



Evaluación de la contaminación acústica mediante análisis Kriging, en la zona urbana del cantón Riobamba

Assessment of noise pollution through Kriging analysis in the urban area of Riobamba canton

Avaliação da poluição sonora por análise Kriging na zona urbana do cantão de Riobamba

Charles Fabián Barreno-Flores^I
fabian_barreno@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6494-7143>

Jessica Alexandra Marcatoma-Tixi^{II}
jessica.marcatoma@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-9531-3234>

Héctor Salomón Mullo-Guaminga^{III}
hmullo@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8448-4652>

Cristina Estefanía Ramos-Araujo^{IV}
cristina.ramos@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8644-5814>

Correspondencia: fabian_barreno@hotmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 13 de octubre de 2022 * **Aceptado:** 28 de noviembre de 2022 * **Publicado:** 15 de diciembre de 2022

- I. Magíster en Diseño Mecánico, Investigador Independiente, Universidad Nacional de Chimborazo; Riobamba, Ecuador.
- II. Máster Universitario en Estadística Aplicada, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. PhD. en Estadística Matemática y Aplicada, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) Riobamba, Ecuador.
- IV. Máster in Science in Applied Mathematic, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) Riobamba, Ecuador.

Resumen

La contaminación acústica es un problema ambiental progresivo que deteriora gravemente la salud y la calidad de vida de las personas en el mundo. El objetivo de esta investigación es evaluar la contaminación acústica del sector urbano de la ciudad de Riobamba mediante el método de interpolación Kriging, considerando los sectores urbano, comercial, urbano-comercial, los niveles de ruido medidos en decibeles se tomaron en 105 puntos, registrando el número de vehículos, número de personas, tipo de vía, industrias, instituciones públicas y sucesivo la elaboración del mapa donde se refleja la contaminación acústica de las zonas de estudio. El análisis estadístico evidencia que existe una relación altamente significativa entre las variables ruido con cantidad de personas y cantidad de vehículos, así también entre la cantidad de personas y la cantidad de instituciones públicas, además se destacó la estrecha relación entre el tipo de vía con el ruido, cantidad de personas y cantidad de vehículos. Los resultados muestran que existe mayor contaminación acústica en los sectores de la Universidad Nacional de Chimborazo, centro comercial Paseo Shopping, Unidad educativa Maldonado, Brigada Blindada Galápagos, sector de las Acacias, Bypass, concesionarios de vehículos.

Palabras clave: Contaminación acústica; Mapa de ruido; Personas; Vehículos; Industrias; Instituciones públicas.

Abstract

Noise pollution is a progressive environmental problem that seriously deteriorates the health and quality of life of people around the world. The objective of this research is to evaluate the noise pollution of the urban sector of the city of Riobamba through the Kriging interpolation method, considering the urban, commercial, urban-commercial sectors, the noise levels measured in decibels were taken at 105 points, registering the number of vehicles, number of people, type of road, industries, public institutions and successively the elaboration of the map where the noise pollution of the study areas is reflected. The statistical analysis shows that there is a highly significant relationship between the noise variables with the number of people and the number of vehicles, as well as between the number of people and the number of public institutions, in addition to highlighting the close relationship between the type of road with the noise, number of people and number of vehicles. The results show that there is greater noise pollution in the

sectors of the National University of Chimborazo, Paseo Shopping mall, Maldonado Educational Unit, Galapagos Armored Brigade, Acacias sector, Bypass, vehicle dealers.

Keywords: Noise pollution; noise map; People; Vehicles; industries; Public institutions.

Resumo

A poluição sonora é um problema ambiental progressivo que deteriora seriamente a saúde e a qualidade de vida das pessoas em todo o mundo. O objetivo desta pesquisa é avaliar a poluição sonora do setor urbano da cidade de Riobamba através do método de interpolação Kriging, considerando os setores urbano, comercial, urbano-comercial, os níveis de ruído medidos em decibéis foram tomados em 105 pontos, registrando o número de veículos, número de pessoas, tipo de via, indústrias, instituições públicas e sucessivamente a elaboração do mapa onde se reflete a poluição sonora das áreas de estudo. A análise estatística mostra que existe uma relação altamente significativa entre as variáveis de ruído com o número de pessoas e o número de veículos, bem como entre o número de pessoas e o número de instituições públicas, além de destacar a estreita relação entre o tipo de estrada com ruído, número de pessoas e número de veículos. Os resultados mostram que há maior poluição sonora nos setores da Universidade Nacional de Chimborazo, Paseo Shopping, Unidade Educacional Maldonado, Brigada Blindada de Galápagos, setor Acacias, Bypass, concessionárias de veículos.

Palavras-chave: Poluição sonora; mapa de ruído; Pessoas; Veículos; indústrias; Instituições públicas.

Introducción

La contaminación acústica causada por distintos agentes, tales como el tráfico vehicular, actividades industriales, comerciales y recreativas, constituye uno de los principales problemas medioambientales de las ciudades en desarrollo debido a la sensación auditiva inarticulada y en su mayoría desagradable, sin embargo, la forma en que es tratado difiere considerablemente dependiendo del país, o la región donde se produzca, así como del nivel de desarrollo socio cultural, económico y político (Orellana & Chacón, 2013).

La Organización Mundial de la Salud, considera que el límite máximo permisible para el ser humano es de cincuenta decibeles, motivo que al superar este nivel es considerado como ruido, el

principal protagonista para generar problemas en la parte psicológica, social y física del ser humano; la primera declaración internacional que examina las consecuencias del ruido en la salud humana data de 1972, cuando la Organización Mundial de la Salud decidió clasificarlo colectivamente como un tipo más de contaminación, siete años después, la Conferencia de Estocolmo catalogó el ruido como un contaminante específico; estas disposiciones formales iniciales fueron posteriormente ratificadas por la emergente Comunidad Económica Europea (CEE), que exigió a los estados miembros que hicieran esfuerzos para regular legalmente la contaminación acústica. (Amable Alvarez, y otros, 2017)

A nivel internacional Japón es considerado el país más ruidoso del mundo (Amable Alvarez, et al., 2017), al igual que España, este colectivo rebasa los 65 dB durante el día principalmente en la ciudad de Madrid, razón por la cual ha recibido amenazas de sanción por parte de la UE en razón de mantener un plan insuficiente frente a esta problemática (Tena, 2020), Turquía presenta similar problemática al obtener niveles de hasta 90.8 dB por día (Kilic & Abus, 2019).

