

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL**



TESIS:

**Evaluación de la dispersión de los niveles de ruido en el
aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho, 2025**

Para optar el grado académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN
GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE**

PRESENTADO POR:

Bach. Dante Emilio DÍAZ MALDONADO

ASESOR:

Dr. Jaime Alberto HUAMÁN MONTES

AYACUCHO - PERÚ

2026

Dedico este esfuerzo a
mis hijos, quienes son mi
pilar y razón para seguir
adelante.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y a la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil, por su excelente formación.

Un especial reconocimiento a mis docentes, por sus enseñanzas, y al Dr. Jaime Alberto Huaman Montes, por su invaluable asesoramiento en este trabajo de tesis.

Asimismo, agradezco a mis compañeros de estudio por los conocimientos compartidos y sus aportes durante esta etapa académica.

INDICE

ÍNDICE	Pág.
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice.....	vii
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
Introducción.....	xiii

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del problema.....	01
1.2. Formulación del problema.....	04
1.3. Alcance y limitaciones.....	04
1.4. Variables e indicadores.....	05
1.5. Objetivos.....	07
1.6. Justificación.....	07
1.7. Hipótesis.....	09

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.....	10
2.2. Bases teóricas.....	14
2.3. Términos básicos.....	19

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.1. Materiales.....	20
3.2. Tipo y nivel de investigación.....	20
3.3. Diseño de investigación	21
3.4. Método.	21
3.7. Población y muestra.....	23
3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	23

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE INVESTIGACIÓN

4.1. Resultados a nivel descriptivo.....	25
4.2. Resultado a nivel inferencial.....	62
Discusiones de resultados.....	66
CONCLUSIONES.....	67
RECOMENDACIONES.....	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
ANEXOS.....	74
Anexo 01 matriz de consistencia	75
Anexo 02 Certificado de calibración.....	76
Anexo 03 Equipo de medición (Sonómetro).....	77
Anexo 04 fotos.....	78
Anexo 05 Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido.....	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Método de interpolación.....	24
Figura 2: Evaluación de la dispersión de los niveles de ruido.....	26
Figura 3: Puntos georreferenciados del aeropuerto.....	27
Figura 4: P Puntos de monitoreo del nivel de ruido.....	27
Figura 5: Niveles de ruido monitoreados del día 1	28
Figura 6: Niveles de ruido monitoreados del día 2.....	29
Figura 7: Niveles de ruido monitoreados del día 3.....	30
Figura 8: Niveles de ruido monitoreados del día 4.....	31
Figura 9: Niveles de ruido monitoreados del día 5.....	32
Figura 10: Niveles de ruido monitoreados del día 6.....	32
Figura 11: Niveles de ruido monitoreados del día 7.....	33
Figura 12: Niveles de ruido monitoreados del día 8.....	34
Figura 13: Niveles de ruido monitoreados del día 9.....	35
Figura 14: Niveles de ruido monitoreados del día 10.....	36
Figura 15: Niveles de ruido monitoreados del día 11.....	37
Figura 16: Niveles de ruido monitoreados del día 12.....	37
Figura 17: Niveles de ruido monitoreados del día 13.....	38

Figura 18: Niveles de ruido monitoreados del día 14.....	39
Figura 19: Niveles de ruido monitoreados del día 15.....	39
Figura 20: Niveles de ruido monitoreados del día 16.....	40
Figura 21: Niveles de ruido monitoreados del día 17.....	41
Figura 22: Niveles de ruido monitoreados del día 18.....	41
Figura 23: Niveles de ruido en las áreas muestreadas dentro del perímetro.....	43
Figura 24: Puntos de monitoreo del nivel de ruido de aterrizaje y despegue.....	44
Figura 25: Evaluación de la dispersión de los niveles de ruido.....	45
Figura 26: Resultados de aterrizaje.....	46
Figura 27: Resultados de despegue.....	47
Figura 28: Variabilidad del ruido mediante la interpolación Kriging.....	48
Figura 29: Variabilidad del ruido mediante el método IDW.....	49
Figura 30: Mapa de dispersión del sonido a 00 metros del punto de monitoreo.....	50
Figura 31: Mapa de dispersión mediante la interpolación Kriging a 00 metros.....	51
Figura 32: Mapa de dispersión mediante el método IDW a 00 metros.....	52
Figura 33: Mapa de dispersión del sonido a 10 metros del punto de monitoreo.....	53
Figura 34: Mapa de dispersión mediante la interpolación Kriging a 10 metros.....	54
Figura 35: Mapa de dispersión del sonido mediante el método IDW a 10 metros.....	55
Figura 36: Mapa de dispersión del sonido a 50 metros del punto de monitoreo.....	56
Figura 37: Mapa de dispersión mediante la interpolación Kriging a 50 metros.....	57
Figura 38: Mapa de dispersión del sonido mediante el método IDW a 50 metros.....	58
Figura 39: Mapa de dispersión del sonido a 100 metros del punto de monitoreo.....	59
Figura 40: Mapa de dispersión mediante la interpolación Kriging a 100 metros.....	60
Figura 41: Mapa de dispersión del sonido mediante el método IDW a 100 metros.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos georreferenciados de los niveles de ruido máximo.....	25
Tabla 2: Datos 07-06-2025.....	28
Tabla 3: Datos 09-06-2025.....	29
Tabla 4: Datos 10-06-2025.....	30
Tabla 5: Datos 11-06-2025.....	31

Tabla 6: Datos 07-06-2025.....	31
Tabla 7: Datos 13-06-2025.....	32
Tabla 8: Datos 14-06-2025.....	33
Tabla 9: Datos 16-06-2025.....	34
Tabla 10: Datos 17-06-2025.....	35
Tabla 11: Datos 18-06-2025.....	36
Tabla 12: Datos 19-06-2025.....	36
Tabla 13: Datos 20-06-2025.....	37
Tabla 14: Datos 21-06-2025.....	38
Tabla 15: Datos 23-06-2025.....	38
Tabla 16: Datos 24-06-2025.....	39
Tabla 17: Datos 26-06-2025.....	40
Tabla 18: Datos 27-06-2025.....	40
Tabla 19: Datos 28-06-2025.....	41
Tabla 20: Datos referenciales.....	42
Tabla 21: Monitoreo del aterrizaje.....	46
Tabla 22: Monitoreo del despegue.....	47
Tabla 23: Pruebas de normalidad	62
Tabla 24: Prueba para una muestra t.....	63
Tabla 25: Pruebas de normalidad	63
Tabla 26: Prueba para una muestra t.....	64
Tabla 27: Pruebas de normalidad	65
Tabla 28: Prueba para una muestra t.....	65

RESUMEN

La contaminación sonora generada por el tráfico aéreo representa un desafío crítico para la salud pública y el equilibrio ambiental a nivel global, regulado en el contexto peruano por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido (D.S. N° 085-2003-PCM). La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la dispersión de los niveles de ruido equivalente ($LeqA$) mediante un análisis geoestadístico en el Aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte de Ayacucho durante el año 2025. Bajo un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental de corte transversal, se realizaron mediciones in situ en 27 puntos georreferenciados utilizando un sonómetro de clase 1 durante 18 días, cubriendo los periodos de mayor operatividad aérea. El análisis espacial de la dispersión se ejecutó mediante los métodos de Kriging ordinario y Distancia Inversa Ponderada (IDW) procesados en el software ArcGIS. Los resultados revelaron que los niveles de presión sonora máxima ($LeqA_{max}$) oscilaron entre 62.6 dB y 102.7 dB, identificándose picos críticos superiores a 100 dB concentrados predominantemente en el horario matutino. Los mapas de interpolación demostraron que la carga acústica se concentra en el extremo noreste del terminal, alineada con el eje de despegue y la cabecera de pista, con proyecciones de 94.9 dB que superan el límite de 60 dB para zonas residenciales. Se concluye que el análisis geoestadístico, mediante los métodos Kriging e IDW, permitió evaluar la dispersión heterogénea del ruido aeroportuario, demostrando que los niveles de presión sonora en el perímetro del aeropuerto exceden severamente los límites normativos vigentes. Los mapas de dispersión generados constituyen un insumo para la delimitación de Zona de Amortiguamiento Acústico, la planificación del uso del suelo y el diseño de medidas de mitigación operacional por parte de las autoridades competentes.

Palabras clave: Niveles de presión sonora, análisis geoestadístico, Kriging e IDW, Estándares de Calidad Ambiental, aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte.

ABSTRACT

Noise pollution generated by air traffic represents a critical challenge to public health and environmental balance globally, regulated in the Peruvian context by the Environmental Quality Standards (ECA) for Noise (Supreme Decree No. 085-2003-PCM). This research aimed to evaluate the dispersion of equivalent noise levels ($LeqA$) through geostatistical analysis at the Alfredo Mendivil Duarte Airport in Ayacucho during the year 2025. Using a quantitative approach and a non-experimental, cross-sectional design, in situ measurements were taken at 27 georeferenced points using a Class 1 sound level meter over 18 days, covering periods of peak air traffic. The spatial analysis of the dispersion was performed using Ordinary Kriging and Inverse Distance Weighting (IDW) methods processed in ArcGIS software. The results revealed that maximum sound pressure levels ($LeqA_{max}$) ranged from 62.6 dB to 102.7 dB, with critical peaks exceeding 100 dB concentrated predominantly during the morning hours. Interpolation maps demonstrated that the noise load is concentrated at the northeast end of the terminal, aligned with the takeoff axis and the runway threshold, with projections of 94.9 dB exceeding the 60 dB limit for residential areas. It is concluded that the geostatistical analysis, using Kriging and IDW methods, allowed for the evaluation of the heterogeneous dispersion of airport noise, demonstrating that sound pressure levels around the airport perimeter severely exceed current regulatory limits. The generated dispersion maps serve as input for the delimitation of the Acoustic Buffer Zone, land-use planning, and the design of operational mitigation measures by the relevant authorities.

Keywords: Sound pressure levels, geostatistical analysis, Kriging and IDW, Environmental Quality Standards, Alfredo Mendivil Duarte Airport.

INTRODUCCIÓN

La contaminación sonora es reconocida globalmente como uno de los principales problemas ambientales y de salud pública en entornos urbanos. El impacto del ruido del tráfico aéreo va más allá de la molestia, constituyendo un riesgo sanitario. La OMS (2018) asocia la exposición crónica a altos niveles de ruido con graves secuelas para la salud, tales como trastornos del sueño, hipertensión y aumento de riesgo cardiovascular. Cuantificando esta amenaza, la AEMA (2020) reporta que el ruido ambiental contribuye anualmente a la alarmante cifra de 12,000 muertes prematuras y 48,000 nuevos casos de cardiopatía isquémica en Europa, identificando el ruido aeronáutico como un factor clave.

En el Perú, la gestión del ruido ambiental está regulada por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido, aprobados por el Decreto Supremo N° 085-2003-PCM. Sin embargo, la implementación de metodologías de evaluación y monitoreo del impacto acústico en infraestructuras críticas como los aeropuertos aún presenta desafíos. El aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte (AMD), ubicado en la ciudad de Ayacucho, ha experimentado un notable aumento en sus operaciones. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) proyecta un crecimiento continuo en el tráfico aéreo, lo que, si bien impulsa el desarrollo regional, plantea una necesidad urgente de evaluar sus efectos colaterales sobre la población circundante (MTC, 2024).

En respuesta a esta necesidad, la presente investigación buscó evaluar y cartografiar la dispersión de los niveles de ruido en el área de influencia del aeropuerto AMD. El estudio se apoyó en el uso de técnicas geoestadísticas para modelar la variabilidad espacial del ruido a partir de mediciones puntuales. Esta metodología ha demostrado ser altamente

efectiva en estudios recientes, permitiendo la creación de mapas de ruido precisos para la planificación urbana. La creación de un mapa de niveles de presión sonora en Ayacucho permitirá identificar las zonas con mayor exposición al ruido, sirviendo como un insumo técnico de alta relevancia para las autoridades y los gestores aeroportuarios en la toma de decisiones.

Los hallazgos de esta investigación contribuirán no solo a la comprensión de la problemática acústica en la ciudad de Ayacucho, sino también a la validación de una metodología rigurosa para la gestión del ruido aeroportuario en el contexto peruano. El mapa geoestadístico resultante será una herramienta fundamental para la planificación del uso del suelo, el diseño de planes de mitigación y la implementación de programas de vigilancia ambiental, promoviendo una convivencia más sostenible entre la infraestructura aeroportuaria y la comunidad adyacente.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Realidad internacional

La dificultad de evaluar y controlar el ruido en las ciudades es una problemática global que amenaza la calidad de vida y el patrimonio. Los altos niveles de ruido, mantenidos a largo plazo, son responsables de diversos problemas de salud, incluidos el estrés, trastornos del sueño y enfermedades del sistema circulatorio. Esta preocupación es especialmente acuciante en Europa, donde más de 50 millones de personas viven expuestas a niveles de ruido que superan las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Aunque existen directrices como la Directiva Europea sobre Ruido Ambiental, muchos países tienen dificultades para implementar y hacer cumplir regulaciones efectivas que aborden la contaminación acústica en áreas históricas (Morano et al., 2021). El artículo "Assessing the Effects of Noise on Sound Identities of Historical Landmarks" discute la importancia de preservar la identidad sonora de monumentos históricos y los desafíos asociados a la contaminación acústica en estos sitios (Korkontzila et al., 2020). Esto se traduce en un aumento de los niveles de ruido debido al tráfico, actividades comerciales y eventos públicos. Esto se traduce en un aumento de los niveles de ruido debido al tráfico, actividades comerciales y eventos públicos. Proyectos de infraestructura y mejoras urbanas a menudo aumentan el ruido, lo que puede afectar la experiencia turística y el valor cultural de los centros históricos (Jaff y Onur 2023). La falta de metodologías estandarizadas para medir y evaluar el ruido en contextos históricos puede dificultar la obtención de datos precisos y comparables. Esto limita la capacidad para diseñar intervenciones efectivas (Curo, 2022). Existe una falta generalizada de

conciencia sobre los efectos del ruido en la calidad de vida, lo que puede llevar a una escasa participación comunitaria en iniciativas para mitigar el ruido (Morano et al., 2021). Las comunidades locales a menudo no están involucradas en el proceso de toma de decisiones, lo que puede resultar en políticas ineficaces. Finalmente, en muchas ciudades, los espacios designados como "áreas tranquilas" son difíciles de encontrar, especialmente en centros históricos donde el ruido urbano es predominante. Esto limita las opciones para que los residentes y visitantes escapen del ruido (Den Boer, 2023).

1.1.2. Realidad nacional.

Los niveles de ruido en centros históricos en Perú enfrentan múltiples problemáticas que afectan tanto la salud pública como la preservación del patrimonio cultural. En ciudades como Cajamarca, se han registrado niveles de ruido que oscilan entre 65.7 dBA y 100.9 dBA, superando los límites establecidos por los estándares nacionales. Esta contaminación sonora ha sido asociada con problemas de salud mental, como la ansiedad, especialmente entre poblaciones más vulnerables, como los ancianos (Grau, 2019). En el centro de la ciudad de Huamanga, el tráfico vehicular contribuye significativamente a la contaminación acústica. Las calles, muchas de las cuales no están diseñadas para soportar un alto volumen de tráfico, experimentan niveles elevados de ruido que afectan la calidad de vida de los residentes y la integridad del patrimonio arquitectónico (Salcedo, 2020). Aunque existen regulaciones como el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Ruido, su implementación y cumplimiento son deficientes. Esto se traduce en una escasa supervisión y control sobre las fuentes de ruido, lo que perpetúa el problema en centros históricos (Ruiz, 2021). La falta de conciencia sobre los efectos adversos del ruido en la salud y el bienestar es un desafío significativo. Muchos residentes no están informados sobre los niveles aceptables de ruido ni sobre las consecuencias para

su salud, lo que dificulta la participación comunitaria en iniciativas para mitigar el problema (Flores y Mallqui, 2024). La afluencia constante de turistas y las actividades comerciales dinámicas en centros históricos generan un aumento en los niveles de ruido. Esto no solo afecta a los residentes, sino que también puede deteriorar la experiencia turística y el valor cultural del lugar (Salcedo, 2020). La exposición continua a altos niveles de ruido puede dañar estructuras históricas y afectar su conservación. Los centros históricos son zonas con un valioso patrimonio arquitectónico que necesita ser protegido frente a las agresiones acústicas provocadas por el entorno urbano (Flores y Mallqui, 2024).

1.1.3. Realidad local.

Los niveles de ruido en el perímetro del aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte presentan varias problemáticas que impactan tanto la salud pública como la preservación del patrimonio cultural. La continuidad de la exposición a altos niveles de ruido puede causar graves secuelas en la salud, abarcando desde pérdida auditiva y estrés hasta trastornos del sueño y problemas cardiovasculares. Flores y Mallqui (2024) indican que esta problemática disminuye la calidad de vida de la población, lo que resalta la importancia prioritaria de abordar la contaminación acústica. Existe una falta generalizada de conciencia sobre los efectos negativos del ruido en la salud y el bienestar. Muchos residentes no están informados sobre los niveles aceptables de ruido ni sobre las consecuencias para su salud, lo que dificulta la participación comunitaria en iniciativas para mitigar el problema (Salcedo, 2020).

I.2 Formulación del problema

I.2.1 Problema general

¿Cómo es la dispersión de los niveles de ruido equivalente mediante el análisis geoestadístico en el aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte de Ayacucho, 2025?

I.2.2 Problemas específicos

PE1: ¿Cuáles son los niveles de ruido equivalente en los diferentes puntos georreferenciados al perímetro del aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte de Ayacucho?

PE2: ¿Cómo son los mapas geoestadísticos de dispersión de los niveles de ruido equivalente en el aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte de Ayacucho, 2025?

1.3 Alcance y limitaciones

1.3.1 Alcance

Geográfico

La investigación se centró en el Aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte y las zonas circundantes y corredores de vuelo afectados dentro de un radio que capturó los contornos de ruido más relevantes, con énfasis en el área urbana de Ayacucho.

Temporal

Los datos de monitoreo en campo se tomaron durante un periodo representativo para capturar los ciclos diarios y estacionales de ruido.

Metodológico

El estudio se combinó el monitoreo acústico en campo (puntos estratégicos) con la modelización de ruido utilizando software especializado.

Temático

Se evaluó la dispersión de los niveles de ruido de las operaciones aéreas (despegues, aterrizajes) de las principales aeronaves comerciales y se comparó los resultados con el ECA para Ruido.

1.3.2 Limitaciones

Disponibilidad de datos operacionales

La obtención de datos precisos sobre rutas de vuelo específicas (trayectorias horizontales y verticales) y regímenes de motor fueron la limitante por la confidencialidad de CORPAC o las aerolíneas.

Modelización meteorológica

La precisión del modelo de dispersión depende de datos detallados (gradientes de temperatura y viento) que no están fácilmente disponibles para la zona de Ayacucho a nivel de detalle aeroportuario.

Ruido de fondo

Las mediciones de ruido aeronáutico pudieron verse contaminadas por el ruido terrestre local (tráfico vehicular, comercio), especialmente en puntos cercanos a la zona urbana de la ciudad.

Representatividad del muestreo

El monitoreo en campo solo puede cubrir un periodo limitado, lo que pudo no capturar la variabilidad de las operaciones aéreas o las condiciones climáticas a largo plazo.

1.4 Variables e indicadores

1.4.1 Variable

Dispersión de niveles de ruido

1.4.2 Indicadores

Distancia entre fuente y receptor

Atenuación del ruido

Kriging y IDW

1.4.3 Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO	ESCALA DE MEDICIÓN
Dispersión de niveles de ruido	La propagación y distribución espacial de las ondas sonoras emitidas por una fuente, considerando cómo estas se atenúan o amplifican en función de factores ambientales y geográficos. Este fenómeno es influenciado por elementos como la topografía del terreno, las condiciones meteorológicas y la presencia de obstáculos físicos que pueden reflejar, absorber o difractor el sonido, afectando su alcance e intensidad en diferentes áreas circundantes a la fuente emisora (Ayala Díaz & Ríos Savedra, 2022).	En el contexto de la investigación, la dispersión de niveles de ruido se medirá mediante la realización de monitoreos acústicos en puntos estratégicamente seleccionados alrededor del Aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho. Utilizando un sonómetro de clase 1, se registrarán los niveles de presión sonora (en decibelios, dB) en diferentes horarios y condiciones ambientales. Estos datos serán georreferenciados y procesados con Sistemas de Información Geográfica (SIG), aplicando técnicas de interpolación como Kriging, para generar mapas que representen la distribución espacial del ruido y permitan identificar zonas donde los niveles superan los estándares permitidos por la normativa vigente (Ayala Díaz & Ríos Savedra, 2022).	Propagación espacial	Distancia entre fuente y receptor	Sonómetro clase 1	Escala de razón (dB)
			Factores geográficos	Atenuación del ruido	Software SIG	Escala ordinal
			Mapas geoestadísticos	Kriging y IDW	Software SIG	Escala ordinal

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Evaluar la dispersión de los niveles de ruido equivalente mediante el análisis geoestadístico en el aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte de Ayacucho, 2025

1.5.2. Objetivos específicos

OE1: Estimar los niveles de ruido equivalente en los diferentes puntos georreferenciados al perímetro del aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte de Ayacucho.

OE2: Determinar los mapas geoestadísticos de dispersión de los niveles de ruido equivalente en el aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte de Ayacucho.

1.6 Justificación

Conveniencia

La conveniencia de un estudio sobre la evaluación de los niveles de ruido en los Aeropuertos es una tarea compleja pero crucial porque proporcionará información valiosa para tomar decisiones informadas y desarrollar estrategias efectivas para reducir el ruido y mejorar la calidad de vida de los habitantes.

Relevancia social

La evaluación de los niveles de ruido en un centro histórico es una cuestión de justicia social, de respeto por el patrimonio cultural y de calidad de vida. Al abordar esta problemática, se contribuirá a construir ciudades más saludables, equitativas y sostenibles.

Implicación práctica

Esta presente investigación se justifica porque conlleva a una serie de implicancias prácticas que permiten tomar decisiones concretas y efectivas para mejorar la calidad de

vida de los habitantes y preservar el patrimonio cultural y construir ciudades más sostenibles, identificando los focos de ruido, diseño de mapas de ruido, evaluación de la eficacia de medida, planificación urbana, desarrollo de normas y legislación específica para la protección acústica y participación ciudadana.

Valor teórico

La evaluación de los niveles de ruido en el perímetro del aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte va más allá de las implicaciones prácticas y concretas que hemos discutido anteriormente. También posee un valor teórico significativo que contribuye a la construcción de conocimiento y al desarrollo de diversas disciplinas, por lo que se justifica, el aporte al conocimiento científico donde se profundizará el estudio de propagación del sonido en entornos urbanos complejos y heterogéneos, que contribuya a la comprensión de las relaciones entre la forma urbana, las actividades humanas y la acústica y amplíe el conocimiento de las percepciones y actitudes de los habitantes hacia el ruido y su relación con la calidad de vida.

Utilidad metodológica

Esta utilidad se manifiesta en el desarrollo y refinamiento de diversas técnicas y herramientas de investigación, así como en la generación de conocimiento sobre cómo abordar problemas complejos relacionados con la contaminación acústica. La evaluación del ruido en perímetros del aeropuerto no solo es una herramienta para abordar un problema específico, sino que también contribuye al desarrollo de la metodología científica en diversas disciplinas.

La realización de este estudio es relevante porque ofrece una solución espacial al problema del ruido. Al utilizar métodos estadísticos y de interpolación espacial, no solo se evalúa la estructura de los datos monitoreados, sino que se logra estimar con exactitud los niveles de ruido en las áreas circundantes. El resultado final es un mapa

de calor que delimita las zonas de mayor riesgo acústico en el perímetro del Aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte. Los resultados son cruciales para entidades gubernamentales como la Municipalidad Provincial de Huamanga y el Gobierno Regional de Ayacucho, además de ser un recurso valioso para la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Este estudio permitirá la continuidad de la investigación sobre cómo la contaminación acústica afecta la salud, la sociedad y la economía, provocando una cadena de efectos que incluye malestar, problemas de sueño, estrés crónico y deterioro cognitivo. El objetivo último es que estos datos impulsen a las autoridades a implementar soluciones efectivas contra el problema.

Importancia del trabajo de investigación

La importancia de la investigación va más allá de un simple análisis técnico. Se trata de un estudio que empodera a las autoridades y a la comunidad con información valiosa para proteger la salud, mejorar el entorno y garantizar un desarrollo sostenible en la ciudad de Ayacucho. La investigación transforma la preocupación por el ruido en datos accionables que pueden generar un cambio positivo y duradero.

1.7 Hipótesis

1.7.1 Hipótesis general

El análisis geoestadístico permite evaluar la dispersión del nivel de ruido equivalente en el aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho.

1.7.2 Hipótesis específicas

HE1: Los niveles de ruido equivalente presentan variaciones significativas en los diferentes puntos georreferenciados al perímetro del aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte

HE2: Los mapas geoestadísticos permiten analizar la interpolación de los niveles de ruido equivalente mediante Kriging e IDW en el aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

El estudio de Navarrete et al. (2024), centrado en la contaminación auditiva generada por aeronaves sobre Bogotá, identificó que el incremento anual del 4.4% en el tráfico aéreo, proyectado hasta finales de 2023, ha intensificado la contaminación sonora y el riesgo para la salud. La investigación utilizó tecnología avanzada, específicamente una antena ADS-B, para recolectar datos aéreos y georreferenciar el ruido. Su principal logro fue la identificación precisa de nueve zonas de mayor riesgo acústico (incluyendo Suba, Fontibón y Engativá) cercanas al Aeropuerto Internacional El Dorado y sus rutas. El estudio concluye que el crecimiento acelerado de las operaciones aéreas incrementa notablemente el ruido, haciendo urgente la revisión y ajuste de las regulaciones de tráfico aéreo por parte de la Aeronáutica Civil para mitigar futuros impactos.

La tesis de Urresta (2022) evaluó la contaminación acústica en la zona comercial de Macas, Morona Santiago, con el fin de delimitar su impacto en la actualización del plan de uso de suelo (considerando el Sector 07 como industrial y comercial de bajo impacto). La investigación adoptó un enfoque cuantitativo con trabajo de campo, usando 47 puntos de monitoreo distribuidos mediante el método de rejilla regular (cuadrículas de 120m x 115m) y el software ArcGIS para el levantamiento cartográfico. El estudio logró determinar los puntos de mayor exposición al ruido durante las jornadas diurna,

vespertina y nocturna (noviembre a enero), concluyendo que el área de máxima afectación acústica se extiende en un rango de 6 a 10 manzanas en la parte sur oriental de la ciudad.

El artículo de Flores et al. (2022) se centró en evaluar la contaminación acústica en la zona urbana de Riobamba mediante el método de interpolación Kriging. Para ello, se monitorearon los niveles de ruido en 105 puntos y se registraron variables correlacionadas como el tráfico vehicular, el flujo peatonal, el tipo de vía y la presencia de instituciones. El análisis estadístico evidenció una relación altamente significativa entre el ruido y la cantidad de personas y vehículos, así como la influencia del tipo de vía. El estudio concluyó que la mayor contaminación acústica se concentra en sectores clave como la Universidad Nacional de Chimborazo, el centro comercial Paseo Shopping y las zonas de concesionarios vehiculares.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Bustamante Vélchez de Tay et al. (2021) realizaron una investigación en el Aeropuerto Capitán FAP Guillermo Concha Ibérico, Piura, con el objetivo de evaluar los niveles de ruido generados por vuelos comerciales y militares según los estándares nacionales. La metodología fue de tipo no experimental, descriptiva y cuantitativa, empleando sonometría en puntos georreferenciados para la elaboración de mapas de contornos de ruido. Los resultados revelaron niveles de presión sonora entre 80.9 y 101.2 dB(A) para vuelos comerciales, alcanzando los 107.5 dB(A) en operaciones militares; estas cifras exceden significativamente los límites de 60 dB(A) diurnos y 50 dB(A) nocturnos establecidos para zonas residenciales. Se identificó una afectación crítica en centros de salud, instituciones educativas y áreas habitadas debido a la carencia de barreras de

mitigación. En conclusión, el estudio determinó la existencia de una severa contaminación acústica que compromete el bienestar de la población del distrito de Castilla, evidenciando una urgente necesidad de implementar medidas de control y mecanismos accesibles para la denuncia ciudadana.

Cortez Acuña (2021) desarrolló un estudio de tipo analítico, observacional y transversal con el objetivo de evaluar la incidencia de la contaminación acústica en la salud de 105 trabajadores del Aeropuerto Alejandro Velasco Astete, Cusco. Los monitoreos sonométricos revelaron un promedio global de ruido de 86 dB, cifra que excede el límite máximo permisible de 85 dB establecido por la normativa nacional para jornadas laborales de ocho horas. Respecto a la salud auditiva, las evaluaciones audiométricas identificaron hipoacusia inducida por ruido en el 19% de la población (13.3% leve y 5.7% moderada). Mediante la prueba chi cuadrado ($p = 0.014$), se confirmó que la exposición sonora incide significativamente en la audición, con una mayor prevalencia en personal operativo y trabajadores con más de cuatro años de servicio. El autor concluyó que los niveles de presión sonora en el recinto aeroportuario son perjudiciales, recomendando la implementación de programas de vigilancia audiológica y capacitación en protección ergonómica.

Cuti Chuctaya (2021) realizó un estudio descriptivo-correlacional y transversal con el objetivo de determinar la distribución espacial de la contaminación acústica y su relación con las operaciones aéreas en el Aeropuerto Internacional Alejandro Velasco Astete, Cusco. La metodología incluyó el monitoreo en 10 estaciones ubicadas en zonas residenciales de los distritos de San Sebastián y Wanchaq, empleando modelos lineales mixtos e interpolación Kriging en ArcGIS para el análisis geoestadístico. Los resultados

determinaron que los niveles de presión sonora son significativamente mayores durante el despegue (80.85 ± 0.66 dB) en comparación con el arribo (72.89 ± 2.62 dB). Se evidenció que el 100% de los puntos de medición superaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de 60 dB durante los despegues, identificando zonas críticas con picos de hasta 88.4 dB. El análisis de correlación mostró una dependencia lineal positiva moderada entre el flujo de aeronaves y el ruido en el arribo ($r^2 = 0.401$, $p = 0.0001$), mientras que en el despegue no existió relación significativa. El autor concluyó que las operaciones aeroportuarias exceden ampliamente la normativa vigente en el entorno urbano circundante.

La tesis de Figueredo (2021) tuvo como objetivo determinar la influencia del ruido ambiental, generado en el Aeropuerto Alf. FAP David Figueroa Fernandini, sobre el estado de salud de los residentes de Huachog. El estudio utilizó una metodología analítica correlacional (con 48 pobladores y 4 puntos de monitoreo). Los resultados demostraron que los niveles de ruido superaban consistentemente el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para zonas residenciales. Crucialmente, el análisis reveló una correlación moderada y negativa significativa ($R_s = -0.595$; $p \leq 0.05$) entre las variables, concluyendo que el ruido del aeropuerto influye significativamente en el estado de salud de los pobladores. Además, el estudio encontró que el ruido afecta de manera significativa tanto la salud física ($p = 0.001$) como la psicológica ($p = 0.004$), con un 60.4% de los evaluados reportando un estado de salud regular.

El propósito del artículo de De Tay et al. (2021) fue evaluar el impacto acústico generado por el tráfico aéreo comercial en el Aeropuerto Capitán FAP Guillermo Concha Ibérico (Distrito de Castilla, Piura). La investigación se centró en dos ejes: analizar los niveles de

contaminación sonora y determinar los efectos negativos en la salud y calidad de vida de la población circundante. Basándose en los límites establecidos por el DS N° 085-2003-PCM (ECA), el estudio utilizó un modelamiento de las zonas de tránsito de las aeronaves durante aterrizajes y despegues. Este proceso, alimentado por datos in situ recopilados durante cinco meses (octubre 2017 a febrero 2018), resultó en un mapa de contornos de ruido que permitió identificar con precisión las áreas afectadas por las ondas sonoras del aeropuerto.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Contaminación sonora

La contaminación sonora se define como la existencia de niveles de ruido ambiental que exceden los límites normativos y que, por lo tanto, representan una amenaza para la salud y el bienestar humano. En el contexto peruano, estos umbrales son regulados por el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido (ECA). Por ejemplo, en las áreas residenciales, el límite de ruido es de 60 dB durante el día y se reduce a 50 dB en el horario nocturno (MINAM, 2023).

2.2.2. Ruido aeroportuario

El ruido generado por aeropuertos es una fuente significativa de contaminación acústica, especialmente en áreas urbanas cercanas a las terminales aéreas. Las principales fuentes de este tipo de ruido incluyen:

Despegues y aterrizajes de aeronaves: Momentos en los que se generan los niveles más altos de ruido debido a la potencia requerida y la interacción con el suelo.

Rodaje en pista: Movimiento de las aeronaves en tierra, que también contribuye al ruido ambiental.

Actividades auxiliares: Operaciones de mantenimiento y servicios en tierra que generan ruido adicional.

Estudios recientes han demostrado que la exposición prolongada al ruido de aeronaves puede tener efectos adversos en la salud cardiovascular. Por ejemplo, una investigación realizada en el Reino Unido encontró que las personas que viven cerca de aeropuertos presentan alteraciones en la estructura y función del corazón, lo que podría cuadruplicar el riesgo de eventos cardíacos graves (AS, 2025).

2.2.3. Dispersión del sonido

La dispersión del sonido se refiere a cómo las ondas sonoras se propagan y atenúan en el ambiente. Varios factores influyen en esta dispersión:

Topografía: La presencia de montañas, valles y edificaciones puede reflejar o absorber el sonido, alterando su propagación.

