

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Evaluación y modelamiento del ruido ambiental del casco urbano del distrito de Huaraz, Ancash -2022

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Gian Marco Prudencio Vega

Asesor:

Mag. Joel Hugo Fernandez Rojas

Lima, diciembre de 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Mg. Ing. Joel Hugo Fernandez Rojas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EVALUACIÓN Y MODELAMIENTO DEL RUIDO AMBIENTAL DEL CASCO URBANO DEL DISTRITO DE HUARAZ, ANCASH -2022”** constituye la memoria que presenta el Bachiller Gian Marco Prudencio Vega para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 12 días del mes de diciembre del año 2022.



Joel Hugo Fernandez Rojas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **02 días** día(s) del mes de **diciembre** del año 2022 siendo **las 08:30 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, el secretario: **Ing. Cesar Asbel Aranda Castillo**, y los demás miembros: **Ing. Orlando Alan Poma Porras y la Mg. Iliana Del Carmen Gutierrez Rodríguez**, y el asesor, **Mg. Joel Hugo Fernández Rojas**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Evaluación y modelamiento del ruido ambiental del casco urbano del distrito de Huaraz, Ancash -2022" de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **GIAN MARCO PRUDENCIO VEGA**

conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**
(Nombre del Título profesional) con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **GIAN MARCO PRUDENCIO VEGA**

CALIFICACIÓN	ESC ALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Muy bueno	Sobresaliente

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al candidato a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.



Presidente
Secretario

Mg. Milda Amparo
Cruz Huaranga

Ing. Cesar Asbel
Aranda Castillo

Asesor
Mg. Joel Hugo
Fernández Rojas

Miembro
Ing. Orlando Alan
Poma Porras

Miembro
Mg. Iliana Del Carmen
Gutiérrez Rodríguez



Candidato/a (a)
Gian Marco

Candidato/a (b)

Evaluación y modelamiento del ruido ambiental del casco urbano del distrito de Huaraz, Ancash -2022

Gian Prudencio¹, Orlando Poma², Hugo Fernández³

¹Escuela profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Lima, Perú.

RESUMEN

La contaminación por ruido ambiental es un problema de salud pública que afecta directamente la calidad de vida de la población que se encuentra inmersa en las grandes ciudades. El objetivo de este estudio fue evaluar el ruido ambiental utilizando el método de interpolación Kriging mediante el software ArcGIS 10.5 en el casco urbano del distrito de Huaraz, Ancash. Para el monitoreo de ruido ambiental se tomó una muestra en las siguientes zonas: protección especial, residencial y comercial, mediante un sonómetro se midió el nivel de ruido en diferentes horarios (diurno y nocturno) de mayor congestión vehicular: de 7:00-10:00 am y 6:00-9:00 pm, se midió en 52 puntos durante 6 días, se contabilizó el número de vehículos por cada punto y posteriormente se elaboró mapas de ruido. En cuanto a los resultados, para el horario diurno 9 puntos (17.31%) superaron la normativa para ruido, y aumentó para el horario nocturno, ya que se registró 17 puntos (32.69%) que excedieron los Estándares de Calidad Ambiental para ruido (D.S N°085-2003-PCM). En el análisis estadístico se demostró que existe una correlación directa positiva entre el nivel de ruido (LAeq) y el flujo vehicular ($p < 0.05$), con respecto al horario diurno ($r = 0.65$), de la misma manera para el horario nocturno ($r = 0.59$), lo que se interpreta que ante el incremento del flujo vehicular aumenta el nivel de ruido, lo que genera contaminación de ruido ambiental. Finalmente, la aplicación del método de interpolación kriging demostró que la población se encuentra en riesgo bajo, respecto a la contaminación acústica, lo cual puede ser tolerable para los transeúntes de la zona.

Palabras clave: flujo vehicular, contaminación acústica, kriging, ruido ambiental. GIS.

ABSTRACT

Environmental noise pollution is a public health problem that directly affects the quality of life of the population living in large cities. The objective of this study was to evaluate the environmental noise using the Kriging interpolation method using the ArcGIS 10.5 software in the urban area of the Huaraz district, Ancash. For the monitoring of environmental noise, a sample was taken in the following areas: special protection, residential and commercial, through a sound level meter the noise level was measured at different times (day and night) of greater vehicular congestion: from 7:00-10:00 am and 6:00-9:00 pm, it was measured in 52 points during 6 days, the number of vehicles for each point was counted and noise maps were subsequently elaborated. Regarding the results, for the daytime hours, 9 points (17.31%) exceeded the noise regulations, and increased for the nighttime hours, since 17 points (32.69%) exceeded the Environmental Quality Standards for noise (D.S N°085-2003-PCM). In the statistical analysis it was shown that there is a positive direct correlation between the noise level (LAeq) and the vehicular flow ($p < 0.05$), with respect to the daytime hours ($r = 0.65$), in the same way for the night hours ($r = 0.59$), which is interpreted as an increase in vehicular flow increases the noise level, which generates environmental noise pollution. Finally, the application of the kriging interpolation method showed that the population is at low risk, regarding noise pollution, which may be tolerable for passers-by in the area.

Keywords: vehicular flow, noise pollution, kriging, environmental noise.

INTRODUCCIÓN

La contaminación acústica a nivel mundial se ha convertido en un problema de salud pública (Tang, 2022), esto se debe al crecimiento poblacional que está relacionado con el tráfico vehicular, actividades comerciales e industriales, calles sobrepobladas de comercio ambulatorio, zonas recreativas, principalmente por el tráfico vehicular en ciudades sobrepobladas. Según la O.C.D.E (Organización para la Economía, Cooperación y Desarrollo), 130 millones de personas se encuentran con nivel sonoro superior a 65 dB, el límite aceptado por la O.M.S (organización Mundial de la Salud) y otros 300 millones residen en zonas de incomodidad acústica, es decir entre 55 y 65 dB (Llanos, 2016).

De acuerdo a la Organización Mundial de la salud (OMS) la contaminación por ruido es la segunda causa ambiental que genera problemas de salud, encontrándose por delante la contaminación atmosférica (material particulado), puesto que se encuentra inmersa en las grandes ciudades, siendo Japón el país más ruidoso del mundo, seguida de España y su capital Madrid como una las más ruidosas del mundo. Según la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA), en el continente europeo más de 100 millones de personas se encuentran expuestas a niveles superiores de 55 decibeles en horario diurno, mientras que 72 millones están expuestas a sobre los 50 decibeles (Rueda, 2018).

La contaminación acústica se ha convertido en un problema de salud pública, principalmente en las grandes ciudades, donde se desarrollan las actividades productivas como la construcción, el transporte y el incremento poblacional (Salinas, 2017). Estudios recientes manifiestan que los transeúntes expuestos a altos niveles de ruido podrían sufrir daños severos afectando su salud, ya que su frecuente exposición produce molestias, efectos cardiovasculares y metabólico, trastornos de sueño y deficiencias en el aprendizaje de los niños (Martínez, 2018). La contaminación acústica del tráfico en las ciudades modernas es el segundo mayor riesgo ambiental para la salud en Europa Occidental (Fletcher, 2022)

Para este tipo de investigación resulta útil emplear sistemas de información geográfica (GIS), existen varios programas de geoprociamiento (SoundPLAN, AERMOD, RStudio, ArcGIS, etc.), para la generación de mapas de ruido se aplica este tipo de tecnología (Henríquez, 2015), mediante la aplicación de herramientas de interpolación tales como IDW y Kriging, siendo este último el estimador más usado y al que mejor se ajustan los datos al momento de realizar la modelización (Velázquez, 2017).

En el Perú los niveles de presión sonora superan los 75 db, principalmente en las ciudades, esto debido a las actividades industriales de la población y en gran medida al parque automotor, generando a su vez un problema grave a la población circundante (Ordóñez, 2021). En un estudio realizado por la Oefa en el 2015, evidenció que en la ciudad de Lima Metropolitana el nivel de presión sonora se encontraba en 81,6 y 84 db, ya que de acuerdo al ECA para ruido (DS N°085-2003-PCM) estos valores exceden los límites permisibles, a su vez que se convierten en un problema grave para los transeúntes (OEFA, 2016). Estos datos identifican como fuente principal de ruido ambiental al tráfico vehicular en la zona de estudio.