En la región de Latinoamérica, el Ministerio del Ambiente de Lima bajo la guía del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) identificó que las razones principales por las cuales se produce el ruido es el tráfico vehicular, procesos industriales de fábricas, comercio ambulante y empresas dedicadas a la construcción (Alberca Jiménez, 2022), esta misma organización (OEFA) informó que solo 34 municipios cuentan con instrumentos de medición de ruido, mientras que el resto del país está en proceso de fiscalización y solo utilizan normas de orden general (SPDA, 2016). Bogotá también refleja elevados índices de contaminación acústica la mayoría de ellos ocasionados por el tráfico vehicular y la ubicación del aeropuerto el Dorado; un estudio alrededor de los centros médicos mediante mapas de ruido, reflejó el excedente de los límites máximos permisibles para zonas de tranquilidad y silencio (Ceballos Cogollo & Acevedo Buitrago, 2022).

La encuesta nacional de Condiciones de Vida liderada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos en el Ecuador visibilizó que 3 de cada 10 familias declararon presentar problemas de salud a causa del ruido, este patrón se presentó en las ciudades de Guayaquil, Machala y Quito (Quichimbo Carrillo, 2020). El Distrito Metropolitano de Quito ha realizado varios estudios al respecto, los reportes evidenciaron que los niveles de ruido llegan hasta 78 dB (A) durante el día, la cifra supera los niveles permitidos por la Organización Mundial de la Salud para ambientes al aire libre, dando lugar a definir a la urbe con una calidad de vida no óptima para sus habitantes

(Coral Carrillo, 2020), referente a la ciudad de Guayaquil se determinó que el tráfico vehicular es la principal fuente de contaminación acústica al superar niveles del ruido permitido lo que posiciona a esta ciudad como un ambiente no óptimo de vida (Calero Amores, Calero Proaño, & Andrade Laborde, 2017).

El contexto local, específicamente la ciudad de Riobamba está sujeta a las regulaciones y controles ambientales nacionales regidos por el Ministerio de Ambiente como Autoridad Ambiental Nacional (AAN), el cual, a través de leyes recopiladas en el Texto Unificado de legislación Secundaria (TULAS) en su libro VI: DE CALIDAD AMBIENTAL, Título IV:Reglamento a la Ley de Gestión y Control de la Contaminación Ambiental, busca responsabilizarlas acciones y estrategias que deben manejar los gobiernos locales para el control adecuado del ruido; sin embargo la localidad hasta el momento no dispone de herramientas de medición acústica y se desconoce el promedio de ruido en la zona urbana durante el día, este antecedente imposibilita a la ciudadanía a tener los controles necesarios para evitar problemas de salud o para identificar cuáles serían las zonas recomendadas de residencia familiar.

En ese contexto, el estudio pretende mejorar la comprensión del fenómeno y utilizar las herramientas de Geoestadística para identificar las zonas de contaminación acústica en la urbe de Riobamba; los beneficiarios directos son los habitantes de la localidad quienes a partir del conocimiento de los problemas que causa el exceso de ruido tomarán medidas de prevención de salud, por otra parte, las autoridades locales y provinciales pueden construir estrategias de política pública en aras de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

Materiales y métodos

Tipo de investigación

En la realización del presente proyecto de titulación se utilizó la modalidad mixta debido a que se emplearon las variables; latitud, longitud, número de personas, número de vehículos, número de industrias, instituciones públicas, niveles de ruido, tipo de comercio, tipo de vía. Según la profundidad el estudio fue descriptivo, ya que se describieron los datos y características de la población y nos permitieron interpretar y analizar los resultados obtenidos, de tipo no experimental, puesto que no existió manipulación de las variables y no se realizó experimentos para verificar la existencia del problema. Ya que para el análisis se hicieron más de dos

mediciones a lo largo de un seguimiento, y al utilizar datos cuantitativos y cualitativos fueron longitudinales.

Población y muestra

Población

Se consideró como área de estudio veinte y ocho kilómetros cuadrados de superficie urbana.

Muestra

Se utilizó un muestreo no probabilístico intencional.

VARIABLES DE ESTUDIO

La investigación utilizó como variables la latitud, longitud, número de personas, número de vehículos, número de industrias, instituciones públicas, niveles de ruido, tipo de comercio, tipo de vía, su detalle se presenta a continuación:

Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

Los métodos que se utilizaron son los siguientes: Científico permitió la fundamentación teórica y posterior recopilación de información. Analítico – Sintético en base al objetivo de estudio, el cual se genera en la zona urbana del cantón Riobamba, se recopilaron datos de medición para empezar el desarrollo de la propuesta. Deductivo porque a partir de realizar un diagnóstico y evaluación integral, se determinó conclusiones lógicas y estrategias funcionales. Se operó con la observación, ya que se debe recolectar un mayor número de datos de personas, hechos, fenómenos, situaciones, etc. Para su posterior registro y análisis, como instrumentos se utilizaron un sonómetro, capaz de medir el nivel de ruido en decibelios y un GPS, el cual nos permitió georreferenciar los puntos de medición o lugares a ser intervenidos. En las hojas de verificaciónse registraron por sectores o áreas, a fin de consolidar la cantidad de datos obtenidos.

Modelo estadístico

Los modelos estadísticos utilizados en la investigación fueron: un estudio descriptivo para conocer las características generales del lugar y motivo donde se suscita la contaminación

acústica y el análisis kriging como un método de inferencia espacial, el cual permitió estimar los valores de una variable cuantitativa (Ruido), en lugares referenciados por coordenadas geográficas captadas en función a la cartografía digital de Riobamba.

Resultados

El estudio parte de un análisis exploratorio de datos que caracterizó a las variables que influyen en la presencia del ruido, la tabla 1 almacenó información referente a las medidas de tendencia central y dispersión de las variables numéricas del estudio.