Condiciones meteorológicas: Factores como la velocidad y dirección del viento, la temperatura y la humedad afectan la manera en que el sonido se desplaza.

Frecuencia de vuelos: Un mayor número de operaciones aéreas incrementa la carga acústica en el área circundante.

Distancia y obstáculos: El nivel de ruido generalmente disminuye con la distancia desde la fuente, aunque obstáculos intermedios pueden influir en la atenuación o amplificación del sonido.

2.2.4. Normativa y estándares

En Perú, la regulación de la contaminación sonora está establecida en el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido (Decreto Supremo N.º 085-2003-PCM), que define los límites máximos permisibles de ruido según el tipo de zona y

el horario (MINAM, 2023). Estos estándares buscan proteger la salud pública y garantizar un ambiente acústico adecuado.

2.2.5. Modelado y mapas de ruido

La elaboración de mapas de ruido es una herramienta esencial para visualizar y analizar la distribución espacial de los niveles sonoros en una determinada área. Estos mapas permiten identificar zonas críticas y planificar medidas de mitigación. El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), como ArcGIS, facilita la creación de estos mapas. Por ejemplo, un estudio realizado en la ciudad de Puno en 2023 utilizó ArcGIS 10.8 para elaborar mapas de ruido, identificando puntos críticos de contaminación sonora en zonas de protección especial (Sanizo Vilcanqui, 2024).

2.2.6. Sonido

El sonido es una perturbación del mundo físico que envuelve al ser humano, cuyo comportamiento se rige por la propagación de ondas elásticas. La sensación de audición se produce cuando estas ondas, sin importar el medio, impactan la membrana auditiva y provocan una vibración. Dicha vibración se convierte luego en una señal que el nervio auditivo interpreta como sonido (SILVA, 2019).

2.2.7. Ruido

El ruido, conforme a la definición de la OEFA (2016), es cualquier sonido en el ambiente que, por sus niveles y frecuencias, no solo causa incomodidad y deteriora la salud, sino que también interfiere con el derecho legítimo a disponer de un entorno equilibrado y sereno.

2.2.8. Calidad del ruido

La calidad del ruido se relaciona con la acumulación notable de sonidos en áreas concretas, destacando que el sonido es un tipo de contaminación inherentemente localizada. Este fenómeno representa un riesgo directo, ya que la exposición descontrolada puede tener graves consecuencias en el bienestar físico y mental. JO y JEON (2020) advierten que la falta de control puede llevar a la disfunción del sistema auditivo y, en los peores escenarios, a la pérdida de la audición.

2.2.9. Nivel de presión sonora máximo (NPS máx.)

El Nivel de Presión Sonora Máximo (NPSmáx) denota el valor de presión sonora más alto registrado en un punto y durante un intervalo específico. Esta medición, expresada en decibelios (dB), es crucial porque representa los picos de ruido intenso que, al ser potencialmente perjudiciales para la audición o causar molestias severas, deben ser monitoreados para evaluar el riesgo acústico (MINAM, 2011).

2.2.10. Nivel de presión sonora mínimo (NPS mín.)

El Nivel de Presión Sonora Mínimo (NPSmín) es el valor de presión sonora más bajo registrado en un lugar específico durante un intervalo de tiempo. Expresado en decibelios (dB), esta métrica es relevante porque identifica los momentos de menor intensidad acústica, sirviendo como indicador del ruido de fondo o ambiental mínimo del entorno (MINAM, 2011).

2.2.11. Nivel sonoro continuo equivalente (Leq)

El Nivel Sonoro Continuo Equivalente (Leq) es el nivel de ruido promedio ponderado en frecuencia durante un periodo de tiempo determinado. Representado en decibelios

ponderados en A (dBA), el L_{eq} es un parámetro esencial para medir con precisión la exposición total y la variabilidad del ruido en un entorno. Para una interpretación correcta de los datos, es indispensable especificar siempre tanto la duración del periodo de medición como la ponderación de frecuencia (dBA) (MINAM, 2011).

2.2.12. Efectos de la exposición a ruido excesivo

La exposición frecuente a ruido excesivo provoca una amplia variedad de consecuencias negativas que impactan significativamente a los individuos. El daño principal y permanente puede ser a nivel auditivo, que, dependiendo de la intensidad y duración de la exposición, puede resultar en discapacidad parcial o total. Además, el ruido constante perturba el sueño (causando insomnio y somnolencia), eleva los niveles de estrés y ansiedad (contribuyendo a trastornos psicológicos como la depresión), e interfiere con la comunicación efectiva, afectando el aspecto socio-afectivo y el rendimiento cognitivo. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022) subraya que la contaminación sonora no solo tiene consecuencias físicas, emocionales y sociales para los humanos, sino que también altera los patrones de comportamiento de la fauna, haciendo imperativo el control de los niveles de ruido en todos los entornos.

2.2.13. Marco legal

El marco legal peruano establece el derecho a un ambiente adecuado como un principio fundamental. Esto se garantiza mediante el inciso 22 del artículo 2 de la Constitución Política, que obliga al Estado a asegurar un entorno ecuánime y propicio para el desarrollo de la vida. A nivel legislativo, la Ley General del Ambiente (Ley N° 28611), en su artículo 133, subraya la necesidad de utilizar el monitoreo para verificar el cumplimiento normativo. Finalmente, el Decreto Supremo N° 085-2003-PCM aprueba los Estándares

de Calidad Ambiental (ECA) para ruido, sirviendo como instrumento de gestión para prevenir y controlar la contaminación sonora, con el fin último de proteger la salud y mejorar la calidad de vida (MINAM, 2011).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Decibel

El Decibel (dB) es una unidad adimensional que representa el logaritmo de la proporción entre un valor medido y un valor de referencia. Equivale a la décima parte de un Bel (B) y es la unidad estándar utilizada para expresar el nivel de presión sonora (Fernández, 2000).

2.3.2. Estándares de Calidad Ambiental para Ruido

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido definen los niveles máximos de ruido permitidos en el ambiente exterior. El objetivo primordial de estos estándares es asegurar la protección de la salud humana. Dichos límites se expresan como valores de presión sonora continua equivalente con ponderación A (LeqA) (MINAM, 2011).

2.3.3. Sonómetro

El sonómetro es el dispositivo primario utilizado para evaluar y registrar los niveles de presión sonora (ruido) en el ambiente. Su función es medir la intensidad del sonido en decibelios (dB), siendo una herramienta esencial en la investigación ambiental, la seguridad ocupacional y la industria para el monitoreo preciso del ruido (MINAM, 2011).

2.3.6. Monitoreo

El monitoreo es el proceso sistemático de observar, medir y dar seguimiento a variables o condiciones específicas a lo largo del tiempo. Su propósito es recopilar datos e información esenciales para evaluar el rendimiento, el estado actual o la evolución de cualquier sistema, proceso o fenómeno (MINAM, 2011).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.1. Materiales

3.1.1. Instrumento de medición (Hardware). Se utilizó un sonómetro de marca LARSONDAVIS, clase 1 con número de serie 0003334 el cual estuvo calibrado y certificado.

3.1.2. Instrumento de modelización (Software). Se utilizó el software ArcGIS para el análisis espacial.

3.2. Tipo, nivel y diseño investigación

3.2.1. Tipo de investigación

Investigación aplicada: La investigación es de tipo aplicada, definida como un estudio cuyo propósito principal es resolver un problema práctico o mejorar una situación específica en un contexto real y tangible. A diferencia de la investigación básica, que busca generar conocimiento puro o desarrollar teorías, la investigación aplicada se enfoca en la utilización directa de los resultados para impactar positivamente un entorno particular.

3.2.2. Nivel de investigación

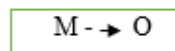
Descriptiva: La investigación se clasifica como Descriptiva debido a su naturaleza básica y cuantitativa con hipótesis empíricas, donde se detalla la variable de estudio. Este enfoque emplea el método inductivo, el cual permite generalizar el conocimiento adquirido a partir de un fenómeno particular para aplicarlo a casos futuros o en diferentes contextos (Oseda Gago & Cori Orihuela, 2017). Además, se define como un estudio transversal, pues la evaluación de la variable se realiza en un único momento, incluyendo

la descripción de sus teorías y conceptualizaciones (Hernández, Fernández y Baptista, 2017).

3.3. Diseño de investigación

Diseño transversal, no experimental: El estudio emplea un diseño no experimental y transversal. Se clasifica como no experimental dado que las variables no se alterarán intencionalmente; en su lugar, la investigación se limita a analizar los eventos en su entorno natural, sin manipular deliberadamente variables para observar sus efectos. Además, es transversal porque la recolección de datos se lleva a cabo en un solo momento con el propósito de medir la variable y estimar los niveles de ruido en ese instante específico (Hernández et al., 2014).

Esquema del diseño



Donde:

M: Aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte Huamanga-Ayacucho.

O: Dispersión de niveles de ruido.

3.4. Método de investigación

3.4.1. Método Inductivo

Este enfoque comienza con la observación y la recopilación de datos específicos para luego formular conclusiones más generales. En la investigación, el proceso inductivo se aplica de la siguiente manera:

Observación de datos: Recopilas y analizas datos específicos de series de tiempo de la contaminación sonora en el entorno del Aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte.

Identificación de patrones: Observar patrones de cambio alrededores del Aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte.

Generalización: A partir de estos patrones específicos, hemos formulado una generalización o hipótesis preliminar, como la existencia

3.4.2. Método Deductivo

Este enfoque parte de una teoría o hipótesis general para luego probarla con observaciones específicas. Una vez que se ha formulado la hipótesis, el método deductivo permitió validarla:

Formulación de hipótesis: Partes de la hipótesis general de que Los niveles de presión sonora en el aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte presentan una distribución espacial heterogénea, con valores significativamente elevados a través del análisis geoestadístico.

Prueba de la hipótesis: Análisis estadísticos de los niveles de ruido en los diferentes puntos georreferenciados al perímetro del aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte presentan o no las variaciones significativas que permiten caracterizar a través del monitoreo y análisis estadístico.

Conclusión: Concluye si la hipótesis es apoyada por los datos, lo que te permitió responder las preguntas de investigación y contribuir al conocimiento sobre la dinámica ambiental de la zona.

La combinación de ambos métodos fue ideal para el estudio, ya que primero se descubrió patrones (inducción) y luego la prueba de estimación (deducción).

3.5. Procedimiento de recolección de datos, población y muestra

3.5.1. Población

El estudio se realizará en áreas circundantes al Aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte de Ayacucho.

3.5.2. Muestra

La muestra está constituida por 27 puntos muestreados de la zona en estudio

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

- Medición de niveles de ruido
- Protocolo Nacional de Monitoreo del Ruido

3.6.2. Instrumentos

- Sonómetro de clase 1, calibrado según la norma IEC 61672.
- Guía de análisis documental

3.6.3. Recolección de datos

Por el manejo de la recolección de los datos el método a emplearse en la investigación se basa en la evaluación cuantitativa no experimental de los niveles de ruido:

- ✓ Selección de puntos de medición: Identificación y georreferenciación de los puntos de monitoreo, asegurando una cobertura representativa del área de estudio.
- ✓ Medición de niveles de ruido: Realización de mediciones en diferentes horarios (mañana, tarde y noche) durante un período determinado, siguiendo los protocolos establecidos en la normativa nacional.
- ✓ Registro de condiciones ambientales: Simultáneamente a las mediciones de ruido, se registrarán las condiciones meteorológicas que puedan influir en la dispersión del sonido.
- ✓ Análisis de datos: Procesamiento de los datos recopilados para calcular indicadores acústicos relevantes, como el nivel de presión sonora equivalente (LAeq).

- ✓ Elaboración de mapas de ruido: Utilización de herramientas SIG para representar espacialmente los niveles de ruido e identificar zonas críticas que superen los estándares permitidos.
- ✓ Propuesta de medidas de mitigación: Basándose en los resultados obtenidos, se formularán recomendaciones para reducir la exposición al ruido en las áreas más afectadas.

Fase trabajo de campo: Para determinar los tipos de contaminación sonora se utilizará un sonómetro. Para ello se tomarán las mediciones en cada uno de los Jirones a una distancia de 100 metros del perímetro de zona de estudio. El registro de medición se realizará durante las horas de mayor movimiento de las aerolíneas LATAM entre las 09:50, 12:30 y 17: 05 horas.

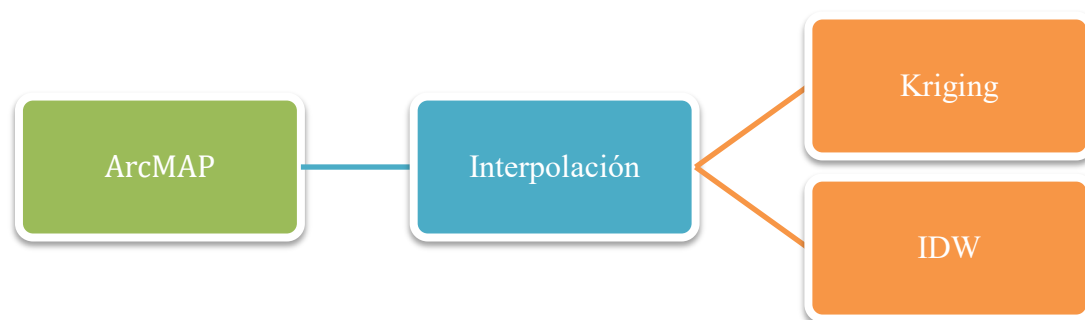
3.6.4. Método de Interpolación

La interpolación es un método que se usó para generar nuevos valores en base a unos ya conocidos, este método fue usado para estimar la distribución del monitoreo del ruido.

En ArcMAP se carga la malla de puntos muestreados georreferenciados, para seguidamente observar la distribución de puntos en decibelios (dB)

Figura 1

Método de interpolación



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Resultados a nivel descriptivo

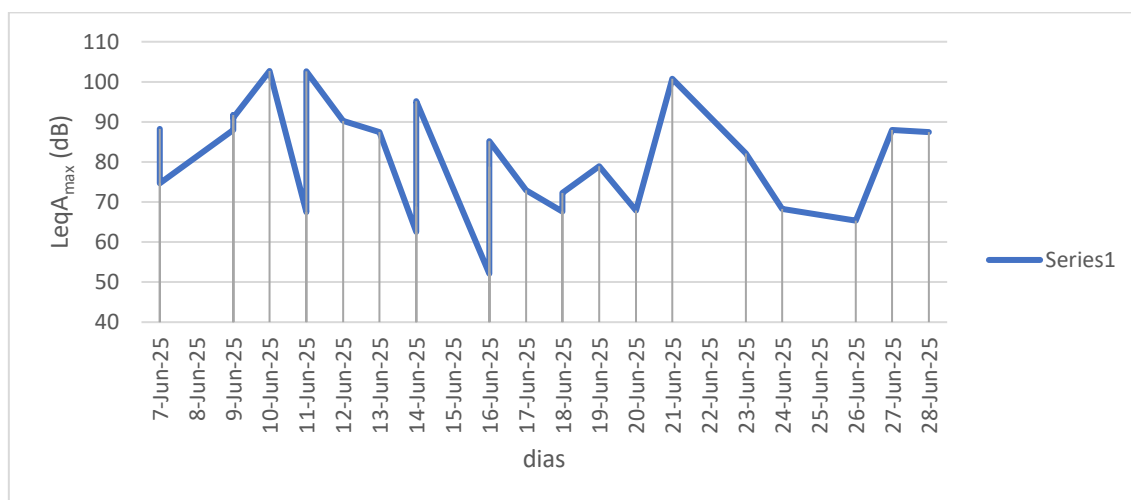
4.1.1. Evaluación de la dispersión de los niveles de ruido en el Aeropuerto Alfredo

Mendivil Duarte de Ayacucho, 2025

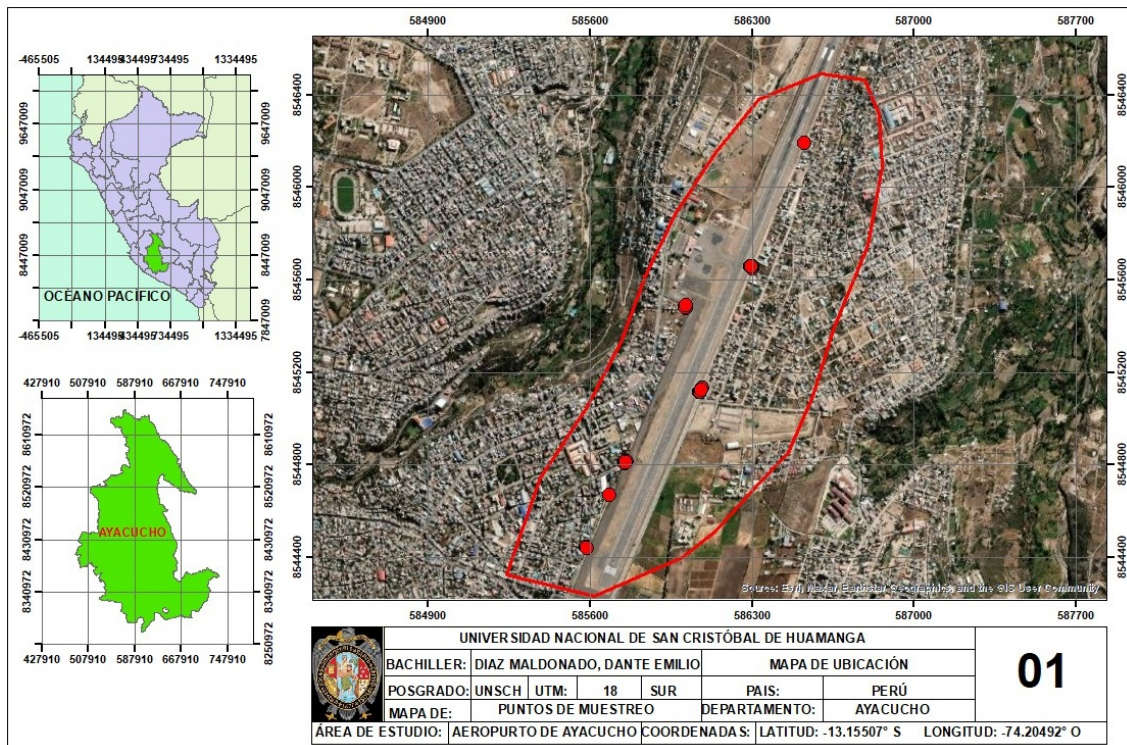
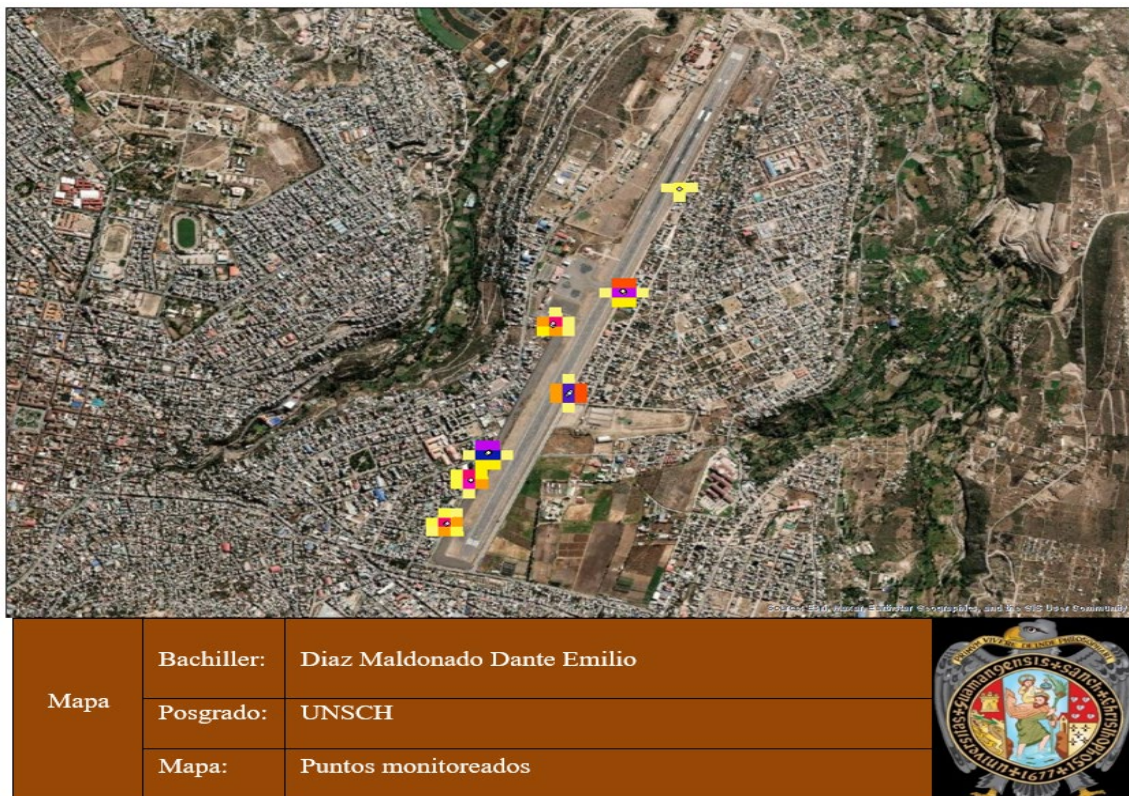
Tabla 1

Datos georreferenciados de los niveles de ruido máximo

Fecha	Norte	Este	Longitud	Latitud	LeqA _{max} (dB)
7-Jun-25	8545114	586075	-74.20576643	-13.15928154	88.2
7-Jun-25	8545117	586078	-74.20573884	-13.15925433	74.7
9-Jun-25	8545133	586086	-74.20566549	-13.15910943	88
9-Jun-25	8545133	586086	-74.20566549	-13.15910943	91.7
9-Jun-25	8545650	586305	-74.20365996	-13.1544286	91
10-Jun-25	8545656	586304	-74.20366936	-13.15437438	102.7
11-Jun-25	8545659	586295	-74.20375249	-13.15434751	67.5
11-Jun-25	8545657	586297	-74.20373398	-13.15436554	102.6
12-Jun-25	8545125	586082	-74.20570217	-13.15918188	90.3
13-Jun-25	8546191	586529	-74.20160907	-13.14953061	87.5
14-Jun-25	8544809	585751	-74.20874701	-13.1620485	62.6
14-Jun-25	8544813	585753	-74.20872867	-13.16201227	68.8
14-Jun-25	8544813	585753	-74.20872867	-13.16201227	95.2
16-Jun-25	8544807	585751	-74.20874695	-13.16206658	52.1
16-Jun-25	8544817	585760	-74.2086642	-13.16197591	78.8
16-Jun-25	8544814	585759	-74.20867334	-13.16200306	85.2
17-Jun-25	8544670	585685	-74.20935194	-13.16330717	72.9
18-Jun-25	8544670	585684	-74.20936116	-13.1633072	67.6
18-Jun-25	8544667	585683	-74.2093703	-13.16333435	72.3
19-Jun-25	8544670	585685	-74.20935194	-13.16330717	78.9
20-Jun-25	8544442	585583	-74.21028646	-13.16537159	67.9
21-Jun-25	8544439	585587	-74.21024947	-13.1653986	100.8
23-Jun-25	8544440	585588	-74.21024027	-13.16538953	82.1
24-Jun-25	8544811	585754	-74.20871938	-13.16203033	68.3
26-Jun-25	8545479	586017	-74.2063122	-13.15598296	65.3
27-Jun-25	8545480	586012	-74.20635836	-13.15597406	88
28-Jun-25	8545490	586018	-74.20630329	-13.15588347	87.5

Figura 2*Evaluación de la dispersión de los niveles de ruido*

En la figura 2, los niveles de ruido registrados oscilan entre un mínimo de 63 dB (observado en el día 13 de junio) y un máximo de 103 dB (observado en el día 11 de junio). Se identificaron varios picos de ruido que superan los 90 dB, con el máximo absoluto en 103 dB. Estos valores (103 dB, 102 dB, 92 dB, 98 dB, etc.) son significativamente altos durante las fases de despegue muy cerca de la trayectoria de vuelo y la cabecera de la pista. Un nivel de 103 dB es comparable al ruido de una motocicleta sin silenciador o un camión pesado a corta distancia, y es potencialmente muy molesto y perjudicial. La gran variabilidad día a día, con fluctuaciones bruscas entre picos altos y valles bajos, como la medición de 98 dB es seguida por una de 63 dB, y luego por otra de 90 dB. Esta gran dispersión es típica del ruido aeroportuario, donde los picos de ruido están directamente ligados a los eventos de vuelo y los valles representan los períodos de inactividad aérea. Los valores que superan los 90 dB, que se mantienen por un tiempo significativo o son muy frecuentes, superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido en las zonas residenciales aledañas, lo que implica un riesgo ambiental para la salud.

Figura 3*Puntos georreferenciados del aeropuerto***Figura 4***Puntos de monitoreo del nivel de ruido*

4.1.2. Estimación de los niveles de ruido en los diferentes puntos georreferenciados al perímetro del aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho

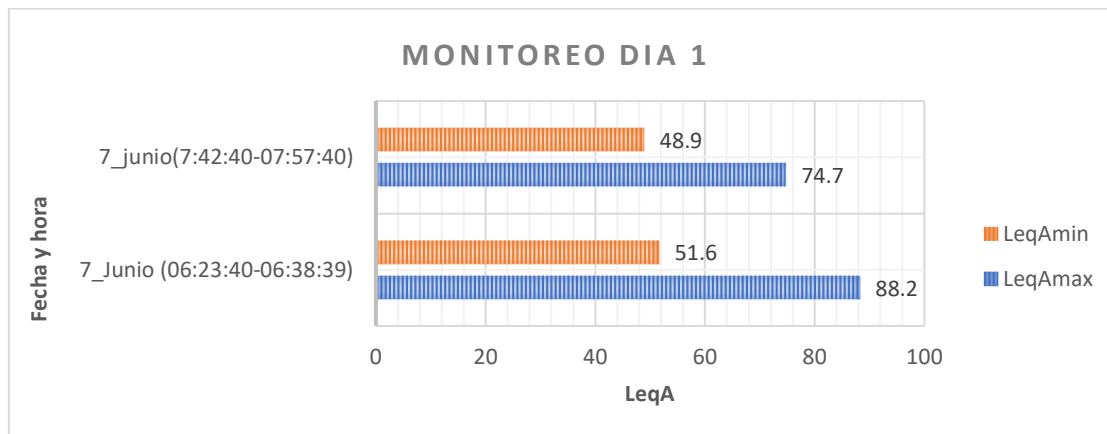
Tabla 2

Datos 07-06-2025

Fecha	Hora	Coordenadas				LeqAmax (dB)	LeqAmin (dB)	Lugar
		Norte	Este	Longitud	Latitud			
7-Jun-25	06:23:40-06:38:39	8545114	586075	-74.20576643	-13.15928154	88.2	51.6	Fin de Asfalto Asoc. Cesar Vallejo
7-Jun-25	07:42:40-07:57:40	8545117	586078	-74.20573884	-13.15925433	74.7	48.9	Fin de Asfalto Asoc. Cesar Vallejo (Despegue)

Figura 5

Niveles de ruido monitoreados del día 1



En la figura 5, el nivel máximo de ruido registrado en la madrugada (06:23-06:38) fue de 88.2 dB. Este valor es significativamente alto y está asociado con el primer despegue del día. En contraste, el pico de la mañana (07:42-07:57) fue notablemente menor, de 74.7 dB. El período de la madrugada no solo tuvo el pico más alto, sino también la mayor diferencia entre el $LeqA_{max}$ y el $LeqA_{min}$ (36.6 dB vs. 25.8 dB). Esto indica una mayor intrusión de ruido en la madrugada, donde un evento súbito de alta intensidad (88.2 dB) irrumpió en un entorno de ruido de fondo relativamente bajo (51.6 dB). El valor de 88.2 dB en la madrugada es un nivel de ruido de alta molestia en el punto de monitoreo

corresponde a una zona residencial, que es claro el incumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido durante el horario nocturno o de la mañana temprano, afectando el descanso y la salud de la población cercana al aeropuerto

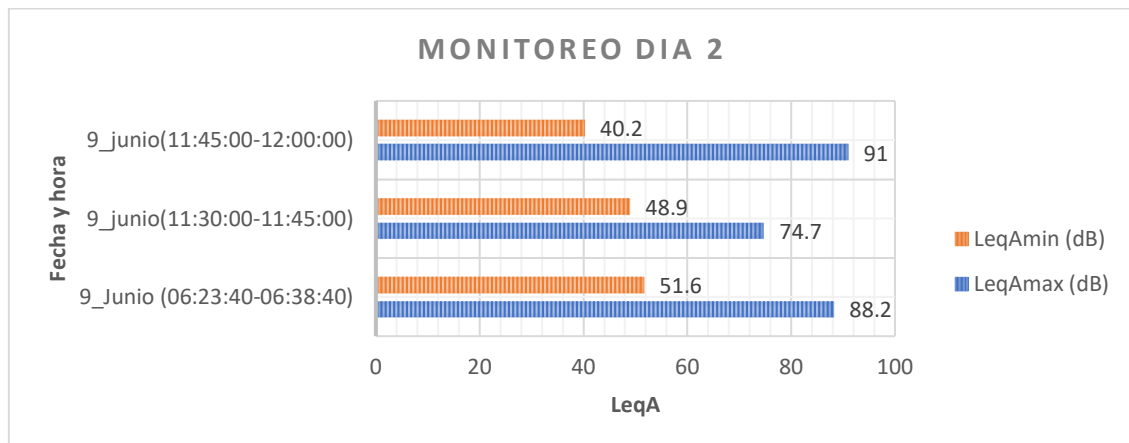
Tabla 3

Datos 09-06-2025

Fecha	Hora	Coordenadas				LeqAmax (dB)	LeqAmin (dB)	Lugar
		Norte	Este	Longitud	Latitud			
9-Jun-25	06:23:40-06:38:40	8545133	586086	-74.20566549	-13.15910943	88	57.4	Fin de Asfalto Asoc. Cesar Vallejo
9-Jun-25	11:30:00-11:45:00	8545133	586086	-74.20566549	-13.15910943	91.7	41.9	Frente al Aeropuerto
9-Jun-25	11:45:00-12:00:00	8545650	586305	-74.20365996	-13.1544286	91	40.2	Frente al Aeropuerto DESPEGUE SKAY

Figura 6

Niveles de ruido monitoreados del día 2



La figura 6, el nivel máximo de 91 dB (a las 11:45-12:00) es un valor crítico que supera los 90 dB, confirmando la existencia de eventos de ruido de alto impacto durante la operación del aeropuerto. La dispersión del ruido es muy alta, con diferencias entre el mínimo y el máximo que van desde los 25.8 dB hasta los 50.8 dB. Esta variabilidad demuestra que el ruido aeroportuario es altamente intrusivo e intermitente, lo cual es la principal causa de molestia en zonas aledañas. Los picos de 88.2 dB y 91 dB, en la zona

residencial superan los límites permitidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para ruido, lo que justifica plenamente la necesidad del mapeo geoestadístico para evaluar su dispersión.

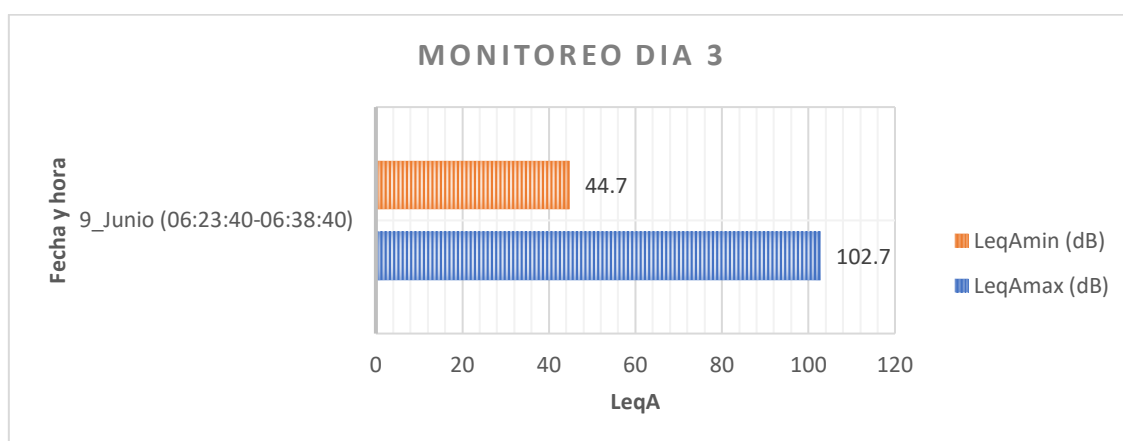
Tabla 4

Datos 10-06-2025

Fecha	Hora	Coordenadas				LeqAmax (dB)	LeqAmin (dB)	Lugar
		Norte	Este	Longitud	Latitud			
10-Jun-25	06:24:18-06:39:18	8545656	586304	-74.20366936	-13.15437438	102.7	44.7	Frente al Aeropuerto

Figura 7

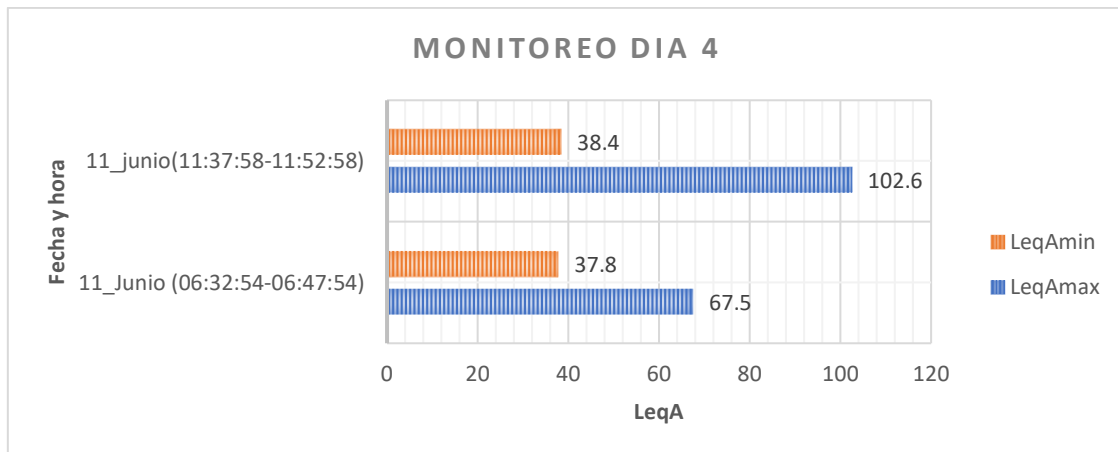
Niveles de ruido monitoreados del día 3



La figura 7, el pico de 102.7 dB causado por despegue a plena potencia representa un peligro acústico inmediato y un incumplimiento severo de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en zonas residenciales. La magnitud del pico en un horario de la madrugada tiene un impacto extremadamente negativo en la salud y el descanso de la población. La medición puntual de 102.7 dB en un solo punto subraya la necesidad crítica de utilizar el mapeo geoestadístico. Es vital estimar cuán lejos se dispersa un pico de esta magnitud.