Por estas razones es necesario realizar una evaluación del ruido vehicular en el casco urbano del distrito de Huaraz, para tal fin se realizará un monitoreo y los datos serán procesados mediante el software ArcGIS 10.5 y convertidos en mapas de ruido, que permitan brindar información detallada sobre los niveles de presión sonora causada por vehículos, con el fin de aportar en investigaciones futuras a este problema tan particular.

Por ello nuestro objetivo fue la de analizar y modelar el ruido ambiental en las calles principales del casco urbano del distrito de Huaraz, Ancash.

los puntos de monitoreo, se clasificó de acuerdo las zonas establecidas: Zona Comercial, Residencial y de Protección Especial, estos puntos se observan en la figura 2.

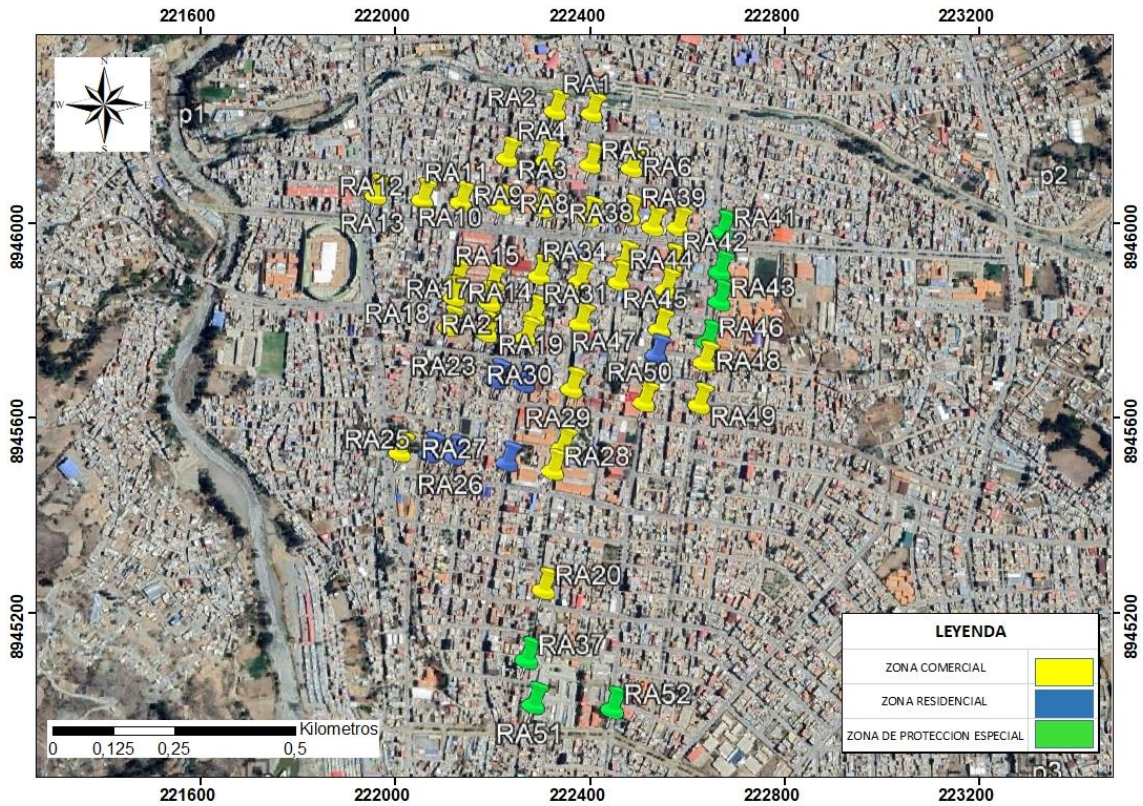


Figura 2. Ubicación de los 52 puntos de medición de ruido ambiental

Monitoreo

Para el estudio de ruido ambiental se cumplieron las pautas del Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental AMC N° 031-2013-MINAM/OGA (MINAM, 2014)

Equipo a utilizar

Se utilizó un sonómetro de clase 1, marca Aihua instruments, modelo AWA 6228, número de serie: 106032, calibrado por INACAL, el equipo incluye trípode y cortaviento, se calibró previamente, se verificará que cumpla con las exigencias señaladas en las normas de la comisión electrotécnica internacional IEC 61672-1:2002 (Ruiz, 2003). Con lo establecido en el D.S. N° 085-2003-PCM el nivel de ponderación de frecuencia fue A, cuyo comportamiento se asemeja a la respuesta del oído humano, la ponderación de tiempo fue "Fast" (Berjano, 2019).

Ejecución del Monitoreo de Ruido Ambiental

El sonómetro se sostuvo en un trípode y se ubicó en el límite de la calzada, a una distancia de 3 metros de la fuente y a una altura de 1.5 m (MINAM, 2014). El tiempo de medición en cada punto fue de 10 minutos tanto en el horario diurno y nocturno, tiempo suficiente para estabilizar el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación A (LAeqT), también se midió el nivel de ruido mínimo (Lmin) y máximo (Lmax). Durante la medición no intervino ningún

sonido residual tampoco hubo presencia de factores climáticos que pudiese alterar los resultados. Las mediciones se llevaron a cabo en las horas pico, dos horarios: diurno (7:00-10:00am) y nocturno (6:00-9:00 pm) de acuerdo al D.S N°085-2003-PCM, durante un periodo de 6 días (de domingo a viernes), asimismo en cada punto de medición se contabilizaron la cantidad de vehículos (MTC, 2003).

Cuadro 1. Puntos de Medición de Monitoreo de Ruido Ambiental.

PUNTO	DESCRIPCIÓN	Zonificación según ECA	Coodernadas UTM		Distrito
			ESTE	NORTE	
RA1	Ca. 13 de Diciembre/ Av. Fitzcarrald	Comercial	222392	8946191	Huaraz
RA2	Jr. San Cristóbal / Ca. 13 de Diciembre	Comercial	222314	8946196	Huaraz
RA3	Ca. Caraz/ Av. Hualcan	Comercial	222213	8946092	Huaraz
RA4	Jr. San Cristóbal / Ca. Caraz	Comercial	222296	8946087	Huaraz
RA5	Av. Fitzcarrald / Ca. Caraz	Comercial	222389	8946079	Huaraz
RA6	Ca. Caraz / Jr. Comercio	Comercial	222476	8946071	Huaraz
RA7	Jr. Comercio / Av. Raymondi	Comercial	222471	8945967	Huaraz
RA8	Av. Fitzcarrald / Av. Raymondi	Comercial	222385	8945964	Huaraz
RA9	Av. Raymondi / Jr. San Cristóbal	Comercial	222288	8945982	Huaraz
RA10	Av. Hualcan / Av. Raymondi	Comercial	222201	8945989	Huaraz
RA11	Av. Raymondi / Jr. Huascarán	Comercial	222117	8945996	Huaraz
RA12	Pje. Huandoy / Av. Raymondi	Comercial	222036	8946001	Huaraz
RA13	Av. Raymondi / Av. Confraternidad Internacional Oeste	Comercial	221938	8946010	Huaraz
RA14	Av. 27 de Noviembre / Pje. José De La Mar	Comercial	222110	8945827	Huaraz
RA15	Pje. José De La Mar / Jr. Juan de la Cruz Romero	Comercial	222183	8945817	Huaraz
RA16	Pje. Julian de Morales / Av. 27 de Noviembre	Comercial	222106	8945792	Huaraz
RA17	Jr. Juan de la Cruz Romero / Pje. Julian de Morales	Comercial	222180	8945781	Huaraz
RA18	Ca. Mariscal Caceres / Av. 27 de Noviembre	Comercial	222096	8945729	Huaraz
RA19	Jr. Juan de la Cruz Romero / Ca. Mariscal Caceres	Comercial	222174	8945717	Huaraz
RA20	Jr. Federico Sal y Rosas / Av. Toribio Luzuriaga	Protección Especial	222294	8945192	Huaraz
RA21	Ca. Mariscal Caceres / Jr. San Martín	Comercial	222255	8945707	Huaraz
RA22	Jr. San Martín / Jr. José de Sucre	Residencial	222252	8945612	Huaraz