Figura 1: Medidas de tendencia central y dispersión

Indicadores	Ruido	Número de personas	Número de vehículos	Número de industrias	Número de instituciones públicas
Media	66.25	24.92	30.43	0.00	1.00
Mediana	68.00	26.00	30.00	0.00	0.00
Moda	77.00	12.00	39.00	0.00	0.00
Desviación estándar	8.64	10.23	10.14	1.00	1.00
Rango	40.00	43.00	41.00	4.00	2.00

Realizado por: Autores

Realizado por: Autores

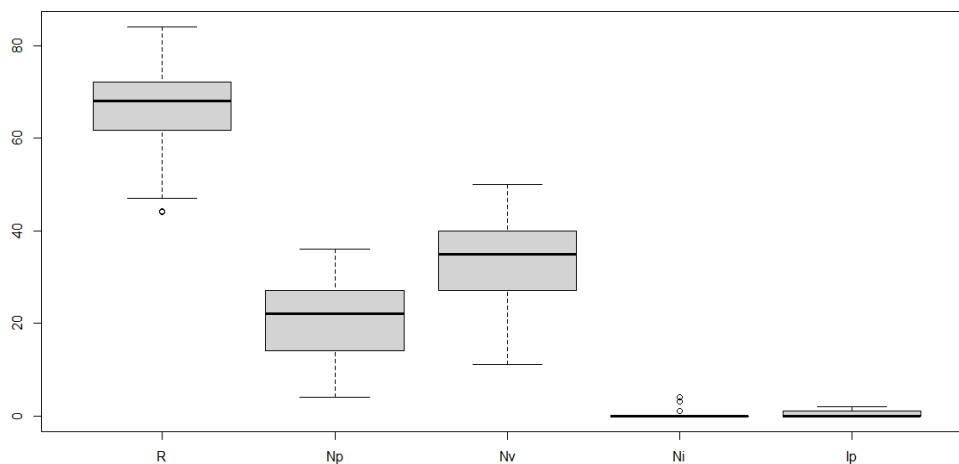


Figura 2: Diagrama de cajas de las variables de estudio

El promedio del ruido en la ciudad de Riobamba fue de 66.25 dB, un valor central de 68 dB y una moda de 77 dB, la desviación estándar reportó que el intervalo de fluctuación de ruido se encontró entre 74.89 dB y 57.60 dB, la longitud de ruido fue de 40 dB; los hallazgos reportados coinciden con el estudio de crecimiento, al analizar el número de personas presentes al momento de la medición del ruido, se determinó que el promedio fue de 25 personas, con un cantidad central de 26 personas y una moda de 12 personas, la desviación estándar presentó un intervalo de fluctuación de número de personas entre 35 y 15 durante la medición, la longitud del número de personas fue de 43 personas, los resultados concuerdan con el estudio de crecimiento, respectoa la variable número de vehículos durante la medición, su promedio y valor central fue de 30, la moda proyectó un valor de 39 vehículos, en la desviación estándar se obtuvo un valor comprendido entre 40 y 20 vehículos durante la medición y la longitud del número de vehículos fue de 41.

El reporte de información permitió identificar zonas con mayor presencia de ruido en la ciudad de Riobamba, con el objetivo de adaptar modelos georreferenciados óptimos para el diagnóstico espacial de la concentración de ruido, se desarrolló un análisis de variables redundantes de las variables número de personas, número de vehículos, número de industrias, instituciones públicas, niveles de ruido y tipo de comercio, para ello se visibilizan 105 localizaciones de medición de ruido utilizando software R y Google map.

Realizado por: Autores

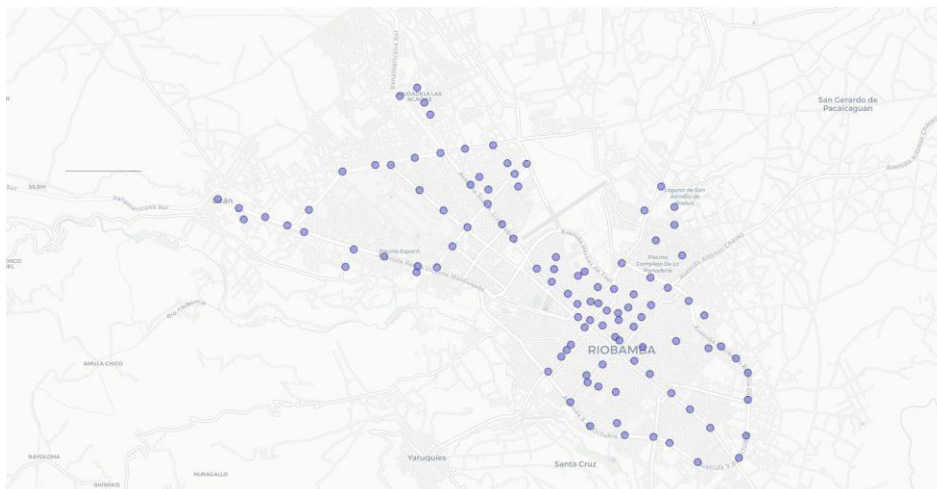


Figura 3: Localizaciones de mediciones de ruido en el cantón Riobamba, 2022.

Las tomas de ruido se realizaron en las localizaciones referidas en el gráfico 2 en el sector urbano del cantón Riobamba; estos puntos se distribuyen uniformemente con la finalidad de detectar las zonas con mayor contaminación auditiva en el cantón.

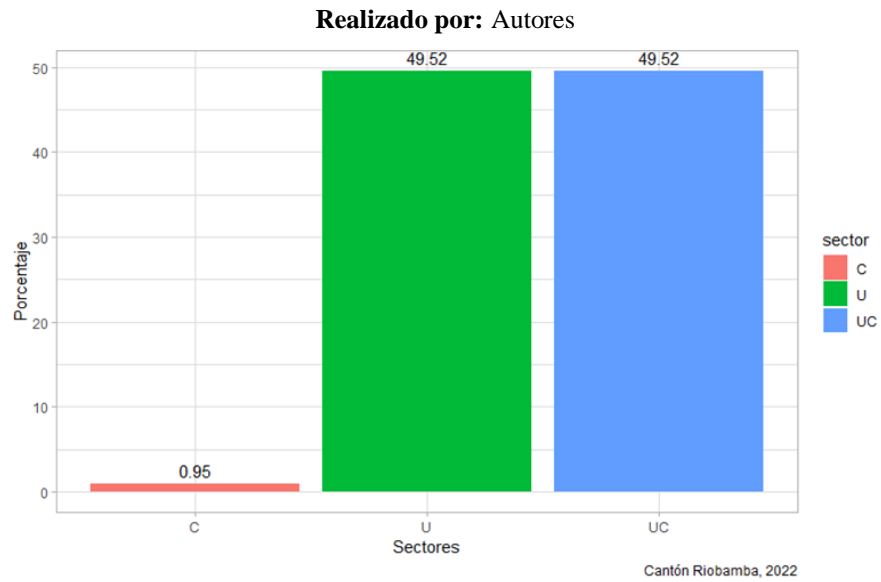


Figura 4: Distribución porcentual de las mediciones de ruido por sector de Riobamba.

