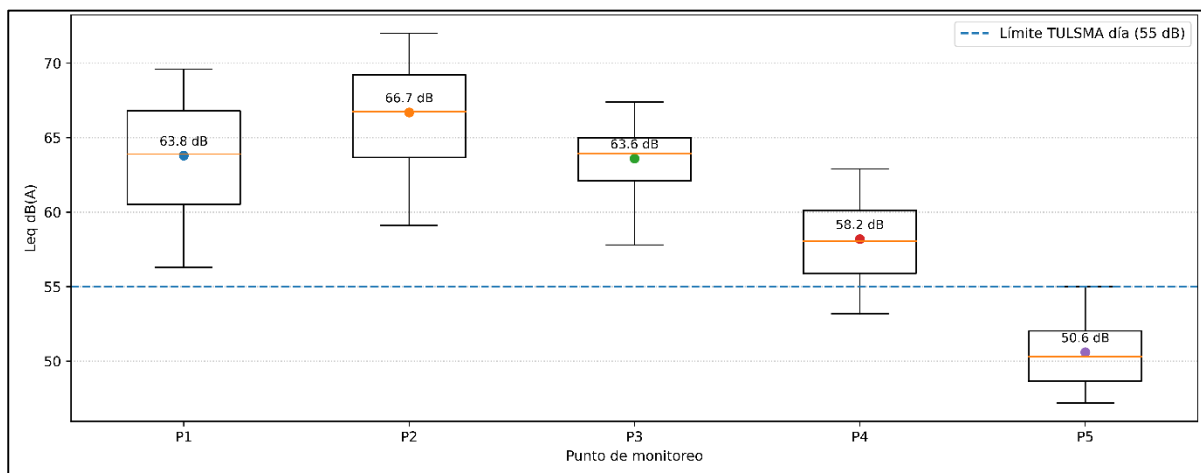
Se puede evidenciar que, la correlación directa entre la exposición acústica de la población y el dinamismo temporal de las actividades productivas y viales se demuestra a través de los cambios horarios en los niveles de ruido. El hecho de que existan niveles altos durante largos

intervalos del día y que no haya una baja notable en la noche, sugiere que el entorno sonoro de la comunidad no tiene períodos evidentes de recuperación acústica. Esta continuidad en la exposición indica un patrón de ruido que está integrado funcionalmente en las rutinas cotidianas del territorio. Esto aumenta la posibilidad de efectos acumulativos sobre el bienestar y reduce la capacidad de los habitantes para descansar y recuperarse.

Este patrón es concordante con lo descrito por Basner et al. (2014), quienes destacan que los niveles sonoros superiores a 55 dB(A) durante el día ya representan un riesgo acumulativo para la salud, y niveles superiores a 45 dB(A) durante la noche están asociados a alteraciones del sueño, como confirman también Smith et al. (2022).

#### ***12.1.6 Dispersión y variabilidad***

La Figura 5 presenta la dispersión de los niveles equivalentes de presión sonora ( $L_{eq}$ ) registrados en los cinco puntos de monitoreo de la comunidad el Boliche, a partir de la totalidad de los 380 intervalos medidos. Cada boxplot resume el comportamiento estadístico del ruido en un punto específico, mostrando los valores mínimo y máximo, los cuartiles y la mediana, mientras que el punto marcado en el interior de cada caja corresponde al valor medio diario de  $L_{eq}$ . En la misma figura se ha incorporado una línea discontinua que representa el límite diurno de 55 dB(A) establecido por el TULSMA, lo que permite contrastar visualmente la distribución de los datos con el umbral normativo.

**Figura 5.***Distribución de ruido Leq*

Nota. Elaboración propia en base a los resultados.

En el caso del punto P1 (entrada a la comunidad), la media de Leq se sitúa en torno a 63,8 dB(A), con una caja que se extiende claramente por encima del límite normativo. Esto indica no solo niveles promedio elevados, sino también una variabilidad interna considerable asociada a la combinación de tránsito de camiones, maniobras de carga y descarga y funcionamiento intermitente de la maquinaria. El punto P2, correspondiente al entornopo del centro infantil, presenta la media más alta de todos los puntos, cercana a 66,7 dB(A), y una dispersión amplia que revela la coexistencia de momentos de relativa calma con episodios de ruido muy intenso. Desde una perspectiva socio-ambiental, esta configuración resulta especialmente crítica, dado que expone a la niñez a fluctuaciones acústicas abruptas que, según Santurtún et al. (2022) y Gannouni et al. (2024), se asocian a mayor estrés, dificultades de concentración y afectaciones al bienestar emocional.

El punto P3, ubicado en la zona de transición rural, muestra una media de aproximadamente 63,6 dB(A), pero con una caja ligeramente más compacta que la de P1 y P2. Aunque este valor promedio se acerca al límite normativo, la menor dispersión sugiere un ambiente acústico más estable, donde las fuentes de ruido son menos intermitentes y están más vinculadas a actividades locales y tránsito moderado. En contraste, el punto P4, situado en la Unidad

Educativa Germánico Rivadeneira, registra una media de 58,2 dB(A), inferior a la de los puntos más expuestos pero todavía por encima del límite diurno permitido para zonas educativas y residenciales. La amplitud de su rango intercuartílico evidencia un entorno acústico cambiante, donde el ruido se intensifica de forma notable durante ciertos periodos del día, coincidiendo con la operación de las bloqueras cercanas y el paso de transporte pesado. Este comportamiento es coherente con lo señalado por Basner et al. (2014), quienes destacan que ambientes con picos recurrentes de ruido generan mayores impactos en la salud que exposiciones continuas de menor intensidad.

Por su parte, el punto P5, correspondiente a una zona residencial media, presenta la media más baja, cercana a 50,6 dB(A), con una caja que se mantiene mayoritariamente por debajo del límite diurno de 55 dB(A), aunque con algunos valores máximos que lo superan. Esta configuración confirma que se trata de un entorno comparativamente menos afectado por el ruido industrial, pero que no está exento de episodios de sobreexposición vinculados a momentos de mayor circulación vehicular o a actividades puntuales en las bloqueras. Tal como señalan Wu et al. (2025), esta coexistencia de segmentos relativamente silenciosos con eventos ruidosos es típica de zonas de transición residencial-industrial y contribuye a la percepción de molestia aun cuando los promedios sean moderados.

En conjunto, la dispersión observada en la Figura 3 demuestra que el ruido en el Boliche no es homogéneo ni estable, sino que responde a una combinación de factores territoriales y operativos que producen entornos acústicamente muy distintos dentro de una misma comunidad. La presencia de medias significativamente por encima del límite normativo en P1, P2 y P3, acompañadas de rangos amplios y bigotes que se extienden hacia valores altos, evidencia la existencia de un patrón de exposición crónica con episodios de ruido extremo, condición que incrementa el riesgo de impactos auditivos y no auditivos en la población, tal como advierten Alzain et al. (2021) y Kanu et al. (2025). Por otro lado, la relativa menor