RA23	Jr. Leonisa Lescano / Jr. José de Sucre	Residencial	222193	8945619	Huaraz
RA24	Jr. 28 de Julio / Av. Confraternidad Internacional Oeste	Comercial	221999	8945468	Huaraz
RA25	Av. 27 de Noviembre / Jr. 28 de Julio	Residencial	222060	8945467	Huaraz
RA26	Jr. Juan de la Cruz Romero / Jr. 28 de Julio	Residencial	222110	8945461	Huaraz

PUNTO	DESCRIPCIÓN	Zonificación según ECA	Coodernadas UTM		Distrito
			ESTE	NORTE	
RA27	Jr. 28 de Julio / Jr. San Martín	Residencial	222218	8945448	Huaraz
RA28	Av. Mariscal Toribio Luzuriaga / Jr. 28 de Julio	Comercial	222312	8945432	Huaraz
RA29	Pl. de Armas Huaraz / Av. Mariscal Toribio Luzuriaga	Comercial	222331	8945478	Huaraz
RA30	Av. Mariscal Toribio Luzuriaga / Jr. José de Sucre	Comercial	222350	8945601	Huaraz
RA31	Jr. Julián de Morales / Av. Mariscal Toribio Luzuriaga	Comercial	222368	8945737	Huaraz
RA32	Jr. San Martín / Jr. Julián de Morales	Comercial	222273	8945752	Huaraz
RA33	Jr. José De La Mar / Jr. San Martín	Comercial	222282	8945838	Huaraz
RA34	Av. Mariscal Toribio Luzuriaga / Jr. José De La Mar	Comercial	222366	8945827	Huaraz
RA35	Jr. José De La Mar / Jr. Lucas y Torre	Comercial	222448	8945826	Huaraz
RA36	Pje. Manuel Villarán y Loli / Jr. Lucas y Torre	Comercial	222459	8945868	Huaraz
RA37	Av. Toribio Luzuriaga / Jr. Juan de la Cruz Romero	Protección Especial	222261	8945054	Huaraz
RA38	Av. Raymondi / Pje. Atusparia	Comercial	222519	8945944	Huaraz
RA39	Jr. Simón Bolívar / Av. Raymondi	Comercial	222572	8945943	Huaraz
RA40	Pje. Manuel Villarán y Loli / Jr. Simón Bolívar	Comercial	222557	8945862	Huaraz
RA41	Av. Agustín Gamarra / Av. Raymondi	Protección Especial	222665	8945934	Huaraz
RA42	Pje. Manuel Villarán y Loli / Av. Agustín Gamarra	Protección Especial	222658	8945848	Huaraz
RA43	Av. José De La Mar / Av. Agustín Gamarra	Protección Especial	222657	8945785	Huaraz
RA44	Jr. Simón Bolívar / Av. José De La Mar	Comercial	222546	8945810	Huaraz
RA45	Jr. Julián de Morales / Av. Simón Bolívar	Comercial	222532	8945726	Huaraz
RA46	Av. Agustín Gamarra / Jr. Julián de Morales	Protección Especial	222631	8945700	Huaraz

RA47	Jr. Simón Bolívar / Jr. Bautista	Residencial	222524	8945671	Huaraz
RA48	Jr. Bautista / Av. Agustín Gamarra	Comercial	222624	8945657	Huaraz
RA49	Av. Agustín Gamarra / Jr. José de Sucre	Comercial	222612	8945569	Huaraz
RA50	Jr. Simón Bolívar / Jr. José de Sucre	Comercial	222499	8945573	Huaraz
RA51	Av. Pedro Villon/ Av. Toribio Luzuriaga	Protección Especial	222275	8944966	Huaraz
RA52	Jr. Simón Bolívar/ Av. Pedro Villon	Protección Especial	222432	8944958	Huaraz

Post Monitoreo

Trabajo de gabinete

Con los datos obtenidos, El nivel de ruido vehicular se determinará en cada punto de medición por cada 10 minutos de muestreo, aplicándose la siguiente fórmula:

$$LAeqT = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i}$$

Li: Nivel de Presión Sonora (NPS) ponderado A instantáneo o en un tiempo T de la muestra

i: medido en función "Fast".

n: Cantidad de mediciones en la muestra.

Los valores que se obtuvieron en el trabajo de campo se comparó con el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Ruido D.S 085-2003-PCM, siendo las zonas de aplicación: zonas Comercial, Residencial y de Protección Especial. Los datos de las mediciones realizadas fueron procesados mediante los softwares: Excel 2016, Google Earth Pro, ArcGis 10.5. De los cuales se obtuvieron como resultados tablas, gráficos, mapas, entre otros.

Mapas de ruido

Para la elaboración de mapas de ruido ambiental en el casco urbano del distrito de Huaraz – Ancash, se cumplieron con los lineamientos que establece la norma ISO 1996-2 (capítulo 8 y Anexo B), para el mapeo se utilizará la técnica de procedimiento por muestro, considerando la metodología de cuadrícula o rejilla descrito en la RM N°227 – 2013 – MINAM, y para su representación visual se utilizó el software ArcGIS 10.5 para un mejor análisis e interpretación de los niveles de presión sonora, en los horarios diurno y nocturno. Para la evaluación del comportamiento acústico del área geográfica se aplicó el método de interpolación de Kriging, el cual se basa en la auto correlación espacial de las variables, se considera como el mejor estimador lineal que busca crear superficies continuas a partir de puntos discretos. Además, Murillo (2012) señala que, en comparación con otros métodos de interpolación, este método permite obtener resultados más precisos y coherentes con la variable a interpolar.

Para determinar la auto correlación se usan semivariogramas y vecindades obtenidos a partir de un análisis exploratorio de los datos. Matemáticamente se representa mediante la siguiente fórmula:

$$Z(S) = \mu(S) + \varepsilon(S)$$

$Z(S)$ = variable de interés

$\mu(S)$ = constante desconocida

$\varepsilon(S)$ = errores aleatorios de estimación y S son coordenadas espaciales (x, y)

Análisis Correlacional

Se ejecutó un análisis de relación entre el tránsito vehicular con los niveles de ruido obtenidos en cada punto de medición y el número de vehículos que causaron la contaminación sonora, mediante el Coeficiente de Correlación de Pearson con un nivel de significancia de $p=0.05$, evaluando así el grado de relación directamente proporcional. Los datos fueron procesados mediante el software estadístico RStudio.

RESULTADOS

En las figuras 3 y 4, se detallan los datos obtenidos de los 52 puntos de medición en el horario diurno en el casco urbano del distrito de Huaraz, donde se observa el nivel de presión sonora mínimo (L_{min}), nivel de presión sonora máximo (L_{max}), y el nivel de presión sonora continuo equivalente (L_{Aeq}).