El 49,52% de las mediciones de ruido fueron tomadas en el sector UC y con el mismo porcentaje de representatividad en el sector, apenas el 0,95% de las mediciones se levantaron en el sector C.

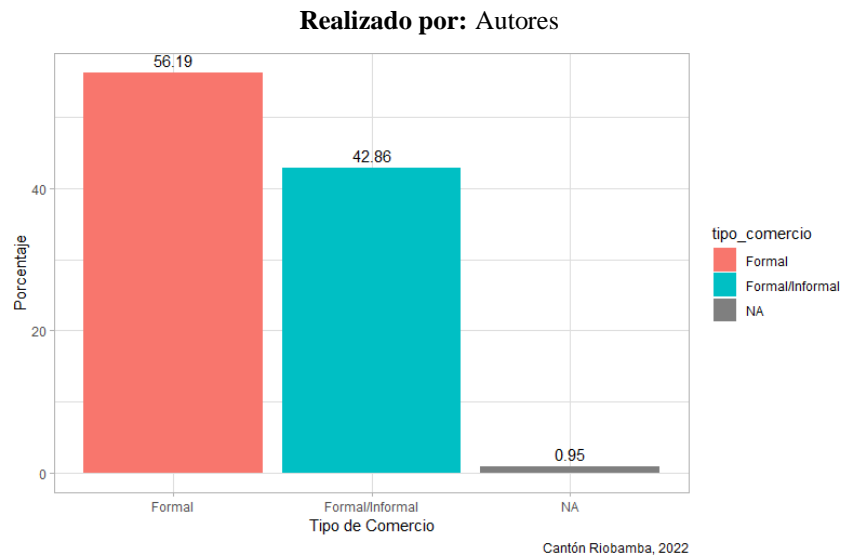


Figura 5: Distribución porcentual de las mediciones de ruido por sector de Riobamba.

El 56,19% de las mediciones de ruido fueron tomados en espacios geográficos que cuentan con comercios formales, el 42,86% en cambio fueron áreas con presencia de los dos tipos de comercio formales e informales, apenas el 0,95% de las localizaciones planificadas no contaban con la presencia de comercio de ninguna índole.

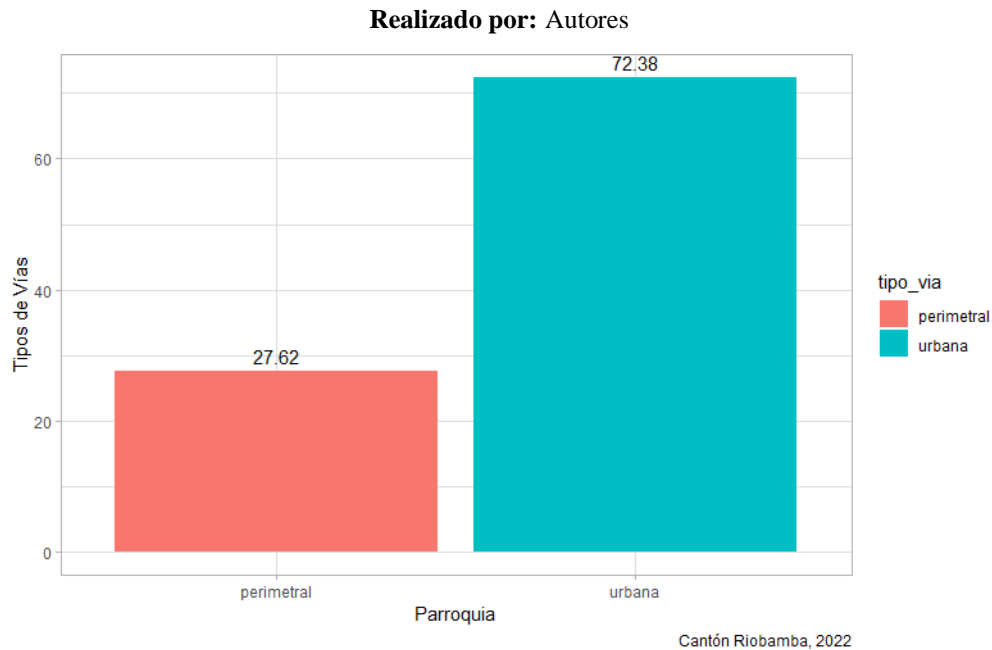


Figura 6: Distribución porcentual de las mediciones de ruido por el tipo de vía.

El 72,38% de las mediciones de ruido se levantaron en la zona urbana de la ciudad de Riobamba y la diferencia en la zona perimetral.

Análisis de variables redundantes

Matriz de correlación y gráfico de dispersión

Como punto inicial, se construyó un gráfico de dispersión entre las variables ruido, número de personas, cantidad de industrias, cantidad de instituciones públicas y el tipo de vía. También, se realizó una matriz de correlación de las variables y prueba de hipótesis.

Realizado por: Autores

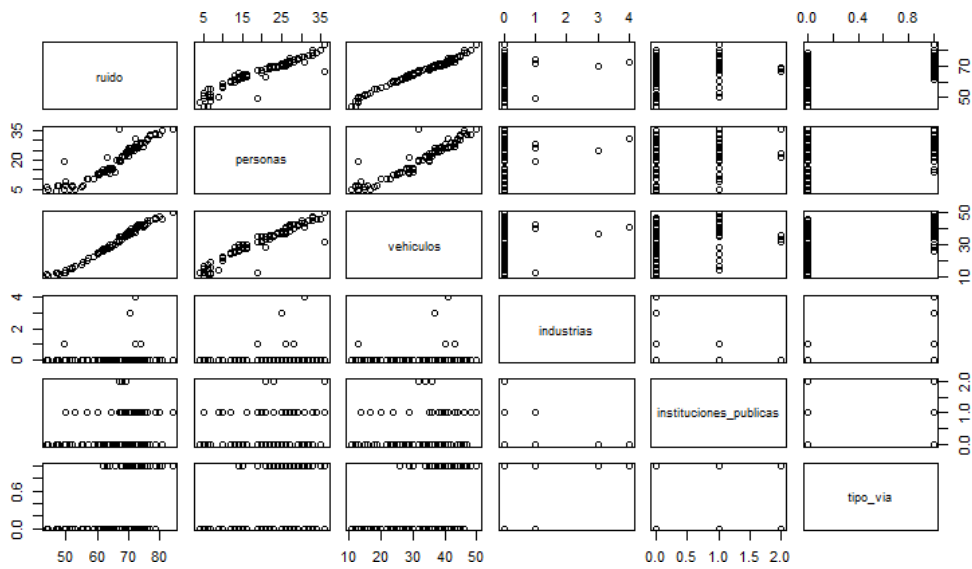


Figura 7: Gráfico de dispersión entre variables cuantitativas.