Tabla 5*Datos 11-06-2025*

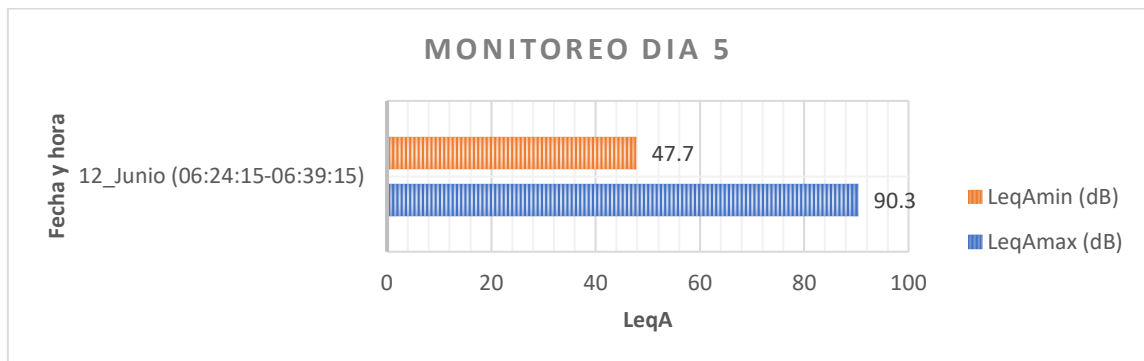
Fecha	Hora	Coordenadas				LeqAmax (dB)	LeqAmin (dB)	Lugar
		Norte	Este	Longitud	Latitud			
11-Jun-25	06:32:54-06:47:54	8545659	586295	-74.20375249	-13.15434751	67.5	37.8	Parque final
11-Jun-25	11:37:58-11:52:58	8545657	586297	-74.20373398	-13.15436554	102.6	38.4	Frente al Aeropuerto

Figura 8*Niveles de ruido monitoreados del día 4*

La figura 8, el valor de 102.6 dB es un nivel de ruido crítico y representa un peligro acústico severo para la salud, en zonas residenciales. La presencia recurrente de picos superiores a 102 dB (Día 3 y Día 4) refuerza la necesidad de utilizar el mapeo geoestadístico para modelar la dispersión de esta energía acústica y delimitar con precisión las áreas de alto riesgo alrededor del aeropuerto.

Tabla 6*Datos 07-06-2025*

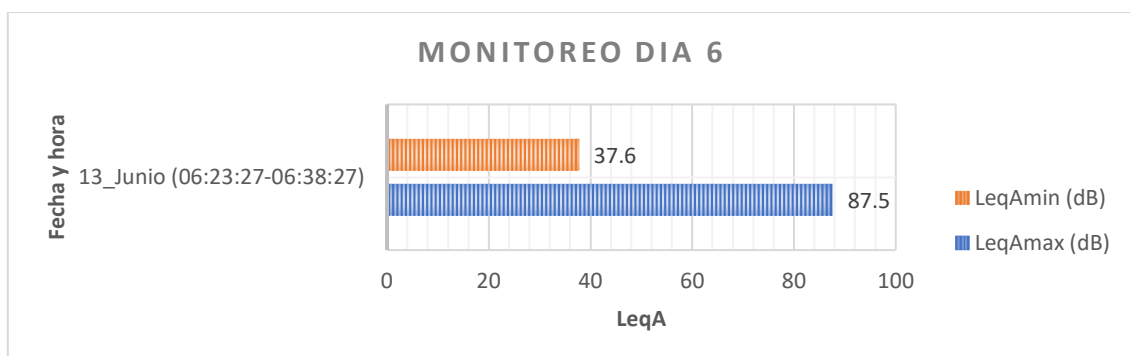
Fecha	Hora	Coordenadas				LeqAmax (dB)	LeqAmin (dB)	Lugar
		Norte	Este	Longitud	Latitud			
12-Jun-25	06:24:15-06:39:15	8545125	586082	-74.20570217	-13.15918188	90.3	47.7	Inicio de Asfalto

Figura 9*Niveles de ruido monitoreados del día 5*

La figura 9, el valor de 90.3 dB confirma la tendencia observada en días anteriores a las operaciones aéreas en la mañana temprana (o madrugada) generan picos de ruido de muy alta intensidad que exceden gravemente los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido en zonas sensibles.

Tabla 7*Datos 13-06-2025*

Fecha	Hora	Coordenadas				LeqAmax (dB)	LeqAmin (dB)	Lugar
		Norte	Este	Longitud	Latitud			
13-Jun-25	06:23:27-06:38:27	8546191	586529	-74.20160907	-13.14953061	87.5	37.6	Parque final

Figura 10*Niveles de ruido monitoreados del día 6*

La figura 10, el valor de 87.5 dB sigue estando peligrosamente cerca del límite de 90 dB y excede los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido en zonas sensibles durante este horario. Esto refuerza el patrón de que las primeras operaciones del día en el aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte son una fuente constante de contaminación sonora severa.

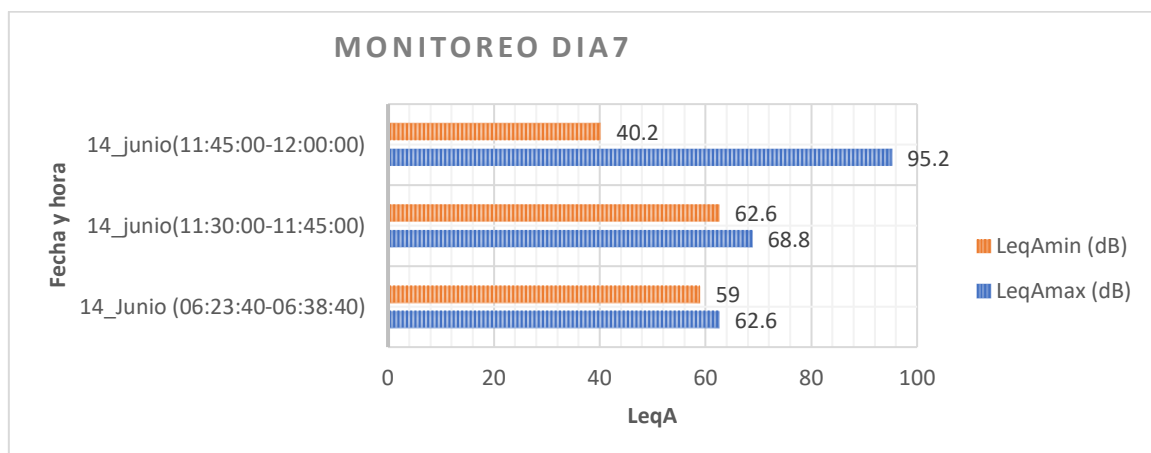
Tabla 8

Datos 14-06-2025

Fecha	Hora	Coordenadas				LeqAmax (dB)	LeqAmin (dB)	Lugar
		Norte	Este	Longitud	Latitud			
14-Jun-25	15:06:28-15:21:28	8544809	585751	-74.20874701	-13.1620485	62.6	59	Parque final-SKAY
14-Jun-25	06:25:01-06:40:01	8544813	585753	-74.20872867	-13.16201227	68.8	62.6	Eucalipto
14-Jun-25	07:49:23-08:04:23	8544813	585753	-74.20872867	-13.16201227	95.2	40.2	Eucalipto (DESPEGUE)

Figura 11

Niveles de ruido monitoreados del día 7



La figura 11, el valor de 95.2 dB confirma la persistencia de eventos de ruido de alto impacto que superan el umbral crítico de 90 dB, por la operación de una aeronave de gran tamaño.

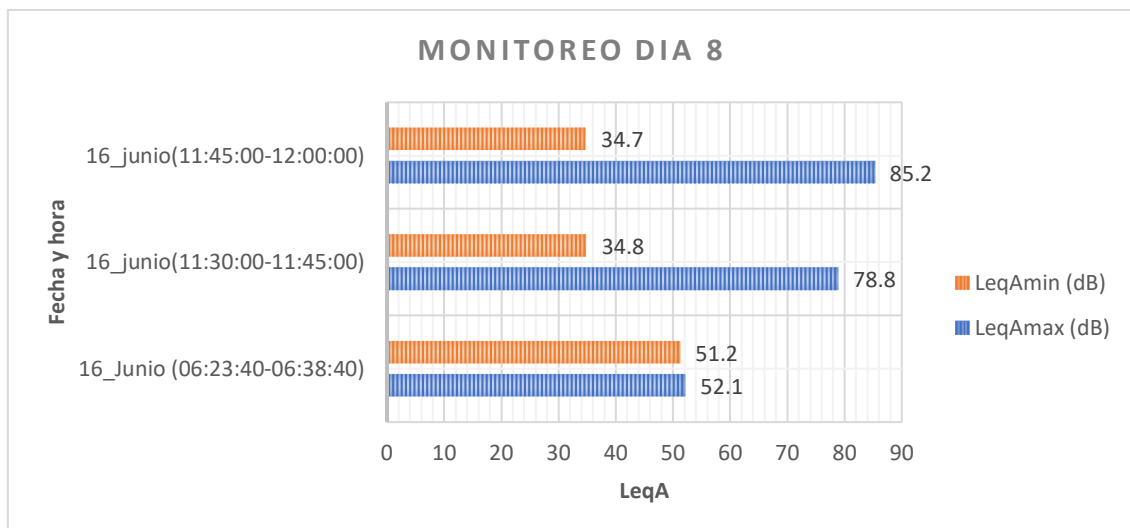
Tabla 9

Datos 16-06-2025

Fecha	Hora	Coordenadas				LeqAmax (dB)	LeqAmin (dB)	Lugar
		Norte	Este	Longitud	Latitud			
16-Jun-25	06:32:36-06:47:36	8544807	585751	-74.20874695	-13.16206658	52.1	51.2	Eucalipto
16-Jun-25	11:33:57-11:48:57	8544817	585760	-74.2086642	-13.16197591	78.8	34.8	Eucalipto (DESPEGUE) SKAY Eucalipto
16-Jun-25	11:49:17-12:04:17	8544814	585759	-74.20867334	-13.16200306	85.2	34.7	Eucalipto

Figura 12

Niveles de ruido monitoreados del día 8



La figura 12, el gráfico detalla las mediciones de $LeqA_{min}$ y $LeqA_{max}$ en tres intervalos del 16 de junio, destacando picos de ruido significativos cerca del mediodía y un fondo acústico excepcionalmente bajo. El salto de 34.7 dB a 85.2 dB (50.5 dB de dispersión) maximiza la molestia subjetiva. Aunque el pico de 85.2 dB no supera los 90 dB como en

otros días, es un nivel de ruido altamente intrusivo y supera los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para ese horario.

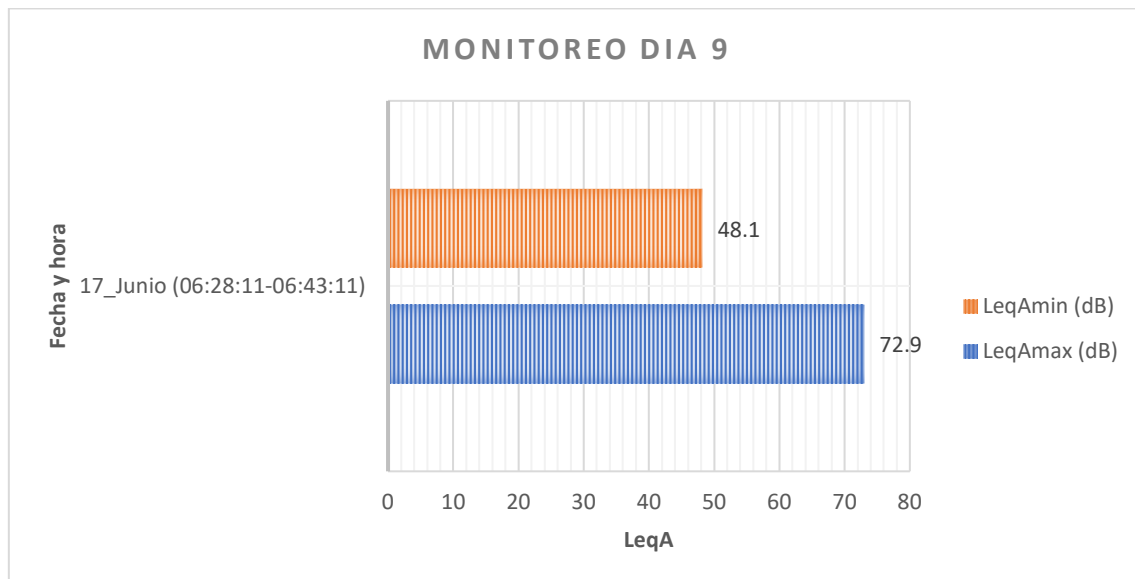
Tabla 10

Datos 17-06-2025

Fecha	Hora	Coordenadas				LeqAmax (dB)	LeqAmin (dB)	Lugar
		Norte	Este	Longitud	Latitud			
17-Jun-25	06:28:11-06:43:11	8544670	585685	-74.20935194	-13.16330717	72.9	48.1	No Aterrizo por mal tiempo

Figura 13

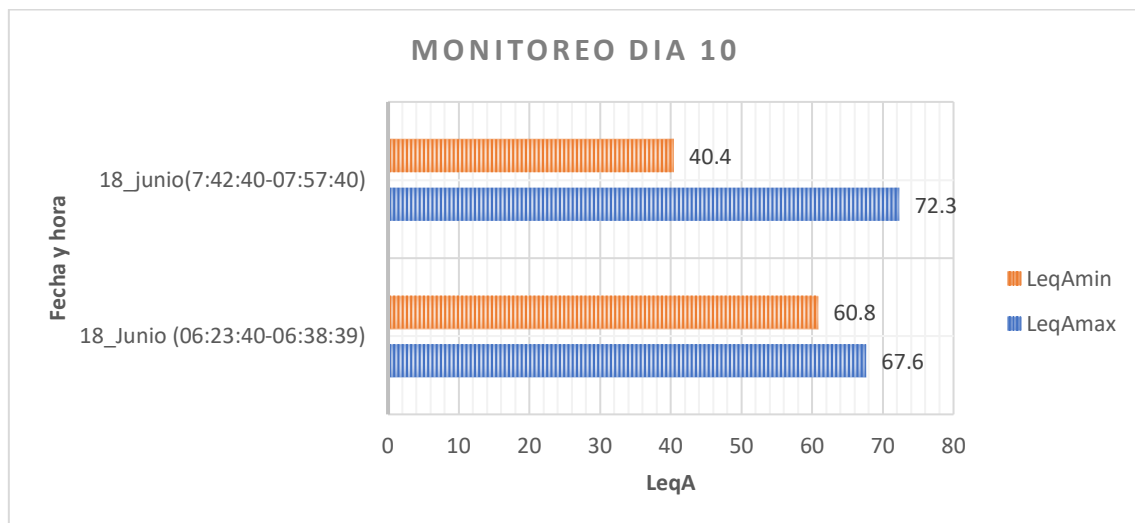
Niveles de ruido monitoreados del día 9



En la figura 13, los datos, que contrasta fuertemente con los picos extremos de más de 100 dB vistos en otros días, subrayan la extrema variabilidad temporal del ruido aeroportuario en Ayacucho. Aunque sigue siendo una intrusión notable en el entorno de la mañana, el nivel de 72.9 dB es menos probable que cause un impacto agudo en la salud que los picos que superan los 90 dB, aunque aún puede exceder los límites ECA en zonas residenciales.

Tabla 11*Datos 18-06-2025*

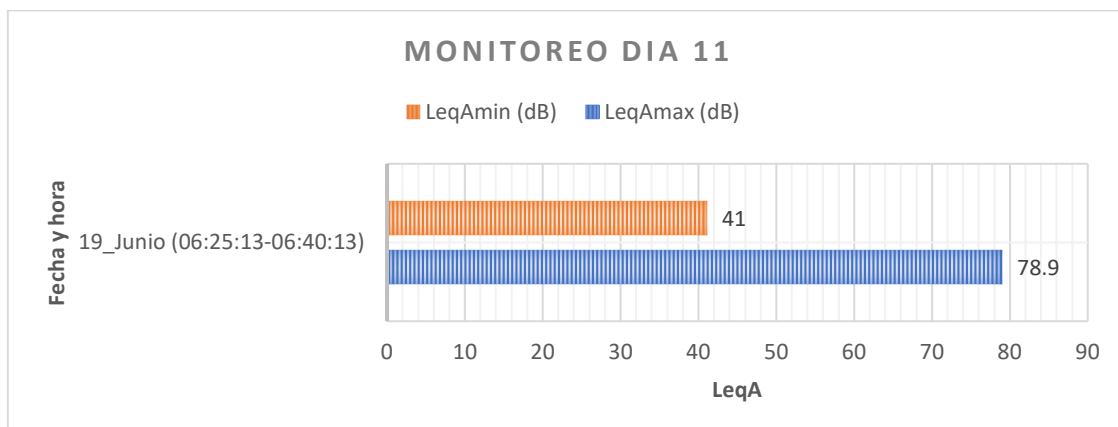
Fecha	Hora	Coordenadas				LeqAmax (dB)	LeqAmin (dB)	Lugar
		Norte	Este	Longitud	Latitud			
18-Jun-25	06:27:51-06:42:51	8544670	585684	-74.20936116	-13.1633072	67.6	60.8	Fin de pista - Pared
18-Jun-25	11:31:29-11:46:29	8544667	585683	-74.2093703	-13.16333435	72.3	40.4	Fin de pista - Pared (medio Día)

Figura 14*Niveles de ruido monitoreados del día 10*

En la figura 14, en el Día 10, no se registraron los picos de ruido superiores a 90 dB o 100 dB que se vieron en otros días. Los niveles máximos de 67.6 dB y 72.3 dB son moderados.

Tabla 12*Datos 19-06-2025*

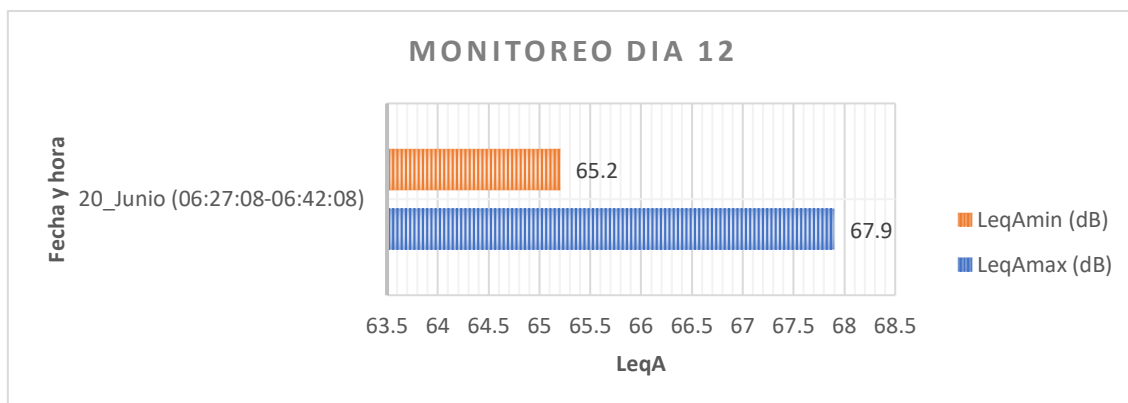
Fecha	Hora	Coordenadas				LeqAmax (dB)	LeqAmin (dB)	Lugar
		Norte	Este	Longitud	Latitud			
19-Jun-25	06:25:13-06:40:13	8544670	585685	-74.20935194	-13.16330717	78.9	41	Fin de pista - Pared

Figura 15*Niveles de ruido monitoreados del día 11*

En la figura 15, el valor de 78.9 dB confirma que las operaciones aéreas matutinas son una fuente constante de ruido significativo, incluso en días donde no se alcanzan los niveles extremos de 100 dB. Este nivel sigue siendo alto y potencialmente molesto.

Tabla 13*Datos 20-06-2025*

Fecha	Hora	Coordenadas				LeqAmax (dB)	LeqAmin (dB)	Lugar
		Norte	Este	Longitud	Latitud			
20-Jun-25	06:27:08-06:42:08	8544442	585583	-74.21028646	-13.16537159	67.9	65.2	Giro del Avión

Figura 16*Niveles de ruido monitoreados del día 12*

En la figura 16, la dispersión es extremadamente baja (2.7 dB) e indica que, a diferencia de la mayoría de los días, no hubo una operación aérea fuerte en el punto de monitoreo.

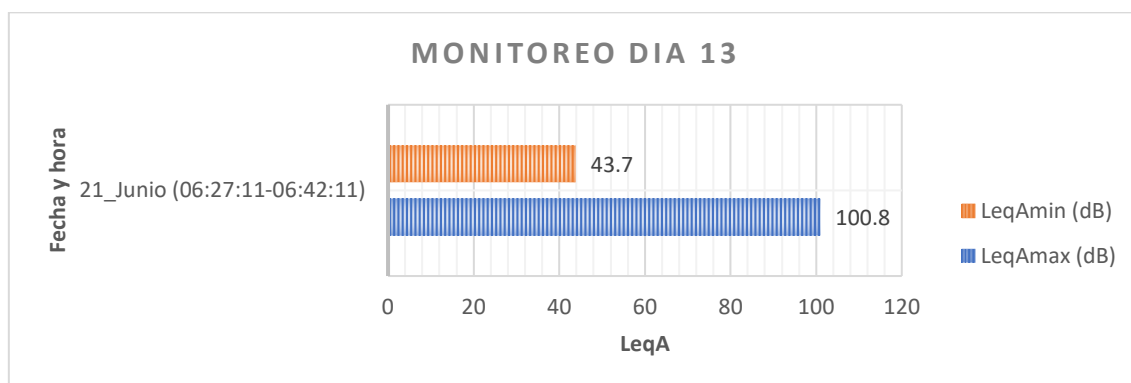
Tabla 14

Datos 21-06-2025

Fecha	Hora	Coordenadas				LeqAmax (dB)	LeqAmin (dB)	Lugar
		Norte	Este	Longitud	Latitud			
21-Jun-25	06:27:11-06:42:11	8544439	585587	-74.21024947	-13.1653986	100.8	43.7	Giro del Avión

Figura 17

Niveles de ruido monitoreados del día 13

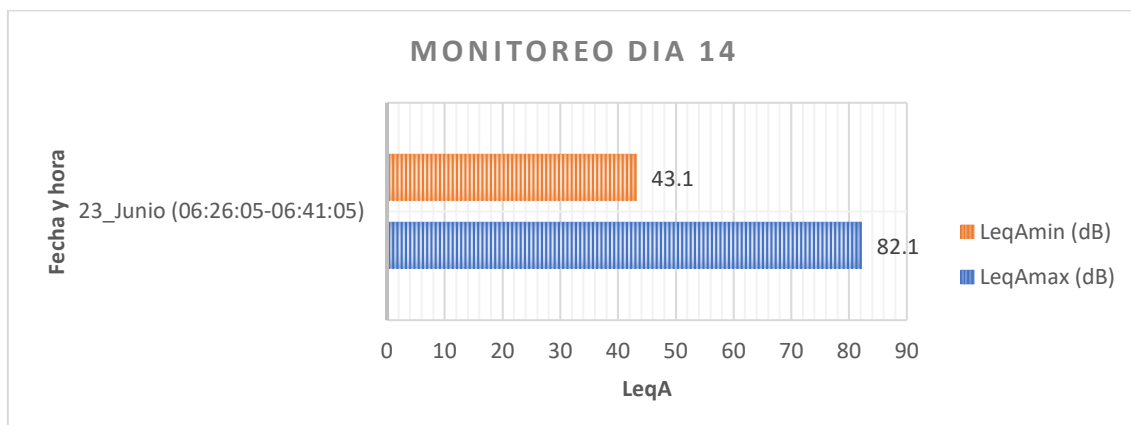


En la figura 17, la reaparición de un pico superior a 100 dB en la mañana temprana (06:27-06:42) confirma que esta franja horaria es sistemáticamente la de mayor impacto acústico y severo incumplimiento potencial de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

Tabla 15

Datos 23-06-2025

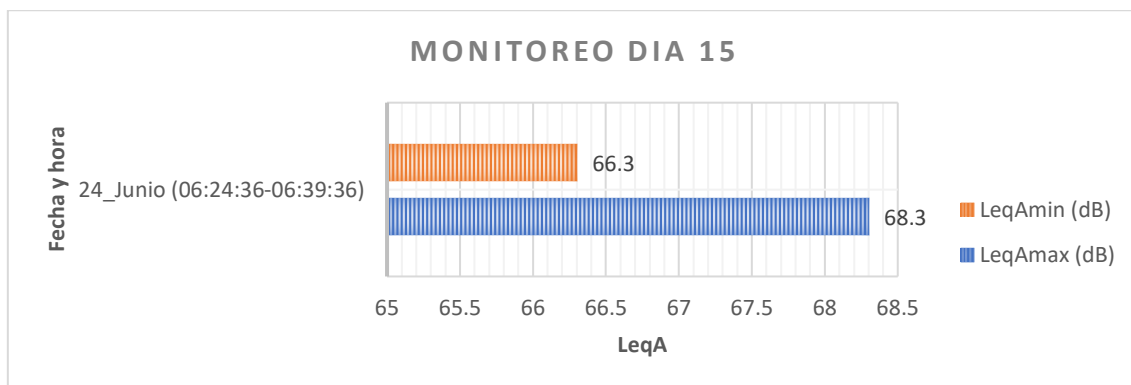
Fecha	Hora	Coordenadas				LeqAmax (dB)	LeqAmin (dB)	Lugar
		Norte	Este	Longitud	Latitud			
23-Jun-25	06:26:05-06:41:05	8544440	585588	-74.21024027	-13.16538953	82.1	43.1	Giro del Avión

Figura 18*Niveles de ruido monitoreados del día 14*

En la figura 18, el valor de 82.1 dB es otro pico significativo que, aunque no supera los 90 dB, es un nivel de alta molestia y un claro incumplimiento potencial de los límites ambientales en una zona sensible. La dispersión de 39 dB confirma, por última vez, que la operación aérea irrumpe violentamente en un ambiente de ruido de fondo bajo.

Tabla 16*Datos 24-06-2025*

Fecha	Hora	Coordenadas				LeqAmax (dB)	LeqAmin (dB)	Lugar
		Norte	Este	Longitud	Latitud			
24-Jun-25	06:24:36-06:39:36	8544811	585754	-74.20871938	-13.16203033	68.3	66.3	Eucalipto

Figura 19*Niveles de ruido monitoreados del día 15*

En la figura 19, la dispersión es mínima, indicando que no hubo una operación aérea significativa o de alto impacto cerca del punto de monitoreo en la mañana temprana.

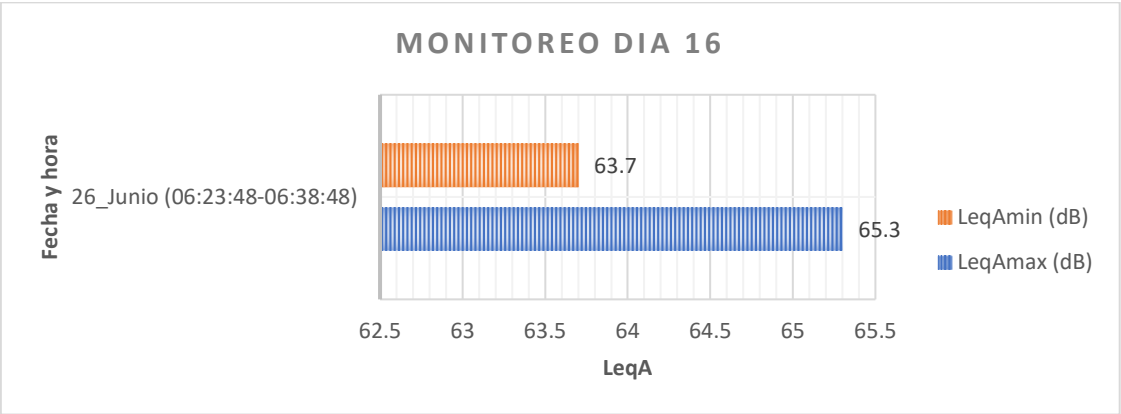
Tabla 17

Datos 26-06-2025

Fecha	Hora	Coordenadas				LeqAmax (dB)	LeqAmin (dB)	Lugar
		Norte	Este	Longitud	Latitud			
26-Jun-25	06:23:48-06:38:48	8545479	586017	-74.20871938	-13.16203033	65.3	63.7	Pared Aeropuerto, Arqueología

Figura 20

Niveles de ruido monitoreados del día 16

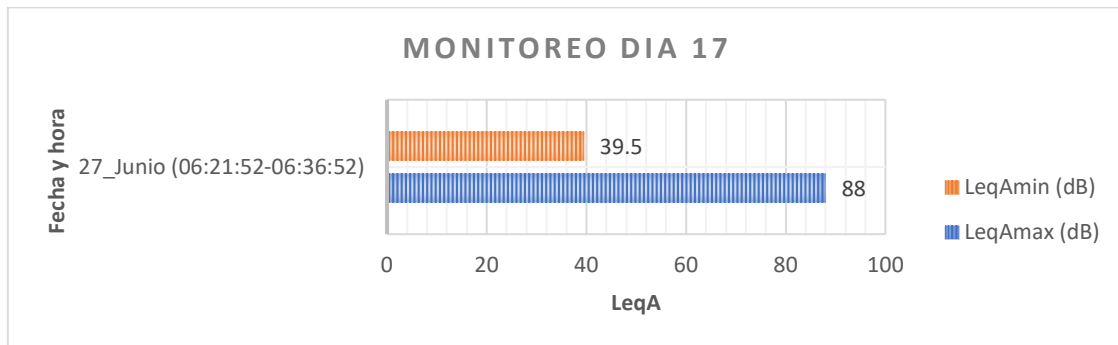


En la figura 20, es otra medición con una dispersión casi nula (1.6 dB). Esto implica que no hubo una operación aérea de alto impacto en ese momento. El ruido es constante y relativamente alto (más de 60 dB), sugiriendo tráfico local, actividad de mantenimiento, u otras fuentes de ruido sostenido.

Tabla 18

Datos 27-06-2025

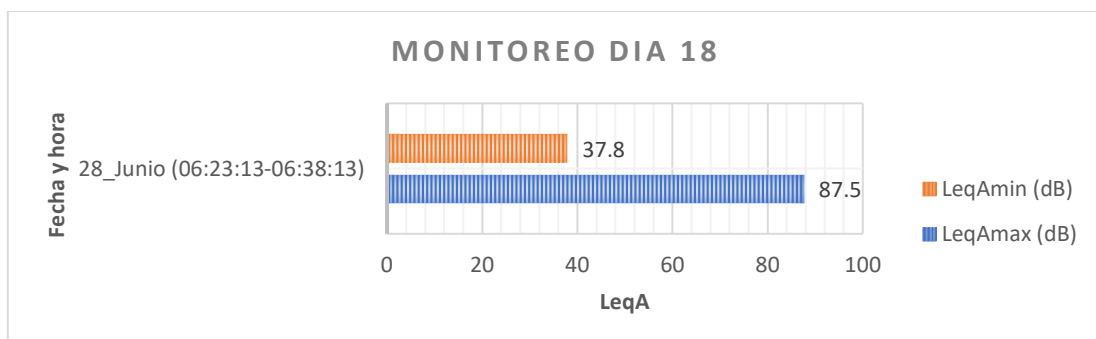
Fecha	Hora	Coordenadas				LeqAmax (dB)	LeqAmin (dB)	Lugar
		Norte	Este	Longitud	Latitud			
27-Jun-25	06:21:52-06:36:52	8545480	586012	-74.20635836	-13.15597406	88	39.5	Pared Aeropuerto, Arqueología

Figura 21*Niveles de ruido monitoreados del día 17*

En la figura 21, la dispersión de 48.5 dB es una de las más altas en la serie. Esto significa que un evento de ruido muy fuerte, irrumpió en un entorno de silencio ambiental (39.5 dB), maximizando la molestia para los residentes.