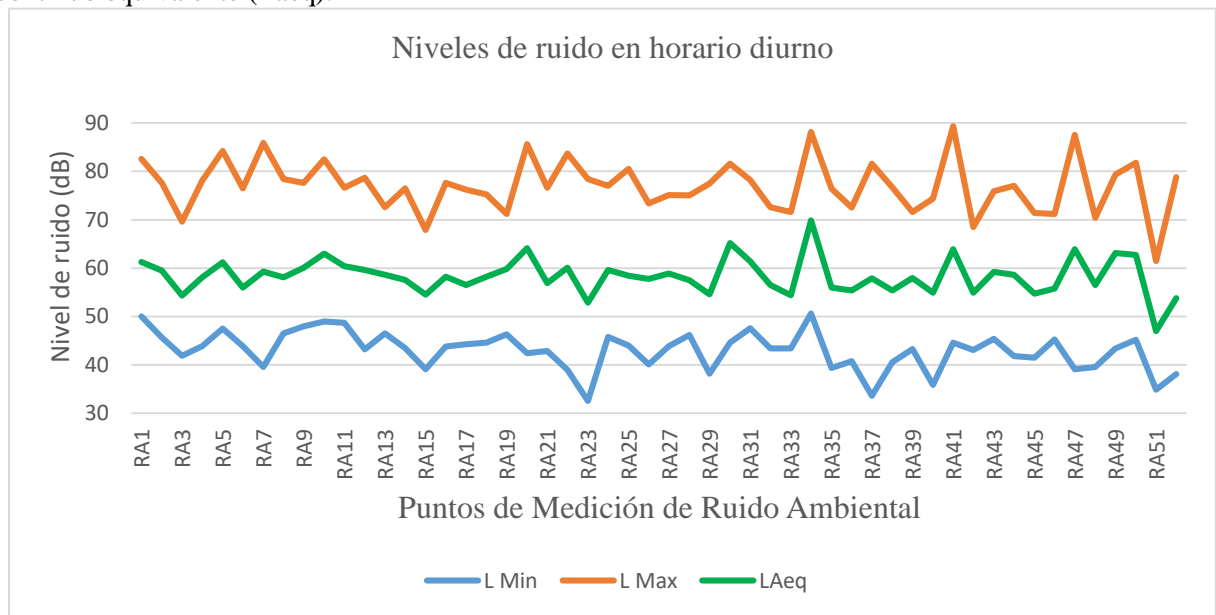


Figura 3. Nivel de presión sonora, L_{min} , L_{max} y L_{Aeq} en horario diurno.

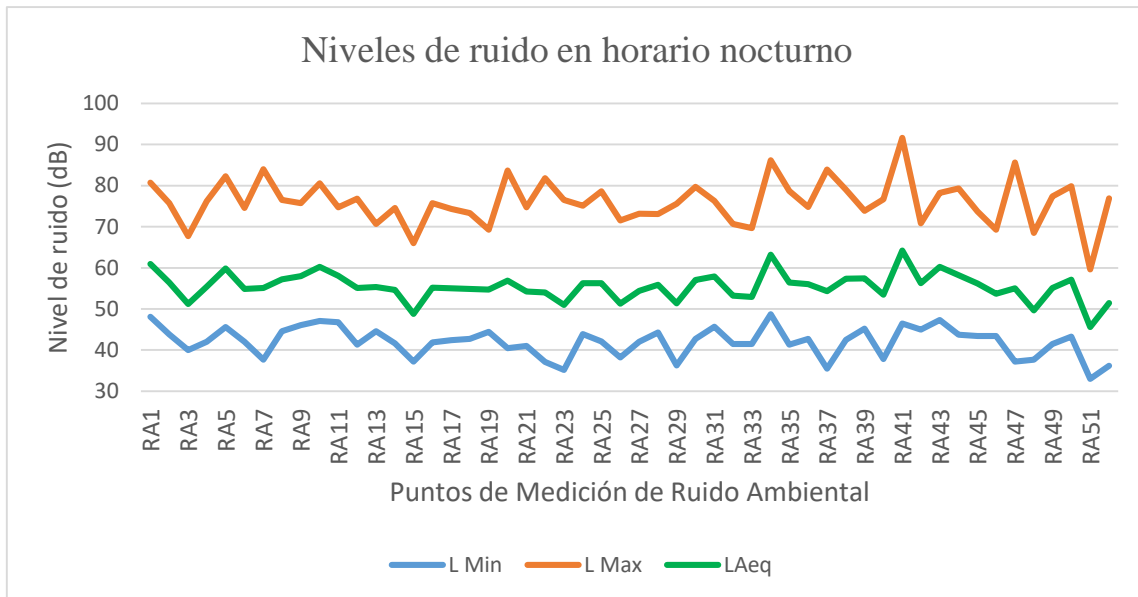


Figura 4. Nivel de presión sonora, Lmin, Lmax y LAeq en horario nocturno.

De acuerdo a los resultados obtenidos las zonas con mayores niveles de presión sonora, fueron la zona residencial y zona de protección especial, y las zonas con menores niveles de presión sonora fue: la zona comercial, estos datos fueron comparados con los valores del Estándar de Calidad Ambiental para ruido D.S. N° 085-2003-PCM.

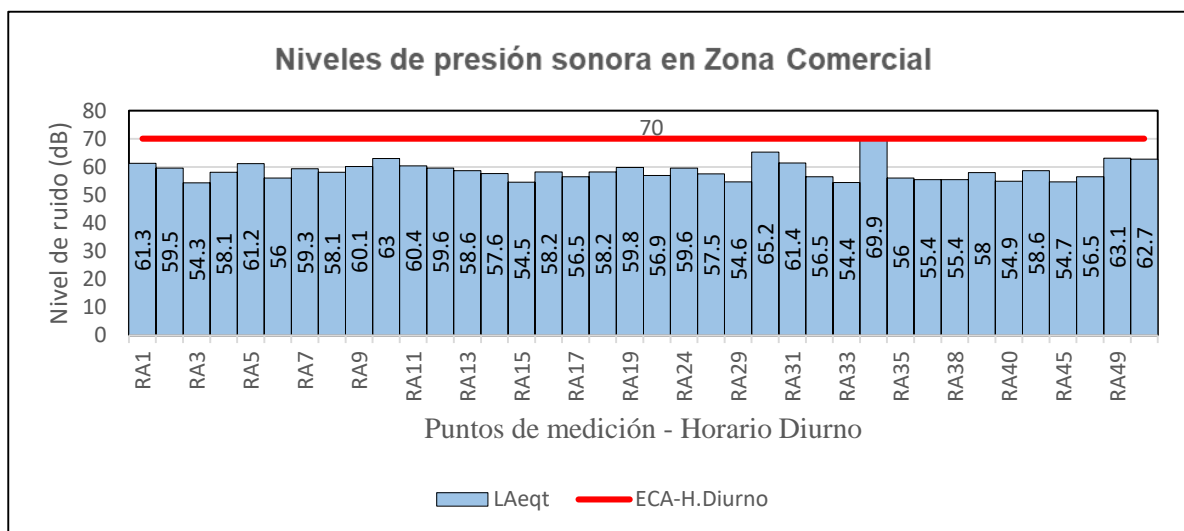


Figura 5. Nivel de ruido comparado con el ECA en horario diurno.

Se tomaron 38 puntos de medición para la zona comercial, de acuerdo a los resultados obtenidos en la figura 5, los niveles de ruido ambiental para el horario diurno se encuentran por debajo de lo establecido en el ECA para ruido equivalente a 70 Db.

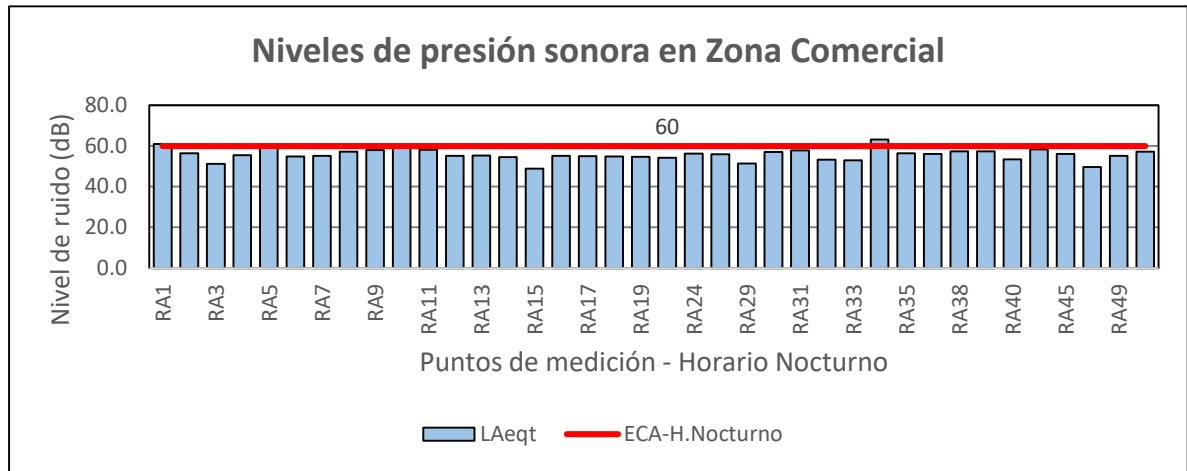


Figura 6. Nivel de ruido comparado con el ECA en horario nocturno.