Figura 8: Matriz de correlación de Pearson

	Ruido	Personas	Vehículos	Industrias	Instituciones públicas	Tipo de vía
Ruido						
Personas	0.93527301**					
Vehículos	*	0.9457242**				
Industrias	*	*				
Instituciones públicas	0.07317185	0.1516881	0.08642513			
Tipo de vía	0.21604603*	0.2736591**	0.21927663*	-0.07700676		
	0.41619668**	0.3788154**	0.42740236**	0.21983545	-	
	*	*	*	*	0.04545541	

Realizado por: Autores

En general, se observó en la Tabla 2 que existe una relación altamente significativa entre las variables ruido y cantidad de personas, cantidad de vehículos, así también entre la cantidad de personas y la cantidad de instituciones públicas, además se destacó la estrecha relación entre el

tipo de vía con el ruido, cantidad de personas y cantidad de vehículos. Si bien es cierto existen correlaciones significativas entre las variables sin embargo se utilizaron todas las variables en el ajuste de modelos Kriging para condensarse en la primera componente principal resultante de la agrupación de variables. En este sentido al no existir variables redundantes se construyó una nueva variable a partir de las variables cantidad de personas, cantidad de vehículos y cantidad de instituciones públicas, la agrupación fue procesada con análisis de componentes principales donde la primera componente jugó el papel de variable de interés en la posición espacial observada.

Análisis de componentes principales

Figura 9: Porcentaje de explicación de la varianza

	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4	Componente 5	Componente 6
Desviación estándar	15.365	2.399	0.806	0.547	0.457	0.374
Proporción de la varianza	0.970	0.023	0.002	0.001	0.000	0.000
Proporción acumulada	0.970	0.994	0.997	0.998	0.999	1.000

Realizado por: Autores

La Tabla 3 almacenó el porcentaje de la varianza total explicada por cada componente principal y en función a los datos se observó que de trabajar con la primera componente el porcentaje de varianza explicada fue de 97% de la varianza total, la elección coincide con la propuesta de la Gráfica 7 de Kaiser quien sugiere que el número de componentes idóneas será la selección de autovalores superiores a 1 que en el presente estudio fue uno.

Realizado por: Autores

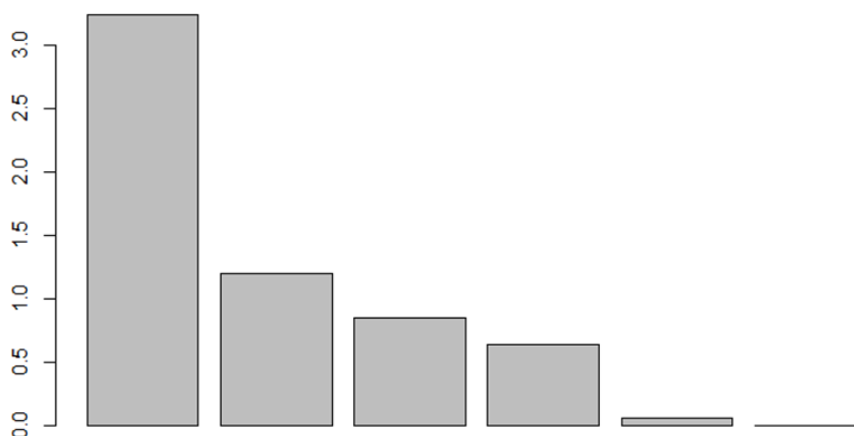


Figura 10: Gráfico de representación de autovalores

Figura 11: Componentes principales

	Componente 1
Ruido	-0.54032767
Personas	-0.53424644
Vehículos	-0.54367702
Industrias	-0.09917159
Instituciones públicas	-0.16155465
Tipo de vía	-0.30183959

Realizado por: Autores

En función al reporte de la Tabla 4 se construyó la nueva variable referida como sigue

$$CP = -0,54 * Ruido - 0,53 * C. Personas - 0,54 * C. Vehículos - 0,09 * C. Industrias \\ - 0,16 * C. Instituciones Públicas - 0,30 * Tipo de vía$$

La primera componente principal muestra las cargas sobre cada variable para la componente, las cuales son negativas para todas las variables, lo que significa que los valores negativos altos refieren niveles de ruido, cantidad de personas, vehículos, industrias, instituciones públicas en cantidades altas y el tipo de vía es perimetral.

Análisis geoespacial

El modelo georeferencial consideró los datos observados $\{Y(a_1), \dots, Y(a_n)\}$, donde $Y(a_i)$ es el valor de la nueva variable CP (componente principal), construida a partir de las variables ruido, cantidad de personas, vehículos, industrias, instituciones públicas y tipo de vía, seguido se estimó las componentes del modelo, es decir, la tendencia $\mu(a)$ y el semivariograma $\gamma(h)$. La tarea contó con tres apartados, i) ajuste del modelo paramétrico de variograma, ii) Validación del modelo y iii) Uso del modelo ajustado. Las gráficas siguientes permitieron estudiar la dispersión y la relación de los datos de las ubicaciones de tomas de ruido.

Modelo paramétrico del semivariograma

En el Gráfico 8, Gráfico 9 y Gráfico 10, se mostró el desarrollo del modelo paramétrico del semivariograma. En el gráfico 8, se observó los valores del semivariograma ($\gamma(h)$) empíricos versus la distancia entre ubicaciones, luego se ajusta un modelo gaussiano al semivariograma empírico en el gráfico 9, con el valor de nugget de $c_0 = 130$. Para describir de forma adecuada la dependencia espacial presente se estimó modelos de semivariograma fundamentados en mínimos cuadrados ordinarios (MCO) y en mínimos cuadrados ponderados (MCP), estos se encuentran en el gráfico 10. El modelo que mejor describe el semivariograma empírico es el resultado de aplicar el método de los mínimos cuadrados ponderados, donde se estimó el modelo de Matérn (con $c_0 = 130$):

$$\gamma(h|\theta) = \begin{cases} 0 & \text{si } h = 0 \\ c + c \left(1 - \frac{1}{\Gamma(\nu)} \frac{|h|^\nu}{a^\nu} K_\nu\left(\frac{|h|}{a}\right)\right) & \text{si } h \neq 0, \end{cases}$$

Siendo $\nu \geq 0$ un parámetro de suavizado y K_ν la función de Bessel modificada de tercera clase de orden ν . El modelo es válido en $\mathbb{R}^d, \forall d \geq 1$.