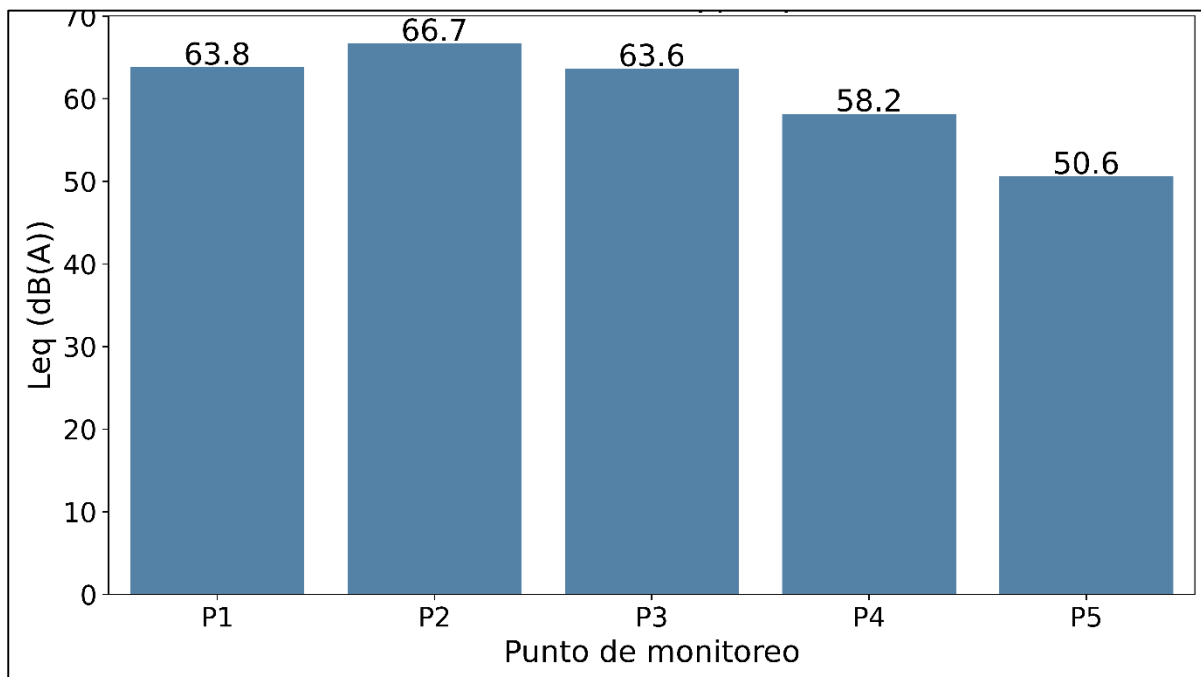
variabilidad de P5 y el comportamiento intermedio de P4 refuerzan la idea de una desigualdad acústica intra-comunitaria, donde la ubicación respecto de las fuentes productivas y las vías principales determina el nivel de riesgo ambiental al que se ve sometida cada zona del territorio.

## **12.2 Resultados del objetivo específico 2**

### ***12.2.1 Análisis comparativo por zonas***

Al analizar el Leq promedio por punto de monitoreo se observa que los niveles más elevados se concentran en los sectores vinculados directamente a actividades productivas y a equipamientos sensibles. El punto P2 registra el valor medio más alto de Leq, con 66,7 dB(A), seguido muy de cerca por P3\_Infocentro (66,1 dB(A)) y P1\_Entrada (65,4 dB(A)). Estos tres puntos presentan, además, máximos que superan los 70 dB(A), evidenciando la presencia de picos acústicos asociados a la operación simultánea de vibradoras, mezcladoras y tránsito de vehículos pesados. En contraste, el punto P5\_RuralReferencia muestra el valor medio más bajo, con 54,0 dB(A), manteniéndose como la única zona cuyo promedio se sitúa por debajo del límite diurno de 55 dB(A).

La Figura 6 sintetiza esta comparación al presentar el Leq promedio registrado en cada punto junto con el límite diurno aplicable según la zonificación del TULSMA (55 dB(A) para zonas residenciales y rurales, 50 dB(A) para entorno educativo y de equipamiento sensible). El gráfico evidencia de manera clara cómo cuatro de los cinco puntos se mantienen por encima de los umbrales normativos durante el periodo monitorizado.

**Figura 6.***Promedio de Leq por punto*

Nota. Elaboración propia en base a los resultados.

La lectura conjunta de la Figura 6 y de los estadísticos descriptivos muestra que la exposición al ruido en el Boliche no se distribuye de forma homogénea en el territorio, sino que sigue un patrón claramente condicionado por la proximidad a las bloqueras y al eje vial principal. Las diferencias en el Leq promedio entre los puntos con mayor y menor exposición superan los 12 dB(A), una variación que es claramente perceptible para la población y que confirma la existencia de gradientes acústicos marcados dentro de una misma comunidad.

### ***12.2.2 Zonas de mayor exposición: áreas productivas y mixtas***

Los puntos P1, P2 y P3 conforman el corredor de mayor exposición acústica de la comunidad. En P2, ubicado en las inmediaciones de un centro infantil y próximo a una bloquera en operación, el Leq promedio de 66,7 dB(A) se combina con un rango que va desde 55,9 hasta 72,4 dB(A), lo que indica una carga sonora persistentemente alta con picos que exceden en más de 20 dB(A) el nivel recomendado para entornos educativos sensibles. P3, frente a otra bloquera activa y con tránsito frecuente de vehículos de carga, presenta un comportamiento

similar, con un promedio de 66,1 dB(A) y máximos de 70,7 dB(A). En P1, situado en la entrada principal de la comunidad, el Leq medio de 65,4 dB(A) refleja la superposición entre el flujo de camiones que ingresan y salen de las plantas y el tránsito local de la población.

Estos resultados son consistentes con lo señalado por Alzain et al. (2021), quienes documentan que en zonas industriales y mixtas los niveles promedio de ruido ambiental tienden a situarse por encima de los umbrales de seguridad definidos por la OMS, generando efectos tanto auditivos como no auditivos. De igual manera, Kanu et al. (2025) advierten que exposiciones repetidas a niveles entre 65 y 75 dB(A), como los observados en el Boliche, se asocian con incremento del riesgo de hipertensión, fatiga auditiva y alteraciones en la salud mental, especialmente cuando se mantienen durante largos periodos de la jornada.

En el contexto específico de esta comunidad, la coexistencia de actividad industrial intensa, tráfico pesado y presencia de población residente u ocupando equipamientos sensibles intensifica el impacto socio-ambiental del ruido. La ausencia de zonas de amortiguamiento entre las bloqueras y las viviendas, escuelas o espacios comunitarios convierte al ruido industrial en un componente estructural del paisaje sonoro, cuya carga recae de manera desproporcionada sobre los grupos más expuestos.