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 6, para el horario nocturno en la zona comercial, los puntos de medición constaron de 38 puntos, de los cuales 37 de ellos cumplen con los ECA para ruido equivalente a 60 dB, solo en el punto RA34 se encontró un valor de 63.2 dB, que fue el registro más alto.

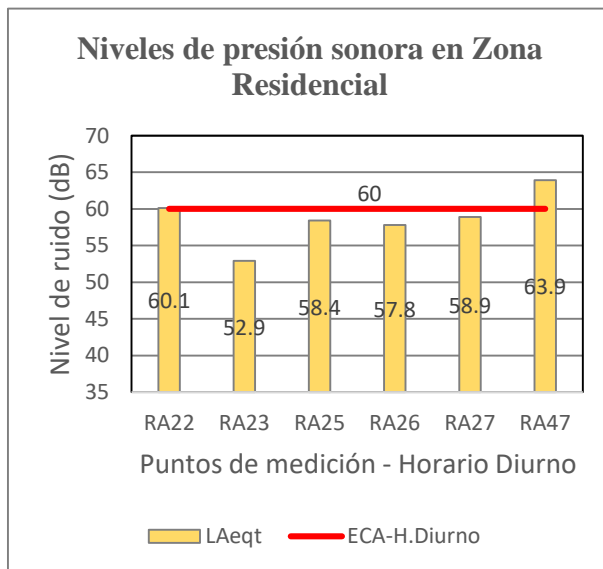


Figura 7. Niveles de ruido comparados con el ECA en el horario diurno.

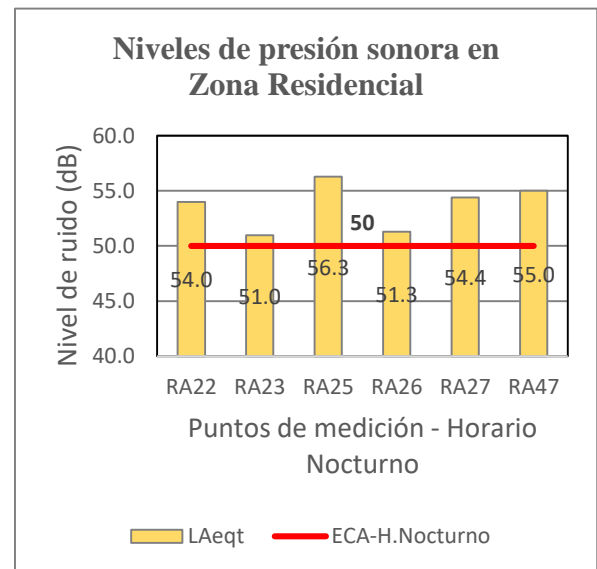


Figura 8. Niveles de ruido comparados con el ECA en el horario nocturno.

En cuanto a la zona residencial, los resultados obtenidos se muestran en las figuras 7 y 8, para el horario diurno, de los 6 puntos medidos, 5 puntos se encuentran por

debajo de la norma para ruido, solo se registró un punto ubicado en el Jr. Simón Bolívar / Jr. Bautista con un valor de 63.9 dB, que sobrepasa los ECA para ruido equivalente a 60dB, con respecto al horario nocturno todos los puntos excedieron los ECA para ruido (50dB), encontrándose el valor más alto de 56.3 dB, situada en la Av. 27 de Noviembre / Jr. 28 de Julio.

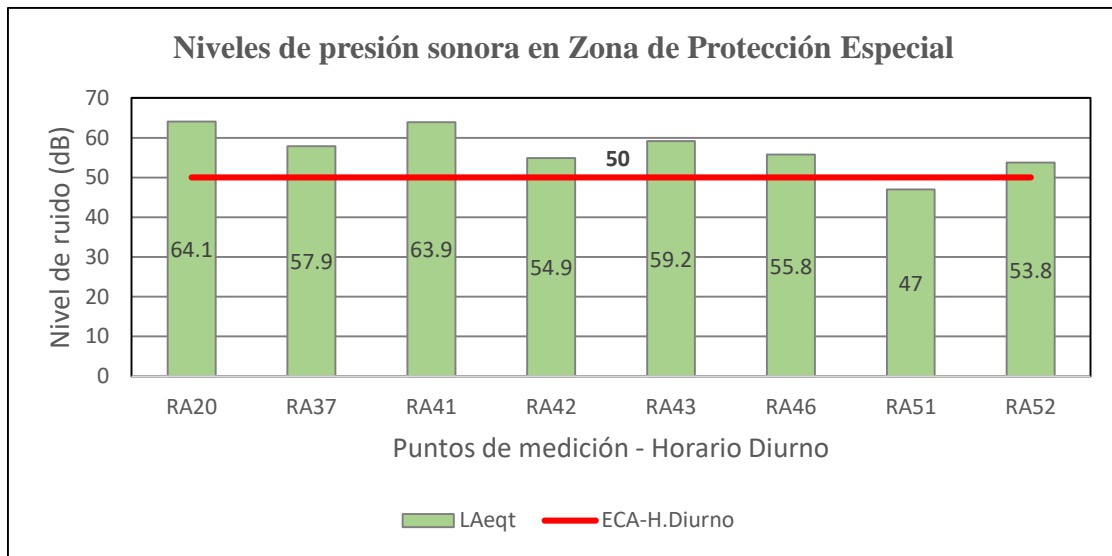


Figura 9. Nivel de ruido comparado con el ECA en horario diurno.

Flujo vehicular y el nivel de ruido

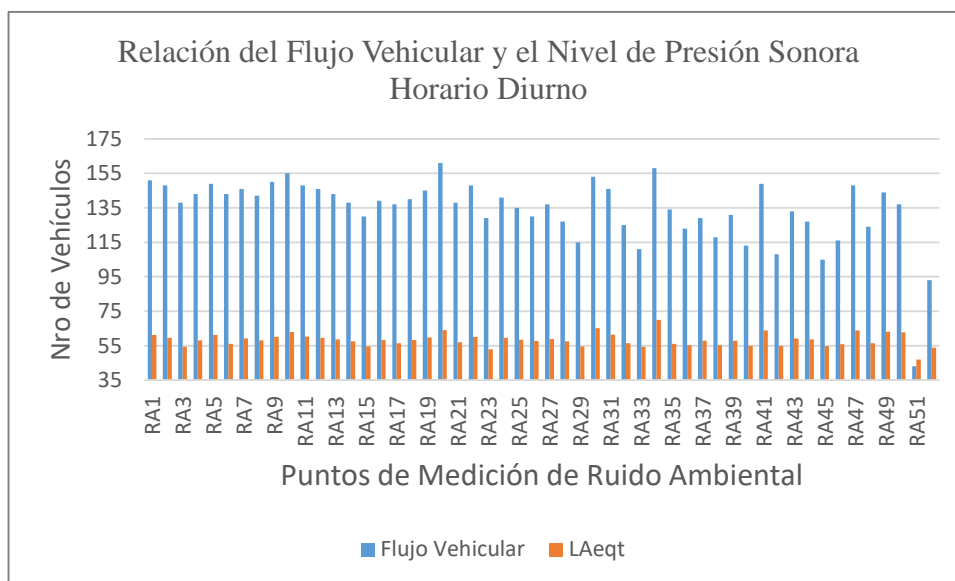


Figura 11. Flujo vehicular en el horario diurno.