Realizado por: Autores

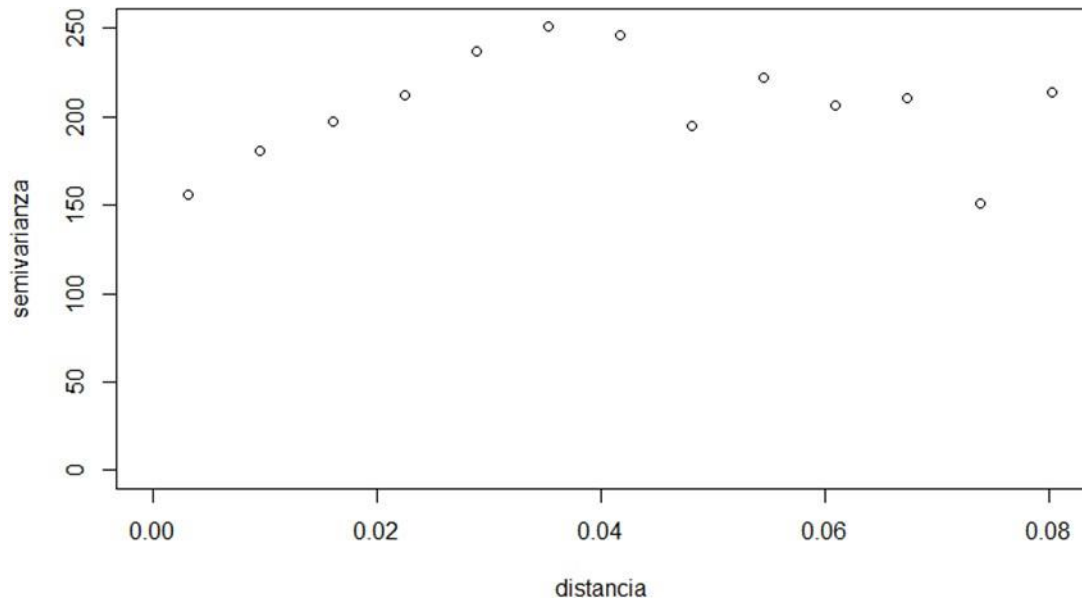


Figura 12: Gráfico de estimación de parámetros del modelo.

Realizado por: Autores

Estimador empírico y modelos ajustados

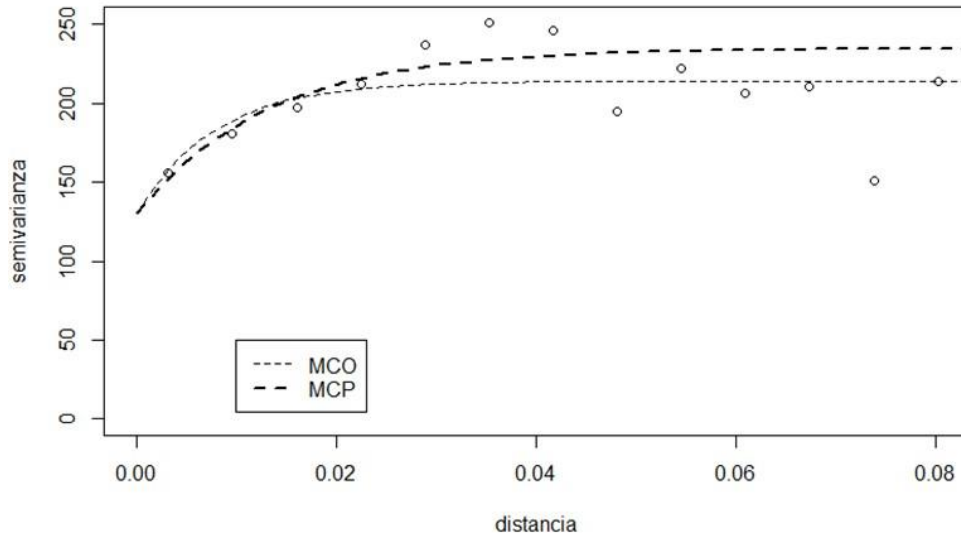


Figura 13: Gráfico de estimación de parámetros del modelo

Realizado por: Autores

Estimador empírico y modelos ajustados

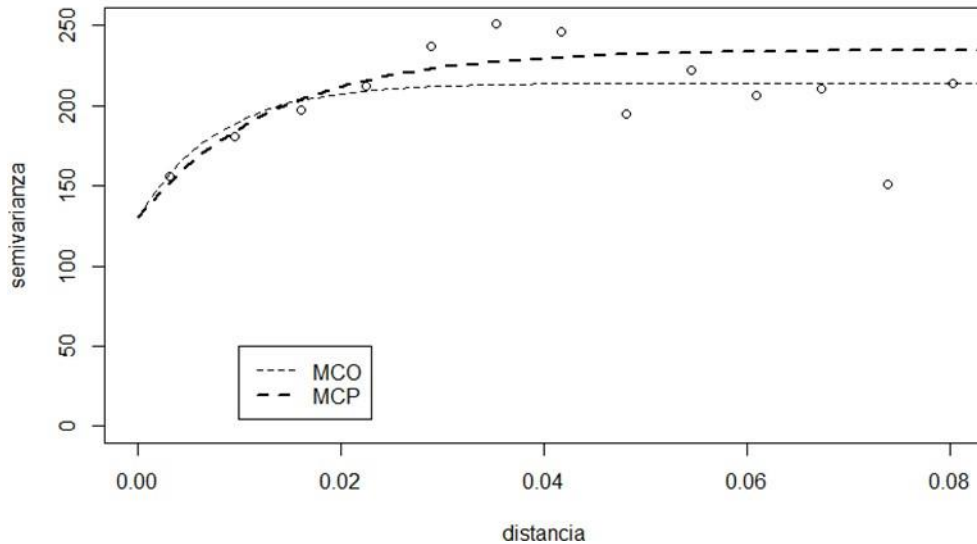


Figura 14: Gráfico de estimación de parámetros del modelo

Comprobación de supuestos del modelo paramétrico del semivariograma

Figura 15: Pruebas de hipótesis sobre los supuestos del modelo

Hipótesis	Valor p
Independencia	0.048
Isotropía	0.003
Estacionariedad	0.012

Realizado por: Autores

La Tabla 5 refirió los valores de probabilidad de los supuestos de independencia, isotropía y estacionariedad, con respecto a la dependencia el valor de probabilidad de 0.04 visibilizó la dependencia entre ellos. El valor p de 0.003 indicó la dependencia de los datos con respecto a la dirección espacial. Con relación a la hipótesis de estacionariedad se apreció que los errores no presentaron tendencia es decir son estacionarios. Con el antecedente se indicó la validez del modelo para el desarrollo de inferencia estadística sobre el modelo espacial de Matérn.