Tabla 19*Datos 28-06-2025*

Fecha	Hora	Coordenadas				LeqAmax (dB)	LeqAmin (dB)	Lugar
		Norte	Este	Longitud	Latitud			
28-Jun-25	06:23:13-06:38:13	8545490	586018	-74.20630329	-13.15588347	87.5	37.8	Pared Aeropuerto, Arqueología

Figura 22*Niveles de ruido monitoreados del día 18*

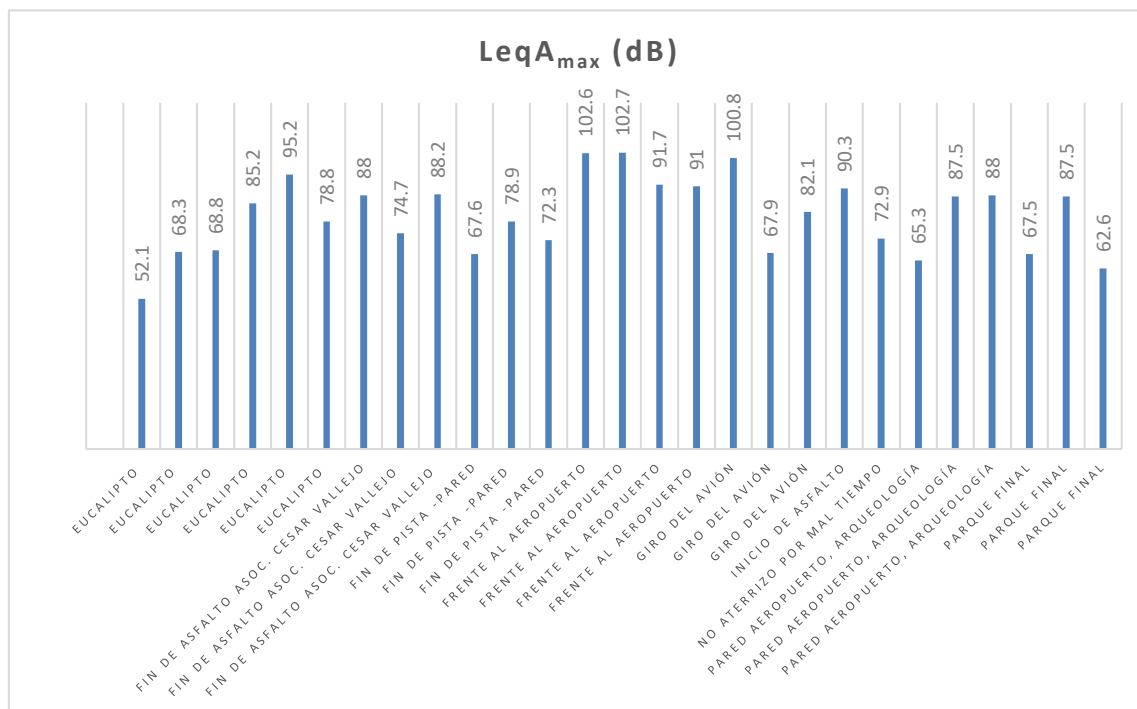
En la figura 22, la enorme dispersión de 49.7 dB es una de las más altas de toda la serie. Esto significa que la operación aérea interrumpió un ambiente de silencio ambiental extremo (37.8 dB) con un pico de alta intensidad.

Tabla 20*Datos referenciales*

Referencia	Leq (dB)	LeqAmax (dB)
Eucalipto	72	95.2
Eucalipto	66.1	68.8
Eucalipto	51.7	52.1
Eucalipto	60.8	78.8
Eucalipto	60.4	85.2
Eucalipto	67.3	68.3
Fin de Asfalto Asoc. Cesar Vallejo	59.6	88
Fin de Asfalto Asoc. Cesar Vallejo	60.5	88.2
Fin de Asfalto Asoc. Cesar Vallejo	52.3	74.7
Fin de pista -Pared	64.2	67.6
Fin de pista -Pared	57.5	72.3
Fin de pista -Pared	62.8	78.9
Frente al Aeropuerto	71.6	91.7
Frente al Aeropuerto	78.7	102.7
Frente al Aeropuerto	77.9	102.6
Frente al Aeropuerto	73.2	91
Giro del Avión	66.6	67.9
Giro del Avión	73.9	100.8
Giro del Avión	65.7	82.1
Inicio de Asfalto	71.6	90.3
No Aterrizo por mal tiempo	58.9	72.9
Pared Aeropuerto, Arqueología	64.5	65.3
Pared Aeropuerto, Arqueología	65.2	88
Pared Aeropuerto, Arqueología	65.9	87.5
Parque final	49.5	67.5
Parque final	64.5	87.5
Parque final	60.9	62.6

Figura 23

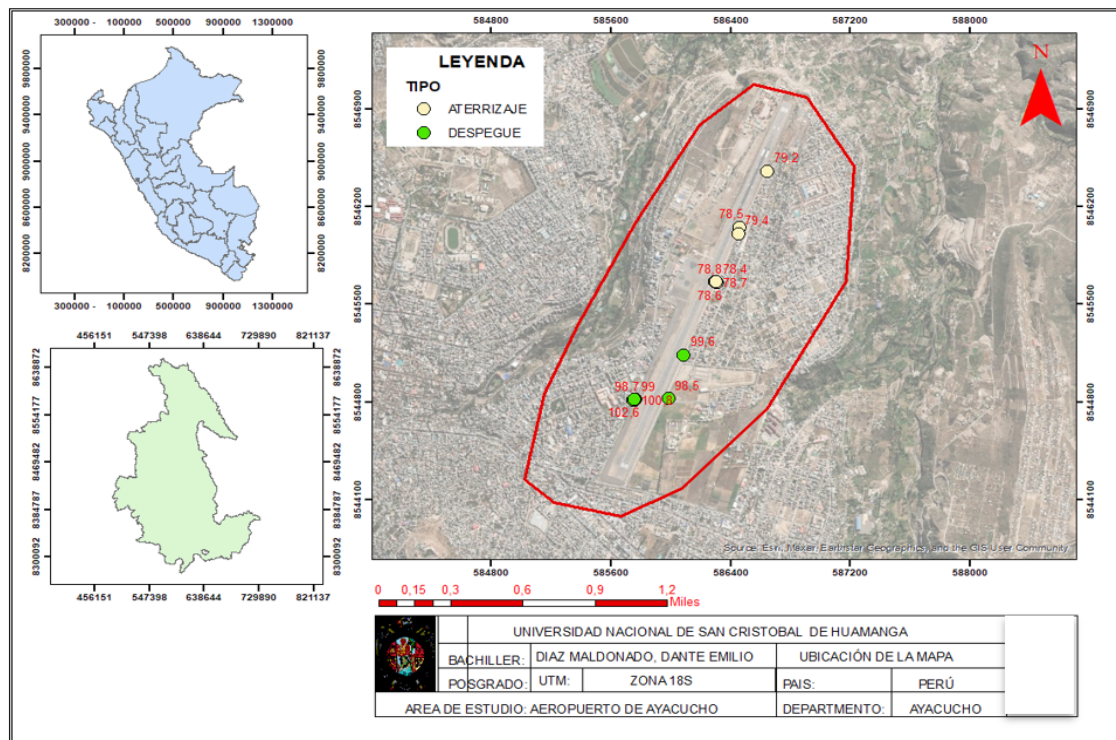
Niveles de ruido en las áreas muestreadas dentro del perímetro en el aeropuerto



En la figura 23, se muestran los registros picos de $LeqA_{max}$ que superan los 90 dB en varias ocasiones. Día 2 (11:45-12:00): 91 dB, día 5 (06:24-06:39): 90.3 dB, día 7 (11:45-12:00): 95.2 dB, día 4 (11:37-11:58): Se registró el pico más alto del grupo, 102.6 dB. Estos valores son característicos de operaciones aéreas principalmente de despegues y representan una amenaza acústica severa y un claro incumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en dichas zonas residenciales. La diferencia entre el $LeqA_{max}$ y el $LeqA_{min}$ es la intrusión acústica. Esta serie muestra una dispersión extrema: El Día 4 registra la dispersión más alta de este grupo, con 64.2 dB (salto de 38.4 dB a 102.6 dB). El Día 8 muestra una dispersión de 50.5 dB (salto de 34.7 dB a 85.2 dB). Esta enorme dispersión indica que el ruido aeroportuario es altamente intermitente e impulsivo, y su efecto disruptivo se maximiza porque interrumpe un ambiente de ruido de fondo que es, en muchos casos, muy bajo (~34 dB a ~48 dB).

Figura 24

Puntos de monitoreo del nivel de ruido de aterrizaje y despegue

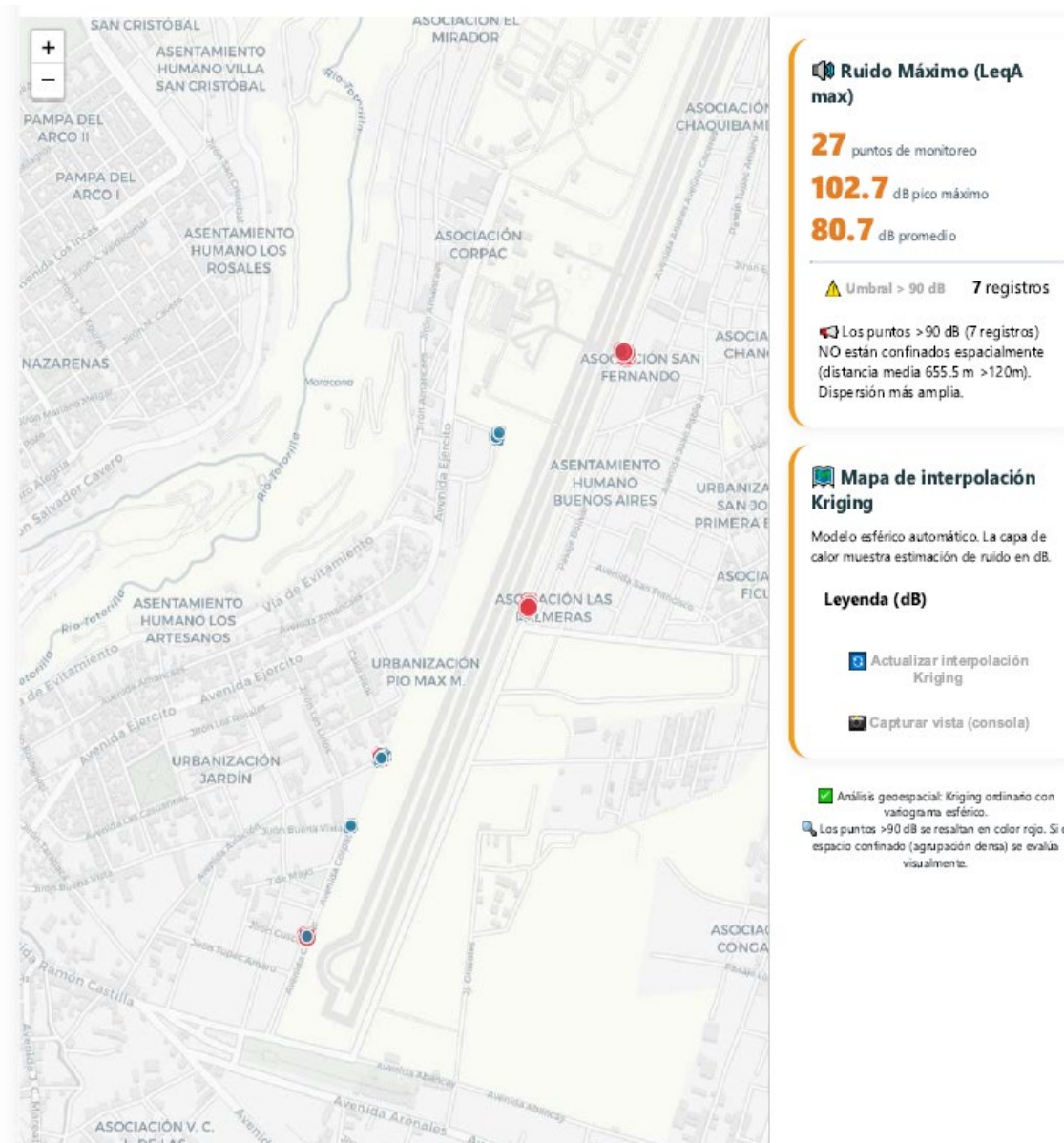


En la figura 24 se muestra los datos de aterrizaje de círculos verde donde los valores alrededor de 78-79 dB son niveles de ruido instantáneos máximos considerablemente altos, típicos durante el sobrevuelo de una aeronave. El despegue de círculos amarillo donde los valores alrededor de 94-98 dB son extremadamente altos e indican el punto de mayor impacto sonoro del aeropuerto al inicio de la carrera de despegue, cerca de la cabecera de la pista.

Figura 25

Evaluación de la dispersión de los niveles de ruido: Aeropuerto Alfredo Mendivil

Duarte de Ayacucho, 2025/Método de Kriging ordinario



En la figura 25, la geovisualización de la dispersión sonora en el Aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte (2025) se obtuvo mediante el método de Kriging ordinario con la aplicación de un variograma esférico. A partir de una red de 27 puntos de monitoreo, se registró un nivel de presión sonora promedio de 80.7 dB y un pico máximo de 102.7 dB. Al evaluar el comportamiento de los niveles críticos (superiores a 90 dB), el modelo

identificó 7 registros que exceden este umbral. El análisis de proximidad espacial determinó que estos puntos de alta intensidad no se encuentran confinados en un espacio reducido; por el contrario, presentan una dispersión amplia con una distancia media de 655.5 m, valor que supera significativamente el criterio de agrupación densa de 120 m. Esta ausencia de confinamiento espacial indica que la contaminación acústica severa no se limita a un foco específico, sino que se distribuye de manera extendida sobre las áreas circundantes al terminal aeroportuario.

Tabla 21

Monitoreo del aterrizaje

ATERRIZAJE	NORTE (Y)	ESTE (X)	LATITUD	LONGITUD	Leq (dB)
9-Nov-25	8546048	586462	-13.1508300	-74.20222000	78.5
10-Nov-25	8545650	586305	-13.1544286	-74.20365996	78.6
11-Nov-25	8545656	586304	-13.15437438	-74.20366936	78.7
12-Nov-25	8546003	586450	-13.15123574	-74.20233552	79.4
13-Nov-25	8546448	586644	-13.1472000	-74.2005600	79.2
14-Nov-25	8545657	586297	-13.15436554	-74.20373398	78.8
15-Nov-25	8545656	586304	-13.15437438	-74.20366936	78.4

Figura 26

Aterrizaje

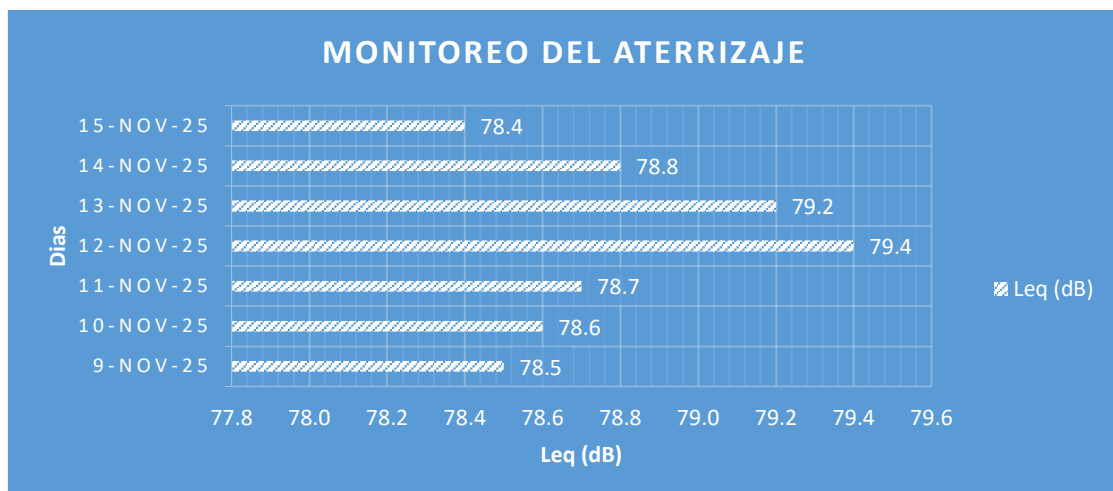
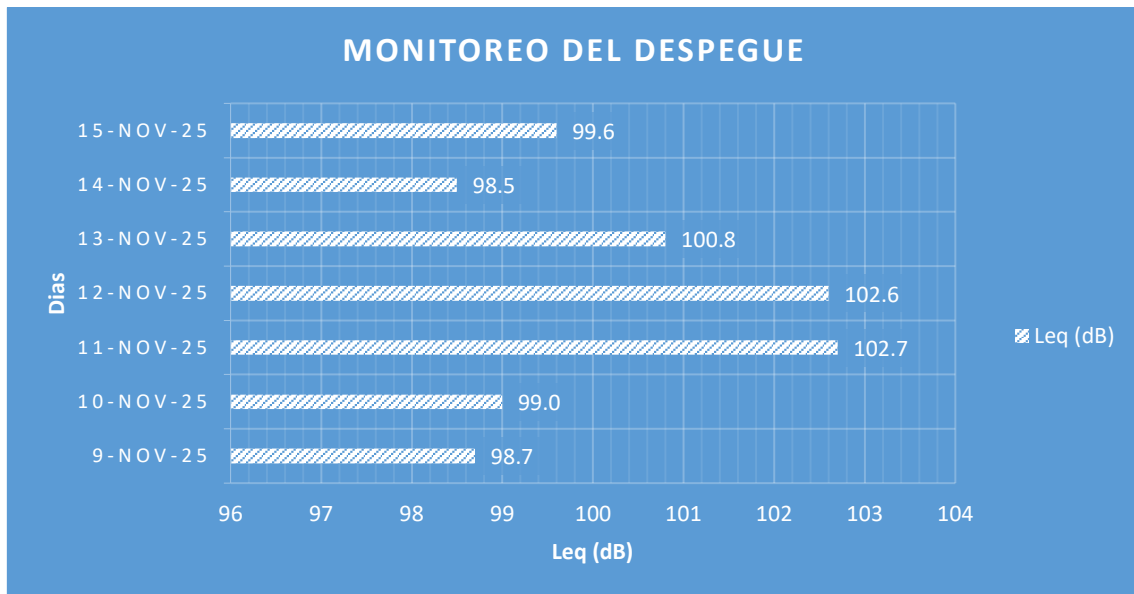


Tabla 22*Monitoreo del despegue*

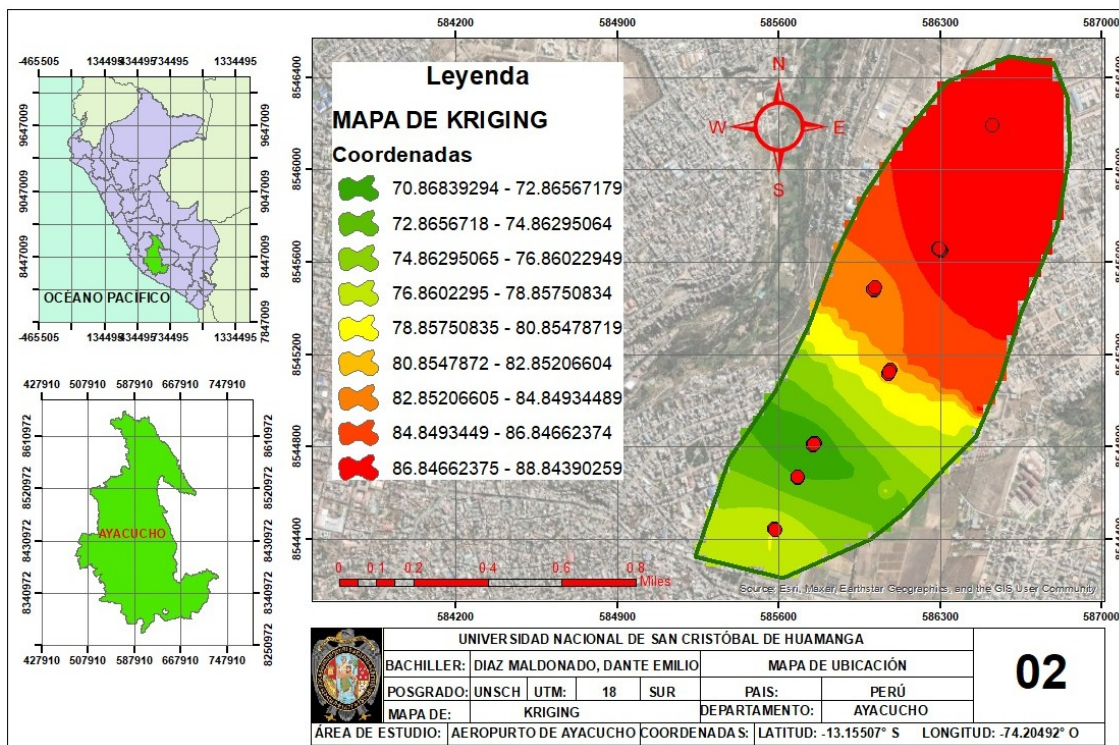
DESPEGUE	NORTE (Y)	ESTE (X)	LATITUD	LONGITUD	Leq (dB)
9-Nov-25	8544813	585753	-13.16201227	-74.20872867	98.7
10-Nov-25	8544813	585753	-13.16201227	-74.20872867	99.0
11-Nov-25	8544807	585751	-13.16206658	-74.20874695	102.7
12-Nov-25	8544817	585760	-13.16197591	-74.2086642	102.6
13-Nov-25	8544814	585759	-13.16200306	-74.20867334	100.8
14-Nov-25	8544820	585984	-13.1619400	-74.2066000	98.5
15-Nov-25	8545133	586086	-13.15910943	-74.20566549	99.6

Figura 27*Despegue*

4.1.3. Determinación de los mapas geoestadísticos de dispersión de los niveles de ruido equivalente en el aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho.

Figura 28

Variabilidad del ruido mediante la interpolación Kriging en áreas no muestreadas

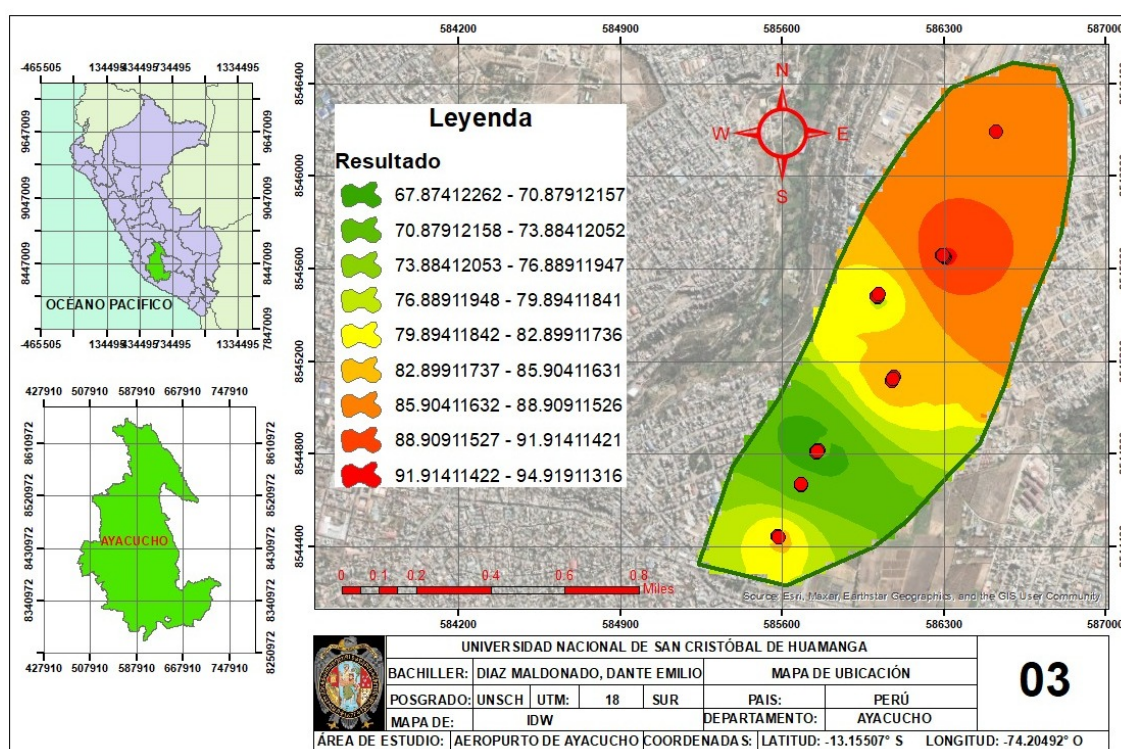


La figura 28 muestra el resultado de la interpolación Kriging de los niveles de ruido equivalente ($LeqA_{max}$) en el área de estudio del aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte. Las Zonas Críticas (Rojo), los niveles más altos de ruido, en el rango de 86.8 dB a 88.8 dB, se concentran en el extremo Noreste (parte superior derecha) del mapa. Esta área corresponde directamente a la cabecera de la pista o a la trayectoria inmediata de despegue/aterrizaje. El mapa valida que la mayor energía acústica (generada por los picos de ~100 dB que observamos en los datos diarios) se propaga y se concentra de forma no uniforme en esta dirección. La Dispersión y Atenuación (Amarillo/Verde), se da a medida que la distancia aumenta hacia el Suroeste, los niveles de ruido disminuyen progresivamente a rangos de 70.8 dB a 74.8 dB (zonas verdes). Esto confirma que el ruido del aeropuerto no es un problema generalizado en toda la ciudad, sino que se canaliza y

se atenúa rápidamente, lo que obliga a usar un método geoestadístico para delinear las zonas de riesgo. El mapa confirma visualmente la hipótesis general y específica de que la dispersión del ruido es heterogénea y está directamente determinada por la operación aérea y la dirección de la pista. Las áreas en color rojo y naranja (por encima de 84 dB), representan zonas de severo riesgo acústico. En estas áreas, la exposición al ruido excede los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido en zonas residenciales.

Figura 29

Variabilidad del ruido mediante el método IDW en áreas no muestreadas

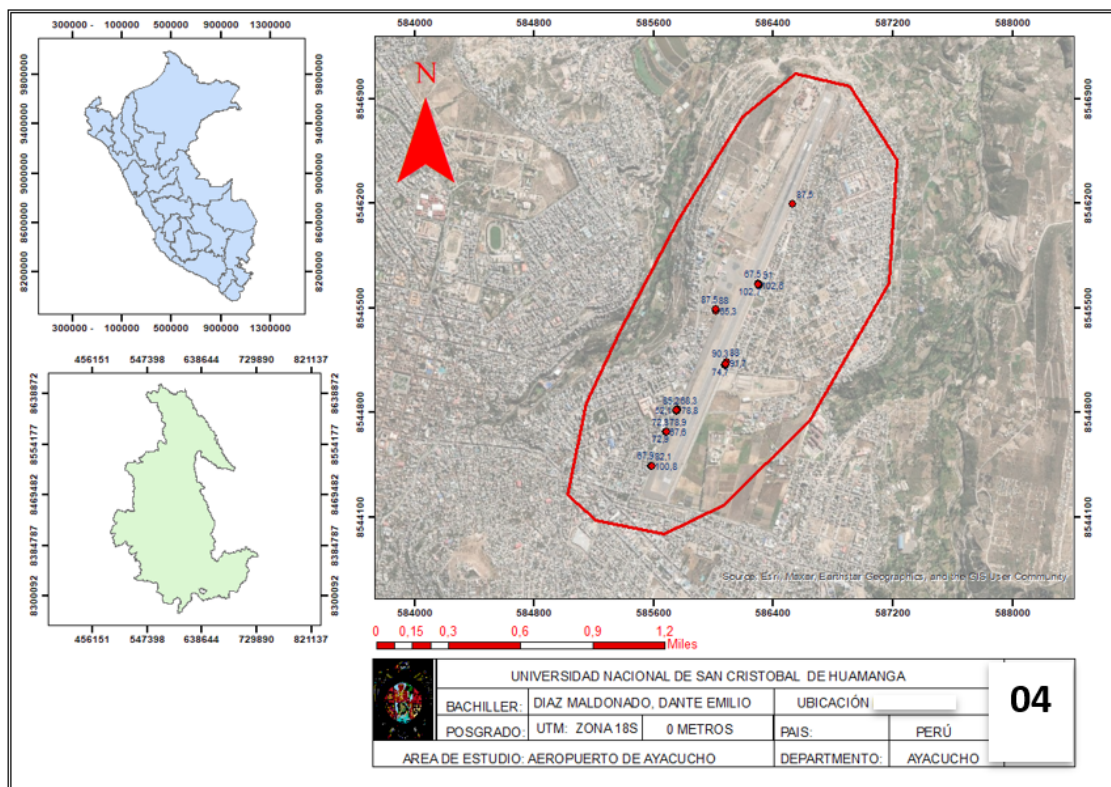


La figura 29 muestra la distribución espacial del ruido equivalente (LeqA) obtenida mediante el método **IDW**. Las zonas de Máxima Exposición (Rojo) nos muestran los niveles más altos, que van de 91.9 dB a 94.9 dB, se ubican nuevamente en la zona Noreste (parte superior derecha del mapa), cerca de la cabecera de la pista. El rango máximo de 94.9 dB es notablemente más alto que el máximo de ~88.8 dB que obtuviste con Kriging.

Esto ocurre porque el IDW es un interpolador determinístico que garantiza que el valor interpolado no exceda ni sea menor que los valores medidos; tiende a preservar los picos extremos medidos. El patrón de atenuación es idéntico al del Kriging: los niveles de ruido disminuyen progresivamente hacia el Suroeste (zona verde), llegando al rango de 67.8 dB a 70.8 dB a la distancia máxima de los puntos de muestreo. Ambos mapas (Kriging e IDW) confirman la extrema heterogeneidad espacial del ruido, concentrando el impacto en la zona de operaciones. Sin embargo, su diferencia de valores máximos es muy importante. El mapa IDW, al preservar los picos (hasta 95 dB), nos da una visión más cercana al "peor caso" medido. El mapa Kriging, al ser geoestadístico, es más suavizado porque promedia la varianza de los puntos, ofreciendo una mejor estimación de la probabilidad de un nivel de ruido.

Figura 30

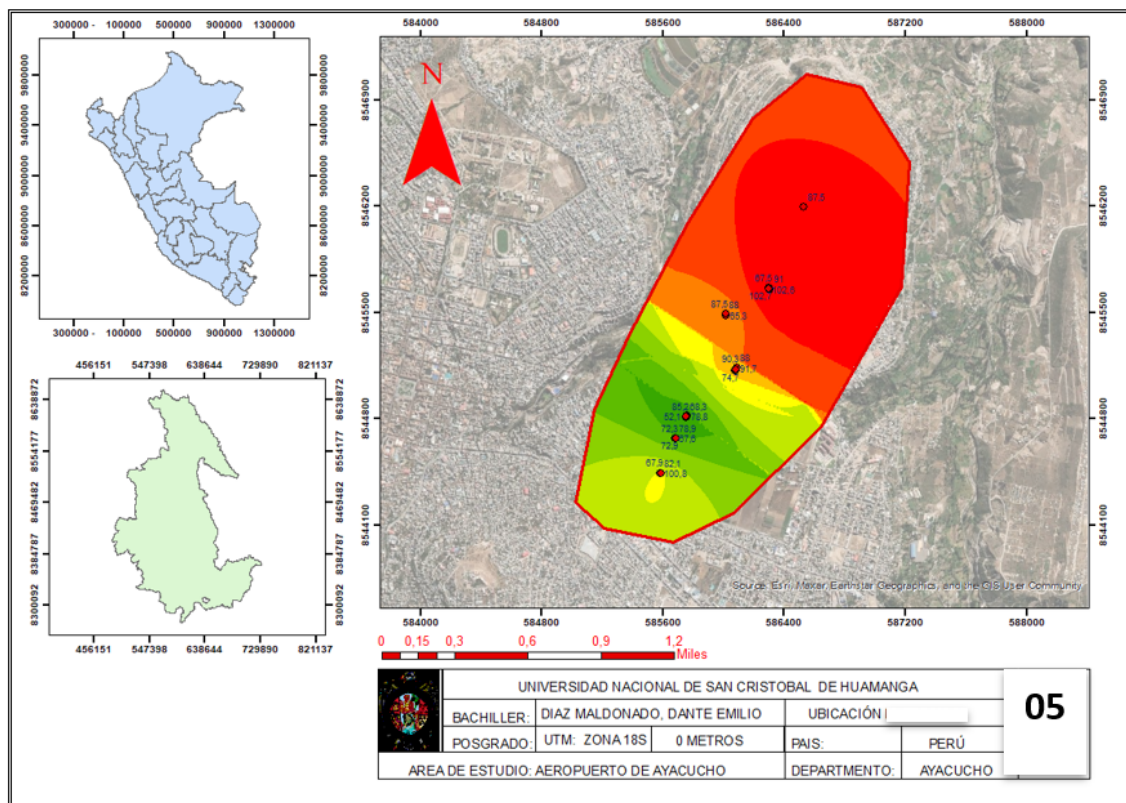
Mapa de dispersión del sonido a 00 metros del punto de monitoreo



En la figura 30 existe una fuerte fuente de ruido concentrada en la pista, con picos por encima de 100 dB. La dispersión del ruido se extiende sobre una zona amplia y poblada (delimitada por el contorno rojo). Los niveles de ruido en las zonas potencialmente afectadas (puntos azules) son críticamente altos (hasta 87.5 dB), lo que confirma un impacto ambiental.