En cuanto a la medición del ruido, como se observa en la **figura 11** para el horario diurno el registro más alto de vehículos fue en el punto RA20 (161 unidades) situada en el Jr. Federico Sal y Rosas / Av. Toribio Luzuriaga que pertenece a la zona de protección especial

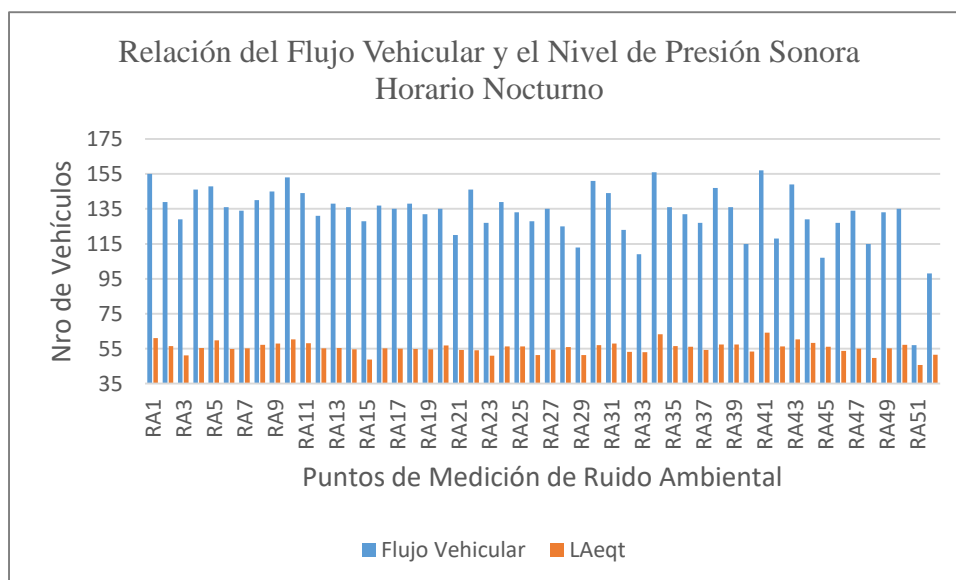


Figura 12. Flujo vehicular en el horario nocturno.

Con respecto al horario nocturno como se visualiza en la **figura 12**, el mayor flujo vehicular (157 unidades) se registra en el punto RA41 ubicada en Av. Agustín Gamarra / Av. Raymond que pertenece a la zona de protección especial.

Mapas de Modelación de Ruido aplicando el método Kriging

De acuerdo a los resultados obtenidos, en la **figura 13** se observa el mapa de ruido ambiental del casco urbano del distrito de Huaraz, perteneciente al horario diurno, los niveles presión sonora varían con respecto a la zonificación establecidos por el ECA para ruido, que van de 47 dB siendo el menor registro, en el mapa está representada de color verde, que se encuentra en el punto RA51, ubicada en la Av. Pedro Villon/ Av. Toribio Luzuriaga (zona de protección especial). Asimismo, el registro con mayor nivel de ruido fue de 69.9 dB, representada de color azul oscuro que se encuentra en el punto RA34 ubicada en la Av. Mariscal Toribio Luzuriaga / Jr. José De La Mar (zona comercial)

Por otra parte, los resultados para el horario nocturno se pueden observar en la figura 14, siendo el de menor registro 45.6 db (representada de color verde) que se encuentra en el punto RA51, situada en la Av. Pedro Villon/ Av. Toribio Luzuriaga (zona de protección especial), así también el mayor registro de nivel de ruido es de 64.2 db (ilustrada de color azul oscuro) situada en el punto RA41, ubicada en la Av. Agustín Gamarra / Av. Raymondi.

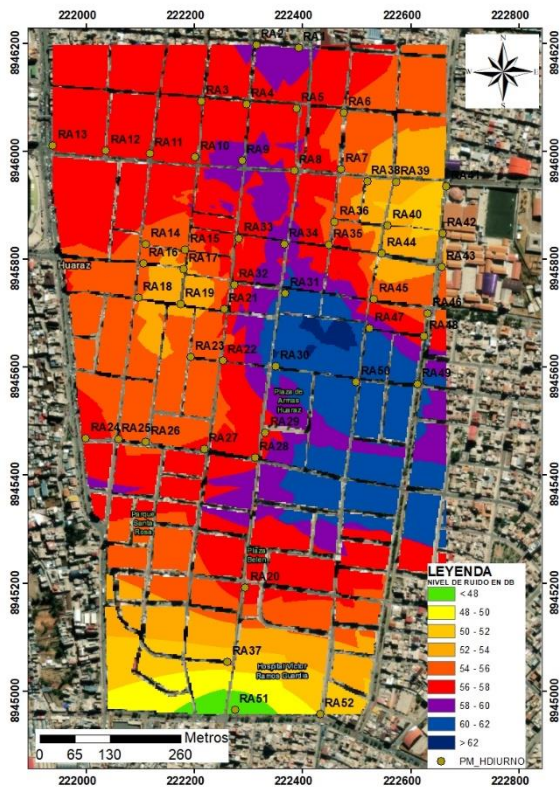


Figura 13. Mapa de Ruido Ambiental aplicando el método Kriging para el horario diurno.

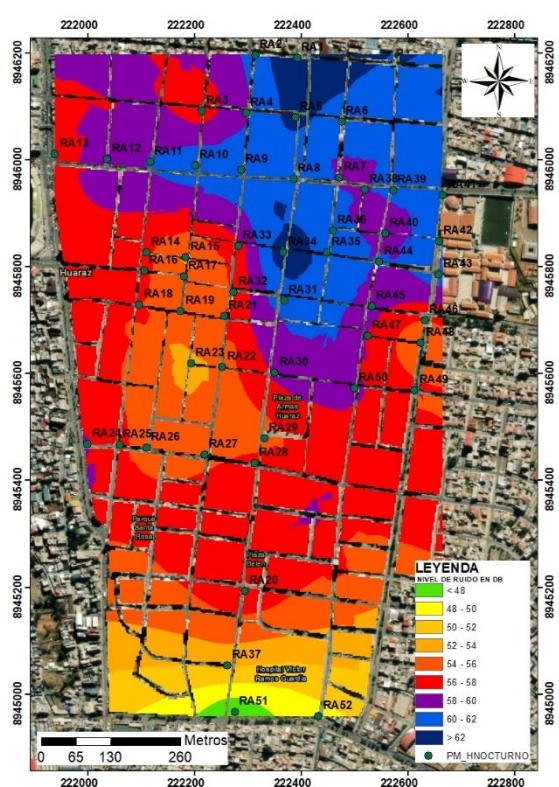


Figura 14. Mapa de Ruido Ambiental aplicando el método Kriging para el horario nocturno.

Análisis Correlacional

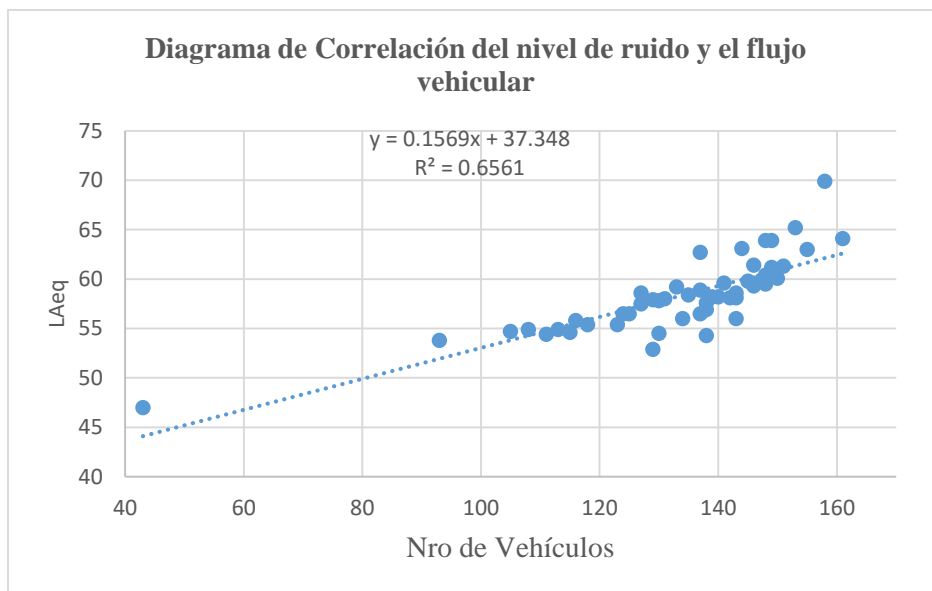


Figura 15. Diagrama de correlación del nivel de ruido y el tránsito vehicular en el horario diurno.