Validación del modelo paramétrico del semivariograma

La validación del modelo permitió comprobar si el modelo describe adecuadamente la variabilidad espacial de la información a través del método de validación cruzada.

Figura 16: Resumen estadístico de los errores entre los valores predichos y valores observados.

Error	
Mínimo	-27.774
1er cuartil	-9.963
Mediana	-1.933
Media	-0.014
3er cuartil	8.901
Máximo	32.927
Dest.Est	0.983

Realizado por: Autores

Figura 17: Matriz de información de presencia de ruido en la ciudad de Riobamba, pronósticos y errores

X	Y	CP	Predicción	Error
-78.7061517	-1.65174171	-57.6966321	-62.2288879	4.53225578
-78.7031333	-1.65305001	-59.1527849	-62.4858017	3.33301677
-78.7024138	-1.65467331	-44.1118069	-67.6224847	23.5106778
-78.6993783	-1.65435001	-87.6140509	-62.1820125	-25.4320384
-78.6961516	-1.65552981	-76.7346844	-67.7461888	-8.98849563
-78.6937383	-1.65644171	-76.2673971	-66.6515473	-9.61584984
-78.6930733	-1.65331501	-69.8767518	-67.9727706	-1.90398115
...
-78.63394	-1.67289171	-78.6706467	-62.7112279	-15.9594188
-78.631795	-1.67454171	-76.4611712	-65.1425681	-11.3186031
-78.6314033	-1.68882671	-77.7100799	-70.3312793	-7.3788006
-78.6303133	-1.68564671	-78.8838256	-70.3300857	-8.55373993
-78.6301183	-1.67662001	-59.645161	-70.0983517	10.4531907
-78.6300633	-1.68053832	-73.8129481	-68.8294865	-4.98346168

Realizado por: Autores

La Tabla 6 y Tabla 7 destacaron los valores predichos, errores y un resumen estadístico de los errores al predecir la variable CP, mediante el modelo Kriging. Los errores son pequeños (media = -0.014) con una variación de aproximadamente 1, lo que evidenció que la estimación del semivariograma basado en mínimos cuadrados ponderados es adecuada y estimasatisfactoriamente la variable CP.

Predicción espacial Kriging

En este apartado, se muestra el resultado de la predicción espacial Kriging en la Gráfica 11, en esta se observó la predicción espacial Kriging de mediciones de ruido, cantidad de personas, vehículos, industrias, instituciones públicas y el tipo de vía evidenciando que la mayor contaminación auditiva se encontró en los sectores que abarcan la Universidad Nacional de Chimborazo, centro comercial Paseo Shopping, Unidad educativa Maldonado y Brigada BlindadaGalápagos Mercado Dávalos; además en la misma intensidad se refirió el problema en el sector de las Acacias, Bypass, concesionarios de vehículos, el problema cambió a una intensidad moderada en el centro de la ciudad. Finalmente, los niveles de ruido disminuyen en los sectores de Licán, Media luna, salida a San Luis y mercado mayorista.

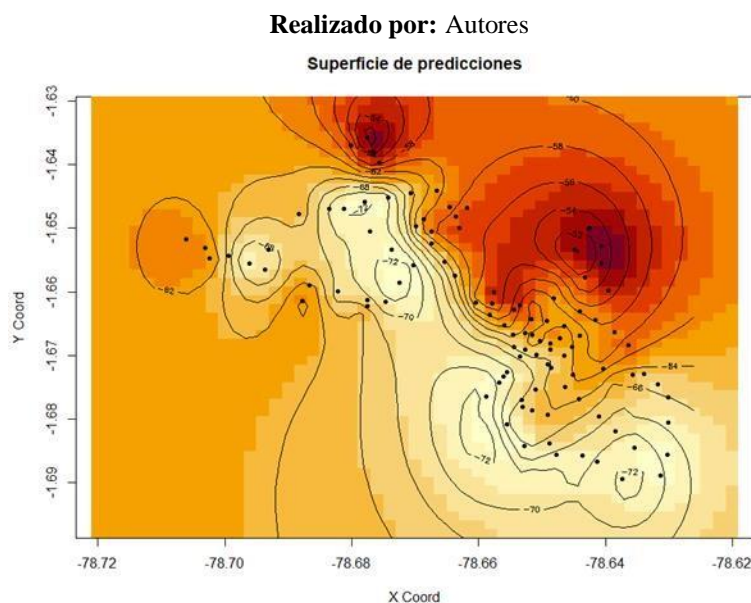


Figura 18: Predicción de superficie Kriging de localizaciones de ruido en la ciudad de Riobamba

Discusión

Desde la antigüedad en la historia de la humanidad, el ruido ha formado parte del diario vivir, los avances tecnológicos, el surgimiento de la economía, el incremento del parque automotor entre otros factores han contribuido al incremento sonoro que como consecuencia se ha convertido en un agente degradante para la salud pública de las personas entre los males comunes se destaca la pérdida total o parcial de la zona auditiva, afectación al sistema nervioso central, deficiencia de la capacidad motriz, ansiedad, deficiencia para conciliar el sueño y el tan rimbombante estrés (López Trujillo & López Villareal, 2018) adicional a los problemas de salud, el ruido también se convierte en un factor importante de la contaminación ambiental en el mundo entero.

Las predicciones de la investigación propuesta con los modelos Kriging presentaron un promedio de ruido de 66,25dB en la zona urbana de la ciudad de Riobamba, entre los resultados se destacó que el sector del mercado mayorista presentó un ruido moderado lo que coincide con la investigación desarrollada por (Salao, 2011) quien reportó en el mismo sector un promedio logarítmico de 67,2 dB, por otra parte el estudio coincidió con la presencia de contaminación acústica en el mercado Dávalos, entre los factores que propician el nivel de ruido se destaca la cantidad de personas que concurren por las vías a causa del desplazamiento que realizan para llegar a destinos como la Brigada Blindada Galápagos, Unidad educativa Maldonado, Paseo Shopping y Universidad Nacional de Chimborazo.

Otro de los factores influyentes en el ruido es el crecimiento del parque automotor la investigación reportó un promedio de 30 vehículos desplazándose por las zonas de mayor ruido, estos resultados se alinean a las proyecciones vehiculares presentes en un estudio propuesto por (Uquillas, 2020) quien mencionó que durante el año 2019 existieron 35041 vehículos y esta cifra para el año 2022 crece a 36642.

No hubo influencia significativa de la cantidad de comercios e industrias analizadas en el estudio por lo que su presencia es indiferente ante los problemas de contaminación acústica.

Conclusiones

La evaluación del impacto ambiental de ruido en la zona urbana del cantón Riobamba mediante interpolación Kriging evidencia una contaminación acústica, pues ofrece una perspectiva general del nivel de ruido, lo que ayuda a las autoridades a tomar los correctivos necesarios. De los 105

puntos de medición realizados se puede observar que las zonas con mayor ruido se encuentran en los sectores de la Universidad Nacional de Chimborazo, centro comercial Paseo Shopping, Unidad educativa Maldonado y Brigada Blindada Galápagos; además en la misma intensidad se refirió el problema en el sector de las Acacias, Bypass, concesionarios de vehículos, el problema cambió a una intensidad moderada en el centro de la ciudad; los niveles de ruido disminuyen en los sectores de Licán, Media luna, salida a San Luis y mercado mayorista, lo que es una desventaja para los residentes cercanos. Finalmente el análisis estadístico evidencia que existe una relación altamente significativa entre las variables ruido y cantidad de personas, cantidad de vehículos, así también entre la cantidad de personas y la cantidad de instituciones públicas, además se destacó la estrecha relación entre el tipo de vía con el ruido, cantidad de personas y cantidad de vehículos, lo que indica que a medida que aumentan el tráfico de vehículos, la circulación de personas, la ubicación de las instituciones públicas y el tipo de vía, existe un incremento de los niveles de ruido, que genera una mayor contaminación acústica ocasionando daños a la salud.

Referencias

1. Alberca Jiménez, Y. Y. (16 de Febrero de 2022). Modelo de Gestión Ambiental para reducir la contaminación acústica en la ciudad de Chiclayo - Lambayeque. *Gestión ambiental y del territorio*. Chiclayo, Perú: Universidad César Vallejo. Escuela de Posgrado. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/79699>
2. Amable Alvarez, I., Méndez Martínez, J., Delgado Pérez, L., Acebo Figueroa, F., de Armas Mestre, J., & Rivero Llop, M. L. (may - jun de 2017). Contaminación ambiental por ruido. *Rev Méd Electrón*, 39(3). Obtenido de <http://www.revmedicaelectronica.sld.cu/index.php/rme/article/view/2305/3446>
3. Calero Amores, M., Calero Proaño, L., & Andrade Laborde, M. (27 de Octubre de 2017). Indicador ambiental-acústico en la calidad de vida urbana de Guayaquil. *Yachana*, 6(3), 93-100. Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/3622/1/Indicador%20ambiental-ac%20c3%20astico%20en%20la%20calidad%20de%20vida%20urbana.pdf>
4. Ceballos Cogollo, J. D., & Acevedo Buitrago, B. (2022). Evaluación de la contaminación acústica en zonas aledañas a entornos sensibles y su relación con el planeamiento

- territorial en la ciudad de Bogotá. *Respuestas*, 26(1). Obtenido de <https://doi.org/10.22463/0122820X.2942>
5. Coral Carrillo, K. V. (2020). Modelos estadísticos de ruido ambiental para el Distrito Metropolitano de Quito DMQ, mediante datos históricos del 2009 al 2015, como herramienta de calidad ambiental. *ACI Avances En Ciencias E Ingenierías*, 12(1). Obtenido de <https://doi.org/10.18272/aci.v12i1.941>
 6. Kilic, Y., & Abus, M. (25 de Noviembre de 2019). Determination of Noise Pollution in the Hudavendigar Urban Park of Bursa, Turkey. *Applied Ecology & Environmental* 18(2):2073-2085. doi:https://dx.doi.org/10.15666/aeer/1802_20732085
 7. López Trujillo, D. A., & López Villareal, S. M. (29 de Enero de 2018). Análisis de la contaminación acústica generada por el parque automotor en la zona urbana de la ciudad de Ibarra. *Tesis*. Ibarra, Imbabura, Ecuador: Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7842>
 8. Orellana, d., & Chacón, J. (2013). Elaboración de un mapa de ruido según el uso de suelo para la zona centrica de la ciudad de Macas. *Universidad Nacional de Chimborazo*, 1(1), 12-15.
 9. Quichimbo Carrillo, K. A. (2020). Evaluación de los niveles de contaminación acústica en la urbanización Florida Norte de la ciudad de Guayaquil para la propuesta de un plan de mitigación . Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad Agraria del Ecuador. Obtenido de <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/QUICHIMBO%20CARRILLO%20KATHERINE%20ALEXANDRA.pdf>
 10. Salao, L. (2011). Evaluación de impacto y plan de mitigación de los efectos de mitigación de los efectos de ruido en el Mercado Mayorista. *Escuela Superior Politecnica de Chimborazo*, 1(1), 12-20.
 11. SPDA. (8 de Junio de 2016). Solo 7 distritos de Lima sancionan la excesiva emisión de ruido. Lima, Perú: Actualidad Ambiental. Obtenido de <https://www.actualidadambiental.pe/solo-7-distritos-de-lima-sancionan-la-excesiva-emision-de-ruido/>
 12. Tena, A. (11 de Septiembre de 2020). *Madrid se enfrenta a una posible sanción de la UE por exceso de ruido en las carreteras*. Obtenido de

<https://www.publico.es/sociedad/contaminacion-acustica-ruido-contaminacion-pasa-desapercibida-suponer-nueva-sancion-europea-madrid.html>

13. Uquillas, J. (2020). Movilidad en la ciudad de Riobamba en tiempos de cuarentena. *Universidad Nacional de Chimborazo*, 1(1), 23-27.

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).