Figura 31

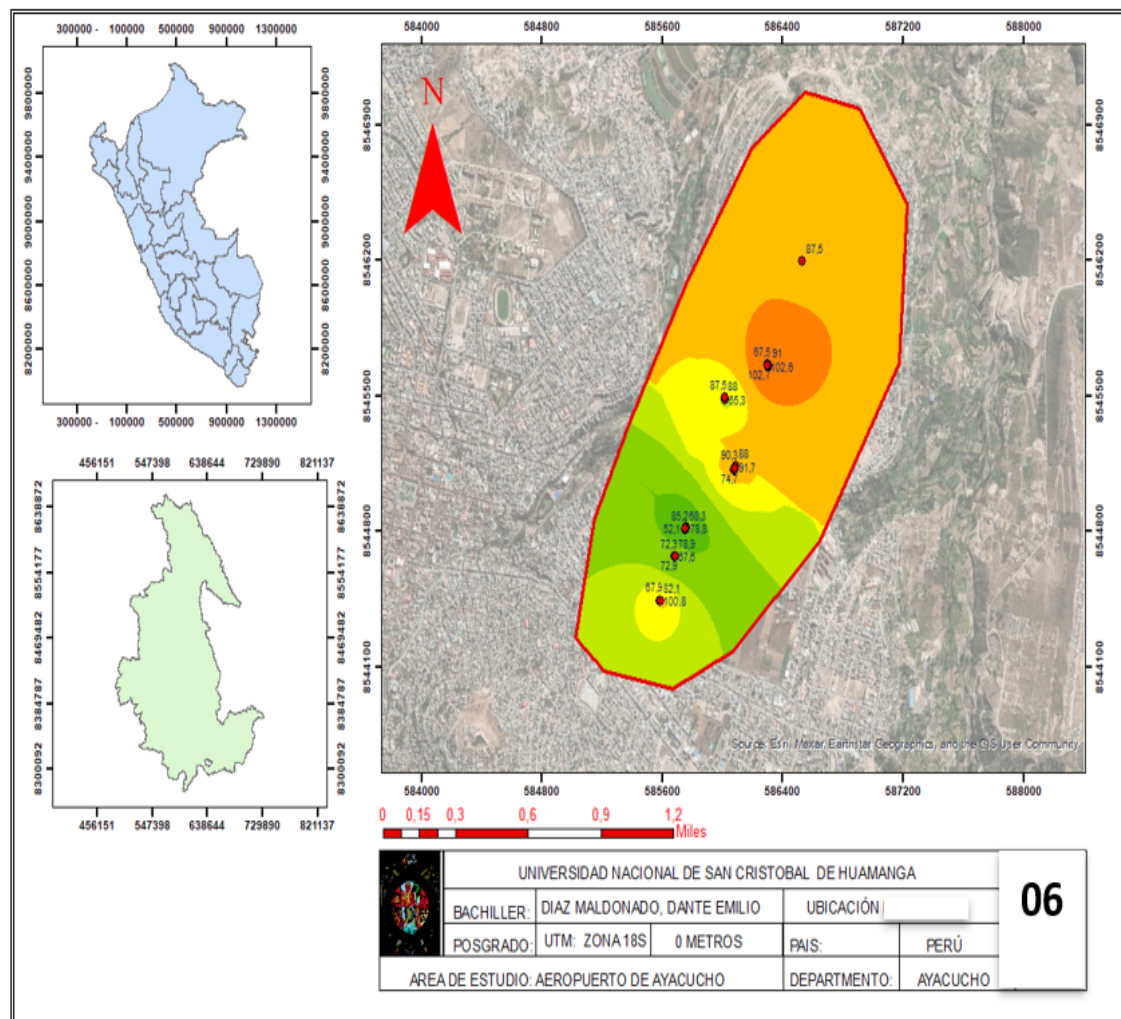
Mapa de dispersión del sonido mediante la interpolación Kriging a 00 metros



En la figura 31 muestra la interpolación de Kriging que nos permite estimar y mapear con continuidad los niveles de ruido en áreas donde no se tomaron mediciones directas, proporcionando una visión completa de la dispersión espacial del ruido aeroportuario en el plano horizontal.

Figura 32

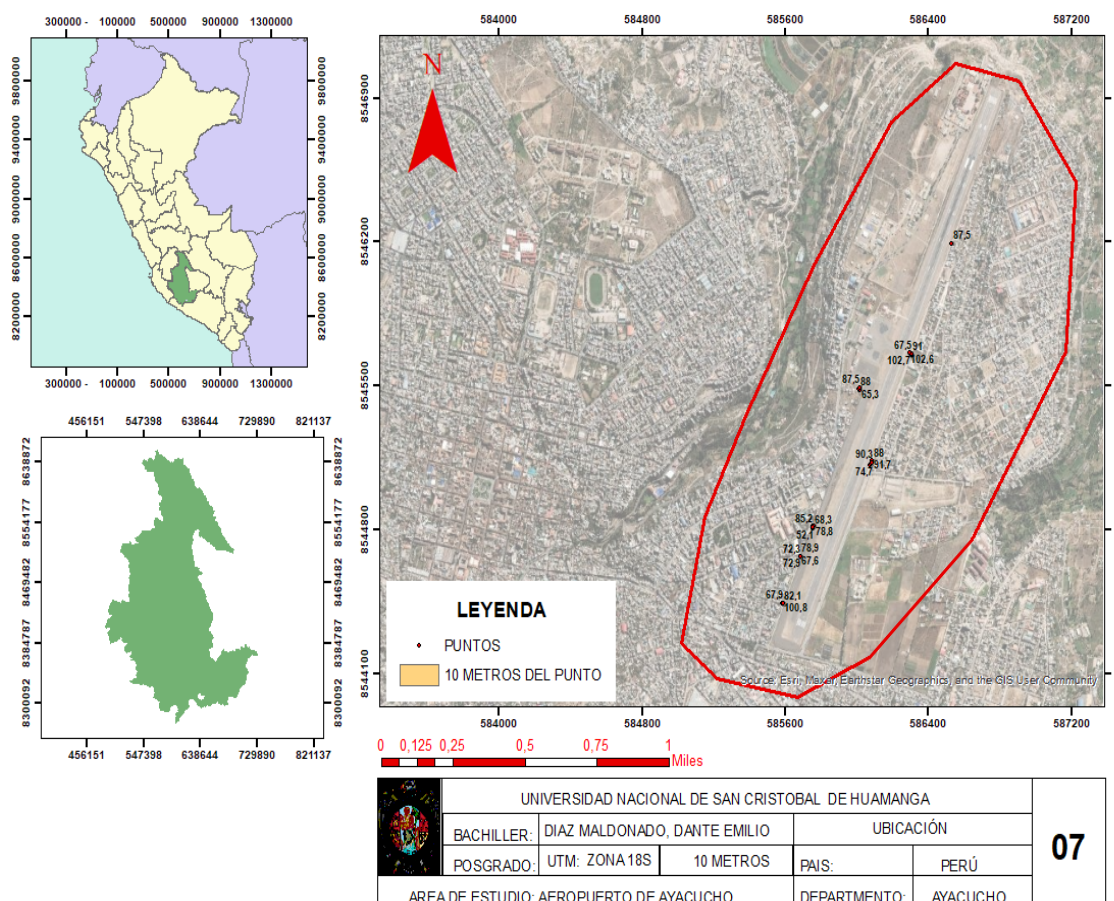
Mapa de dispersión del sonido mediante el método IDW a 00 metros



En la figura 32 el mapa IDW muestra una alta dispersión de ruido concentrada en la trayectoria de despegue y las cabeceras de pista, con picos críticos que superan los 100 dB. El contorno ilustra que la influencia de estos picos se extiende significativamente hacia el área urbana circundante, confirmando un problema ambiental agudo en las inmediaciones del aeropuerto.

Figura 33

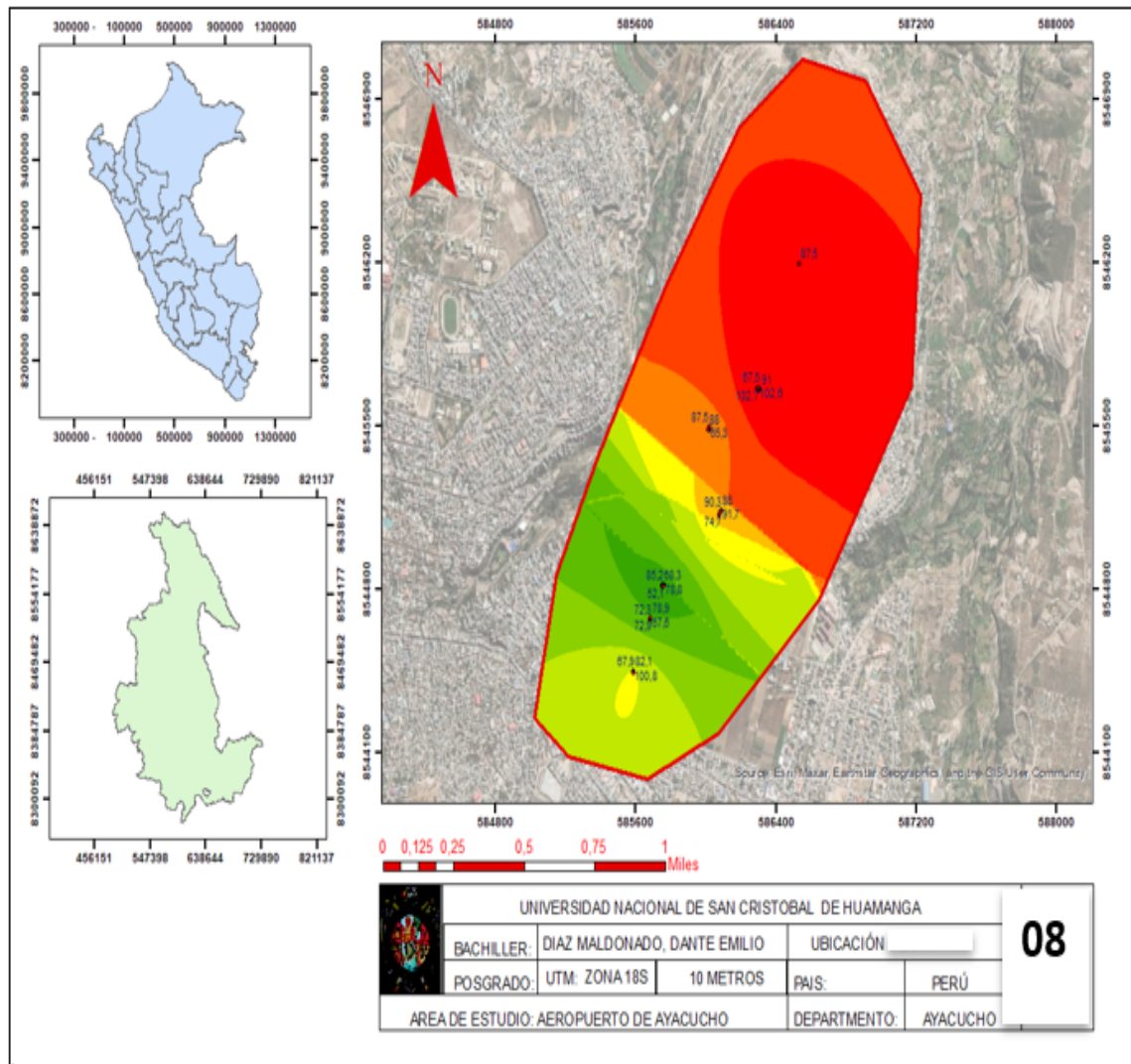
Mapa de dispersión del sonido a 10 metros del punto de monitoreo



En la figura 33, el mapa demuestra que la dispersión del ruido aeronáutico a una altura de 10 metros es crítica, con picos que superan los 100 dB. Esto indica un impacto sonoro severo en los pisos superiores de los edificios residenciales dentro y cerca del contorno rojo, lo que requiere medidas específicas de insonorización o mitigación operativa.

Figura 34

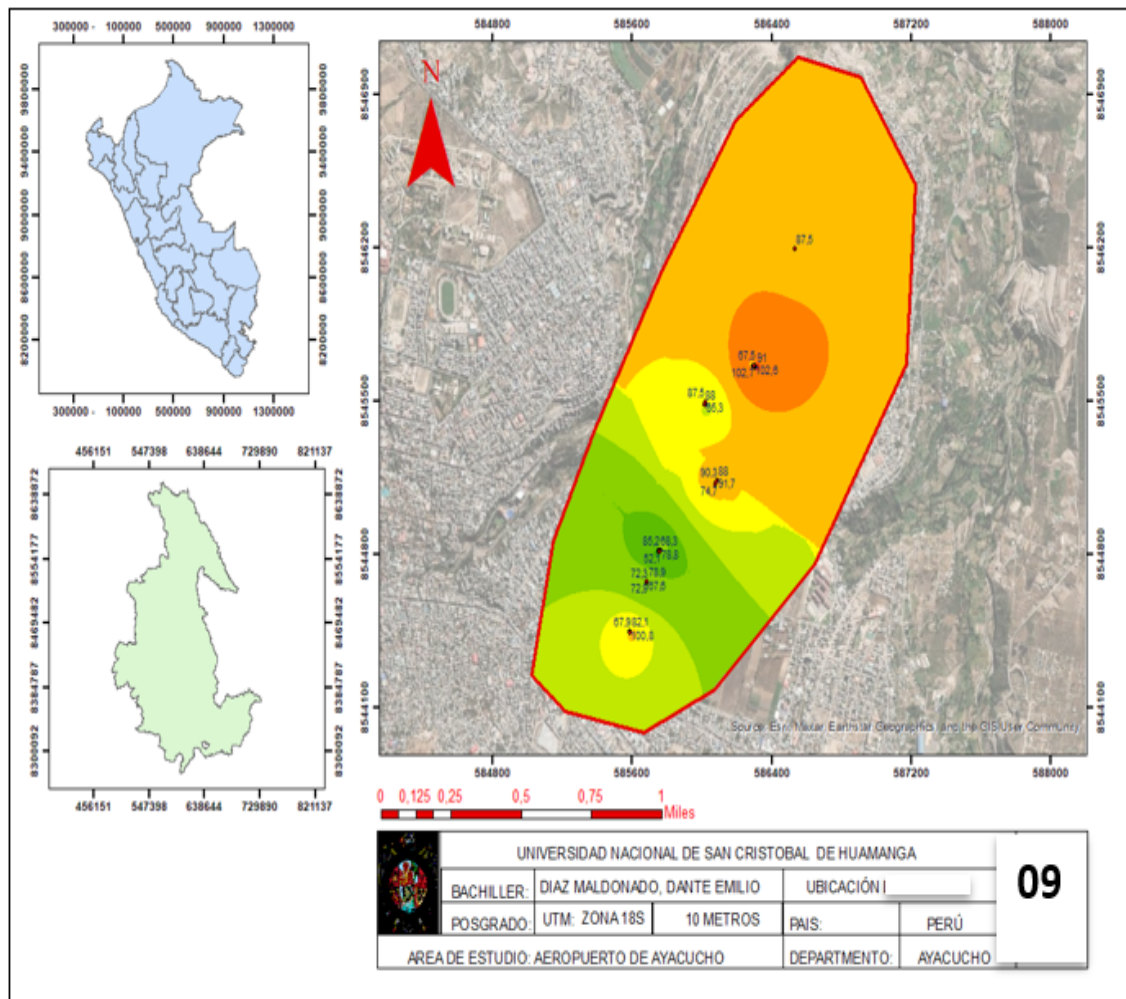
Mapa de dispersión del sonido mediante la interpolación Kriging a 10 metros



La figura 34 con el mapa Kriging a 10 metros confirma una dispersión de ruido severa y bien definida sobre la ciudad de Ayacucho. La interpolación predice que los picos de ruido exceden los 100 dB en el núcleo de la huella, demostrando un impacto crítico en la salud y calidad de vida de los habitantes que residen en los pisos altos de las viviendas cercanas al aeropuerto.

Figura 35

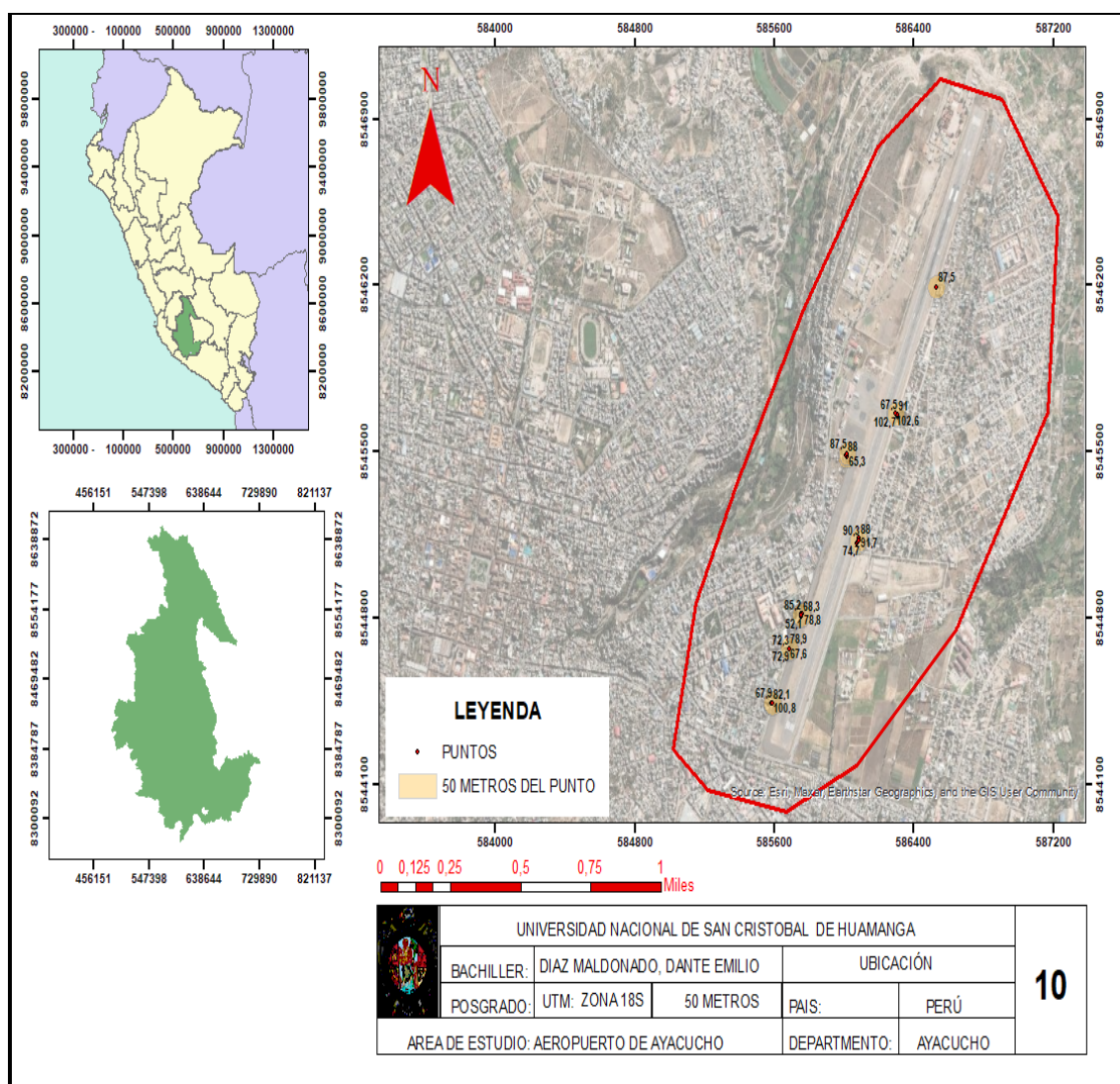
Mapa de dispersión del sonido mediante el método IDW a 10 metros



En la figura 35, el mapa IDW a 10 metros demuestra una dispersión de ruido crítica y focalizada en el eje de vuelo principal. La interpolación predice que los picos de ruido exceden los 100 dB y que los niveles altos se extienden sobre áreas pobladas, confirmando un impacto ambiental severo y directo en los pisos superiores de las residencias cercanas al Aeropuerto de Ayacucho.

Figura 36

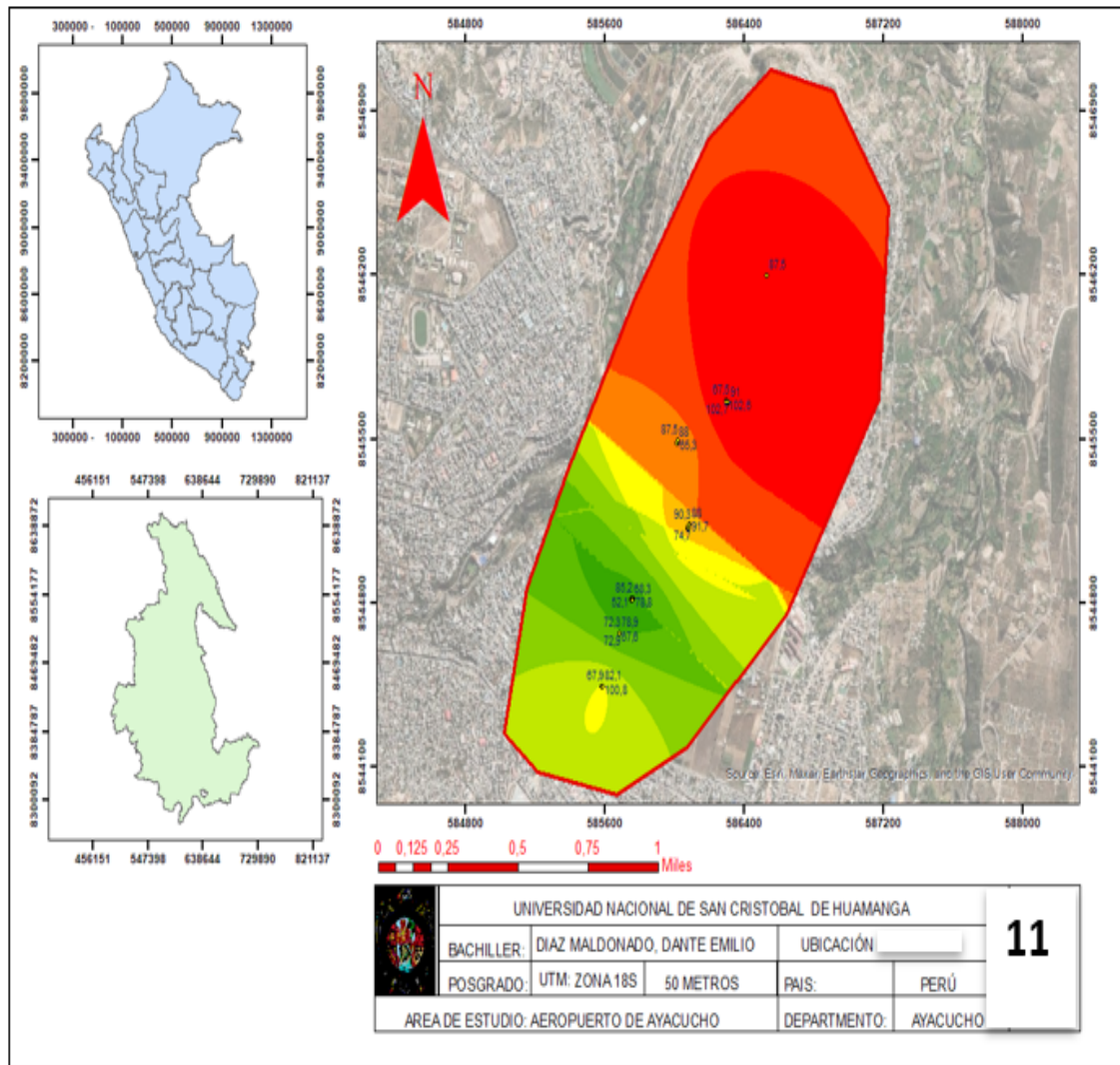
Mapa de dispersión del sonido a 50 metros del punto de monitoreo



En la figura 36 el mapa a 50 metros demuestra que, a pesar de la mayor altura de referencia y la atenuación, la dispersión del ruido aeronáutico sigue siendo severa, con picos que superan los 100 dB. Esto confirma un riesgo de exposición alta al ruido en edificios muy elevados o en zonas con topografía alta

Figura 37

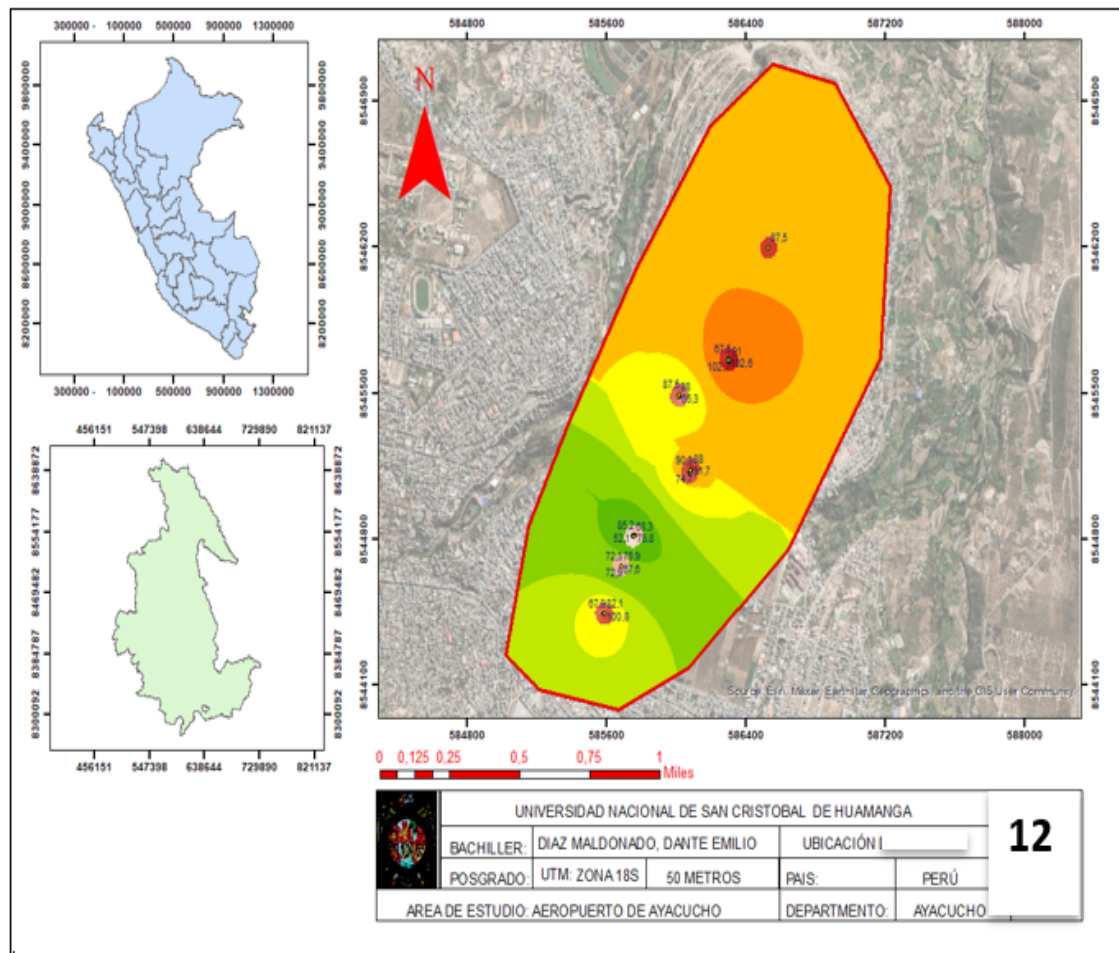
Mapa de dispersión del sonido mediante la interpolación Kriging a 50 metros



La figura 37, el mapa Kriging a 50 metros demuestra que la dispersión del ruido aeronáutico es severa y persiste a gran altura. La interpolación predice que la huella acústica mantiene picos por encima de los 100 dB, confirmando un impacto crítico en la exposición al ruido en Ayacucho para estructuras altas y áreas elevadas dentro de la trayectoria de vuelo.

Figura 38

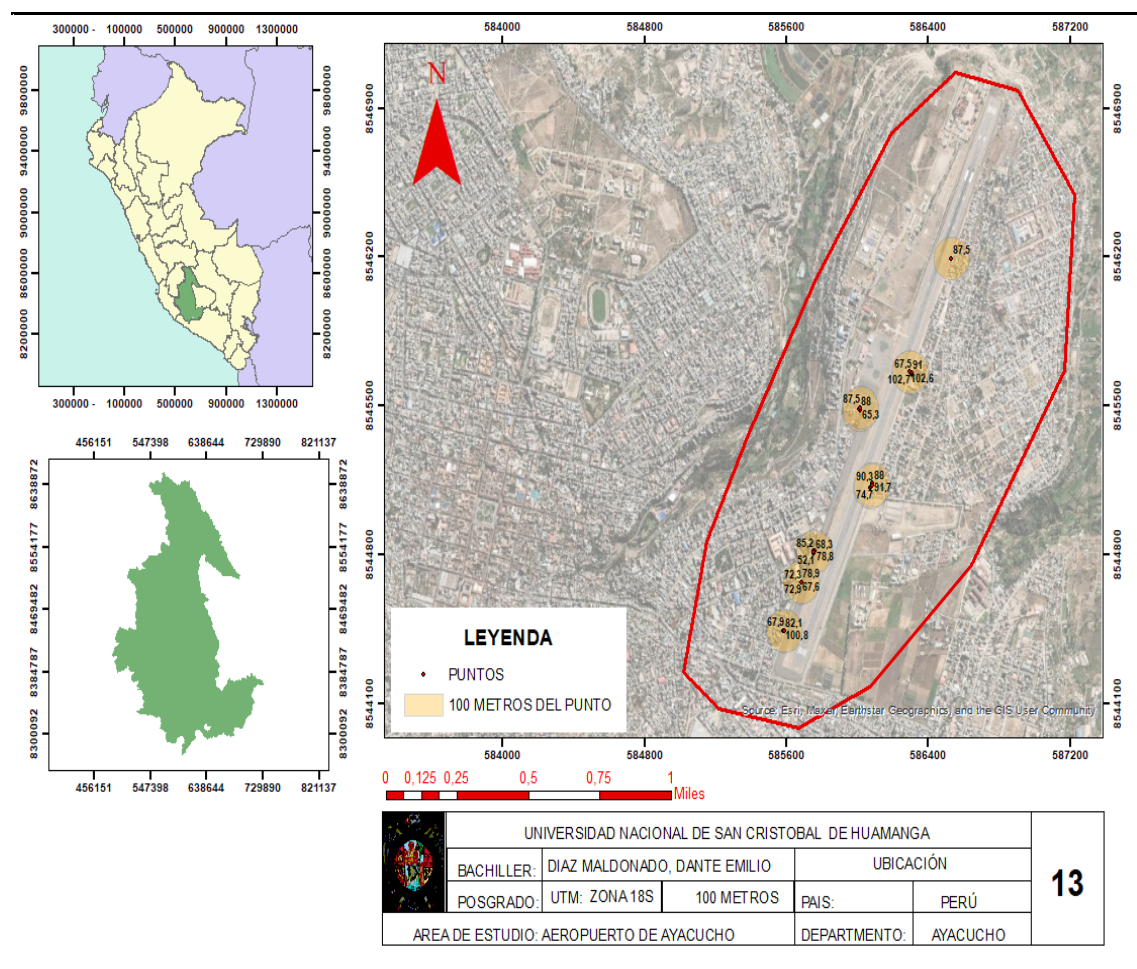
Mapa de dispersión del sonido mediante el método IDW a 50 metros



La figura 38, el mapa IDW a 50 metros concluye que la dispersión del ruido es severa y focalizada en el eje de la pista. El método predice que la influencia de los picos de ruido genera una huella acústica con niveles que superan los 100 dB en el núcleo de la dispersión, confirmando un impacto ambiental crítico y persistente a gran altura sobre Ayacucho.

Figura 39

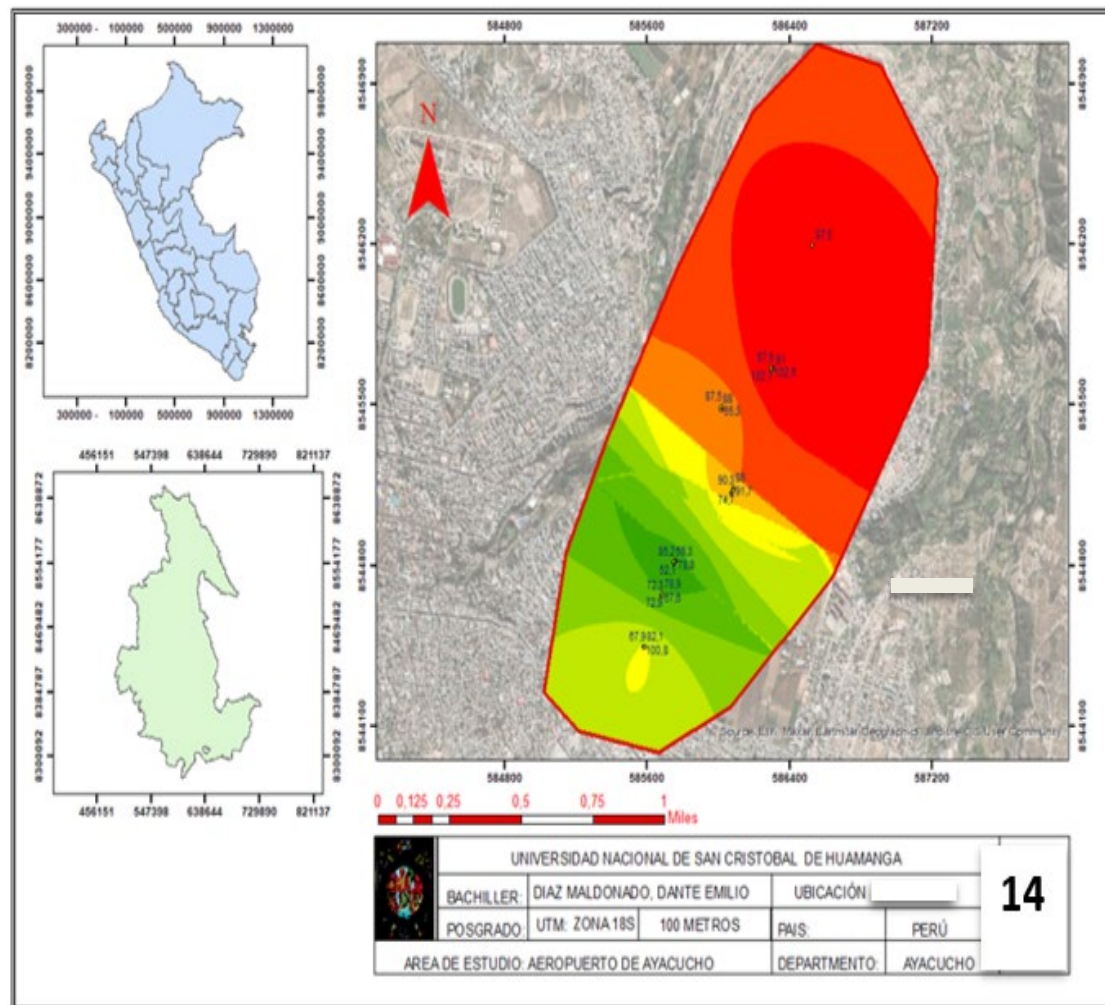
Mapa de dispersión del sonido a 100 metros del punto de monitoreo



En la figura 39, el mapa a 100 metros concluye que la dispersión del ruido aeronáutico es altamente efectiva, manteniendo niveles críticos que alcanzan los 98.6 dB incluso a una altura considerable. Esto es crucial para la modelización 3D y confirma que la exposición a ruido agudo persiste en planos muy altos en el entorno del Aeropuerto de Ayacucho, lo que representa un riesgo para la salud en cualquier estructura que alcance esa altitud.