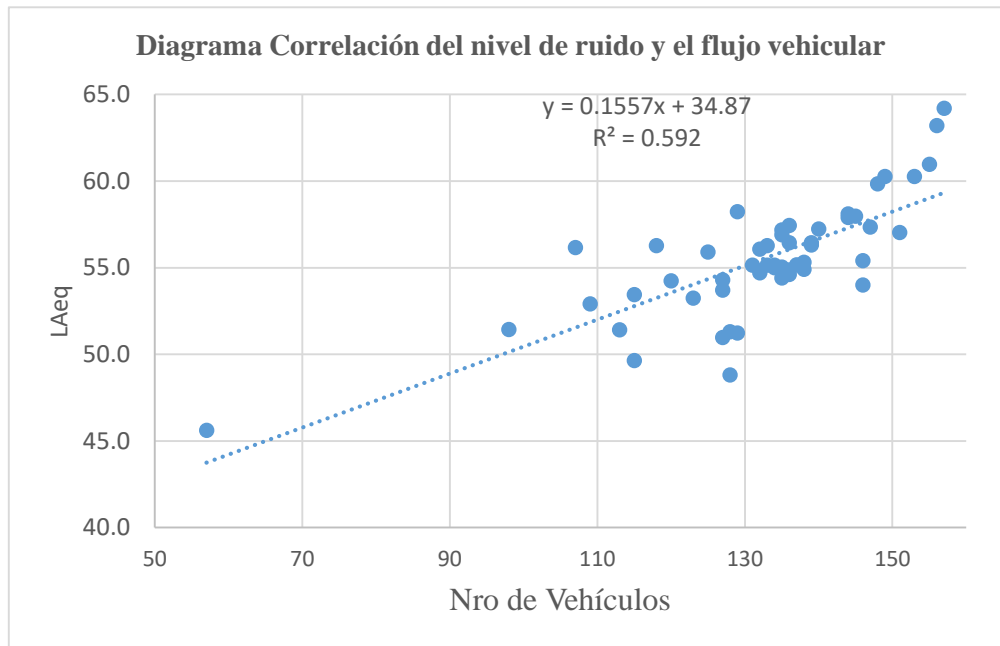


Figura 16. Diagrama de correlación del nivel de ruido y el tránsito vehicular en el horario nocturno.

Los resultados obtenidos como se observa en las **figuras 15 y 16**, indican una correlación entre el nivel de ruido (LAeq) y el flujo vehicular ($p < 0.05$), con respecto al horario diurno existe una correlación directa positiva ($r = 0.65$), de la misma manera para el horario nocturno ($r = 0.59$). Estos valores determinan la correlación entre ambas variables, lo que se interpreta que ante el incremento del flujo vehicular aumenta el nivel de ruido, lo que genera contaminación de ruido ambiental.

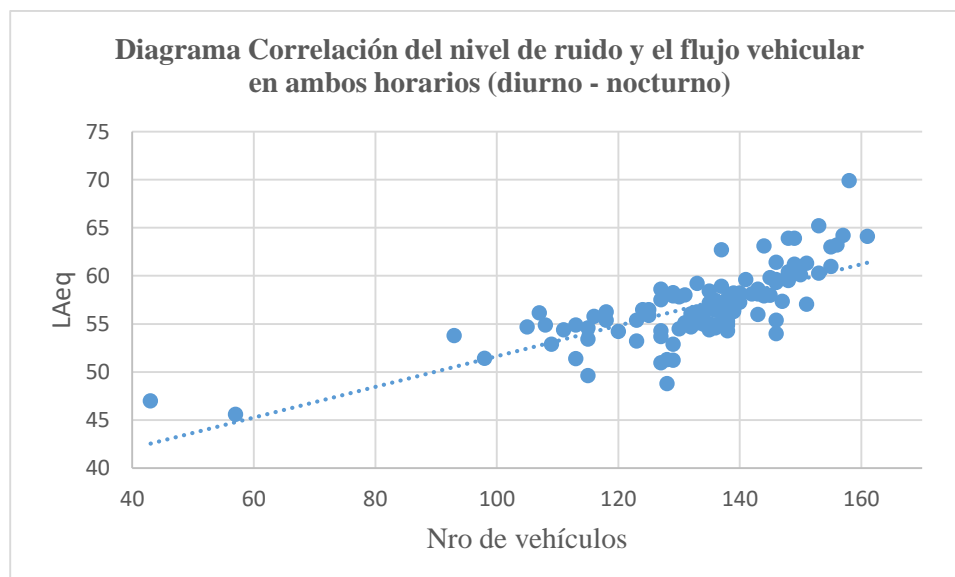


Figura 17. Diagrama Correlación del nivel de ruido y el flujo vehicular en horario Diurno y Nocturno

De igual manera, en la **figura 17**, se muestra la correlación que existe entre las variables en distintos horarios, con un valor de $r = 0.56$, lo cual nos indica que en ambos horarios (diurno y nocturno) las variables tienen una correlación directa positiva.

DISCUSIÓN

Los datos obtenidos de los 52 puntos de medición en el casco urbano del distrito de Huaraz, fueron medidos en el horario diurno (7:00-10:00am) de los cuales 9 puntos (17.31%) sobrepasan los ECA para ruido, y hubo un aumento para el horario nocturno (6:00-9:00pm), ya que se registró 17 puntos (32.69%) que excedían los valores de la normativa para ruido. De acuerdo a (Valdivia, 2015) los altos niveles ruido ambiental en ciudades urbanizadas se deben a diversos factores, principalmente el tránsito vehicular, que trae consigo las acciones inadecuadas que realizan los conductores, como el uso excesivo del claxon, bocinas en mal estado, velocidades exageradas, mal estacionamiento, etc.

La contaminación acústica se ha convertido en un problema de salud pública (OMS, 2022), principalmente en las grandes ciudades, donde se desarrollan las actividades productivas como la construcción, el transporte y el incremento poblacional (Salinas, 2017). Estudios recientes manifiestan que los transeúntes expuestos a altos niveles de ruido podrían sufrir daños severos afectando su salud, su frecuente exposición produce molestias, efectos cardiovasculares y metabólico, trastornos de sueño y deficiencias en el aprendizaje de los niños (Martínez, 2018).

En las figuras 14 y 15, se observan los mapas de ruido desarrollado con el método Kriging, donde se pudo visualizar los niveles de presión sonora presentes en el casco urbano del distrito de Huaraz, estos datos manifiestan que, en el horario diurno, solo el 17.31% de los puntos de medición sobrepasan los ECA para ruido, mientras que en el horario nocturno el 32.69% de los puntos exceden la normativa ambiental. De acuerdo a estos valores que presenta el estudio realizado, nos indica que en la mayoría de las calles y/o avenidas principales del distrito de Huaraz, tienen un ambiente con bajo nivel de ruido y con menos exposición a la contaminación sonora.

El OEFA, identificó las vías principales y las zonas establecidos por el ECA, donde se encontró registros que sobrepasaban los niveles de ruido, tales como la zona comercial (73.9db) y zona residencial (73.4db) (OEFA, 2016). Los registros con los valores más altos de ruido fueron ubicados en las principales calles y avenidas de la ciudad, estos puntos corresponden a la Av. Toribio Luzuriaga, Av. Agustín Gamarra, Av. Raymondí, Av. Confraternidad Internacional Oeste y Av. Fitzcarrald, son los lugares identificados con mayor flujo vehicular.