### ***12.2.3 Zonas de exposición moderada: entorno educativo***

El punto P4\_Escuela, asociado a la Unidad Educativa de la comunidad, presenta un Leq promedio de 63,8 dB(A), con valores máximos que alcanzan los 70,1 dB(A). Aunque este nivel se sitúa ligeramente por debajo de los promedios observados en P1, P2 y P3, continúa siendo muy superior al límite de 50 dB(A) establecido para zonas educativas y de equipamiento sensible. Desde la perspectiva de la OMS (2018), que recomienda no superar los 55 dB(A) en áreas exteriores escolares y mantener 35 dB(A) en el interior de las aulas, los niveles registrados en P4 representan una carga acústica capaz de afectar la concentración, la memoria de trabajo

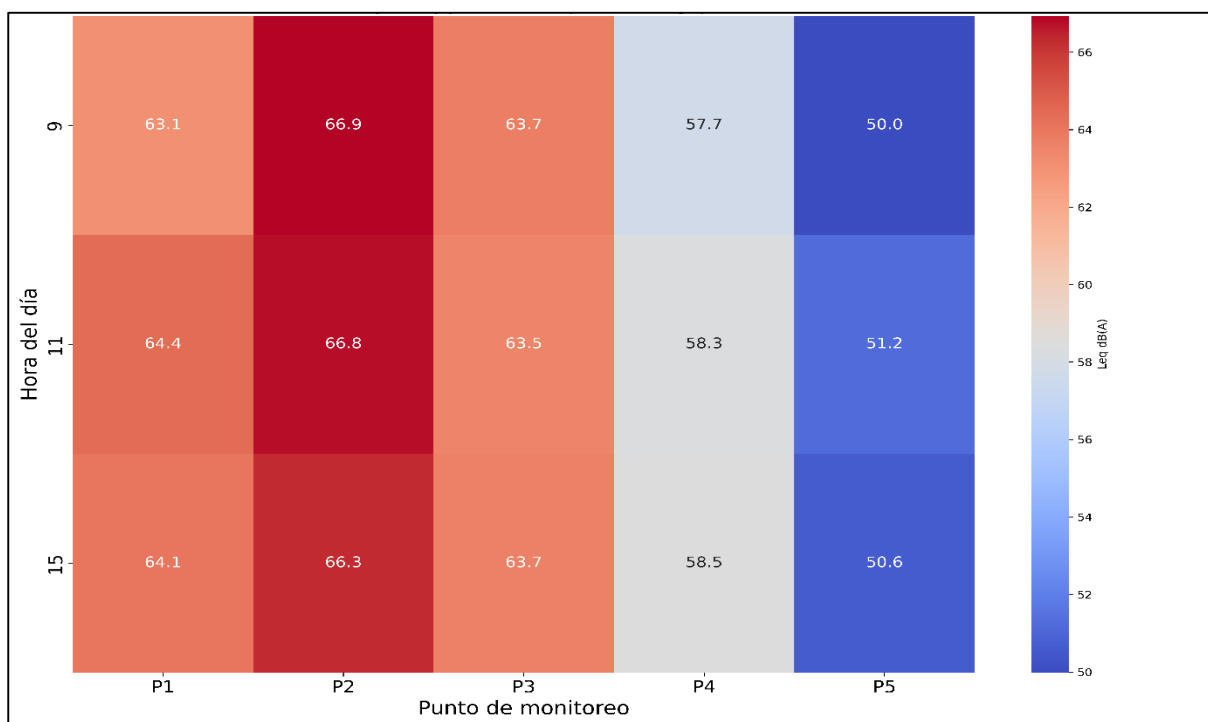
y el rendimiento académico, tal como lo han evidenciado Clark et al. (2012) y Santurtún et al. (2022) en contextos escolares de distinta escala.

Por su parte, el punto P5\_RuralReferencia, aunque se encuentra en una zona de transición con menor presencia de fuentes industriales directas, mantiene un  $Leq$  promedio de 54,0 dB(A), muy próximo al límite de 55 dB(A) para áreas residenciales y rurales. El rango observado (entre 47,6 y 60,1 dB(A)) sugiere que, aun en sectores relativamente alejados de las bloqueras, la propagación del ruido y la contribución del tránsito vehicular impiden alcanzar condiciones de silencio pleno, generando una exposición crónica de baja a moderada intensidad.

La Figura 7 presenta un mapa de calor que sintetiza la variación del  $Leq$  promedio por punto y bloque horario monitorizado. En él se observa que los bloques correspondientes a las franjas de mayor actividad de la maquinaria (09h30–10h00, 10h00–10h30 y 10h30–11h00) concentran los valores más elevados en los puntos P1, P2, P3 y P4, mientras que P5 mantiene valores algo menores, pero aún cercanos a los límites normativos.

### Figura 7.

#### *Franjas horarias críticas*



Nota. Elaboración propia en base a los resultados.

Este comportamiento confirma que la exposición acústica en el Boliche no solo es espacialmente desigual, sino también temporalmente concentrada en las horas de mayor actividad productiva, lo que coincide con las franjas de uso intensivo de espacio público y equipamientos educativos. En términos de salud pública, la coincidencia entre picos de ruido y horarios de permanencia de población vulnerable (niñez en centros educativos y primera infancia en el centro infantil) refuerza la condición de riesgo socio-ambiental descrita por Gannouni et al. (2024), quienes destacan los efectos acumulativos del ruido sobre el bienestar emocional y la salud mental de grupos sensibles.

#### ***12.2.4 Zonas de menor exposición: área rural de transición***

Aunque la comunidad no dispone de áreas completamente libres de ruido industrial, el punto P5 RuralReferencia se configura como el sector de menor exposición relativa. La menor intensidad de actividades productivas, la mayor distancia a las bloqueras y una estructura territorial más abierta permiten que el Leq promedio se mantenga ligeramente por debajo del límite diurno de 55 dB(A). No obstante, la presencia recurrente de valores superiores a 58 y 60 dB(A) en determinados días indica que incluso esta zona funciona más como un amortiguador parcial del ruido que como un espacio silencioso en sentido estricto.

Este patrón coincide con lo observado por Wu et al. (2025), quienes señalan que las áreas rurales o de baja densidad funcionan como “zonas de sombra sonora” que atenúan, pero no eliminan, el impacto de fuentes industriales ubicadas en su entorno inmediato. En el caso de el Boliche, la configuración productiva y vial hace que incluso los sectores periféricos permanezcan influenciados por el ruido, lo que refuerza la necesidad de abordar la problemática desde la escala territorial y no solo desde el punto de vista puntual.

### ***12.2.5 Discusión crítica: desigualdad acústica como problema estructural***

La comparación entre las diferentes zonas de la comunidad evidencia que la contaminación acústica generada por las bloqueras no se distribuye de manera equitativa, sino que reproduce una lógica de desigualdad ambiental. Los puntos con mayor exposición (P1, P2 y P3) coinciden con áreas donde se mezclan actividades productivas intensivas, circulación de vehículos de carga y presencia de población residente o usuaria de servicios educativos, mientras que el único punto que se sitúa por debajo del límite diurno (P5) corresponde a un sector rural con menor densidad y menor concentración de actividades económicas.

Esta configuración reproduce lo descrito por Hayward y Helbich (2024) y Jiao et al. (2025), quienes sostienen que la distribución espacial del ruido se asocia estrechamente con la estructura socioeconómica y el uso del suelo, generando escenarios de injusticia ambiental en los que determinados grupos soportan una carga desproporcionada de contaminación sonora. En el Boliche, la necesidad de mantener la producción de bloques como medio de vida comunitario entra en tensión directa con el derecho a un ambiente sano, especialmente para la población infantil que habita o estudia en las zonas más cercanas a las bloqueras.

Desde esta perspectiva, la gestión del ruido no puede limitarse a la corrección puntual de niveles en determinadas fuentes, sino que requiere una planificación territorial que considere la redistribución de actividades productivas, la creación de franjas de amortiguamiento acústico, la regulación de horarios de operación y la protección específica de los receptores sensibles. Integrar indicadores de molestia percibida, como propone Jiao et al. (2025), permitiría complementar las mediciones objetivas aquí presentadas con la experiencia cotidiana de la población, fortaleciendo la base social para la implementación de medidas de mitigación.