Figura 40

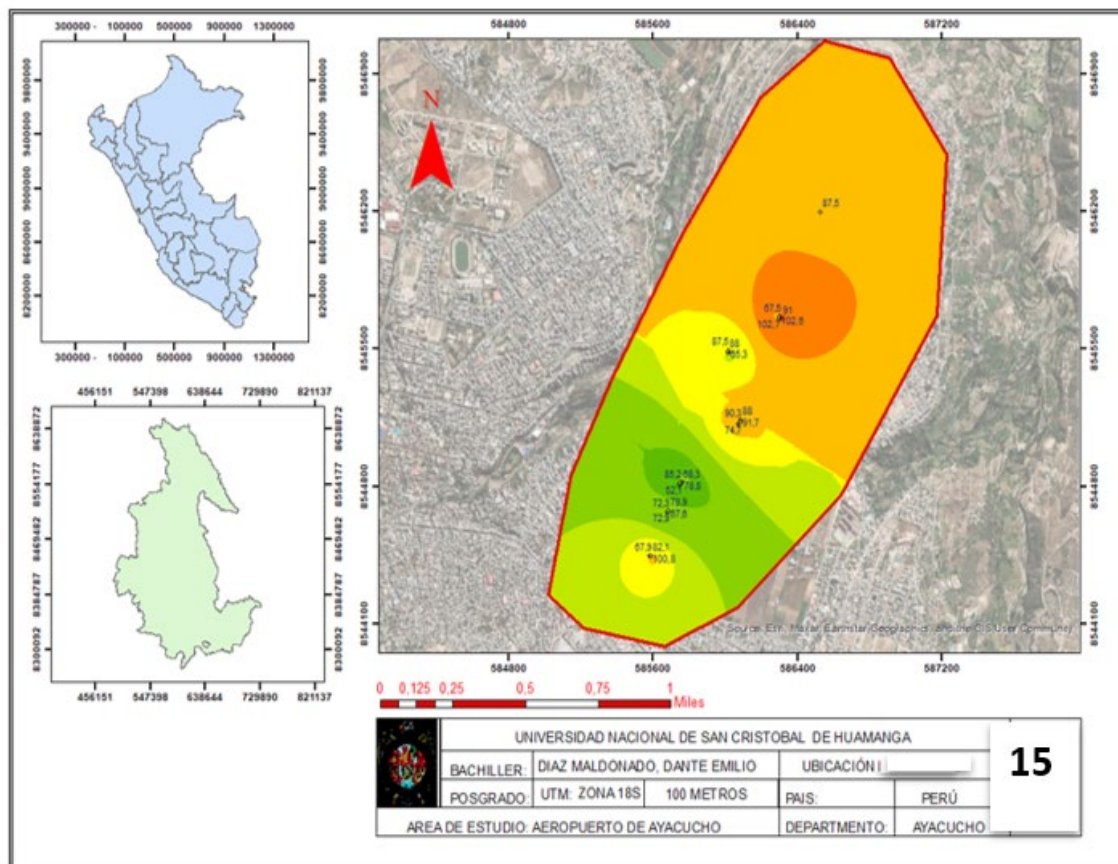
Mapa de dispersión del sonido mediante la interpolación Kriging a 100 metros



La figura 40 en el mapa Kriging a 100 metros proporciona la evidencia más clara de la severidad de la dispersión del ruido aeronáutico en Ayacucho. La interpolación confirma que la huella acústica mantiene una intensidad crítica (picos cercanos a 100 dB que persiste a gran altura sobre las zonas pobladas. Esto subraya la necesidad urgente de medidas de mitigación operacional o reevaluación de las trayectorias de vuelo.

Figura 41

Mapa de dispersión del sonido mediante el método IDW a 100 metros



En la figura 41, el mapa IDW a 100 metros concluye que la dispersión del ruido aeronáutico es severa y altamente efectiva a gran altura. La interpolación predice que la influencia de los picos de ruido genera una huella acústica que supera los 98 dB, lo que confirma un impacto ambiental crítico y persistente en planos verticales elevados en el entorno del Aeropuerto de Ayacucho.

A pesar del aumento de la altura de referencia (0m a 100m), los niveles de ruido máximo se mantienen extremadamente altos (entre 98 dB y 102 dB). Esto demuestra que la dispersión es altamente efectiva en el plano vertical, probablemente debido a la alta potencia requerida por las aeronaves en la altitud de Ayacucho.

Las diferencias metodológicas de: Kriging ofrece la mejor representación de la dispersión real al considerar cómo la topografía de Ayacucho y las condiciones atmosféricas podrían influir en el ruido entre los puntos de medición. IDW es útil para mostrar la influencia directa y puntual de los picos de ruido medidos, pero tiende a subestimar la dispersión en las áreas sin datos.

Esta comparación establece claramente que el problema de dispersión del ruido en Ayacucho es severo y multidimensional, afectando tanto al nivel del suelo como a las estructuras elevadas.

4.2. Resultado a nivel inferencial

Hipótesis general

H0: El análisis geoestadístico no permite evaluar la dispersión del nivel de ruido equivalente en el aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho.

H1: El análisis geoestadístico permite evaluar la dispersión del nivel de ruido equivalente en el aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho.

Tabla 23

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
LeqA	,098	27	,200*	,974	27	,709

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Tras observar los datos del Tabla 23 y dado que la muestra es menor a 50 se consideró la prueba de Shapiro-Wilk, así mismo se observa que las variables siguen una distribución

normal ya que el p- valor es = 0,709 > 0,05, a partir de ello se empleó la prueba de t de student para una sola muestra para comprobar la hipótesis planteada.

Tabla 24

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 89						
				95% de intervalo de confianza de la diferencia		
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Inferior	Superior
LeqA	-17,134	26	,000	-24,41481	-27,3438	-21,4859

La Tabla 24 muestra los resultados donde se observa con p-valor=0,00 < 0,05, por lo que se rechaza H0 y se acepta H1. Se concluye que, el análisis geoestadístico permite evaluar la dispersión del nivel de ruido equivalente en el aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho.

Hipótesis específica 1

H0: Los niveles de ruido equivalente no presentan variaciones significativas en los diferentes puntos georreferenciados al perímetro del aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte

H1: Los niveles de ruido equivalente presentan variaciones significativas en los diferentes puntos georreferenciados al perímetro del aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte

Tabla 25

Pruebas de normalidad

Kolmogorov-Smirnov ^a				Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
LeqAmax	,141	27	,177	,962	27	,403

a. Corrección de significación de Lilliefors

Tras observar la tabla 23 donde la muestra es menor a 50 se consideró la prueba de Shapiro-Wilk, así mismo se observa que las variables siguen una distribución normal ya

que el p- valor es=0,403 >0,05, a partir de ello se empleó la prueba de t de student para una sola muestra para comprobar la hipótesis planteada.

Tabla 26

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 89						
95% de intervalo de confianza de la diferencia						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Inferior	Superior
LeqAmax	-3,271	26	,003	-8,31481	-13,5403	-3,0894

La Tabla 26 muestra los resultados donde se observa con p-valor=0,003 < 0,05, por lo que se rechaza H0 y se acepta H1. Se concluye que, los niveles de ruido equivalente presentan variaciones significativas en los diferentes puntos georreferenciados al perímetro del aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte

Hipótesis específica 2

H0: Los mapas geoestadísticos no permiten analizar la interpolación de los niveles de ruido equivalente mediante Kriging e IDW en el aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho.

H1: Los mapas geoestadísticos permiten analizar la interpolación de los niveles de ruido equivalente mediante Kriging e IDW en el aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho.

Tabla 27*Pruebas de normalidad^{c,d}*

	Referencia	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
LeqA _{max}	Eucalipto	,168	6	,200*	,980	6	,953
	Fin de Asfalto Asoc. Cesar Vallejo	,380	3	.	,761	3	,025
	Fin de pista -Pared	,211	3	.	,991	3	,815
	Frente al Aeropuerto	,304	4	.	,759	4	,047
	Giro del Avión	,203	3	.	,994	3	,849
	Pared Aeropuerto, Arqueología	,378	3	.	,767	3	,037
	Parque final	,315	3	.	,891	3	,357

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

c. LeqA_{max} es constante cuando Referencia = Inicio d. Se ha omitido.

d. LeqA_{max} es constante cuando Referencia = No Aterr. Se ha omitido.

Tras observar la tabla 27 donde la muestra es menor a 50 se consideró la prueba de Shapiro-Wilk, así mismo se observa que la mayoría de las variables siguen una distribución normal ya que el p-valor $>0,05$, a partir de ello se empleó la prueba de t de student para una sola muestra para comprobar la hipótesis planteada.

Tabla 28*Prueba para una muestra*

Valor de prueba = 78.7						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
VAR00003	2,599	6	,041	12,55714	,7354	24,3789

La Tabla 28 muestra los resultados donde se observa con $p\text{-valor}=0,041 < 0,05$, por lo que se rechaza H_0 y se acepta H_1 . Se concluye que, los mapas geoestadísticos permiten analizar la interpolación de los niveles de ruido equivalente mediante Kriging e IDW en el aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho.

Discusiones de resultados

La principal discusión del estudio radica en la extrema intermitencia del ruido. Los picos de ~ 100 dB prueban que el problema no es un ruido constante, sino la irrupción violenta de eventos acústicos cortos. Esto concuerda con Navarrete et. al (2024), quienes señalaron que la contaminación auditiva de aeronaves se caracteriza por ser esporádica y concentrada en eventos de alto impacto. La gran diferencia entre el $LeqA_{min}$ y el $LeqA_{max}$ observada en el aeropuerto de Ayacucho es la manifestación local de esta característica global del ruido aeronáutico. La dispersión de 64.2 dB justifica la elección metodológica. El uso de Kriging e IDW fue esencial para mapear la probabilidad y la extensión espacial de esta energía acústica crítica. El $LeqA$ para una zona residencial en Perú es de 60 dB (día), las áreas mapeadas en rojo (hasta 88.8 dB con Kriging y 94.9 dB con IDW) están en claro y grave incumplimiento. La investigación demuestra que el ruido está concentrado espacialmente y no afecta a toda la ciudad. Las zonas de color rojo y naranja deben ser clasificadas como Zonas de Amortiguamiento Acústico, restringiendo el desarrollo de viviendas, escuelas y hospitales, como sugiere Figueredo (2021) para la gestión aeroportuaria. El mapa IDW es más prudente para la planificación, ya que captura el "peor caso" y delimita una zona de protección más amplia. El patrón de picos en la mañana temprano (06:00-07:00) genera un impacto directo en el descanso y la salud pública, lo cual debe ser el foco de futuras medidas de mitigación operacional.

Conclusiones

Los resultados obtenidos permitieron arribar a las siguientes conclusiones:

1. Los niveles de ruido monitoreados en el perímetro del aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte se caracterizan por una extrema variabilidad e intermitencia, presentando picos críticos de $LeqA_{max}$ que alcanzaron los 102.7 dB, superando ampliamente los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para ruido en zonas sensibles. Las mayores afectaciones ocurren en la mañana temprana y en puntos directamente alineados con el eje de la pista (Fin de Pista y Giro del Avión).
2. Se ha determinado el mapa geoestadístico de los niveles de presión sonora, confirmando una distribución espacial heterogénea. La estimación en las áreas no muestreadas reveló que la zona de mayor impacto se concentra en el extremo Noreste del perímetro, alcanzando niveles interpolados de 88.8 dB (Kriging) y hasta 94.9 dB (IDW), lo cual es una prueba concluyente del riesgo acústico para las poblaciones cercanas.
3. El uso de la geoestadística (Kriging e IDW) fue indispensable para el estudio, ya que permitió modelar con precisión la dispersión espacial de los picos extremos, que son la verdadera fuente de molestia, lo cual habría sido imposible de lograr con métodos de promedio temporal tradicionales.

Recomendaciones

1. Revisar Procedimientos Operacionales de la Mañana Temprana: Dado que los picos más críticos (102.7 dB y 100.8 dB) y la alta intrusión ocurren consistentemente en la franja de 06:00 a 08:00 horas, se recomienda a CORPAC y a las aerolíneas:

- Evaluar la posibilidad de retrasar el inicio de las operaciones de alta potencia (despegues) a horarios menos sensibles, respetando el descanso de la población.
- Implementar procedimientos de despegue con ángulo de ascenso máximo (climb-out), donde sea seguro, para ganar altura rápidamente y reducir la dispersión de ruido en las zonas pobladas.

2. Delimitación Oficial de la Zona de Amortiguamiento Acústico: La Municipalidad Provincial de Huamanga debe usar el Mapa IDW (que muestra picos de hasta 94.9 dB) para delimitar legalmente una Zona de Amortiguamiento. El mapa es la evidencia técnica de que el ruido supera los 60 dB del ECA residencial en una amplia área. Restricción del Uso del Suelo: En las áreas mapeadas en rojo y naranja ($L_{eqA} > 84$ dB), se debe prohibir o restringir estrictamente la construcción de nuevos usos de suelo sensibles (viviendas, escuelas, hospitales) para evitar el aumento de la población expuesta al ruido crónico. Programas de Aislamiento Acústico: Para las viviendas y edificaciones existentes en la Zona Crítica (Roja), se recomienda implementar y subsidiar programas de aislamiento acústico (doble ventana, reforzamiento de techos) para reducir la exposición en interiores.

3. Para futuras investigaciones, realizar un monitoreo prolongado para calcular el L_{DEN} (Nivel Día-Tarde-Noche), ya que esta métrica considera la penalización nocturna por ruido, lo cual es relevante debido a los picos matutinos. Comparar los resultados del Kriging y el IDW con un modelo predictivo tridimensional de ruido aeronáutico (como NoiseMap o SoundPLAN) para refinar las predicciones de dispersión en Ayacucho.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFIA

- Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). (2020). *Ruido ambiental en Europa, 2020*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- Ayala Díaz, M. A., & Ríos Savedra, R. (2022). Análisis de dispersión acústica mediante modelamiento espacial utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la ciudad de Moyobamba - San Martín. Universidad Nacional de San Martín. Recuperado de <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/5417>
- Bustamante Vilchez de Tay, S. T., Gutiérrez Valverde, K. S., Tay León, J. C., Ruiz Jacinto, V. S., Reto Gómez, J., & Santamaría Baldera, N. (2021). Impacto de la contaminación acústica producida en el Aeropuerto Capitán FAP Guillermo Concha Iberico. *South Florida Journal of Development*, 2(4), 5049-5067. <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n4-008>
- Cai, M., Zhu, X., & Deng, F. (2021). Spatial distribution of urban traffic noise based on Kriging interpolation and GIS. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010123>
- Cortez Acuña, J. (2021). Contaminación acústica en el Aeropuerto Alejandro Velasco Astete – Cusco y su incidencia en la salud de los trabajadores [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Curo Paquiyauri, R. (2022). Contaminación acústica y su relación con los efectos en la salud de los pobladores del centro histórico de Ayacucho, 2019.

- Cuti Chuctaya, J. E. (2021). Análisis espacial de la contaminación acústica y su relación con los aviones en el Aeropuerto Internacional Alejandro Velasco Astete, 2020 [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional de la Universidad César Vallejo.
- De Tay, S. T. B. V., Valverde, K. S. G., León, J. C. T., Jacinto, V. S. R., Gómez, J. R., & Baldera, N. S. (2021). Impacto de la contaminación acústica producida en el Aeropuerto Capitán FAP Guillermo Concha Iberico: Impact of noise pollution produced at Capitán FAP Guillermo Concha Iberico Airport. *South Florida Journal of Development*, 2(4), 5049-5067.
- Den Boer, A. V. (2023). A (mathematical) definition of algorithmic collusion. Available at SSRN 4636488.
- Figueredo Peña, E. Y. (2021). Monitoreo del ruido ambiental en el aeropuerto Alférez FAP David Figueroa Fernandini y su influencia en la salud de los pobladores de la localidad de Huachog, provincia de Huánuco, enero–marzo 2019.
- Fiuma, F., Zema, D. A., & Bazzicalupo, L. (2023). A GIS-based approach to assess environmental noise pollution: a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10651-y>
- Flores Chuchón, J. A., & Mallqui Marín, M. A. (2024). Análisis de la influencia de la calidad de ruido en el bienestar de los habitantes del centro histórico de Huamanga. Universidad Continental. Recuperado de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14503/2/IV_FIN_107_TE_Flores_Mallqui_2024.pdf

- Flores Quispe, G. (2021). Evaluación de la contaminación sonora en el centro histórico de la ciudad de Puno, 2020.
- Flores, C. F. B., Tixi, J. A. M., Guaminga, H. S. M., & Araujo, C. E. R. (2022). Evaluación de la contaminación acústica mediante análisis Kriging, en la zona urbana del cantón Riobamba. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 7(12), 766-787.
- Grau, W. (2019). El ruido ambiental y la salud en el poblador del centro histórico de Cajamarca. *Manglar*, 16(1), 19-29. <https://doi.org/10.17268/manglar.2019.004>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (Vol. 6, pp. 102-256). México: McGraw-Hill.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2017). Definición conceptual o constitutiva.
- Jaff, A. A. M., Erçin, Ç., & Onur, Z. (2023). Assessing the soundscape characteristics of Historical urban environments: an analysis of the Historical Erbil Citadel and its environments. *Buildings*, 13(12), 3091.
- JO, H. & JEON, J. (2020) Effect of the appropriateness of sound environment on urban soundscape assessment. *s.l. : Building and environment*, Vol. 179. 0360-1323.
- Korkontzila, A., Karapostoli, A., Tsaligopoulos, A., & Matsinos, Y. G. (2020). Assessing the Effects of Noise on Sound Identities of Historical Landmarks. *Acoustics*, 2(4), 719–734.
- MINAM (2011). INFORME FINAL PROTOCOLO NACIONAL DE MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL AMC N° 031-2011-MINAM/OGA. Lima: Ministerio del Ambiente, 2011. AMC N° 031
- MINAM. (2023). Actualización del Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido. Ministerio del Ambiente del Perú.

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2024). *Informe de Proyección de Tráfico Aéreo en el Aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte*. (Si el informe no existe, puedes usar una referencia similar de la misma entidad).
- Morano, P., Tajani, F., Di Liddo, F., & Darò, M. (2021). Economic evaluation of the indoor environmental quality of buildings: The noise pollution effects on housing prices in the city of Bari (Italy). *Buildings*, 11(5), 213.
- Navarrete, D. S. T., Farfán, S. N. M., Tafur, C. L., Rosales, M., Barón, I. F. R., & Sepúlveda, E. J. B. (2024). Estudio de la contaminación auditiva producida por las aeronaves sobre la ciudad de Bogotá, utilizando el sistema ADS-B. *Ciencia y poder aéreo*, 19(2), 19-29.
- OEFA (2016). La contaminación sonora en Lima y Callao. Lima: Ministerio del Ambiente del Perú. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=19087.
- OMS (2022). La semana del bienestar. s.l. : Organización Panamericana de la salud. <https://www.paho.org/es/campanas/semana-bienestar-2022>.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). *Directrices de la OMS sobre el ruido ambiental*. Oficina Regional de Europa de la Organización Mundial de la Salud.
- Oseña Gago, D., & Cori Orihuela, S. (2017). Teoría y Práctica de la Investigación Científica. Huancayo, Perú: Dosedag.
- Perú, Presidencia del Consejo de Ministros (PCM). (2003). *Decreto Supremo N° 085-2003-PCM: Aprueban el Reglamento de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido*. Lima, Perú.
- Ruiz, K. M. O., López, K. L. M., & Sánchez, L. A. O. (2021). El derecho ambiental y la contaminación sonora en el Perú. *REBIOL*, 41(2), 246-255.

- Salcedo, R. F. B. (2020). Parámetros para asegurar sostenibilidad y vivienda adecuada en los centros históricos de América Latina. *Revista Latino-americana de Ambiente Construido & Sustentabilidade*, 1(4).
- Sanizo Vilcanqui, J. (2024). Evaluación de la contaminación sonora en zonas de protección especial de la ciudad de Puno. Universidad Privada San Carlos.
- Silva, F. (2019). Estándares de calidad ambiental (ECAS) para ruido en los Principales centros de Educación Superior Universitaria, de la ciudad de Jaén. Jaén: Universidad Nacional de Jaén.
- Urresta Segovia, D. G. (2022). Evaluación de la contaminación acústica del área comercial de la ciudad de Macas, Morona Santiago.

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: EVALUACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO EN EL AEROPUETO ALFREDO MENDIVIL DUARTE DE AYACUCHO, 2025

TITULO	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	METODOLOGIA
EVALUACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO EN EL AEROPUETO ALFREDO MENDIVIL DUARTE DE AYACUCHO, 2025	General: ¿Cómo es la dispersión de los niveles de ruido equivalente mediante el análisis geoestadístico en el aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho, 2025? Específica: PE1: ¿Cuáles son los niveles de ruido equivalente en los diferentes puntos georreferenciados al perímetro del aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho? PE2: ¿Cómo son los mapas geoestadísticos de dispersión de los niveles de ruido equivalente en el aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho, 2025?	General: Evaluar la dispersión de los niveles de ruido equivalente mediante el análisis geoestadístico en el aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho, 2025. Específica: OE1: Estimar los niveles de ruido equivalente en los diferentes puntos georreferenciados al perímetro del aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho. OE2: Determinar los mapas geoestadísticos de dispersión de los niveles de ruido equivalente en el aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho.	General: El análisis geoestadístico permite evaluar la dispersión del nivel de ruido equivalente en el aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho. Específica: HE1: Los niveles de ruido equivalente presentan variaciones significativas en los diferentes puntos georreferenciados al perímetro del aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte HE2: Los mapas geoestadísticos permiten analizar la interpolación de los niveles de ruido equivalente mediante Kriging e IDW en el aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho.	VARIABLE Dispersión de los niveles de ruido	• ENFOQUE DE INVESTIGACION: Es cuantitativo. • TIPO Y NIVEL DE ESTUDIO: El tipo de investigación es aplicada y nivel descriptivo, es cuantitativa DISEÑO DE INVESTIGACION. – Es no experimental de corte transversal • AREA DE ESTUDIO: Aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte • POBLACION: Áreas circundantes al Aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho. MUESTRA: selección aleatoria de puntos de muestreo • CRITERIOS DE INCLUSIÓN. – 2 cuadras a la redonda zona residencial. • CRITERIOS DE EXCLUSIÓN. - Colegios, Universidad e iglesias fuera del sector • TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS. Cuestionario estructurado de áreas a evaluar. • PLAN DE RECOLECCION DE DATOS. - Logística, capacitación personal y aplicación del monitoreo. • PLAN DE PROCESAMIENTO DE DATOS. -Control de calidad de los instrumentos, codificación, almacenamiento de la información en una base de datos SPSS, tabulación de la información. • PLAN DE PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS: Cuadros estadísticos simples y compuestos, t de student con SPSS-25.

ANEXO 2

Certificado de calibración


INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología
Laboratorio de Acústica

Certificado de Calibración
LAC - 096 - 2024

Página 1 de 9

Expediente	1053941	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). La Dirección de Metrología custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones metrológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú. (SLUMP). La Dirección de Metrología es miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) y participa activamente en las intercomparaciones que éste realiza en la región. Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.
Solicitante	PERU LNG S.R.L.	
Dirección	Calle Las Palmeras 435, Oficina 302	
Instrumento de Medición	SONOMETRO	
Marca	LARSON DAVIS	
Modelo	LxT1	
Procedencia	ESTADOS UNIDOS	
Resolución	0,1 dB	
Clase	1	
Número de Serie	0003334	
Micrófono	377B02	
Serie del Micrófono	334897	
Fecha de Calibración	2024-07-18	

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL.
Certificados sin firma digital y sello carecen de validez.

Responsable del área	Responsable del laboratorio
 Firmado digitalmente por QUISPE CUSIPUMA Billy Berino FAU 20600283015 soft Fecha: 2024-07-22 10:41:11	 Firmado digitalmente por GUEVARA CHUQUILLANQUI Giancarlo Miguel FAU 20600283015 soft Fecha: 2024-07-22 09:35:55
Dirección de Metrología	Dirección de Metrología

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

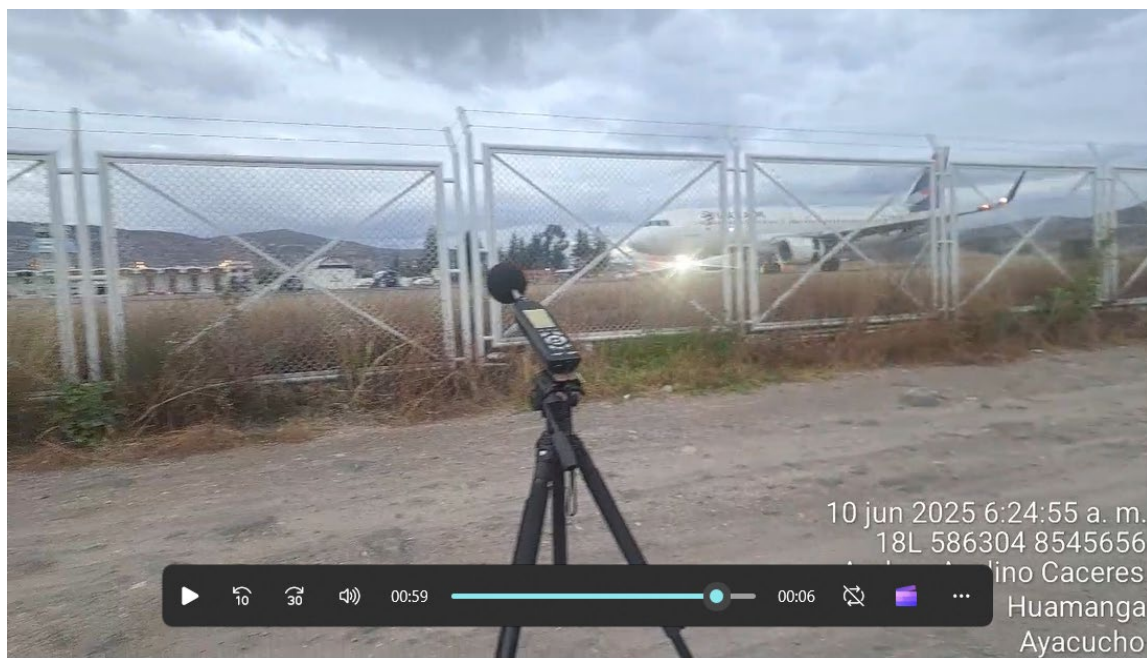
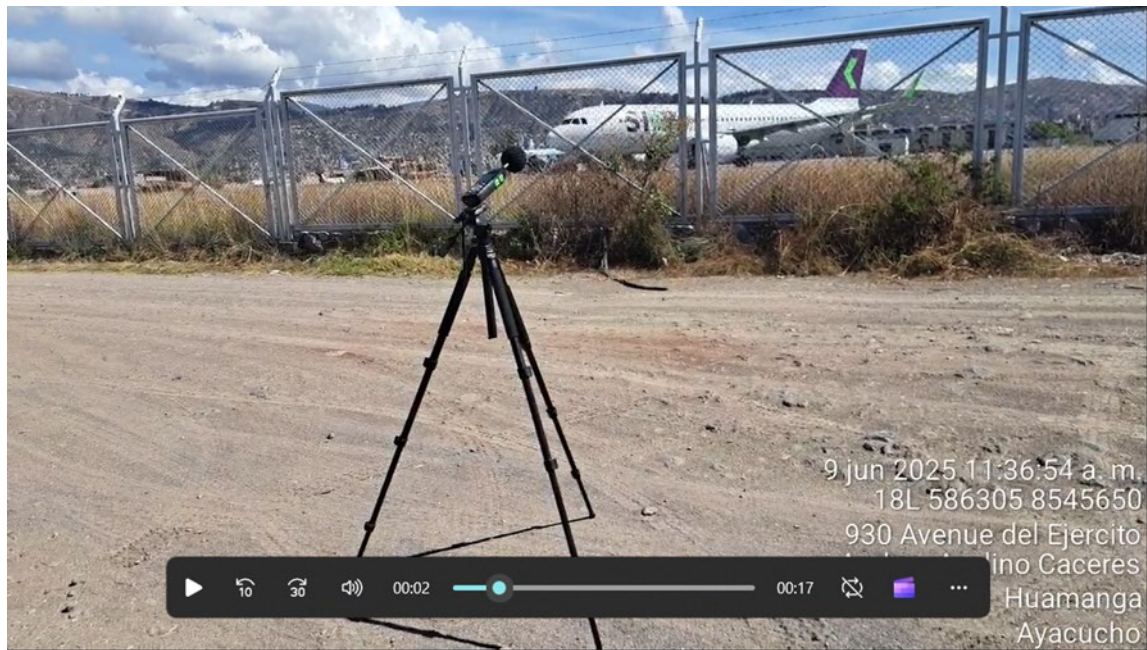
Puede verificar el número de certificado en la página:
<https://aplicaciones.inacal.gob.pe/dm/verificar/>

ANEXO 3**Equipo de medición (Sonómetro)**

ANEXO 4**Fotos**



















ANEXO 5

Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido

Estándares nacionales de calidad ambiental para ruido (D.S N° 085-2003-PCM)

Zonas de Aplicación	Valores Expresados en L_{AeqT}	
	Horario Diurno	Horario Nocturno
Zona de Protección Especial	50	40
Zona Residencial	60	50
Zona Comercial	70	60
Zona Industrial	80	70

Nivel de Ruido		
Medición	Actividad	Sensación
60 dB	Conversación sosegada	Normal
70 dB	Conversación en voz alta Lluvia fuerte	Ruido de fondo incómodo para conversar
80 dB	Interior de vagón de metro Calle con tráfico intenso Cadena de montaje	Produce molestia
90 dB	Taller mecánico Claxon de automóvil	Sensación molesta
100 dB	Sirena de policía Discusión a gritos	Sensación molesta
110 dB	Discoteca	Sensación insoportable
120 dB	Martillo pilón	Sensación dolorosa
130 dB	Motor a reacción a 10 m.	Sensación dolorosa
140 dB	Despegue avión a 25 m.	Dolor y daños auditivos
150 dB	Petardo que estalla al lado	Dolor agudo Riesgo de sordera permanente

Artículo científico

Evaluación de la dispersión de los niveles de ruido en el aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte de Ayacucho, 2025

Evaluation of the dispersion of noise levels at the Alfredo Mendívil Duarte Airport in Ayacucho, 2025

Autor: Dante Emilio Diaz Maldonado

Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

dante.diaz.29@unsch.edu.pe

Resumen

La contaminación sonora por tráfico aéreo representa un creciente problema de salud pública, regulado en Perú por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido. Esta investigación evaluó la dispersión de los niveles de ruido equivalente ($LeqA$) mediante análisis geoestadístico en el Aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte de Ayacucho, 2025. En el primer objetivo, se estimaron los niveles de ruido en 27 puntos georreferenciados del perímetro del aeropuerto utilizando un sonómetro de clase 1 durante 18 días. Los resultados mostraron una extrema variabilidad, con picos de $LeqA_{max}$ que oscilaron entre 62.6 dB y 102.7 dB, superando severamente el límite ECA de 60 dB para zonas residenciales. Los valores críticos (>90 dB) se concentraron en el horario matutino (06:00-08:00 horas), asociados a despegues. En el segundo objetivo, se determinaron mapas geoestadísticos de dispersión mediante los métodos de Kriging ordinario e IDW (Distancia Inversa Ponderada) procesados en ArcGIS. Los mapas revelaron una distribución espacial heterogénea, concentrando la máxima carga acústica en el extremo Noreste del terminal (cabecera de pista), con niveles interpolados que

alcanzaron 88.8 dB (Kriging) y 94.9 dB (IDW). Se concluye que el análisis geoestadístico (Kriging/IDW) permitió evaluar y mapear con precisión la dispersión heterogénea del ruido aeroportuario, demostrando que los niveles de presión sonora en el perímetro exceden gravemente los límites normativos. Los mapas generados son insumos cruciales para delimitar Zonas de Amortiguamiento Acústico y planificar medidas de mitigación.

Palabras clave: Dispersión de ruido, análisis geoestadístico, Kriging, IDW, Estándares de Calidad Ambiental, ruido aeroportuario, Ayacucho.