Estos valores lo podemos corroborar con la iniciativa que tomaron las autoridades de dicha ciudad realizado en el 2016 (Olórtegui, 2016), con el fin de reducir el riesgo y prevenir la contaminación impulsaron el proyecto “Huaraz te quiero sin ruido”, donde realizaron jornadas de capacitación y sensibilización, el autor menciona que en la zona el promedio general de nivel de ruido en las calles era de más de 85 db, llegando en zonas céntricas hasta 146 db estos valores sobrepasaban totalmente los Estándares de Calidad para Ruido, lo cual resulta perjudicial para la salud. Es por ello que mediante el método de interpolación Kriging podemos generar mapas estratégicos y así tener una mejor visualización de los niveles de ruido en un determinado espacio geográfico, ya que resulta útil como una herramienta de gestión ambiental (Espinoza, 2021).

De acuerdo a (Bentancourt, 2018) sostienen que, el método de interpolación Kriging aplicado al ambiente, es una herramienta potencial que permite plasmar la información de los niveles de contaminación por ruido en ambientes urbanos (Ortega, 2017), mediante ello se puede evaluar los lugares que representan un riesgo para los pobladores y tomar decisiones en beneficio de la población (Bastián, 2018), el método de interpolación es procesado mediante el software ArcGIS. Diversos estudios han desarrollado el método Kriging en países con problemas de contaminación por tráfico vehicular, como el caso de (Valdivia, 2015) en Puerto Mont – Chile, en Bogotá-Colombia (Acevedo & Chau, 2019), en Latacunga – Ecuador (Llanos, 2016), en Cartagena – Colombia (Montaño, 2015), Medellín – Colombia (Sánchez, 2017).

CONCLUSIONES

La evaluación y modelamiento del ruido ambiental en el casco urbano del distrito de Huaraz aplicando el método de interpolación Kriging nos muestra que los habitantes del lugar se encuentran en riesgo bajo de contaminación acústica, ya que los niveles de ruido en las vías principales de la ciudad se encontraron por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental para ruido; para ello se midieron 52 puntos estratégicos de la ciudad, de los cuales en el horario diurno 9 puntos (17.31%), y para el horario nocturno se registró 17 puntos (32.69%) que excedían los valores de los Estándares Calidad Ambiental para ruido (D.S N°085-2003-PCM), en estos valores que sobrepasan la normativa corresponden a las zonas con más flujo y congestión vehicular, ello indica que los transeúntes y moradores aledaños se encuentran expuestos a contaminación sonora.

Los valores que se obtuvo del análisis estadístico muestran una correlación directa positiva de las variables de nivel de ruido y flujo vehicular, esto nos demuestra que ante el incremento del flujo vehicular aumenta los niveles de ruido, lo que genera la contaminación de ruido ambiental.

Al aplicar el método de interpolación Kriging con el software ArcGIS, pudimos observar de forma más amplia y panorámica las variaciones de los niveles de ruido ambiental en la zona de estudio, ya que nos permitió identificar y evaluar los lugares con mayor exposición al ruido y aquellos con mayor riesgo de contaminación acústica.

REFERENCIAS

- Acevedo, B., & Chaux, L. (2019). Evaluación de ruido ambiental en alrededores a centros médicos de la localidad Barrios Unidos, Bogotá. *Revista Científica*, 35(2), 234-246. Obtenido de <https://doi.org/10.14483/23448350.13983>
- Bastián, N. (2018). Elaboración de mapa de ruido de la ciudad de Valdivia mediante software de modelación utilizando métodos de simplificación. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/282914265_Elaboracion_de_mapa_de_ruido_de_la_ciudad_de_Valdivia_mediante_software_de_modelacion_utilizando_metodos_de_simplificacion
- Bentancourt, H. (2018). Procedimiento para la creación de mapas sonométricos a grandes escalas sobre plataformas SIG. *Informática*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/347932463_ROCEDIMIENTO_PARA_LA_CREACION_DE_MAPAS_SONOMETRICOS_A_GRANDES_ESCALAS_SOBRE_PLATAFORMAS_SIG
- Berjano, E. (2019). Diseño y desarrollo de un equipo electrónico para la medida del nivel de presión sonora. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/148314/Ganic%20-%20Dise%C3%B1o%20y%20desarrollo%20de%20un%20equipo%20electr%C3%B3nico%20para%20la%20medida%20del%20nivel%20de%20presi%C3%B3n%20sonora.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Espinoza, N. (2021). Modelamiento kriging del comportamiento vertical de ruido ambiental mediante mapas temáticos durante festividades culturales en Puno y Juliaca, Perú. *Tecnología en Marcha*, 34, 3-14. Obtenido de https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/4989/5690
- Fletcher, D. (2022). Location, Location, Location: Modelling of Noise Mitigation by Urban Woodland Shows the Benefit of Targeted Tree Planting in Cities. *Sustainability*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/su14127079>
- Henríquez, C. (2015). Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de Ph, Ca, Cice y P del suelo. *Agronomía Costarricense*, 32(1), 95-105. Obtenido de https://www.mag.go.cr/rev_agr/v32n01-095.pdf
- Llanos, P. (2016). Evaluación del ruido ambiental generado por fuentes móviles en el casco urbano de la ciudad de Machachi.
- Martínez, J. (2018). Contaminación ambiental por ruido. *Revista Médica Electrónica*, 39(3). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242017000300024
- MINAM. (2014). Protocolo nacional de monitoreo de ruido ambiental. Obtenido de <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/96>
- Montaño, J. (2015). Revisión de la normatividad para el ruido acústico en Colombia y su aplicación. *Entramado*, 11(1), 264-286. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21106>
- MTC. (2003). Reglamento Nacional de Vehículos. 1-118.

- Murillo, D. (2012). COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE RUIDO EN ENTORNOS URBANOS. *Ingenierías USBMed*, 3(1), 62-68. Obtenido de <https://revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/265/179>
- OEFA. (2016). Medición de ruido ambiental en los distritos de Huaraz e Independencia. Obtenido de http://visorsig.oefa.gob.pe/datos_de/PM0203/PM020302/03/IF/IF_154-2016-OEFA-DE-SDCA.pdf
- Olórtogui, G. (2016). Contaminación acústica. Obtenido de <https://huaraznoticias.com/>
- OMS. (2022). Nueva norma para hacer frente a la creciente amenaza de la pérdida de audición. Obtenido de <https://www.who.int/es/news/item/02-03-2022-who-releases-new-standard-to-tackle-rising-threat-of-hearing-loss>
- Ordóñez , K. (2021). El Derecho Ambiental y la Contaminación Sonora en el Perú. *REBIOL*, 246-255. Obtenido de <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbciol/article/view/4058/4557>
- Ortega. (2017). Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos. *Rev.Ing.Med*, 3(1), 62-68.
- Rueda, A. (2018). Riesgos de la salud por ruido excesivo. Obtenido de <https://www.scidev.net/america-latina/news/latinoamericanos-en-riesgo-de-salud-por-ruido-excesivo/>
- Ruiz, D. (2003). Especificaciones técnicas del sonómetro. Obtenido de https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2016-08-06_03-45-28135944.pdf
- Salinas, O. (2017). Ruido en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad caminable. *Estudios demográficos y urbanos*, 32(1). Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-72102017000100065
- Sánchez, L. (2017). Monitoreo de los niveles de ruido ambiental en el barrio el Poblado aplicando la técnica geoestadística. *Gestión y Ambiente*, 13(2), 51-58.
- Tang, J. (August de 2022). Dynamic modeling for noise mapping in urban areas. *Environmental Impact Assessment Review*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106864>
- Velázquez, M. (2017). Método Kriging de inferencia espacial. Obtenido de <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/160/1/16-M%C3%A9todo%20Kriging%20de%20Inferencia%20espacial%20-%20Diplomado%20en%20An%C3%A1lisis%20de%20Informaci%C3%B3n%20Geoespacial.pdf>