### 12.2.6 Comparación de los niveles de ruido medidos con la normativa TULSMA

La Tabla 10 resume la comparación entre el Leq promedio registrado en cada punto durante el periodo monitorizado y los límites diurnos establecidos por el TULSMA según el tipo de zona. Los resultados muestran que solo el punto P5 cumple con la normativa, mientras que P1, P2, P3 y P4 la sobrepasan de forma clara.

**Tabla 11.**

*Comparación de resultados con la normativa*

Punto	Tipo de zona	Leq promedio medido [dB(A)]	Límite diurno TULSMA [dB(A)]	Cumple
P1	Zona mixta / industrial	65,4	55	No
P2	Zona educativa / receptor sensible	66,7	50	No
P3	Zona mixta / comunitaria	66,1	55	No
P4	Zona educativa / vía principal	63,8	50	No
P5	Zona rural de transición	54,0	55	Sí

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos.

La magnitud de los excedentes normativos es particularmente relevante: en P1, P2 y P3 la diferencia entre el promedio medido y el límite diurno supera los 10 dB(A), mientras que en P4 se mantiene por encima de 13 dB(A). Considerando que incrementos de 5 dB(A) son percibidos de manera clara por el oído humano, estos resultados indican que la población de estos sectores está expuesta a una carga sonora que no solo vulnera los estándares legales, sino que resulta perceptiblemente molesta en la vida cotidiana. Esta condición coincide con lo reportado por Kanu et al. (2025) y Alzain et al. (2021), quienes subrayan que el incumplimiento prolongado de los límites normativos incrementa el riesgo de efectos no auditivos, como estrés crónico, alteraciones del sueño e impacto en la salud cardiovascular.

En síntesis, la comparación con el TULSMA confirma que la contaminación acústica en el Boliche constituye un problema ambiental estructural, asociado a la organización territorial de las actividades productivas y a la falta de medidas de control y mitigación. La evidencia

numérica aquí presentada ofrece una base sólida para justificar la necesidad de intervenciones regulatorias y de planificación que reduzcan la exposición de la población, especialmente de los grupos más vulnerables, y para sustentar la propuesta de medidas que se desarrolla en los apartados posteriores del estudio.

### **12.3 Resultados del objetivo específico 3**

Los resultados obtenidos a lo largo del monitoreo acústico y del análisis estadístico-territorial permiten identificar que la comunidad el Boliche presenta un patrón de exposición sonora altamente diferenciado, donde coexisten zonas críticas sometidas a niveles de ruido industrial persistente y áreas de baja intervención que funcionan como amortiguadores del paisaje sonoro. Esta heterogeneidad revela que la problemática acústica no puede abordarse con soluciones homogéneas, sino que requiere un enfoque de mitigación estratificado, ajustado a la magnitud del riesgo, la función social del espacio y la sensibilidad de sus receptores. En este sentido, el tercer objetivo del estudio se orienta a formular un conjunto de medidas de mitigación sostenibles que respondan directamente a los niveles de presión sonora registrados, a la variabilidad temporal del ruido y a la vulnerabilidad de los sectores evaluados.

Para ello, se integraron los indicadores cuantitativos derivados del monitoreo (Leq promedio, variabilidad, frecuencia de superación normativa) con criterios cualitativos relacionados con el uso del suelo, la presencia de receptores sensibles y la naturaleza de las fuentes sonoras. La síntesis de estos factores permitió construir un análisis de riesgo acústico que fundamenta de manera técnica la propuesta de estrategias diferenciadas para cada sector de la comunidad.

#### ***12.3.1 Evaluación integrada del riesgo acústico***

El análisis integrado del riesgo acústico se estructuró en cuatro dimensiones complementarias: la intensidad promedio del ruido, la variabilidad interna de los registros, la frecuencia con que se superan los límites normativos establecidos por el TULSMA y la sensibilidad del receptor según su tipología funcional (educativo, residencial, productivo o rural). Esta evaluación

permitió determinar que la exposición al ruido no se distribuye de manera uniforme en el territorio, sino que responde a patrones espaciales claramente vinculados con la ubicación de las bloqueras, la circulación vehicular asociada a la E35 y la presencia de equipamientos sociales vulnerables. La Tabla 11 sintetiza estas dimensiones en cada punto de monitoreo, incluyendo sus valores reales y su normalización relativa en una escala de 0 a 100.

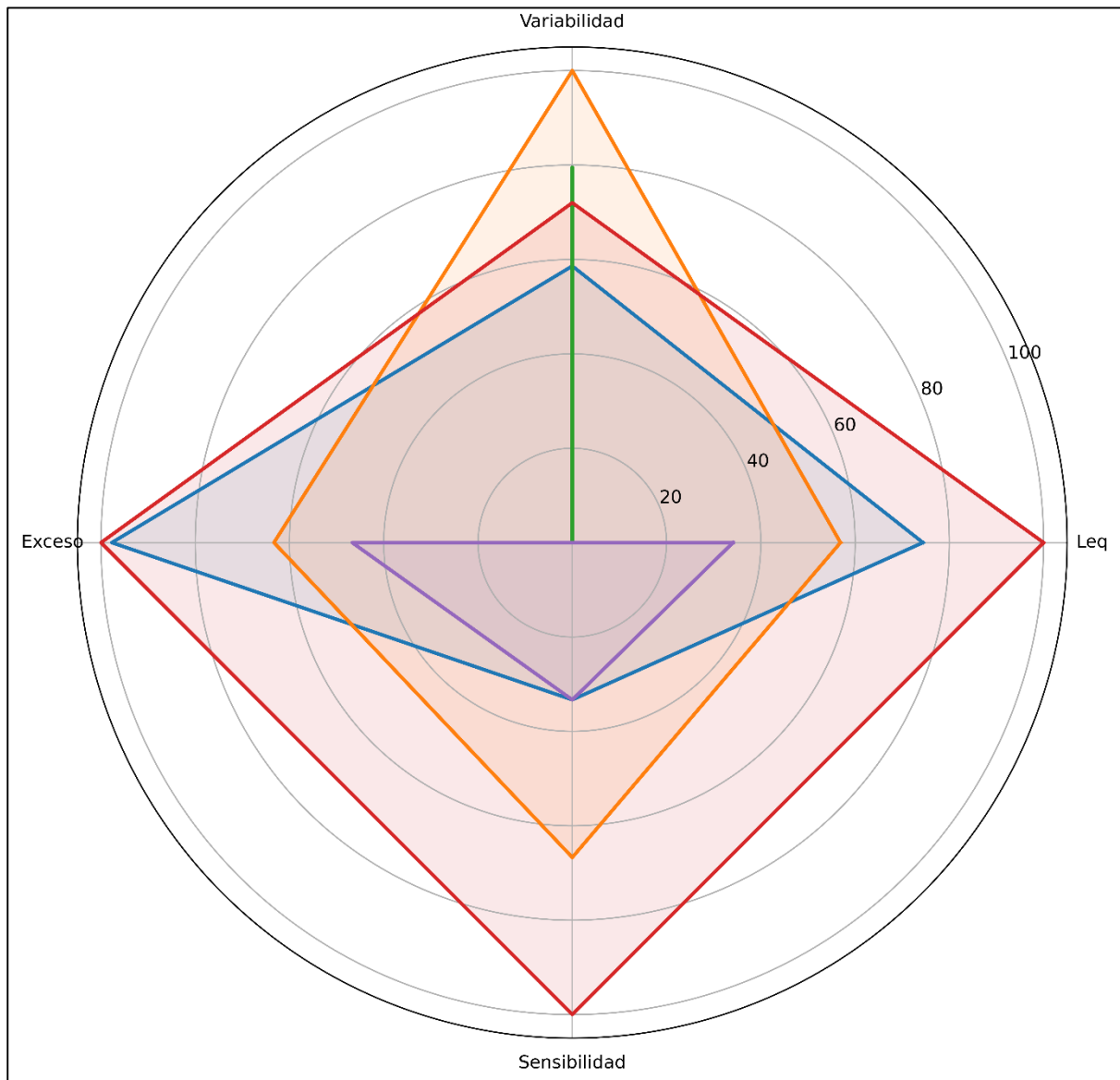
**Tabla 12.**

*Dimensiones integradas del riesgo acústico por punto de monitoreo*

<b>Punto</b>	<b>Leq promedio (dB)</b>	<b>Variabilidad (Std)</b>	<b>% Exceso normativo</b>	<b>Sensibilidad del receptor</b>	<b>Leq_norm</b>	<b>Std_norm</b>	<b>Exceso_norm</b>	<b>Sensibilidad_norm</b>
<b>P1</b>	64.09	4.59	86.67%	2	74.4	58.6	97.7	33.3
<b>P2</b>	62.03	6.29	60.00%	3	56.9	100.0	63.3	66.7
<b>P3</b>	53.43	5.68	3.33%	1	0.0	79.5	0.0	0.0
<b>P4</b>	66.39	5.36	93.33%	4	100.0	72.0	100.0	100.0
<b>P5</b>	58.28	8.37	46.67%	2	34.1	0.0	46.7	33.3

Nota. Elaboración propia en base a los resultados.

La representación visual de este análisis se presenta en la Figura 8, donde se aprecia claramente que el punto P4 (localizado en el entorno escolar) constituye el nodo de mayor intensidad acústica y, simultáneamente, el receptor más vulnerable, seguido por los puntos P1 y P2. En contraste, el sector P3 destaca como zona silenciosa y estable, lo que lo posiciona como un espacio clave para la protección territorial.

**Figura 8.***Radars de intensidad de amenaza acústica*

Nota. Elaboración propia en base a los resultados.

La integración de estas dimensiones permite comprender el ruido como un fenómeno multicausal, acumulativo y socialmente diferenciado. Con base en ello, se pasa a la formulación de medidas de mitigación específicas para cada punto evaluado.

### ***12.3.2 Formulación de medidas de mitigación***

La propuesta de mitigación acústica se fundamenta en el principio de control jerarquizado de la contaminación sonora, ampliamente reconocido en la literatura ambiental y aplicado a escenarios con actividades productivas en operación continua. Este enfoque establece que la mitigación debe abordarse en tres niveles complementarios:

- Control en la fuente: intervenciones directas en la maquinaria, horarios operativos y condiciones productivas.
- Control en la trayectoria: elementos físicos o naturales que atenúan, desvían o absorben la energía sonora antes de llegar al receptor.
- Control en el receptor: medidas en espacios educativos, residenciales o comunitarios para reducir la exposición.

Autores como Kanu et al. (2025) y Jiao et al. (2025) han demostrado que la eficiencia de estas medidas aumenta cuando se aplican de forma combinada y armonizada con el uso del suelo, especialmente en territorios con infraestructura productiva informal o semi formal, como ocurre en el Boliche.

En coherencia con este enfoque, la selección de estrategias se realizó considerando la relación entre la magnitud del impacto acústico, la sensibilidad de la población expuesta, la capacidad territorial de absorción o dispersión sonora, la viabilidad técnica y social de implementación.

Este proceso garantiza que las medidas propuestas no constituyan soluciones aisladas, sino intervenciones sostenibles y adaptadas a la dinámica real de la comunidad.

### ***12.3.3 Estrategias de mitigación acústica***

A partir de los datos consolidados y del análisis de riesgo, se definieron estrategias específicas para cada punto de monitoreo. Estas estrategias articulan intervenciones en la fuente, en la trayectoria y en el receptor, conforme a las necesidades detectadas y a la evidencia científica disponible. La Tabla 12 resume las medidas propuestas para cada punto del territorio.

**Tabla 13.***Estrategias de mitigación acústica basadas en el riesgo integrado*

<b>Punto</b>	<b>Problemática identificada</b>	<b>Estrategia propuesta</b>	<b>Justificación técnica y normativa</b>
P1 – Entrada a la comunidad	Leq 64.1 dB(A); 86.7% de superación; exposición directa a maquinaria.	Restricción operativa 7h00–10h00; barreras acústicas semipermanentes; cortina vegetal densa.	ISO 9613-2 demuestra reducción de 6–12 dB(A). Jiao et al. (2025) priorizan mitigación en la fuente para áreas industriales mixtas.
P2 – Zona educativa intermedia	Leq 62 dB(A); alta variabilidad; 60% de superación; población infantil.	Cerramientos acústicos; fachadas absorbentes; franjas de silencio comunitario.	OMS (2018) establece <55 dB(A) afuera de escuelas. Kallankandy & Deswal (2023) respaldan estrategias pasivas en el receptor infantil.
P3 – Infocentro y zona rural	Leq 53 dB(A); mínima superación; espacio silencioso.	Declaratoria de preservación acústica; prohibición de nuevas fuentes ruidosas; monitoreo semestral.	Wu et al. (2025) destacan preservar zonas de amortiguación para equilibrio territorial.
P4 – Unidad Educativa Rivadeneira	Punto más crítico; Leq 66.4 dB(A); 93% superación; máximo 77 dB(A).	Restricción de camiones 8h00–14h00; muros acústicos en fachada; barreras vegetales.	OMS (2018) y Clark et al. (2012) evidencian impacto en aprendizaje por niveles >60 dB(A).
P5 – Zona residencial media	Leq 58.3 dB(A); alta variabilidad; molestias persistentes.	Horarios de silencio; campañas de sensibilización; revisión de uso del suelo.	Santurtún et al. (2022) demuestran impacto emocional y social del ruido residencial.

Nota. Elaboración propia en base a los resultados.

Estas medidas representan intervenciones adaptadas a la escala y gravedad del impacto acústico detectado, priorizando los sectores donde la afectación es más intensa y donde los receptores presentan mayor vulnerabilidad, como las áreas escolares.

### 12.3.4 Priorización territorial y sostenibilidad de las medidas propuestas

La priorización de las medidas se estableció considerando la combinación de riesgo acústico y vulnerabilidad social. En este sentido, el punto P4 constituye el sector de atención inmediata, dado que presenta la mayor intensidad sonora, la mayor frecuencia de superación normativa y la presencia de un receptor altamente sensible como la comunidad educativa. P1 y P2 conforman un segundo nivel de prioridad por su cercanía funcional a las fuentes industriales activas y por el flujo vehicular asociado a la logística productiva.

P5, aunque no presenta la mayor intensidad sonora, muestra una variabilidad extrema que genera molestias perceptivas considerables, lo que justifica intervenciones comunitarias y ajustes de ordenamiento territorial. Por su parte, P3 debe ser tratado como un espacio de conservación, ya que representa la única zona con características acústicas compatibles con los límites establecidos por la normativa.

En conjunto, estas medidas conforman una estrategia sostenible de mitigación acústica que no solo busca reducir los niveles de presión sonora, sino también mejorar la calidad de vida de la comunidad, proteger los entornos escolares, prevenir la expansión desordenada de actividades ruidosas y fortalecer la planificación territorial con criterios ambientales integrados.

## 12.4 Valoración del impacto socio-ambiental del ruido

Los valores asignados en la Tabla 14 se fundamentaron en los niveles de presión sonora medidos, la frecuencia de superación normativa y la sensibilidad del receptor en cada punto de monitoreo.

**Tabla 14.**

*Matriz de Leopold aplicada al impacto del ruido industrial*

Componente afectado	Descripción del impacto	Magnitud (M)	Importancia (I <sub>m</sub> )	Impacto (I = M × I <sub>m</sub> )
Salud humana	Exposición prolongada a niveles >63 dB(A) en zonas residenciales, educativas y productivas.	8	9	72 (Crítico)

Entorno educativo	Interferencia en el proceso enseñanza–aprendizaje por niveles >60 dB(A).	9	9	81 (Muy crítico)
Bienestar emocional y percepción de seguridad	Molestia, irritabilidad, fatiga y estrés asociados al ruido continuo.	7	8	56 (Alto)
Convivencia comunitaria	Dificultad de comunicación, interrupción de actividades cotidianas, conflictos por molestias.	6	7	42 (Moderado-alto)
Paisaje sonoro y calidad ambiental	Pérdida de zonas silenciosas, homogeneización del ambiente sonoro por maquinaria.	6	8	48 (Alto)

Nota. Elaboración propia con base en los niveles de presión sonora medidos.

La interpretación de la matriz de Leopold evidencia que los impactos asociados al ruido industrial generado por las bloqueras trascienden el ámbito físico y se manifiestan en múltiples dimensiones del bienestar comunitario. En primer lugar, la afectación sobre la salud humana se ubica en un nivel crítico, dado que los valores registrados entre 63 y 67 dB(A) superan entre 8 y 12 dB(A) los límites establecidos por el TULSMA. Esta condición es coherente con lo señalado por Basner et al. (2014), quienes advierten que exposiciones prolongadas a niveles sonoros de este rango incrementan el riesgo de efectos no auditivos (como estrés fisiológico y fatiga) así como la posibilidad de alteraciones cardiovasculares derivadas de la carga acústica acumulativa.

El impacto más severo se observa en el entorno educativo, que alcanza una valoración muy crítica dentro de la matriz. Los niveles medidos superan ampliamente los 55 dB(A) recomendados por la OMS para espacios escolares, lo que compromete la concentración, la comprensión lectora y la memoria de trabajo de los estudiantes. Esta situación coincide con hallazgos previos de Clark et al. (2012), quienes demuestran que la exposición crónica a ruido en etapas escolares afecta de manera directa el rendimiento académico y la estabilidad emocional de la niñez.

En la dimensión del bienestar emocional, la matriz identifica un impacto alto, asociado a la presencia constante de ruido que genera irritabilidad, sensación de desorden y estrés en la vida

cotidiana, tal como señalan Gannouni et al. (2024). La población expuesta experimenta una disminución en su percepción de confort ambiental y una sobrecarga sensorial que afecta su estado anímico, particularmente en sectores donde la maquinaria opera de forma constante durante la jornada laboral.

El análisis también evidencia un impacto moderado-alto sobre la convivencia comunitaria, ya que el ruido interfiere en actividades domésticas, dificulta la comunicación entre vecinos y altera momentos de descanso. Este tipo de afectación, aunque menos visible, tiende a generar tensiones sociales y molestias repetitivas que incrementan la percepción de conflicto dentro del territorio.

Finalmente, el paisaje sonoro, entendido como componente identitario y ambiental de la comunidad, presenta un impacto alto. La pérdida parcial de la zona silenciosa identificada en el punto P3 modifica la estructura acústica del territorio y reduce su función de amortiguación natural, fenómeno descrito por Wu et al. (2025) como un riesgo para la estabilidad ecológica y la calidad sensorial del entorno rural.

En conjunto, la matriz confirma que la contaminación acústica en el Boliche constituye un problema socio-ambiental complejo y multidimensional, con efectos diferenciados que justifican la necesidad de intervenciones urgentes, priorizadas y territorialmente adaptadas.

## **13. IMPACTOS**

La presente investigación ha generado una serie de impactos significativos en distintas dimensiones, los cuales trascienden el ámbito académico para aportar evidencia útil a la toma de decisiones en la gestión del territorio y la salud pública. A continuación, se describen los principales efectos derivados del estudio:

### **13.1 Impactos técnicos**

Desde una perspectiva técnica, este estudio contribuye al fortalecimiento del conocimiento local sobre la dinámica acústica de zonas rurales con actividad industrial emergente. El monitoreo permanente en cinco puntos permitió caracterizar con precisión los niveles de presión sonora de las bloqueras y su variación temporal, espacial y funcional, información útil para futuras actualizaciones normativas y planes de ordenamiento territorial a nivel parroquial o cantonal. Además, la creación de un modelo de priorización con base en indicadores como el nivel de presión sonora constante  $L_{eq}$ , la frecuencia de superación, la presencia de receptores sensibles y la variabilidad sonora es una herramienta replicable en otras comunidades con problemáticas similares, en línea con los enfoques recientes descritos por Jiao et al. (2025) y Kanu et al. (2025) para una planificación territorial sensible al ruido y basada en datos.

### **13.2 Impactos sociales**

En lo social, los resultados muestran una exposición acústica diferenciada que afecta a los grupos más vulnerables (estudiantes, niños y familias que viven cerca de las bloqueras o vías de alto tránsito), y la identificación de las horas críticas y zonas de riesgo acústico refuerza la necesidad de medidas de protección dirigidas a estos grupos.

Además, el proceso de georreferenciación y análisis perceptivo crea conciencia comunitaria sobre el problema del ruido, construyendo un enfoque participativo en la mitigación. Este tipo de impactos no solo contribuyen a mejorar la calidad de vida, sino que empoderan a la comunidad para exigir el cumplimiento de la normativa ambiental. En la línea de lo que señalan

Hayward y Helbich (2024), el ruido no es solo una molestia, sino un vector de injusticia territorial, en la que los sectores con menor capacidad de defensa institucional son los que soportan mayores niveles de exposición y riesgo.

### **13.3 Efectos ambientales**

Los resultados confirman el deterioro gradual del paisaje sonoro en la comunidad el Boliche, provocado por el crecimiento desordenado de actividades productivas como bloqueras, y que las áreas silenciosas, como el área rural (P3), actúan como amortiguadores acústicos, pero están amenazadas por la falta de control del desarrollo urbano e industrial.

La elaboración de mapas acústicos, el análisis multivariable de la presión sonora y la zonificación funcional del territorio pueden servir de base para políticas de protección ambiental más efectivas, ya que, como sugieren Wu et al. (2025), preservar áreas de baja perturbación sonora es fundamental para garantizar el bienestar ecológico y humano en territorios mixtos.

## 14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El diagnóstico realizado a partir de 380 registros de Leq obtenidos en cinco puntos de monitoreo el cual evidencia que la comunidad el Boliche se encuentra sometida a una carga acústica crónica. El Leq promedio global es de 60,6 dB(A) y el 92,6 % de los intervalos supera el límite diurno de 55 dB(A) establecido por el TULSMA. Los puntos vinculados a actividades productivas y equipamientos sensibles (P1\_Entrada, P2\_CentroInfantil, P3\_Infocentro y P4\_Escuela) presentan medias entre 63 y 67 dB(A), mientras que la zona rural de transición (P5) registra la media más baja, en torno a 50–54 dB(A), actuando como amortiguador acústico parcial. Estos resultados confirman la existencia de un gradiente acústico territorial marcado, condicionado por la proximidad a las bloqueras y al eje vial principal.

La comparación de los niveles medidos con los límites diurnos del TULSMA muestra un incumplimiento normativo generalizado en cuatro de los cinco puntos de monitoreo. P1, P2, P3 y P4 superan los umbrales permitidos entre 8 y más de 13 dB(A), situación especialmente crítica en los entornos educativos, donde las recomendaciones de la OMS son aún más estrictas. Solo el punto P5 cumple con la normativa diurna de manera consistente. Esta configuración corrobora la presencia de una desigualdad acústica estructural, en la que los sectores con mayor vulnerabilidad social y presencia de población infantil coinciden con las áreas de mayor exposición al ruido industrial y al tránsito pesado.

La aplicación combinada de la matriz de Leopold, el análisis estadístico avanzado y la normalización min–max de indicadores permitió construir un índice integrado de riesgo acústico que sintetiza intensidad, variabilidad, frecuencia de excedencia normativa y sensibilidad del receptor. Este análisis identifica al entorno de la Unidad Educativa Germánico Rivadeneira (P4) como el punto de mayor amenaza acústica, seguido por la entrada a la comunidad (P1) y el entorno del centro infantil (P2). La matriz de Leopold evidencia impactos críticos sobre la salud humana, muy críticos en el entorno educativo y significativos sobre el

bienestar emocional, la convivencia comunitaria y el paisaje sonoro rural. En conjunto, estos resultados demuestran que el ruido de las bloqueras constituye un problema de impacto socio-ambiental acumulativo, que trasciende lo puramente físico y afecta la calidad de vida y el derecho a un ambiente sano.

## RECOMENDACIONES

Se sugiere que el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de San Juan de Pastocalle, en coordinación con el Gobierno Autónomo Descentralizado Cantonal de Latacunga, elabore y adopte una ordenanza a nivel local para gestionar y controlar la contaminación acústica ambiental. Esta debería estar en línea con lo que dicta el artículo 54 del COOTAD y tomar como base los resultados del diagnóstico acústico territorial realizado en este estudio para la planificación y ordenamiento territorial. La ordenanza mencionada debería implementar una zonificación acústica que establezca límites de ruido máximo, restricciones horarias para las bloqueras, en particular en períodos delicados, y la obligación de aplicar medidas de mitigación en la fuente, como barreras acústicas y mantenimiento de maquinaria. Estos pasos tienen como objetivo proteger a los sectores vulnerables y asegurar el derecho de la población a un ambiente saludable y a una calidad de vida apropiada.

Se recomienda establecer un sistema permanente de monitoreo acústico en la comunidad el Boliche, usando la base de datos generada como línea base oficial, con estaciones fijas en puntos críticos como P1 y P4, para actualizar periódicamente los mapas acústicos, generar alertas ante superaciones normativas y fortalecer los procesos de control y fiscalización ambiental.

Priorizar la implementación de las medidas de mitigación planteadas en los puntos P4, P1 y P2, tales como limitaciones horarias de funcionamiento de maquinaria, control de tránsito pesado, barreras acústicas y vegetales, rediseño del entorno escolar, las cuales pueden ser complementadas con programas de educación y sensibilización ambiental dirigidos a operadores de bloqueras y comunidad, y actualizar la normativa local incorporando la gestión del ruido en ambientes productivos.

## 15. BIBLIOGRAFÍA

- Alves, S., Altreuther, B., & Scheuren, J. (2016). Towards the practical implementation of the holistic approach to urban sound planning. *Proceedings of the INTER-NOISE 2016 - 45th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering: Towards a Quieter Future*, 2924–2927. <https://research.chalmers.se/en/publication/246269>
- Baclet, S., Khoshkhah, K., Pourmoradnasseri, M., Rumpler, R., & Hadachi, A. (2023). Near-real-time dynamic noise mapping and exposure assessment using calibrated microscopic traffic simulations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 124, 103922. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2023.103922>
- Badino, E., Shtrepi, L., Astolfi, A., & Serra, V. (2023). An Evaluation of Geometrical Room Acoustics Simulations in Outdoor Settings. *Proceedings of Forum Acusticum*. <https://doi.org/10.61782/FA.2023.0240>
- Bakker, J., Lugten, M., & Tenpierik, M. (2023). Applying vertical greening systems to reduce traffic noise in outdoor environments: Overview of key design parameters and research methods. *Building Acoustics*, 30(3), 315–338. <https://doi.org/10.1177/1351010X231171028;WGROU:STRING:PUBLICATION>
- Bar, K. L. S., Shaked, T., Fettahoglu, E. S., Krimm, J., & Boucsein, B. (2023). Embedding Acoustic Analysis in Landscape Architecture Design Processes: A Case Study of Munich Airport. *Buildings* 2023, 13(1), 143. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS13010143>
- Barrigón, J. M. M., Montes, D. G., Vílchez, R. G., & Rey, G. G. (2025). Percentile-level examination of ten acoustic indicators pinpoints urban noise factors affecting noise effects on pedestrians. *Building and Environment*, 285, 113572. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2025.113572>
- 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)
- Benameur, O., Altafini, D., & Cutini, V. (2021). Form, Function and Acoustics: Productive Assets Placement and Relationship Between the Urban Soundscape Patterns and Configuration. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 12952 LNCS, 704–718. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-86973-1\\_49](https://doi.org/10.1007/978-3-030-86973-1_49)

- Benz, S. L., Kuhlmann, J., Bilik, J., Liepert, M., & Schreckenber, D. (2025). Noise Annoyance and Sleep Disturbance Due to Road Traffic and Railway Noise in Germany. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2025, Vol. 22, Page 1366, 22(9), 1366. <https://doi.org/10.3390/IJERPH22091366>
- Código Orgánico del Ambiente. (2017). In *Asamblea Nacional del Ecuador* (pp. 1–92). Registro Oficial Suplemento 983. [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO\\_ORGANICO\\_AMBIENTE.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf)
- Constitución de La República Del Ecuador, 449 Registro Oficial 25 (2008). [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Gaudon, J. M., McTavish, M. J., Hamberg, J., Cray, H. A., & Murphy, S. D. (2022). Noise attenuation varies by interactions of land cover and season in an urban/peri-urban landscape. *Urban Ecosystems* , 25(3), 811–818. <https://doi.org/10.1007/S11252-021-01194-4>
- Harvie-Clark, J., & Fenech, B. (2024). UPDATING BS 8233: ALIGNING RESIDENTIAL ACOUSTIC DESIGN GUIDANCE WITH THE HEALTH EVIDENCE. *Proceedings of the Institute of Acoustics*, 46. <https://doi.org/10.25144/23663>
- Helboe, D. T., & Pedersen, T. I. (2024). Partial equivalent sound pressure level as an approach to manage irrelevant sounds in environmental noise measurements. *53rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Internoise 2024*, 4, 2844–2854. [https://doi.org/10.3397/IN\\_2024\\_3239](https://doi.org/10.3397/IN_2024_3239)
- Hernandez, J., Burgess, M., & Prasad, D. (2022). Interdisciplinary collaboration to identify challenges and opportunities in urban sound planning. *Internoise 2022 - 51st International Congress and Exposition on Noise Control Engineering*. [https://doi.org/10.3397/IN\\_2022\\_0477](https://doi.org/10.3397/IN_2022_0477)
- IEC. (2013). *INTERNATIONAL STANDARD NORME INTERNATIONALE Electroacoustics-Sound level meters-Part 1: Specifications Electroacoustique-Sonomètres-Partie 1: Spécifications*. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/17900/df52d949fc904f329404e965b6268258/IEC-61672-1-2013.pdf>
- Iordache, V., & Ionita, M. V. (2018). Urban sound energy reduction by means of sound barriers. *E3S Web of Conferences*, 32, 01024. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/20183201024>

- ISO 9613. (2024). *Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 2: Engineering method for the prediction of sound pressure levels outdoors*. Normas ISO. <https://www.iso.org/standard/74047.html>
- Jiao, Y., Wang, Z., Li, C., Yao, Z., Dong, R., Cui, S., & Wang, T. (2025). How to enhance urban noise management: Exploring the influencing factors of noise complaints at multiple scales integrating citizen perception. *Environmental Impact Assessment Review*, *112*, 107783. <https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2024.107783>
- Kanu, L. K., Lwara, S. M. K., & Meng, X. (2025). Impacts of workplace noise exposure and mitigation strategies: a scoping review. *Discover Public Health* 2025 22:1, 22(1), 214-. <https://doi.org/10.1186/S12982-025-00611-9>
- Kulkarni, V., Yadav, M., Saler, P., & Shukla, A. (2025). Assessment of Urban Noise Pollution and Its Multifaceted Health Impacts: An Exploratory Factor Approach. *Lecture Notes in Civil Engineering*, *732 LNCE*, 137–149. [https://doi.org/10.1007/978-981-95-1442-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-95-1442-7_12)
- Kumar, S., & Lee, H. P. (2019). The Present and Future Role of Acoustic Metamaterials for Architectural and Urban Noise Mitigations. *Acoustics 2019, Vol. 1, Pages 590-607*, *1*(3), 590–607. <https://doi.org/10.3390/ACOUSTICS1030035>
- Michaud, D. S., Marro, L., Denning, A., Shackleton, S., Toutant, N., & McNamee, J. P. (2022). Annoyance toward transportation and construction noise in rural suburban and urban regions across Canada. *Environmental Impact Assessment Review*, *97*, 106881. <https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2022.106881>
- Montes, D. G., Rey, G. G., & Barrigón, J. M. M. (2024). Environmental noise pollution and sources. *Nanotechnology to Monitor, Remedy, and Prevent Pollution*, 99–121. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15660-1.00030-7>
- Moravec, M., Badida, M., Mikušová, N., Sobotová, L., Švajlenka, J., & Dzuro, T. (2021). Proposed Options for Noise Reduction from a Wastewater Treatment Plant: Case Study. *Sustainability*, *13*(4), 2409. <https://doi.org/10.3390/SU13042409>
- Navarro, J. M., Tomas-Gabarron, J. B., & Escolano, J. (2017). A big data framework for urban noise analysis and management in smart cities. *Acta Acustica United with Acustica*, *103*(4), 552–560. <https://doi.org/10.3813/AAA.919084>

- Oiamo, T. H., & Aasvang, G. M. (2020). Noise and Health. *International Encyclopedia of Human Geography, Second Edition*, 409–413. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102295-5.10411-1>
- OMS. (2022). *Compendium of WHO and other UN guidance on health and environment*. [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/who-compendium-on-health-and-environment/who\\_compendium\\_noise\\_01042022.pdf?sfvrsn=bc371498\\_3](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/who-compendium-on-health-and-environment/who_compendium_noise_01042022.pdf?sfvrsn=bc371498_3)
- Oquendo, V. D. C., Olivieri, F., & Ruiz-García, L. (2022). A systematic review of the impact of green walls on urban comfort: temperature reduction and noise attenuation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 162, 112463. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2022.112463>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. WHO Regional Office for Europe. <http://www.euro.who.int/pubrequest>
- Paszkowski, W., & Sobiech, M. (2018). The Modeling of the Acoustic Condition of Urban Environment Using Noise Annoyance Assessment. *Environmental Modeling & Assessment*, 24(3), 319–330. <https://doi.org/10.1007/S10666-018-9643-1>
- Ponomarev, A. L., Ulanova, T. S., Molok, O. A., & Odegov, A. A. (2022). Метод измерения шума и оценка вклада крупного промышленного предприятия в шумовую обстановку селитебной территории. *Здоровье Населения и Среда Обитания – 3HuCO*, 30(12), 59–65. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-12-59-65>
- Rey, G. G., Barrigón, J. M. M., Montes, D. G., Moraga, A. P., & Suárez, E. (n.d.). Urban planning, road types and noise pollution. *INTER-NOISE 2019 MADRID - 48th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering*. Retrieved January 21, 2026, from [https://www.sea-acustica.es/INTERNOISE\\_2019/Fchrs/Proceedings/1455.pdf](https://www.sea-acustica.es/INTERNOISE_2019/Fchrs/Proceedings/1455.pdf)
- Sackey, L. N. A., Agyemang, L. S. Y., Acheampong, P. E., Owusu, M. A., & Amoah, J. (2024). Assessment of Noise Levels and Perceptions of Its Health Impact at Kejetia Market in Ghana. *The Scientific World Journal*, 2024(1), 7658837. <https://doi.org/10.1155/2024/7658837>
- Shepherd, D., Dirks, K., Welch, D., McBride, D., & Landon, J. (2016). The Covariance between Air Pollution Annoyance and Noise Annoyance, and Its Relationship with Health-Related Quality of Life. *International Journal of Environmental Research and*

*Public Health* 2016, Vol. 13, Page 792, 13(8), 792.  
<https://doi.org/10.3390/IJERPH13080792>

Simion, S., Pupăzan, D., Călămar, A., Nicolescu, C., & Kovacs, I. (2021). Mitigating Noise Pollution Level When Loading Useful Mineral Substances in CFR Wagons in Order to Increase Acoustic Comfort in Neighbouring Areas. *Springer Proceedings in Physics*, 251, 205–215. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-54136-1\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-54136-1_19)

Singh, J., & Kennedy, J. (2024). Advancing noise reduction strategies for domestic air-source heat pumps. *53rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Internoise 2024*, 8, 5616–5627. [https://doi.org/10.3397/IN\\_2024\\_3621](https://doi.org/10.3397/IN_2024_3621)

Smith, M. G., Cordoza, M., & Basner, M. (2022). Environmental Noise and Effects on Sleep: An Update to the WHO Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental Health Perspectives*, 130(7).  
<https://doi.org/10.1289/EHP10197;WGROU:STRING:PUBLICATION>

Stansfeld, S., & Clark, C. (2019). Mental Health Effects of Noise. *Encyclopedia of Environmental Health*, 287–294. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11814-7>

Tan, J. K. A., Hasegawa, Y., & Lau, S. K. (2022). A comprehensive environmental sound categorization scheme of an urban city. *Applied Acoustics*, 199, 109018. <https://doi.org/10.1016/J.APACOUST.2022.109018>

Tittman, S. M., Yawn, R. J., Manzoor, N., Dedmon, M. M., Haynes, D. S., & Rivas, A. (2021). No Shortage of Decibels in Music City: Evaluation of Noise Exposure in Urban Music Venues. *Laryngoscope*, 131(1), 25–27.  
<https://doi.org/10.1002/LARY.28556;JOURNAL:JOURNAL:15314995;WGROU:STRING:PUBLICATION>