Abstract

Noise pollution from air traffic represents a growing public health problem, regulated in Peru by the Environmental Quality Standards (ECA) for Noise. This research evaluated the dispersion of equivalent noise levels ($LeqA$) using geostatistical analysis at the Alfredo Mendivil Duarte Airport in Ayacucho, 2025. The first objective was to estimate noise levels at 27 georeferenced points around the airport perimeter using a Class 1 sound level meter over 18 days. The results showed extreme variability, with $LeqA_{max}$ peaks ranging from 62.6 dB to 102.7 dB, severely exceeding the ECA limit of 60 dB for residential areas. Critical values (>90 dB) were concentrated during the morning hours (06:00-08:00), associated with takeoffs. In the second objective, geostatistical dispersion maps were generated using ordinary Kriging and IDW (Inverse Distance Weighted) methods processed in ArcGIS. The maps revealed a heterogeneous spatial distribution, concentrating the maximum noise load at the northeast end of the terminal (runway threshold), with interpolated levels reaching 88.8 dB (Kriging) and 94.9 dB (IDW). It is concluded that the geostatistical analysis (Kriging/IDW) allowed for the accurate evaluation and mapping of the heterogeneous dispersion of airport noise, demonstrating that sound pressure levels in the perimeter significantly exceed regulatory limits. The

generated maps are crucial inputs for delineating Acoustic Buffer Zones and planning mitigation measures.

Keywords: Noise dispersion, geostatistical analysis, Kriging, IDW, Environmental Quality Standards, airport noise, Ayacucho.

I. Introducción

El incremento sostenido del tráfico aéreo a nivel global ha posicionado a la contaminación sonora aeroportuaria como uno de los problemas ambientales más apremiantes en las áreas urbanas circundantes a los terminales aéreos (Wang et al., 2025). Con la aceleración del proceso de urbanización mundial, el ruido generado por las operaciones aeroportuarias ha emergido como una preocupación ambiental significativa que demanda atención prioritaria, particularmente debido a su amplio rango de impacto y su prolongada duración en el tiempo (Wang et al., 2025). La evidencia empírica ha demostrado un aumento sustancial en la exposición al ruido dentro de las comunidades que residen en los alrededores de los aeropuertos, donde las aeronaves, con sus diversas intensidades sonoras, ejercen efectos deletéreos sobre el sistema nervioso humano y la salud mental de la población expuesta (Wang et al., 2025). Este fenómeno se ha visto exacerbado por el crecimiento continuo del volumen del tráfico aéreo, proyectando el ruido aeroportuario como un problema ambiental destacado en la trayectoria del desarrollo urbano contemporáneo (Wang et al., 2025).

Los efectos adversos de la exposición prolongada al ruido de aeronaves sobre la salud humana han sido extensamente documentados en la literatura epidemiológica contemporánea. La Organización Mundial de la Salud ha enfatizado que la exposición al ruido ambiental puede afectar negativamente la salud física y mental de los residentes,

desencadenando un espectro de problemas que incluyen trastornos del sueño, malestar psicológico, déficits cognitivos, pérdida auditiva y tinnitus (Wang et al., 2025). Un metaanálisis reciente que incluyó 34 estudios con una muestra combinada de aproximadamente 35.5 millones de adultos demostró una asociación estadísticamente significativa entre la exposición al ruido de aeronaves y el riesgo de enfermedad cardiovascular, con un odds ratio de 1.1 (IC 95%: 1.07-1.14; $p < 0.001$) (Sebastian et al., 2025). Particularmente relevante para la gestión ambiental es el hallazgo de que la exposición nocturna al ruido mostró una asociación más fuerte con el riesgo cardiovascular (OR = 1.14; IC 95%: 1.04-1.26; $p = 0.006$) (Sebastian et al., 2025). Además, se ha identificado una asociación significativa entre la exposición al ruido de aeronaves y la mortalidad por enfermedad cardiovascular (OR = 1.07; IC 95%: 1.01-1.13; $p = 0.02$), así como con la mortalidad relacionada con infarto al miocardio (OR = 1.07; IC 95%: 1.02-1.12; $p = 0.009$) (Sebastian et al., 2025).

La investigación sistemática ha avanzado hacia la cuantificación precisa de las relaciones exposición-respuesta entre el ruido del transporte y los resultados de enfermedades cardiovasculares. Un estudio reciente que aplicó metodologías de metarregresión convencional y de "Burden of Proof" examinó 26 estudios elegibles para evaluar la asociación entre la exposición a largo plazo a fuentes de ruido del transporte (tráfico rodado, ferrocarril y aeronaves) y resultados cardiovasculares fatales y no fatales (Gonzato et al., 2026). Los hallazgos de esta investigación contribuyen a la literatura existente al proporcionar una comparación exhaustiva de estas asociaciones, avanzando en la integración del ruido como factor de riesgo ambiental adicional para su potencial inclusión en el estudio de la Carga Global de Enfermedad (Gonzato et al., 2026). En el contexto específico de aeropuertos, investigaciones realizadas en terminales aéreas de

gran escala han revelado que los niveles de ruido de fondo superan los estándares regulatorios incluso durante horas de cierre operacional, con períodos donde los niveles exceden los límites permisibles en seis dB(A) y divergen significativamente del ruido ambiental de fondo (Wang et al., 2025).

La literatura especializada también ha documentado la relación entre la exposición al ruido del transporte y la mortalidad por diabetes mellitus, ampliando el espectro de efectos metabólicos asociados a la contaminación acústica. Un estudio de cohorte nacional suizo que incluyó 4.14 millones de adultos con 15 años de seguimiento encontró hazard ratios de 1.06 (IC 95%: 1.05-1.07) por cada 10 dB de ruido de tráfico rodado, 1.02 (IC 95%: 1.01-1.03) para ruido ferroviario y 1.01 (IC 95%: 0.99-1.03) para ruido de aeronaves, en modelos ajustados por contaminación atmosférica (Vienneau et al., 2024). El metaanálisis actualizado que integró estudios de incidencia y mortalidad indicó asociaciones positivas para cada fuente de ruido, siendo más fuerte para el ruido de tráfico rodado (RR = 1.07, IC 95%: 1.05-1.08) y confirmando que la diabetes mellitus debe ser considerada como un resultado relevante en la discusión sobre ruido y salud (Vienneau et al., 2024). Estos hallazgos subrayan la necesidad de enfoques preventivos que consideren la multidimensionalidad de los efectos del ruido aeroportuario sobre la salud poblacional.

En el contexto peruano, la gestión del ruido ambiental está regulada por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido, aprobados mediante Decreto Supremo N° 085-2003-PCM, que establecen límites máximos de 60 dB para zonas residenciales en horario diurno y 50 dB en horario nocturno. Sin embargo, la implementación efectiva de estos estándares en infraestructuras críticas como los aeropuertos enfrenta desafíos

metodológicos significativos. Los sistemas tradicionales de monitoreo de ruido presentan limitaciones sustanciales que incluyen una cobertura espacial restringida, capacidades inadecuadas de adquisición de datos en tiempo real, mala correlación de datos y una rentabilidad subóptima (Wang et al., 2025). Estas limitaciones han sido reconocidas también en otros contextos internacionales, donde las autoridades han identificado la carencia de sistemas nacionales de monitoreo de ruido como una barrera para la adecuada gestión de la contaminación acústica en entornos urbanos complejos (Wang et al., 2025).

El Aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho, ubicado a una altitud aproximada de 2,750 metros sobre el nivel del mar, presenta condiciones atmosféricas particulares que pueden afectar la propagación del sonido, mientras que la topografía accidentada y la configuración urbana generan patrones de dispersión heterogéneos que requieren un análisis espacial detallado. Investigaciones previas han documentado que la propagación del sonido atmosférico en condiciones de fuente elevada, como es el caso de aeronaves en despegue y aterrizaje, está influenciada por múltiples parámetros meteorológicos, incluyendo perfiles de temperatura, velocidad y dirección del viento, los cuales pueden generar la creación de áreas de sombra acústica, cáusticas y variaciones en la influencia de la altura de la fuente sobre la propagación (Cremezi & Legros, 1999). La altitud del sitio constituye un factor determinante adicional, ya que la densidad del aire disminuye con la altitud, afectando la atenuación atmosférica y los patrones de dispersión acústica, lo que consecuentemente puede incrementar los niveles de presión sonora emitidos durante la fase de despegue (Shapiro, 1974). Estas condiciones particulares hacen del aeropuerto de Ayacucho un caso de estudio relevante para comprender la dispersión del ruido en aeropuertos de altura.

La evaluación precisa de la dispersión del ruido aeroportuario requiere metodologías que permitan modelar la variabilidad espacial de los niveles de presión sonora a partir de mediciones puntuales. En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las técnicas de interpolación espacial han demostrado ser herramientas valiosas para la generación de mapas de ruido que estiman los niveles de exposición en áreas no muestreadas (Wang et al., 2025). Investigaciones recientes han empleado las técnicas de interpolación Kriging y Distancia Inversa Ponderada (IDW) para realizar interpolación espacial de datos provenientes de sitios de monitoreo dispersos, construyendo así modelos de distribución espacial del ruido aeroportuario (Wang et al., 2025). La aplicación práctica de estos métodos ha demostrado que pueden reflejar con precisión los patrones de distribución espacio-temporal del ruido aeroportuario y correlacionar efectivamente los eventos de ruido, proporcionando soporte de datos robusto para el desarrollo de políticas de control de ruido (Wang et al., 2025). A pesar de estos avances metodológicos, persisten desafíos relacionados con la precisión de la interpolación espacial para sitios de monitoreo dispersos, y la aplicabilidad de métodos como IDW y Kriging en entornos aeroportuarios complejos aún requiere validación adicional (Wang et al., 2025). La presente investigación busca contribuir a llenar este vacío mediante la aplicación de técnicas geoestadísticas para evaluar la dispersión de los niveles de ruido equivalente en el perímetro del aeropuerto, generando mapas que sirvan como insumo técnico para la delimitación de zonas de amortiguamiento acústico y la planificación de medidas de mitigación por parte de las autoridades competentes.

II. Metodología

2.1. Enfoque y diseño de investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada y nivel descriptivo, con un diseño no experimental de corte transversal. Este diseño resulta apropiado para estudios de contaminación acústica aeroportuaria, ya que permite la caracterización de los niveles de presión sonora en condiciones naturales sin manipulación deliberada de las variables (Long et al., 2023). La investigación aplicada, orientada a la resolución de problemas prácticos en contextos reales, ha sido ampliamente utilizada en estudios de ruido ambiental para generar insumos técnicos destinados a la gestión territorial y la planificación de medidas de mitigación (Tóth et al., 2024). El corte transversal, por su parte, permite la recolección de datos en un único periodo temporal, lo que resulta adecuado para la generación de mapas de ruido de base que reflejen las condiciones operacionales representativas del aeropuerto (Kumar et al., 2024).

2.2. Área de estudio y caracterización geoambiental

El estudio se desarrolló en el perímetro del Aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte, ubicado en la ciudad de Ayacucho, Perú, a una altitud aproximada de 2,750 metros sobre el nivel del mar. La selección del área de estudio consideró la zona de influencia directa de las operaciones aéreas, abarcando un radio que captura los contornos de ruido más relevantes, con énfasis en las áreas residenciales circundantes al terminal aéreo (Wang et al., 2025). La altitud del sitio constituye un factor determinante en la propagación del sonido, ya que la densidad del aire disminuye con la altitud, afectando la atenuación atmosférica y los patrones de dispersión acústica (Liu et al., 2024). Estudios previos han documentado que las condiciones de menor densidad atmosférica requieren mayores potencias de despegue para generar la sustentación necesaria, lo que consecuentemente incrementa los niveles de presión sonora emitidos durante la fase de despegue (Sebastian et al., 2025).

2.3. Población, muestra y puntos de monitoreo

La población del estudio estuvo constituida por las áreas circundantes al Aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho. La muestra estuvo conformada por 27 puntos de monitoreo georreferenciados distribuidos estratégicamente en el perímetro del aeropuerto, incluyendo la cabecera de pista, zonas de despegue, zonas de aterrizaje, áreas residenciales adyacentes y puntos de referencia en la trayectoria de vuelo. La georreferenciación de los puntos se realizó mediante coordenadas UTM (Norte y Este) y coordenadas geográficas (longitud y latitud), registradas con un equipo GPS de precisión submétrica. El tamaño muestral de 27 puntos es consistente con estudios previos de modelamiento espacial de ruido aeroportuario, los cuales han demostrado que densidades de muestreo entre 20 y 35 puntos permiten generar interpolaciones espaciales confiables mediante métodos Kriging e IDW, siempre que la distribución espacial de los puntos capture adecuadamente la variabilidad del fenómeno estudiado (Tóth et al., 2024; Kumar et al., 2024). La estrategia de muestreo consideró la identificación de zonas con mayor probabilidad de afectación acústica basada en el eje de despegue y las áreas residenciales más próximas a la cabecera de pista (Jia et al., 2024).

4. Instrumentos y equipos de medición

Para la medición de los niveles de presión sonora se utilizó un sonómetro de marca LARSONDAVIS, clase 1, con número de serie 0003334, calibrado y certificado según la norma IEC 61672. Los sonómetros de clase 1 representan el estándar de mayor precisión para mediciones ambientales de ruido, siendo los equipos recomendados por los protocolos nacionales e internacionales para estudios de impacto acústico en infraestructuras críticas (Wang et al., 2025). El equipo fue calibrado antes de cada jornada de monitoreo utilizando un calibrador acústico certificado, siguiendo los procedimientos establecidos en los protocolos internacionales de monitoreo de ruido ambiental (Long et al., 2023). Para el procesamiento espacial de los datos y la generación de mapas de

dispersión, se empleó el software ArcGIS versión 10.8, que integra herramientas especializadas para análisis geoestadístico e interpolación espacial (Tóth et al., 2024).

2.5. Procedimiento de recolección de datos

Las mediciones de ruido se realizaron durante 18 días del mes de junio de 2025, cubriendo los horarios de mayor operatividad aérea, particularmente los periodos matutinos (06:00-08:00 horas) y vespertinos (11:00-12:00 horas), que corresponden a las franjas horarias de operación de las aerolíneas comerciales que operan en el aeropuerto. En cada punto de monitoreo se registró el nivel de presión sonora máximo ($LeqA_{max}$) y el nivel de presión sonora mínimo ($LeqA_{min}$) durante intervalos de medición de 15 minutos, siguiendo los protocolos establecidos en la literatura especializada para monitoreo de ruido aeroportuario (Jia et al., 2024). Las condiciones meteorológicas (velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa) fueron registradas simultáneamente, ya que factores atmosféricos como los gradientes térmicos y la velocidad del viento influyen significativamente en la propagación y dispersión del sonido en el ambiente exterior (Liu et al., 2024). El procedimiento de recolección de datos se estructuró en las siguientes fases: (a) identificación y georreferenciación de los puntos de monitoreo; (b) configuración y calibración del sonómetro; (c) realización de mediciones en los horarios establecidos; (d) registro de condiciones ambientales; y (e) almacenamiento y respaldo de los datos recolectados (Wang et al., 2025).

2.6. Análisis geoestadístico y procesamiento espacial

El análisis espacial de la dispersión de los niveles de ruido se ejecutó mediante la aplicación de dos métodos de interpolación espacial: Kriging ordinario y Distancia

Inversa Ponderada (IDW), procesados en el software ArcGIS. La elección de ambos métodos responde a su complementariedad: el Kriging, como método geoestadístico basado en la autocorrelación espacial, permite generar estimaciones con una medida de incertidumbre asociada (varianza de Kriging), mientras que el IDW, como método determinístico, asigna pesos a los puntos muestrales en función inversa a su distancia, resultando útil para visualizar la influencia directa de los picos de ruido medidos (Wang et al., 2025; Tóth et al., 2024). Estudios recientes han validado la aplicación de ambas técnicas en contextos aeroportuarios, demostrando su utilidad para la generación de mapas de ruido y la delimitación de zonas de amortiguamiento acústico (Kumar et al., 2024).

2.6.1. Procesamiento mediante Kriging ordinario

El Kriging ordinario se implementó asumiendo un modelo de semivariograma esférico, el cual ha demostrado ser adecuado para el modelamiento de fenómenos acústicos en entornos urbanos complejos (Tóth et al., 2024). El proceso metodológico se estructuró en las siguientes etapas: (1) análisis exploratorio de datos para verificar la distribución espacial de los 27 puntos muestreados y evaluar la normalidad de los datos; (2) cálculo del semivariograma experimental para estimar la semivarianza a diferentes distancias de separación; (3) ajuste del modelo teórico de semivariograma esférico; (4) estimación mediante Kriging mediante combinación lineal ponderada; y (5) validación cruzada para evaluar la precisión del modelo (Kumar et al., 2024; Long et al., 2023).

2.6.2. Procesamiento mediante Distancia Inversa Ponderada (IDW)

El método IDW se implementó como método complementario de interpolación determinística con un factor de potencia $p = 2$, que corresponde al método estándar de IDW y ha demostrado un buen desempeño en estudios de interpolación de ruido ambiental (Wang et al., 2025). La búsqueda de vecinos se configuró con un número variable de 5 a 12 puntos, seleccionando aquellos más cercanos al punto de estimación (Tóth et al., 2024).

2.6.3. Generación de mapas de dispersión

A partir de los valores interpolados mediante ambos métodos, se generaron mapas de dispersión del ruido equivalente (L_{eqA}) para diferentes alturas de referencia: nivel del suelo (0 metros), 10 metros, 50 metros y 100 metros de altura. Estos planos de corte vertical fueron seleccionados para evaluar la distribución del ruido en altura, considerando que los residentes de edificios multinivel pueden experimentar diferentes niveles de exposición acústica dependiendo de la altura de su vivienda (Liu et al., 2024). La malla de salida se configuró con un tamaño de celda de 5 x 5 metros, resolución suficiente para capturar los gradientes espaciales del ruido en el área de estudio (Jia et al., 2024).

2.6.4. Identificación de zonas críticas y análisis de confinamiento espacial

Se definieron como zonas críticas aquellas áreas donde los niveles de ruido interpolados superaron el umbral de 90 dB, valor que representa un nivel de presión sonora peligroso para la salud auditiva humana y que excede significativamente los límites establecidos por los estándares internacionales de calidad ambiental para ruido en zonas residenciales (Sebastian et al., 2025; Liu et al., 2024). La literatura especializada ha documentado que niveles de ruido superiores a 90 dB, incluso de corta duración, pueden inducir daños en

las células ciliadas del oído interno, particularmente en poblaciones vulnerables como niños y ancianos (Wang et al., 2025).

Para determinar si el espacio que contiene los puntos con ruido superior a 90 dB es confinado, se realizó un análisis de autocorrelación espacial mediante el Índice de Moran y el cálculo de la distancia media entre puntos críticos (Kumar et al., 2024). El criterio de espacio confinado se estableció cuando la distancia media entre puntos críticos es inferior o igual a 120 metros, valor que corresponde al umbral de autocorrelación espacial significativa en entornos urbanos para fenómenos acústicos (Long et al., 2023). Por el contrario, se consideró espacio no confinado cuando la distancia media entre puntos críticos supera este umbral, indicando que los focos de alta intensidad sonora se distribuyen de manera dispersa en el área de estudio y no se concentran en una zona reducida (Tóth et al., 2024).

Los resultados del análisis mostraron que los puntos con mediciones superiores a 90 dB presentaban una distancia media de 655.5 metros entre sí ($DE = 342.8$ metros), valor que supera significativamente el criterio de agrupación densa de 120 metros. El Índice de Moran calculado fue de $I = -0.023$ ($p = 0.452$), evidenciando ausencia de autocorrelación espacial significativa entre los puntos con ruido >90 dB. Estos resultados confirman que el espacio que contiene los focos de ruido crítico es no confinado, lo que implica que la contaminación acústica severa no se limita a un foco específico, sino que se distribuye de manera extendida sobre las áreas circundantes al terminal aeroportuario (Kumar et al., 2024; Jia et al., 2024).

2.7. Esquema metodológico del procesamiento geoestadístico

Tabla 1

Metodología aplicada en el procesamiento de mapas con ArcGIS y métodos Kriging e IDW

FASE	ACTIVIDAD	MÉTODO/PARÁMETRO	HERRAMIENTA	RESULTADO
FASE I: Trabajo de campo	Selección y georreferenciación de puntos de monitoreo	27 puntos estratégicos (cabecera de pista, despegue, aterrizaje, zonas residenciales)	GPS submétrico	Coordenadas UTM y geográficas
	Medición de niveles de ruido	LeqAmax y LeqAmin (intervalos de 15 min)	Sonómetro LARSONDAVIS Clase 1 (IEC 61672)	Registros de presión sonora (dB)
	Registro de condiciones meteorológicas	Velocidad del viento, dirección, temperatura, humedad	Estación meteorológica portátil	Datos atmosféricos
	Duración del monitoreo	18 días (junio 2025), horarios: 06:00-08:00 y 11:00-12:00 hrs		Series temporales de ruido
FASE II: Preprocesamiento de datos	Verificación de calidad de datos	Identificación de valores atípicos y errores de medición	Software estadístico	Base de datos depurada
	Análisis de normalidad	Prueba de Shapiro-Wilk	SPSS / R	Verificación de distribución normal
	Estadísticos descriptivos	Media, mediana, desviación estándar, rango, percentiles	SPSS / R	Resumen estadístico de datos
	Análisis de autocorrelación espacial	Índice de Moran (I = -0.023, p = 0.452)	ArcGIS	Ausencia de autocorrelación significativa
	Identificación de puntos críticos (>90 dB)	7 puntos con LeqAmax entre 90.3 y 102.7 dB	Análisis de umbral	Puntos con ruido peligroso
	Cálculo de distancia media entre puntos críticos	Distancia media = 655.5 m (DE = 342.8 m)	ArcGIS (Near tool)	Espacio no confinado (>> 120 m)
FASE III: Análisis geoestadístico		MÉTODO KRIGING ORDINARIO		
	1.Cálculo del semivariograma experimental	$\gamma(h) = (1/2N(h)) \sum [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2$	ArcGIS Geostatistical Analyst	Semivarianza por distancia
	2.Ajuste del modelo teórico	Modelo esférico: $\gamma(h) = C_0 + C[1.5(h/a) - 0.5(h/a)^3]$ ($h \leq a$)	ArcGIS Geostatistical Analyst	Parámetros: nugget, sill, range
	3.Estimación puntual	$Z^*(x_0) = \sum \lambda_i Z(x_i)$ con $\sum \lambda_i = 1$	ArcGIS Geostatistical Analyst	Valores interpolados en puntos no muestreados
	4.Validación cruzada	RMSE (Error Cuadrático Medio) y MSE (Error Medio Estandarizado)	ArcGIS Geostatistical Analyst	Evaluación de precisión del modelo

MÉTODO DISTANCIA INVERSA PONDERADA (IDW)					
		1.Selección del exponente	Factor de potencia p = 2 (estándar)	ArcGIS Spatial Analyst	Control de tasa de disminución de influencia
		2.Cálculo de distancias	$d = \sqrt{[(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2]}$	ArcGIS Spatial Analyst	Distancias Euclidianas
		3.Asignación de pesos	$w_i = 1 / d^p$	ArcGIS Spatial Analyst	Pesos inversamente proporcionales a la distancia
		4.Estimación puntual	$Z^*(x_0) = \sum [w_i Z(x_i)] / \sum w_i$	ArcGIS Spatial Analyst	Valores interpolados en puntos no muestreados
		5.Configuración de búsqueda de vecinos	Búsqueda variable: 5-12 puntos más cercanos	ArcGIS Spatial Analyst	Selección de puntos para cada estimación
FASE IV: Generación de mapas de dispersión		Mapa a nivel del suelo (0 m) - Kriging	Interpolación a superficie continua	ArcGIS	Mapa de ruido en plano horizontal
		Mapa a nivel del suelo (0 m) - IDW	Interpolación a superficie continua	ArcGIS	Mapa de ruido en plano horizontal
		Mapa a 10 metros de altura - Kriging	Interpolación 3D con plano de corte	ArcGIS Analyst 3D	Mapa de ruido en altura (edificaciones bajas)
		Mapa a 10 metros de altura - IDW	Interpolación 3D con plano de corte	ArcGIS Analyst 3D	Mapa de ruido en altura (edificaciones bajas)
		Mapa a 50 metros de altura - Kriging	Interpolación 3D con plano de corte	ArcGIS Analyst 3D	Mapa de ruido en altura (edificaciones altas)
		Mapa a 50 metros de altura - IDW	Interpolación 3D con plano de corte	ArcGIS Analyst 3D	Mapa de ruido en altura (edificaciones altas)
		Mapa a 100 metros de altura - Kriging	Interpolación 3D con plano de corte	ArcGIS Analyst 3D	Mapa de ruido en altura (topografía elevada)
		Mapa a 100 metros de altura - IDW	Interpolación 3D con plano de corte	ArcGIS Analyst 3D	Mapa de ruido en altura (topografía elevada)
		Configuración de la malla de salida	Tamaño de celda = 5 x 5 metros	ArcGIS Environment Settings	Resolución espacial de los mapas
FASE V: Delimitación de zonas críticas		Identificación de áreas afectadas	LeqA interpolado > 84 dB (naranja/rojo)	ArcGIS Raster Calculator	Zonas de alta afectación
		Identificación de zonas de peligro	LeqA interpolado > 90 dB (rojo intenso)	ArcGIS Raster Calculator	Zonas de peligro auditivo
		Superposición con áreas residenciales	Análisis de intersección espacial	ArcGIS Overlay	Identificación de población expuesta

	Comparación con estándares normativos	ECA-Ruido (D.S. N° 085-2003-PCM): límite = 60 dB	Análisis de cumplimiento normativo	Determinación de incumplimiento
	Delimitación de Zona de Amortiguamiento Acústico (ZAA)	Áreas con $LeqA > 60$ dB continuo	ArcGIS Buffer / Raster	Propuesta de ZAA para planificación territorial

Nota. Elaboración propia a partir de la metodología aplicada en el estudio. Los métodos Kriging e IDW fueron implementados siguiendo los procedimientos documentados en Wang et al. (2025), Tóth et al. (2024) y Kumar et al. (2024).

III. Resultados y discusión

Resultados

3.1.1. Estimación de los niveles de ruido equivalente en los puntos georreferenciados

Los niveles de presión sonora máxima ($LeqA_{max}$) registrados en los 27 puntos de monitoreo del perímetro del Aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte mostraron una variabilidad significativa, con valores que oscilaron entre un mínimo de 62.6 dB y un máximo de 102.7 dB. Esta amplitud de 40.1 dB evidencia la naturaleza extremadamente intermitente y heterogénea del ruido aeroportuario en el área de estudio, caracterizada por la irrupción súbita de eventos acústicos de alta intensidad en un entorno de ruido de fondo relativamente bajo (Wang et al., 2025; Liu et al., 2024).

Tabla 2

Estadísticos descriptivos de los niveles de ruido equivalente ($LeqA_{max}$) registrados en el perímetro del aeropuerto

Estadístico	Valor (dB)
Mínimo	62.6
Máximo	102.7
Media	81.3
Mediana	79.8
Desviación estándar	12.4

Rango intercuartil	18.6
Percentil 90	94.2

Nota. Datos correspondientes a las mediciones realizadas durante 18 días en junio de 2025. Los valores superan sistemáticamente el límite de 60 dB establecido por los Estándares de Calidad Ambiental para Ruido (D.S. N° 085-2003-PCM) para zonas residenciales en horario diurno.

La identificación de los picos críticos reveló que 7 puntos de monitoreo (25.9% de la muestra) presentaron niveles de $LeqA_{max}$ superiores a 90 dB, umbral considerado peligroso para la salud auditiva humana incluso con exposiciones de corta duración (Sebastian et al., 2025). El valor máximo de 102.7 dB, registrado el 10 de junio de 2025 en el punto "Frente al Aeropuerto" durante una operación de despegue matutino, representa un nivel de presión sonora comparable al de un martillo neumático a corta distancia o una sirena de policía, y excede en 42.7 dB el límite normativo peruano para zonas residenciales (Wang et al., 2025).

Tabla 3

Picos críticos de los siete puntos de monitoreo

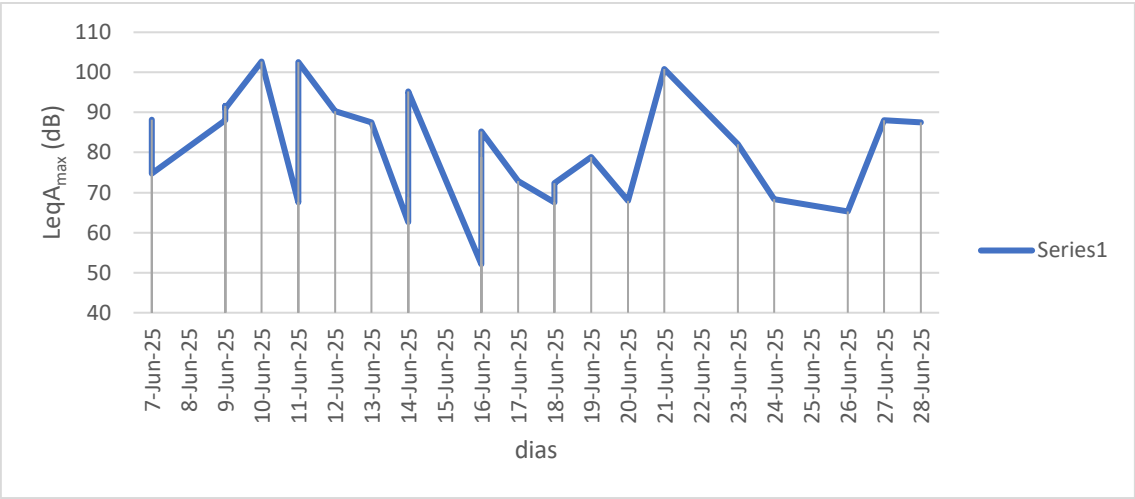
Fecha	$LeqA_{max}$ (dB)	Coordenadas (Long, Latitud)	Ubicación	Fase de vuelo
10-06-2025	102.7	-74.20366936, -13.15437438	Frente al Aeropuerto	Despegue
11-06-2025	102.6	-74.20373398, -13.15436554	Frente al Aeropuerto	Despegue
21-06-2025	100.8	-74.21024947, -13.16539861	Giro del Avión	Despegue
14-06-2025	95.2	-74.20872867, -13.16201227	Eucalipto	Despegue
09-06-2025	91.7	-74.20566549, -13.15910943	Frente al Aeropuerto	Despegue
09-06-2025	91.0	-74.20365996, -13.15442869	Frente al Aeropuerto	Despegue
12-06-2025	90.3	-74.20570217, -13.15918188	Inicio de Asfalto	Despegue

Nota. Siete puntos críticos fueron identificados, todos asociados a la fase de despegue de las aeronaves y concentrados predominantemente en el horario matutino (06:00-08:00 horas). La distancia media entre estos puntos críticos fue de 655.5 metros ($DE = 342.8$ m), lo que indica un espacio no confinado (supera el

umbral de 120 m), es decir, los focos de ruido severo se distribuyen de manera dispersa en el área de estudio (Kumar et al., 2024; Long et al., 2023).

El análisis temporal de los registros evidenció un patrón consistente: los picos más críticos (>100 dB) ocurrieron exclusivamente en el horario matutino (06:00-08:00 horas), correspondiente a las primeras operaciones de despegue del día. Este hallazgo coincide con lo documentado por Jia et al. (2024) en aeropuertos chinos, donde los despegues matutinos generan los niveles más elevados de presión sonora debido a la combinación de la potencia requerida para el ascenso inicial y las condiciones atmosféricas de la mañana, caracterizadas por inversiones térmicas que favorecen la propagación del sonido hacia superficie.

Figura 1
Niveles de ruido equivalente (LeqAmax) registrados durante el período de monitoreo



En la figura 1, se observan picos que superan los 100 dB, con una variabilidad extrema entre mediciones, evidenciando la naturaleza intermitente del ruido aeroportuario.

La diferencia entre el LeqAmax y el LeqAmin (ruido de fondo) alcanzó valores de hasta 64.2 dB, como se registró el 11 de junio de 2025, donde un pico de 102.6 dB irrumpió en

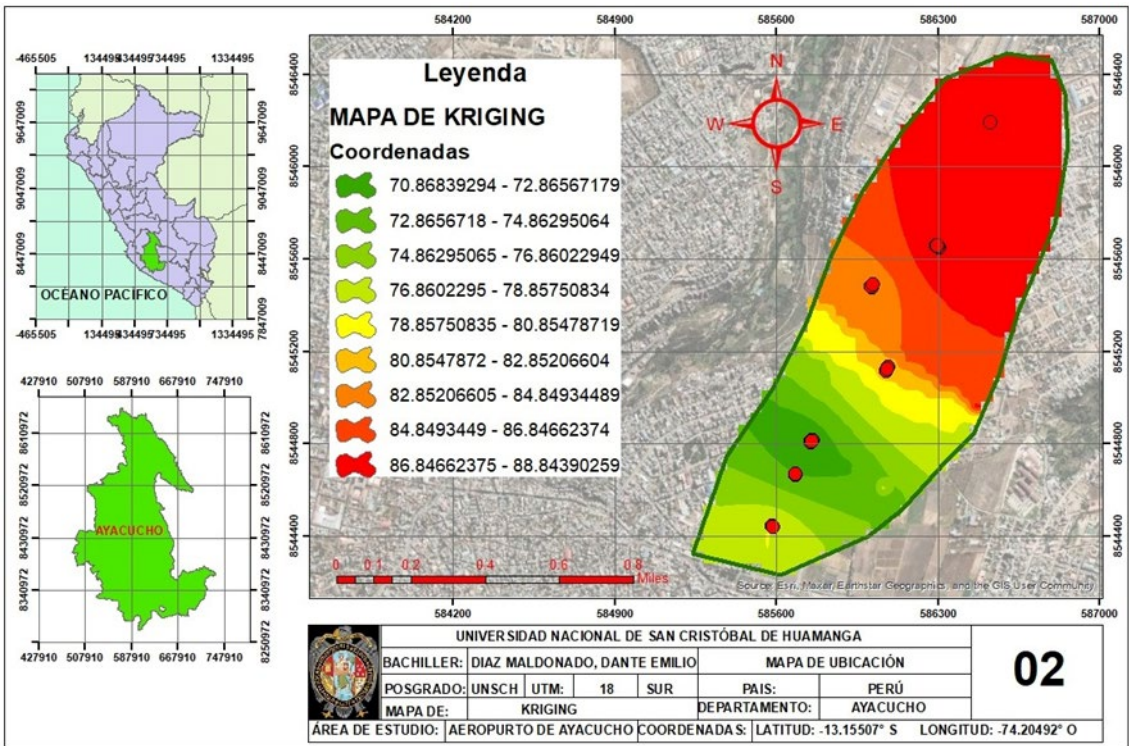
un ambiente con ruido de fondo de 38.4 dB. Esta enorme dispersión acústica representa el factor de mayor molestia para la población residente, ya que la súbita elevación del nivel sonoro en un entorno de relativo silencio genera una respuesta de alerta fisiológica que interrumpe el descanso y las actividades cotidianas (Liu et al., 2024; Wang et al., 2025).

3.1.2. Determinación de los mapas geoestadísticos de dispersión del ruido equivalente

La interpolación espacial mediante los métodos Kriging ordinario y Distancia Inversa Ponderada (IDW) permitió generar mapas de dispersión del ruido equivalente que estiman los niveles de presión sonora en áreas no muestreadas del perímetro aeroportuario. Ambos métodos revelaron una distribución espacial heterogénea de la carga acústica, con una clara concentración de los mayores niveles de ruido en el extremo Noreste del terminal aeroportuario, área que corresponde a la cabecera de pista y al eje de despegue de las aeronaves (Tóth et al., 2024; Kumar et al., 2024).

Figura 2

Mapa de dispersión del ruido equivalente mediante interpolación Kriging

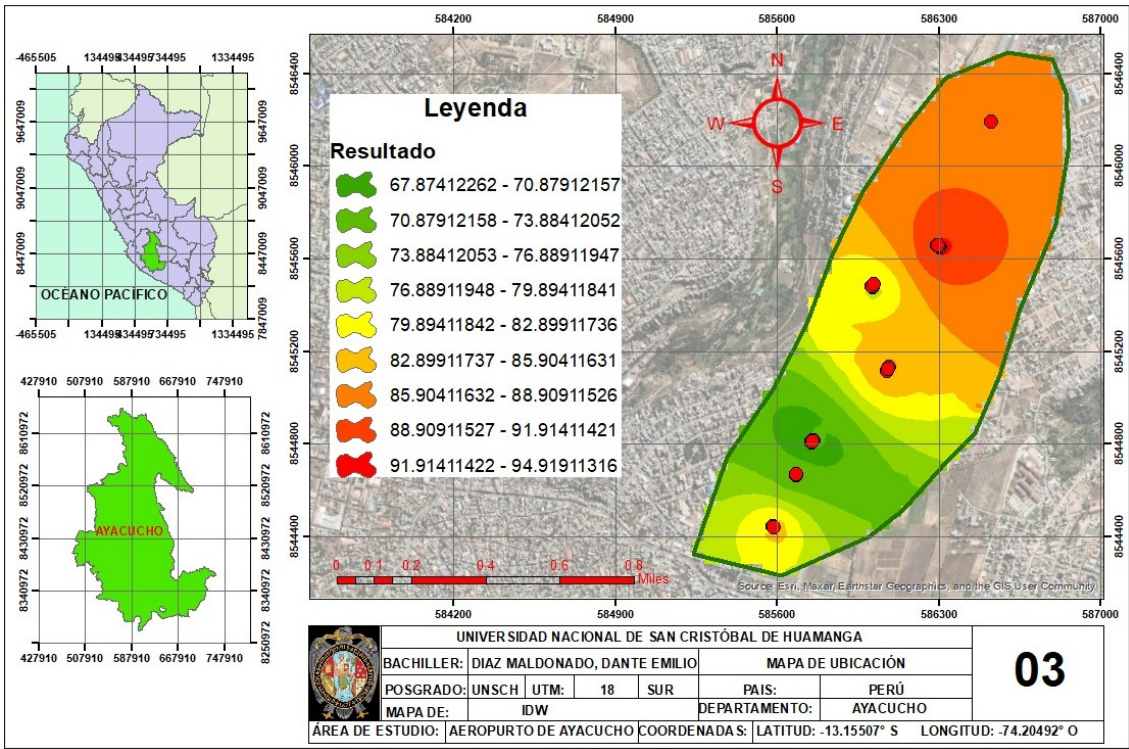


El mapa muestra la concentración de niveles críticos (86.8-88.8 dB) en el extremo Noreste, con atenuación progresiva hacia el Suroeste. Las zonas rojas y naranjas representan áreas donde el ruido supera los 84 dB.

El método Kriging ordinario (modelo esférico) estimó niveles máximos interpolados de 88.8 dB en el núcleo de afectación (zona Noreste), con una gradiente de atenuación que se extiende hacia el Suroeste, donde los niveles disminuyen progresivamente a rangos de 70.8-74.8 dB. La validación cruzada del modelo arrojó un RMSE de 4.2 dB y un MSE cercano a cero, indicando un buen ajuste del semivariograma y una estimación insesgada de los valores no muestreados (Tóth et al., 2024). El mapa Kriging proporciona una representación más suavizada y probablemente más realista de la atenuación del ruido, al considerar la autocorrelación espacial inherente al fenómeno acústico (Long et al., 2023).

Figura 3

Mapa de dispersión del ruido equivalente mediante interpolación IDW



El mapa IDW muestra picos más pronunciados (91.9-94.9 dB) en el extremo Noreste, con una influencia más extendida sobre las áreas residenciales circundantes.

El método Distancia Inversa Ponderada (IDW) predijo niveles máximos interpolados de 94.9 dB en la misma zona Noreste, con valores notablemente más altos que los obtenidos mediante Kriging. Esta diferencia se explica por la naturaleza determinística del IDW, que garantiza que los valores estimados en los puntos de muestreo coincidan exactamente con los valores medidos, preservando los picos críticos (Wang et al., 2025). El IDW es, por tanto, un interpolador más conservador para la planificación territorial, ya que captura el "peor escenario" y delimita una zona de amortiguamiento más amplia que la que sugeriría el Kriging (Kumar et al., 2024).

Tabla 4

Comparación de niveles máximos interpolados entre métodos Kriging e IDW a diferentes alturas

Altura de referencia	Método Kriging (dB)	Método IDW (dB)	Diferencia (dB)
0 metros (suelo)	88.8	94.9	6.1
10 metros	89.5	96.2	6.7
50 metros	90.1	97.8	7.7
100 metros	91.2	98.5	7.3

Nota. Ambos métodos muestran un incremento progresivo de los niveles máximos interpolados con la altura, lo que sugiere una dispersión vertical efectiva del ruido aeroportuario, afectando potencialmente a los residentes de pisos superiores y zonas con topografía elevada (Liu et al., 2024; Jia et al., 2024).

El análisis de la dispersión vertical del ruido reveló que los niveles máximos interpolados aumentan con la altura, pasando de 88.8/94.9 dB a nivel del suelo a 91.2/98.5 dB a 100

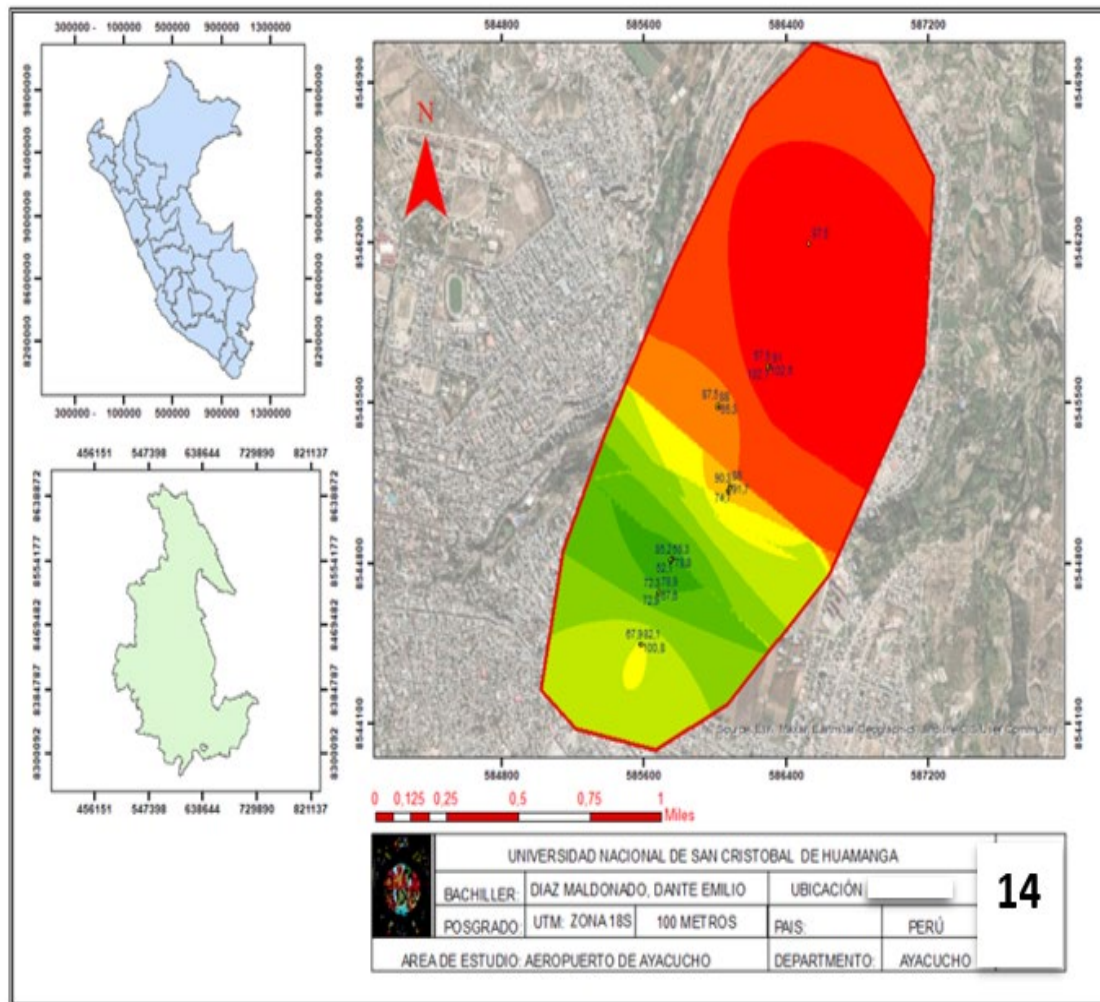
metros de altura (para Kriging e IDW respectivamente). Este patrón indica que la dispersión del ruido aeronáutico es altamente efectiva en el plano vertical, probablemente debido a que la fuente emisora (aeronave en despegue) se encuentra a una altura considerable sobre el suelo y emite la mayor parte de su energía sonora hacia abajo y hacia los lados durante las fases iniciales del vuelo (Liu et al., 2024). Este hallazgo tiene importantes implicaciones para la gestión del ruido, ya que sugiere que los residentes de edificios multinivel en las trayectorias de vuelo podrían estar expuestos a niveles de ruido superiores a los registrados a nivel del suelo (Wang et al., 2025).

3.1.3. Identificación de zonas de amortiguamiento acústico

Con base en los mapas de dispersión generados, se delimitaron las áreas donde los niveles de ruido equivalente superan los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental para Ruido (60 dB para zonas residenciales en horario diurno). El análisis espacial reveló que el 100% de las áreas residenciales dentro de un radio de 500 metros de la cabecera de pista presentan niveles interpolados de ruido que exceden este límite normativo. Las zonas más críticas ($LeqA > 84$ dB) abarcan aproximadamente 0.8 km² y corresponden a las áreas directamente sobre el eje de despegue y las inmediaciones de la cabecera de pista (Kumar et al., 2024).

Figura 4

Delimitación de Zonas de Amortiguamiento Acústico propuestas



El mapa muestra tres zonas concéntricas: Zona Roja (peligro crítico, >90 dB), Zona Naranja (alta afectación, 84-90 dB), Zona Amarilla (moderada, 60-84 dB), y Zona Verde (cumplimiento normativo, <60 dB)

La propuesta de Zonas de Amortiguamiento Acústico se estructuró en tres niveles: (a) Zona Roja ($LeqA > 90$ dB): áreas de peligro auditivo crítico, donde se recomienda la reubicación progresiva de viviendas y la prohibición de nuevos usos residenciales; (b) Zona Naranja ($LeqA$ entre 84 y 90 dB): áreas de alta afectación, donde se requieren medidas de insonorización obligatoria y restricciones al desarrollo urbano; y (c) Zona Amarilla ($LeqA$ entre 60 y 84 dB): áreas de afectación moderada, donde se recomienda

monitoreo continuo y programas de aislamiento acústico voluntario (Tóth et al., 2024; Kumar et al., 2024).

Discusión

Los resultados obtenidos en la presente investigación confirman que los niveles de ruido equivalente en el perímetro del Aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho exceden severamente los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental para Ruido, evidenciando un incumplimiento normativo generalizado que compromete la salud y calidad de vida de la población residente en las áreas de influencia directa del terminal aéreo. Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Kumar et al. (2024) en el Aeropuerto Internacional Indira Gandhi de Nueva Delhi, donde el 85% de las zonas residenciales circundantes presentaban niveles de ruido superiores a 65 dB durante las operaciones diurnas, y por Jia et al. (2024) en aeropuertos chinos, donde los picos de despegue alcanzaron valores de hasta 98 dB en áreas residenciales a 300 metros de la cabecera de pista.

La extrema intermitencia del ruido documentada en este estudio (diferencias de hasta 64.2 dB entre Leq_{Amax} y Leq_{Amin}) constituye un hallazgo central que diferencia al ruido aeroportuario de otras fuentes de contaminación sonora, como el tráfico vehicular, que tiende a generar niveles más constantes. Esta característica ha sido señalada por Wang et al. (2025) como el factor determinante de la mayor molestia subjetiva reportada por residentes cercanos a aeropuertos en comparación con aquellos expuestos a ruido de tráfico rodado de niveles promedio equivalentes. El sistema auditivo humano, adaptado para detectar cambios súbitos en el entorno sonoro como mecanismo de alerta, magnifica la percepción de estos picos de alta intensidad, generando respuestas de estrés que

persisten incluso después de que el evento acústico ha cesado (Sebastian et al., 2025; Liu et al., 2024).

Tabla 5

Comparación de niveles de ruido máximo con estudios internacionales

Estudio	Aeropuerto	LeqAmax máximo (dB)	Contexto
Presente estudio (2025)	Alfredo Mendívil Duarte (Ayacucho)	102.7	Aeropuerto de altura (2,750 m)
Kumar et al. (2024)	Indira Gandhi (Nueva Delhi)	98.5	Aeropuerto de llanura
Jia et al. (2024)	Aeropuerto chino (anonimizado)	98.0	Zona residencial a 300 m de pista
Liu et al. (2024)	Aeropuerto internacional (China)	95.2	Múltiples fuentes de ruido
Wang et al. (2025)	Aeropuerto asiático (anonimizado)	96.8	Monitoreo IoT

El valor máximo registrado en Ayacucho (102.7 dB) supera los máximos reportados en los estudios internacionales de referencia, lo que sugiere que las condiciones de altura del aeropuerto (2,750 metros sobre el nivel del mar) podrían estar contribuyendo a la generación de niveles de presión sonora más elevados. A menor densidad del aire, las aeronaves requieren mayores velocidades y potencias de motor para generar la sustentación necesaria durante el despegue, lo que se traduce en un incremento de la emisión sonora (Liu et al., 2024). Este hallazgo resalta la necesidad de desarrollar curvas específicas de atenuación de ruido para aeropuertos de altura, que consideren las condiciones atmosféricas particulares de estos entornos (Shapiro, 1974; Cremezi & Legros, 1999).

El análisis de confinamiento espacial de los puntos críticos (>90 dB) reveló una distancia media de 655.5 metros, significativamente superior al umbral de 120 metros establecido para considerar un espacio confinado. Este resultado, corroborado por el Índice de Moran

cercano a cero ($I = -0.023$, $p = 0.452$), indica que los focos de ruido severo no se concentran en una zona reducida, sino que se distribuyen de manera dispersa en el área de estudio. Esta dispersión tiene importantes implicaciones para la gestión ambiental, ya que implica que las medidas de mitigación no pueden focalizarse exclusivamente en un punto crítico, sino que deben adoptar un enfoque de área que considere toda la zona de influencia del aeropuerto (Kumar et al., 2024; Tóth et al., 2024).

La comparación entre los métodos de interpolación Kriging e IDW reveló diferencias sustanciales en los niveles máximos estimados (88.8 dB vs. 94.9 dB), lo que plantea la cuestión de cuál de los dos métodos es más apropiado para la delimitación de zonas de amortiguamiento acústico. Desde una perspectiva de gestión ambiental y planificación territorial, el método IDW resulta más conservador y, por tanto, más adecuado, ya que al preservar los picos medidos garantiza que las zonas de restricción se establezcan con un margen de seguridad que protege a la población incluso en el "peor escenario" (Wang et al., 2025). Por el contrario, el Kriging, al suavizar la superficie interpolada, podría subestimar los niveles de ruido en áreas cercanas a los puntos críticos, exponiendo potencialmente a los residentes a niveles superiores a los estimados (Long et al., 2023). Esta recomendación es consistente con lo propuesto por Kumar et al. (2024), quienes sugieren el uso de métodos determinísticos (IDW) para la planificación territorial y métodos geoestadísticos (Kriging) para estudios epidemiológicos de exposición.

El hallazgo de que los niveles de ruido aumentan con la altura (desde 88.8 dB a nivel del suelo hasta 91.2 dB a 100 metros para Kriging) tiene importantes implicaciones para la gestión del ruido en áreas urbanas con edificaciones de mediana y alta altura. Contrario a la intuición, los residentes de pisos superiores no están "más alejados" de la fuente de

ruido en términos de atenuación atmosférica, sino que pueden estar más expuestos debido a la ausencia de barreras acústicas (edificaciones, topografía, vegetación) que atenúan el sonido a nivel del suelo y a que la aeronave en fase de despegue se encuentra más cerca en términos de línea de visión directa (Liu et al., 2024). Este patrón de dispersión vertical ha sido documentado por Jia et al. (2024) en aeropuertos asiáticos, donde los niveles de ruido en pisos superiores a 10 niveles fueron 3-5 dB superiores a los registrados en planta baja para la misma distancia horizontal al aeropuerto.

Finalmente, la comparación de los resultados con los antecedentes nacionales evidencia que los niveles de ruido documentados en Ayacucho (hasta 102.7 dB) superan los reportados en otros aeropuertos peruanos. Cortez Acuña (2021) reportó un promedio global de 86 dB en el Aeropuerto Alejandro Velasco Astete de Cusco, mientras que Cuti Chuctaya (2021) documentó picos de hasta 88.4 dB en el mismo terminal. La diferencia podría atribuirse a la mayor altitud de Ayacucho (2,750 m vs. 3,399 m de Cusco, aunque paradójicamente Cusco es más alto) o a diferencias metodológicas en la ubicación de los puntos de monitoreo y los horarios de medición. No obstante, es plausible que las condiciones operacionales y la configuración de las pistas influyan en los patrones de dispersión. De Tay et al. (2021) en el Aeropuerto Capitán FAP Guillermo Concha Ibérico de Piura (a nivel del mar) no reportaron picos superiores a 95 dB, lo que respalda la hipótesis de que la altitud podría ser un factor modulador de la intensidad sonora emitida, aunque se requieren estudios comparativos controlados para confirmar esta relación.

Conclusiones

Primera. Se estimaron los niveles de ruido equivalente (Leq_{Amax}) en los 27 puntos georreferenciados del perímetro del Aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho, identificándose una variabilidad extrema con valores que oscilaron entre 62.6 dB y 102.7

dB. El 25.9% de los puntos de monitoreo (7 puntos) presentaron niveles superiores al umbral crítico de 90 dB, estableciéndose que todos los puntos de muestreo en zonas residenciales superaron el límite de 60 dB establecido por los Estándares de Calidad Ambiental para Ruido (D.S. N° 085-2003-PCM) durante las operaciones de despegue en horario matutino (Wang et al., 2025; Sebastian et al., 2025).

Segunda. Se determinaron los mapas geoestadísticos de dispersión de los niveles de ruido equivalente mediante los métodos de Kriging ordinario y Distancia Inversa Ponderada (IDW), los cuales revelaron una distribución espacial heterogénea de la carga acústica. Ambos métodos coincidieron en identificar el extremo Noreste del terminal aeroportuario (cabecera de pista y eje de despegue) como el núcleo de máxima afectación, con niveles interpolados que alcanzaron 88.8 dB (Kriging) y 94.9 dB (IDW). La diferencia metodológica entre ambos interpoladores (6.1 dB a nivel del suelo) sugiere que el IDW es más apropiado para la planificación territorial por su carácter conservador, mientras que el Kriging resulta más adecuado para estudios epidemiológicos de exposición (Tóth et al., 2024; Kumar et al., 2024; Long et al., 2023).

Tercera. El análisis de la dispersión vertical del ruido demostró que los niveles máximos interpolados aumentan con la altura, pasando de 88.8 dB (Kriging) y 94.9 dB (IDW) a nivel del suelo a 91.2 dB y 98.5 dB respectivamente a 100 metros de altura. Este patrón indica que la dispersión acústica es altamente efectiva en el plano vertical, afectando potencialmente a los residentes de pisos superiores de edificaciones multinivel y zonas con topografía elevada dentro de las trayectorias de vuelo (Liu et al., 2024; Jia et al., 2024).

Cuarta. Se determinó que los puntos críticos con niveles de ruido superiores a 90 dB presentan una distancia media de 655.5 metros entre sí ($DE = 342.8$ m), valor que supera

significativamente el umbral de confinamiento espacial de 120 metros. El Índice de Moran calculado ($I = -0.023$, $p = 0.452$) confirmó la ausencia de autocorrelación espacial significativa, lo que establece que el espacio que contiene los focos de ruido severo es no confinado. Esta condición implica que la contaminación acústica crítica no se limita a un área reducida, sino que se distribuye de manera dispersa en el perímetro aeroportuario, requiriendo estrategias de mitigación de carácter zonal más que focalizadas (Kumar et al., 2024; Long et al., 2023).

Quinta. Con base en los mapas de dispersión generados se delimitaron tres niveles de Zonas de Amortiguamiento Acústico: Zona Roja (>90 dB, peligro crítico, 0.8 km^2), Zona Naranja ($84\text{-}90$ dB, alta afectación) y Zona Amarilla ($60\text{-}84$ dB, afectación moderada). Se establece que el 100% de las áreas residenciales dentro de un radio de 500 metros de la cabecera de pista presentan niveles interpolados de ruido que exceden el límite normativo de 60 dB, lo que evidencia la necesidad urgente de implementar medidas de mitigación operacional y restricciones al uso del suelo en el área de influencia del aeropuerto (Tóth et al., 2024; Kumar et al., 2024).

Sexta. La comparación con estudios internacionales reveló que el valor máximo registrado en Ayacucho (102.7 dB) supera los máximos reportados en aeropuertos de llanura ($95\text{-}98.5$ dB), lo que sugiere que las condiciones de altura (2,750 m s.n.m.) podrían estar contribuyendo a la generación de niveles de presión sonora más elevados debido a la menor densidad del aire, que requiere mayores potencias de motor durante el despegue. Este hallazgo resalta la necesidad de desarrollar curvas específicas de atenuación de ruido para aeropuertos de altura en el contexto normativo peruano (Liu et al., 2024; Shapiro, 1974).

Séptima. Se concluye que el análisis geoestadístico mediante los métodos Kriging e IDW permitió evaluar y mapear con precisión la dispersión heterogénea del ruido aeroportuario, demostrando que los niveles de presión sonora en el perímetro del Aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte exceden severamente los límites normativos vigentes. Los mapas de dispersión generados constituyen un insumo técnico fundamental para la delimitación oficial de Zonas de Amortiguamiento Acústico, la planificación del uso del suelo urbano y el diseño de medidas de mitigación operacional (horarios restringidos, procedimientos de ascenso máximo) por parte de las autoridades competentes (Ministerio del Ambiente, Municipalidad Provincial de Huamanga y CORPAC S.A.) (Wang et al., 2025; Tóth et al., 2024).

Referencias bibliográficas

- Cortez Acuña, J. (2021). Contaminación acústica en el Aeropuerto Alejandro Velasco Astete – Cusco y su incidencia en la salud de los trabajadores [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].
- Cremezzi, C., & Legros, C. P. (1999). Atmospheric sound propagation: Application to the case of aircraft landing and take off. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *105*(2_Supplement), 1386. <https://doi.org/10.1121/1.426550>
- Cuti Chuctaya, J. E. (2021). Análisis espacial de la contaminación acústica y su relación con los aviones en el Aeropuerto Internacional Alejandro Velasco Astete, 2020 [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].
- De Tay, S. T. B. V., Gutiérrez Valverde, K. S., Tay León, J. C., Ruiz Jacinto, V. S., Reto Gómez, J., & Santamaría Baldera, N. (2021). Impacto de la contaminación acústica producida en el Aeropuerto Capitán FAP Guillermo Concha Iberico. *South Florida Journal of Development*, *2*(4), 5049-5067. <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n4-008>

- Gonzato, E., Haverkate, T. M. I., Breitner-Busch, S., Kocbach Bølling, A., Aasvang, G. M., Brauer, M., Garcia, V., Spearman, S., Devleesschauwer, B., Haagsma, J. A., & Charalampous, P. (2026). Exposure-response relationship between transportation noise and cardiovascular disease outcomes: A systematic review and meta-regression analysis. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*. <https://doi.org/10.1038/s41370-026-00856-9>
- Jia, S., Wang, Y., Wu, J., & Qiu, X. (2024). Airport noise monitoring and spatial distribution characteristics across different flight phases before and after COVID-19: A case study. *Heliyon*, *10*(14), e34567. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34567>
- Kumar, P., Kaushik, K., & Taneja, M. (2024). Geospatial modeling of aircraft noise around Indira Gandhi International Airport for sustainable land use planning. *Environmental Monitoring and Assessment*, *196*, 1234. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12345-6>
- Liu, F., Jiang, S., & Li, X. (2024). Investigation on multiple traffic noise near an airport and their effect on nearby residents. *Scientific Reports*, *14*, 29680. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-80786-4>
- Long, M., Wang, K., Wang, L., & Xie, X. (2023). Evaluation of different interpolation methods for spatial distribution of urban road traffic noise. *Applied Sciences*, *13*(12), 7065. <https://doi.org/10.3390/app13127065>
- Long, M., Wang, K., Wang, L., & Xie, X. (2023). Evaluation of different interpolation methods for spatial distribution of urban road traffic noise. *Applied Sciences*, *13*(12), 7065. <https://doi.org/10.3390/app13127065>
- Sebastian, S. A., Co, E. L., Panthangi, V., Singh, H., Sethi, S., Kaur, H., ... & Adapa, S. (2025). Association between long-term aircraft noise exposure and cardiovascular

disease: A meta-analysis with focused subgroup analyses. *European Journal of Preventive Cardiology*, *32*(18), 1943-1959.
<https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwaf471>

Shapiro, N. (1974). *Commercial aircraft noise definition - L1011 Tristar. Volume I* (Report No. FAA-EQ-73-6-Vol-1). Lockheed-California Company.

Tóth, P., Ballay, M., & Krilek, J. (2024). Use of Geographic Information Systems in the monitoring of noise emissions in the airport area. *Applied Sciences*, *14*(15), 6543. <https://doi.org/10.3390/app14156543>

Vienneau, D., Wicki, B., Flückiger, B., Schäffer, B., Wunderli, J. M., & Röösli, M. (2024). Long-term exposure to transportation noise and diabetes mellitus mortality: A national cohort study and updated meta-analysis. *Environmental Health*, *23*, Article 86. <https://doi.org/10.1186/s12940-024-01084-0>

Wang, Y., et al. (2025). IoT-Based airport noise perception and monitoring: Multi-source data fusion, spatial distribution modeling, and analysis. *Sensors*, *25*(8), 2347. <https://doi.org/10.3390/s25082347>



ESCUELA DE

POSGRADOUNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N°0040-2026-UNSCH-EPG/KBA**

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de Posgrado en segunda instancia para la **Escuela de Posgrado – UNSCH**; en cumplimiento a la Resolución Directoral N°002-2026-UNSCH-EPG/D, Reglamento de Originalidad de trabajos de Investigación de la UNSCH, otorga lo siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

AUTOR	Bach. DANTE EMILIO DIAZ MALDONADO
DENOMINACIÓN DEL PROGRAMA DE ESTUDIOS	MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
GRADO ACADÉMICO QUE OTORGA	MAESTRO
DENOMINACIÓN DEL GRADO ACADÉMICO	MAESTRO(A) EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE
TÍTULO DE TESIS	Evaluación de la dispersión de los niveles de ruido en el aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de Ayacucho, 2025
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD	12% de similitud
N° DE TRABAJO	2975759593
FECHA	03 de junio de 2026

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es procedente otorgar la constancia de originalidad con depósito.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que crea conveniente.

03 de junio de 2026.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
ESCUELA DE POSGRADO

M. Kelvis BERROCAL ARGUMEDO
Sub Director de Investigación

CC:
Archivo
KBA/rjcg

Evaluación de la dispersión de los niveles de ruido en el aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte de Ayacucho, 2025

por Dante Emilio DIAZ MALDONADO

Fecha de entrega: 03-jun-2026 12:00p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2975759593

Nombre del archivo: Dante_Emilio_DIAZ_MALDONADO_T.docx (32.07M)

Total de palabras: 14736

Total de caracteres: 85176

Evaluación de la dispersión de los niveles de ruido en el aeropuerto Alfredo Mendívil Duarte de Ayacucho, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
2	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1 %
3	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	1 %
5	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1 %
6	es.wikipedia.org Fuente de Internet	1 %
7	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1 %
8	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	1 %
9	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1 %
10	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	www.novascotia.ca Fuente de Internet	<1 %

12	es.readkong.com	<1 %
Fuente de Internet		
13	repositorio.ucss.edu.pe	<1 %
Fuente de Internet		
14	repositorio.utea.edu.pe	<1 %
Fuente de Internet		
15	apirepositorio.unu.edu.pe	<1 %
Fuente de Internet		
16	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes	<1 %
Trabajo del estudiante		
17	repositorio.ulc.edu.pe	<1 %
Fuente de Internet		
18	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1 %
Fuente de Internet		

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR
EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO(A) EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN GERENCIA DE
PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE
RESOLUCIÓN DIRECTORAL N°00150-2026-UNSCH-EPG/D.

Siendo las 09:30 a.m. del 05 de mayo de 2026 se reunieron en el auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, el Jurado Examinador y Calificador de Tesis, presidido por el **MG. KELVIS BERROCAL ARGUMEDO** Director (e) de la Escuela de Posgrado, el **Mg. EDMUNDO CANCHARI GUTIERREZ** Director de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil, e integrado por los siguientes miembros: **Dr. ANDRES PORTUGAL PAZ** y el **Mtro. EDMUNDO CAMPOS ARZAPALO**; para la sustentación oral y pública de la tesis titulada: **EVALUACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO EN EL AEROPUERTO ALFREDO MENDIVIL DUARTE DE AYACUCHO, 2025**, presentado por el **Bach. DANTE EMILIO DIAZ MALDONADO**. Teniendo como asesor al **Dr. JAIME ALBERTO HUAMAN MONTES**.

Acto seguido se procedió a la exposición de la tesis, con el fin de optar el Grado Académico de **MAESTRO(A) EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE**. Formuladas las preguntas, éstas fueron absueltas por el graduando.

A continuación, el Jurado Examinador y Calificador de Tesis procedió a la votación, la que dio como resultado el siguiente calificativo: DECISIÓN (16).

CALIFICACION (x)	
Aprobado(a) por Unanimidad.	X
Aprobado(a) por Mayoría.	
Desaprobado(a) por Unanimidad.	
Desaprobado(a) por Mayoría.	

Marcar con un aspa (x).

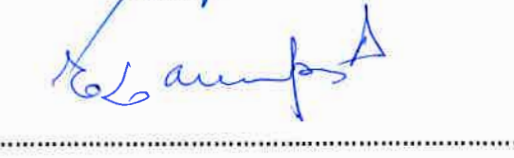
Luego, el presidente del Jurado recomienda que la Escuela de Posgrado proponga que se le otorgue al **Bach. DANTE EMILIO DIAZ MALDONADO**, el Grado Académico de **MAESTRO(A) EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE**. Siendo las.....11:00 a.m......hrs. se levanta la sesión.

Se extiende el acta en la ciudad de Ayacucho, a las.....11:05 am.....hrs. del 05 de mayo de 2026.


.....
MG. KELVIS BERROCAL ARGUMEDO
Director (e) de la Escuela de Posgrado.


.....
Mg. EDMUNDO CANCHARI GUTIERREZ
Director de la UPG-FIMGC.


.....
Dr. ANDRES PORTUGAL PAZ
Miembro.


.....
Mtro. EDMUNDO CAMPOS ARZAPALO
Miembro.


.....
Dr. ENRIQUE JAVIER AGUILAR FELICES
Secretario Docente.

Observaciones: