



EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN URBANA POR EMISIONES SONORAS REGISTRADAS CON SONÓMETRO Y NODOS SENSORES

EVALUATION OF URBAN POLLUTION BY NOISE EMISSIONS REGISTERED WITH A SOUND LEVEL METER AND SENSOR NODES

Julia Martínez Gavilanes*, Omar Delgado Inga, Ismael Vanegas Galindo,
Darío Espinoza Saquicela y Francisco Salgado Castillo

Universidad del Azuay, Av. 24 de Mayo 7-77, Cuenca, Ecuador.

*Autor para correspondencia: jumartinez@uazuay.edu.ec

Manuscrito recibido el 5 de enero de 2022. Aceptado, tras revisión, el 7 de febrero 2022. Publicado el 1 de septiembre de 2024.

Resumen

El incremento de las emisiones sonoras se asocia a la actividad antrópica y es el centro urbano en donde se presentan afectaciones a la población y al entorno. El presente estudio tuvo dos componentes, el primero abarcó la evaluación del comportamiento sonoro en el área urbana de Cuenca-2019, en donde se realizaron monitoreos en 31 puntos distribuidos en la ciudad en función del tráfico promedio diario, uso del suelo y dinámicas de la población; se tomó como referencia la norma ambiental nacional TULSMA (Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente). Los resultados mostraron que el ruido sobrepasa los límites de la norma en el 100% de las mediciones realizadas en la zona de equipamientos de servicios sociales (EQ1), 96% de las mediciones en la zona residencial (R1), 100% de las mediciones en la zona comercial (CM) y en el 72% de las mediciones de la zona industrial de mediano y alto impacto (ID3/ID4). En el segundo componente se compararon los datos levantados de manera simultánea con sensor y sonómetro, en seis nuevas estaciones de monitoreo establecidas sobre la base de las denuncias de ruido realizadas por la ciudadanía a la autoridad municipal de Cuenca y las condiciones de seguridad para la colocación de los equipos. Se obtuvo un alto coeficiente de correlación ($r = 0,8$) y de determinación ($R^2 > 0,6$), entre los datos levantados con sensor y sonómetro. Se resalta el uso del sonómetro calibrado cuando se realizan mediciones sonoras con diversos instrumentos, ya que permite verificar y validar los datos.

Palabras clave: ruido, sonómetro, nodos sensores, TULSMA

Abstract

The increase in noise emissions is associated with an increase in the population, with anthropic activities, and it is in urban centers where a series of effects on both the population and the environment occur. The present study covered the evaluation of the noise behavior in the city of Cuenca during 2019, for which monitoring was carried out in 31 points distributed in the city based on the average daily traffic, the ordinance of use and occupation of the land and the dynamics of the population. The national environmental standard TULSMA (Unified Text of Secondary Legislation of the Ministry of the Environment) was taken as a reference. To establish the comparison of the data collected with a (low-cost, noise level) sensor and a sound level meter, measurements were made in 6 monitoring stations established on the basis of noise complaints made by citizens to the autonomous decentralized municipal government of Cuenca (GAD) and the security conditions to place for the placement of the equipment. The results showed that noise, in the city of Cuenca during 2019, noise is above the TULSMA environmental standard in Zone EQ1 (100% of the measurements), Zone R1 (96% of the measurements), Zone CM (100% of the measurements) and in Zone ID3 / ID4 (72% of the measurements). There was a high correlation coefficient ($r = 0.8$) and determination coefficient ($R^2 > 0.6$), between the data collected with the sensor and the sound level meter. It is worth highlighting the use of the calibrated sound level meter when making sound measurements with various instruments, as it allows the data to be verified and validated.

Keywords: noise, sound level meter, sensor nodes, TULSMA.

Forma sugerida de citar: Martínez, J., Delgado, O., Vanegas, I., Espinoza, D., y Salgado, F. (2024). Evaluación de la contaminación urbana por emisiones sonoras registradas con sonómetro y nodos sensores. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 40(2):78-91. <https://doi.org/10.17163/lgr.n40.2024.05>.

IDs Orcid:

Julia Martínez Gavilanes: <https://orcid.org/0000-0001-7043-1277>

Omar Delgado Inga: <https://orcid.org/0000-0001-7176-6490>

Ismael Vanegas Galindo: <https://orcid.org/0000-0002-4246-1986>

Darío Espinoza Saquicela: <https://orcid.org/0000-0001-5852-8455>

Francisco Salgado Castillo: <https://orcid.org/0000-0001-7380-0701>

1 Introducción

Al sonido se lo define como una onda sonora capaz de producir la sensación de sonido; y la sonoridad es la sensación subjetiva generada por variación de presión en el oído (Laforga, 2000). Para la física, “es una sensación percibida por el oído, debido a las diferencias de presión producidas por la vibración de un cuerpo” (Robles y Arias, 2015, p. 10), en tanto que al ruido se lo asocia con sonidos molestos, no deseados (García y Garrido, 2003; Robles y Arias, 2015), o “cualquier sonido que perturba al ser humano y el desarrollo de sus actividades” (Rodríguez, 2015, p. 3).

Los seres vivos desde su aparición en el planeta han sido receptores de variedad de sonidos provenientes del entorno, sin embargo, el sonido ambiental ha ido en incremento asociado a la actividad antrópica, en la actualidad se lo considera indeseable ya que afecta el equilibrio natural, perjudica a la población y se presenta como una importante fuente de contaminación de las ciudades (Alfie y Salinas, 2017) y un problema de salud pública (Fiedler y Zannin, 2015).

Las fuentes de ruido van desde el uso de vehículos a altas velocidades, sin revisión o mantenimiento, alzar la voz, entre otras; que provienen del actuar habitual de la población (García y Garrido, 2003), inclusive factores como la edad, nivel de estrés o aspectos como la calidad del aire pueden afectar la percepción sonora e influir en el paisaje sonoro de un territorio, de manera positiva o negativa (Mora-ga y col., 2017).

Las áreas urbanas presentan un crecimiento poblacional continuo que propician el ingreso de población por estudios, gestión, trabajo o residencia y acarrear un abandono de las periferias causando desequilibrios en el territorio (Gómez y Vallarino, 2010), que se derivan en alteraciones al entorno urbano como la congestión vehicular que emite a la atmósfera gases, material particulado y ruido; ocasionando pérdida de la calidad ambiental del centro urbano. Para establecer el impacto por ruido es necesario hacerlo en función de las afecciones que puede causar a la sociedad, sea fisiológica o psicossociológicamente; en tal razón, el ruido es estudiado por universidades, entidades públicas y privadas a nivel mundial; según Romo Orozco y Gómez Sán-

chez (2013), los altos niveles sonoros pueden afectar el órgano auditivo y los bajos la salud psicosomática.

Como lo expresa Burneo (2007a) la exposición continua y constante a sonidos con excesivos o altos niveles, inducen de manera lenta a la pérdida irreversible de la capacidad auditiva (Daiber y col., 2019), aumenta enfermedades cardio metabólicas, arritmia, diabetes mellitus y en función de las condiciones emocionales de las personas expuestas, se presentan casos de estrés que pueden desencadenar en vasoconstricción, variabilidad en la frecuencia cardíaca y coagulación (Daiber y col., 2019).

Grass y col. (2017, p. 5) expresa: “Ante la exposición a altos niveles de ruido de forma prolongada, el estómago puede segregar una sustancia ácida y una cantidad de hormonas suprarrenales; estos son los primeros síntomas de alarma ante el estrés agudo; también puede existir dificultad para concentrarse, que desencadena un descenso del nivel del rendimiento y aumenta el nivel de ansiedad en el profesional al sentirse incomunicado con su entorno, además de irritabilidad, trastorno del sueño, fatiga y depresión”, y grupos críticos como los infantes, niños, ancianos, enfermos y madres embarazadas son los que sufren más a causa del ruido (Burneo, 2007b).

La carga mundial de morbilidad ha cambiado como consecuencia de la industrialización y modernización, porque incorpora un factor de riesgo como el ruido que genera enfermedades crónicas (Daiber y col., 2019); no solamente de tipo físico sino también psíquico como estrés, interferencia con la comunicación del habla, pérdida de rendimiento, alteraciones que crecen cuando el sonido se incrementa, afectando la calidad de vida (Basner y col., 2014; Nazneen, Raza y Khan, 2020).

El nivel sonoro está en incremento, su conocimiento es necesario para delimitarlo, regularlo y combatirlo con políticas y legislación (García y Garrido, 2003), no es una actividad habitual porque ha sido considerado como un hecho común producto de la vida cotidiana, dando poca importancia a sus efectos (Bañuelos Castañeda, 2005). Para la sociedad, la contaminación son los efectos negativos sobre factores como el agua, suelo, aire, en tanto que al ruido se lo califica como “poco grave” (Zamorano

y col., 2015, p. 2). Para cuantificar el sonido inicialmente se lo realizó a través de la música, de manera cualitativa, es decir: fuerte, alto, etc., sin precisión científica, dependiente de la agudeza auditiva de la persona que lo percibe (Long, 2006). Luego de múltiples estudios experimentales Fletcher Munson (1933), Robinson y Dadson (1956), elaboraron las curvas con los niveles de sonoridad basados en juicios humanos sobre un tono percibido, en comparación con uno de referencia (Long, 2006); pero no pudieron ser usadas con un medidor de sonido analógico, por lo que se han desarrollado filtros de ponderación eléctrica que se aproximan a las curvas de Fletcher Munson las que se han denominado con letras del alfabeto A, B, C (Long, 2006).

Con el propósito de mostrar a la población información relacionada con el ruido, la Universidad del Azuay (UDA) desde el año 2009 monitorea estas emisiones en Cuenca con sonómetro certificado de manera anual y desde el año 2018 con nodos sensores en tiempo real de manera continua, contribuyendo al cumplimiento del Art. 14 de la Constitución de la República del Ecuador que estipula: “El derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kausay*...” (Asamblea Constituyente, 2008, p. 13). En la ciudad objeto de estudio se asienta aproximadamente el 66% de la población del cantón (INEC, 2010), con un total de 330.000 habitantes; dando como resultado zonas con contaminación acústica generalizada, fenómeno del cual no podemos estar indiferentes (García y Garrido, 2003).

A la par del crecimiento poblacional la evolución tecnológica permite un mejor desarrollo de las ciudades, formando lo que se denomina “ciudades inteligentes”, (UNRN, 2010), este concepto se relaciona con la infraestructura de comunicación para recolectar información y distribuirla a través de redes. Las tecnologías de información y comunicaciones (TIC) han permitido mejorar la calidad de vida de la población, disminuyendo tiempo de gestión y de movilización, contribuyendo a la reducción de emisiones y contaminación ambiental (Lin y col., 2011).

Las redes de sensores inalámbricas están formadas por una red de adquisición y otra de distribución de datos, son controladas y monitoreadas por

un centro de gestión (Lewis, 2004); esta red está formada por nodos generadores y retransmisores de datos, un microprocesador y un transceptor (Akylidiz y Vuran, 2010). Su aplicabilidad es amplia, los datos captados pueden ser variables ambientales como datos meteorológicos, emisiones sonoras, calidad del agua, monitoreo ambiental, con la capacidad de transmisión en tiempo real (Cuenca y col., 2017).

En ciudades del Ecuador se monitorean las emisiones acústicas, en Guayaquil en el marco del diseño de una red de monitoreo de calidad del aire, se ha estudiado los niveles de ruido provenientes de fuentes fijas y móviles, determinando la presión sonora equivalente (NPSeq) en decibeles dB (IDYC, 2016). Quito y el Centro Histórico de Cuenca han utilizado herramientas como el software Cadna A y el modelo de predicción-propagación “HARMO-NOISE P2P” respectivamente, para elaborar mapas que representan el estado del ruido en sectores de la urbe (Bravo Moncayo, 2019; Armijos-Arcos, 2018).

La investigación realizada abarcó la evaluación del comportamiento sonoro en Cuenca al 2019 en 31 puntos preestablecidos, datos levantados con sonómetro. Adicionalmente se realizaron mediciones de manera simultánea con sonómetro y sensores de ruido en seis nuevos puntos de monitoreo con el propósito de establecer el grado de precisión en la toma de datos, los valores permitieron realizar el análisis comparativo.

2 Materiales y métodos

El proyecto se desarrolló en el área urbana de Cuenca, provincia del Azuay, ubicada a 2550 m.s.n.m., con 331.888 hab. (INEC, 2010), en una superficie de 79,59 km².

2.1 Equipos

El levantamiento de información se realizó con Sonómetro modelo SOUNDPRO DL-2-1/3 SLM, serie BCQ120001, Clase 1 integrador y debidamente certificado que permite obtener el nivel promedio equivalente de manera automática sobre la base de todas las muestras que se registren en el período determinado (15 minutos). El dato levantado por cada punto de monitoreo fue el nivel de sonido equiva-

lente (Leq) con escala A/C, recomendado para monitoreo de ruido ambiental (Long, 2006). El (Leq) mide “el nivel constante de ruido con el mismo con-

tenido de energía, que la variación acústica de la señal sonora calculada” (Aagesen, 2002, p. 57).

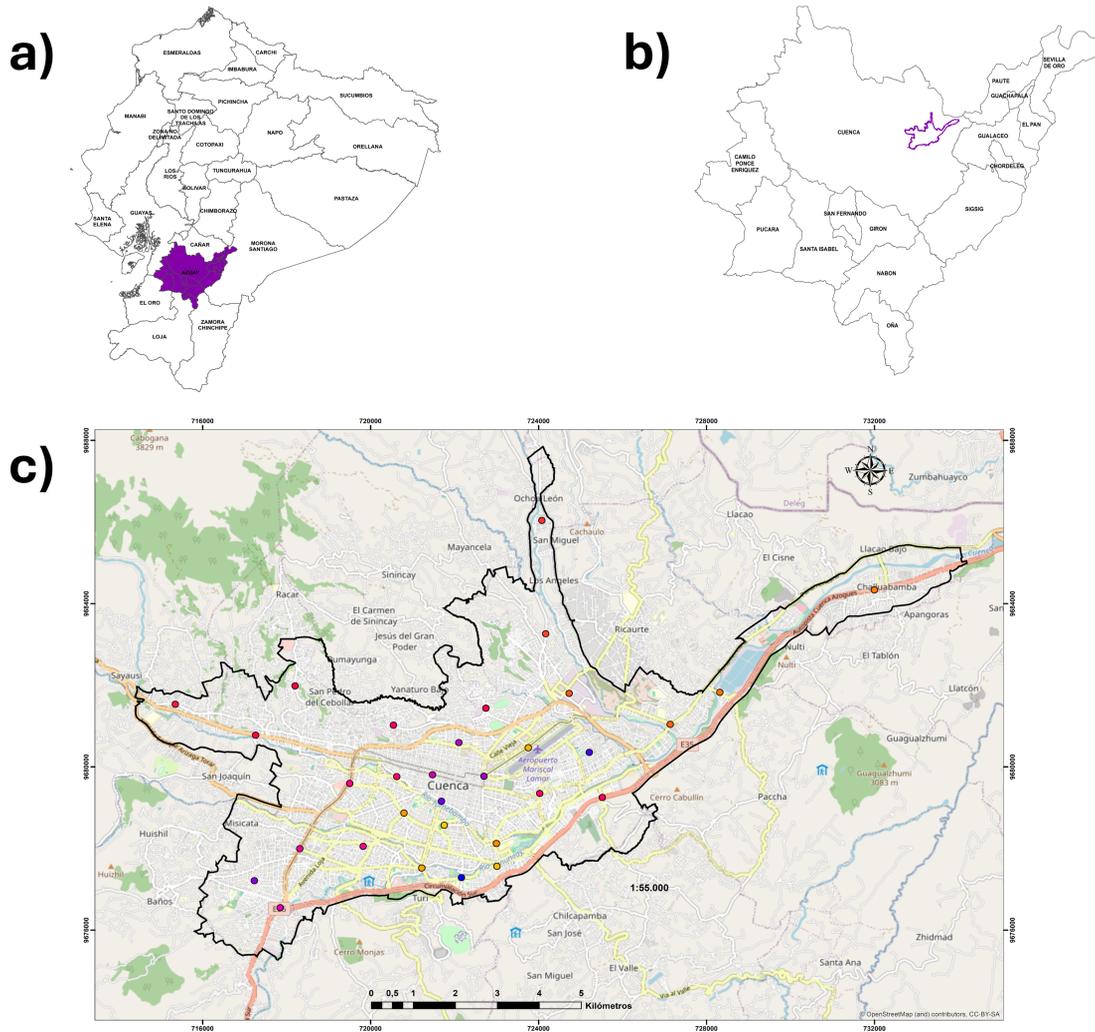


Figura 1. Mapas de ubicación del proyecto: a) Localización provincia del Azuay. b) Localización de la ciudad de Cuenca. c) Zona del proyecto. Elaboración a partir de la información del INEC, 2010 y del Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador IERSE-UDA, 2019.

Para los sensores de ruido la tecnología utilizada se basa en el modelo de internet de las cosas, y está constituida por un conjunto de nodos sensores inalámbricos que forman una red; estos dispositivos tienen la capacidad de procesamiento, almacenamiento y comunicación; dotados de una batería que les provee de energía, como se ve en la Figura 2 (Salgado y Carranco, 2017). Los nodos sensores

referenciales se denominan “Waspmote plug sense”; constan de un empaquetado resistente al agua (IP65) con sockets para la conexión de sensores, panel solar, antena y un terminal para la programación del nodo. El modelo utilizado es: *Smart Cities PRO (SC_NODE)* (Salgado y Carranco, 2017).

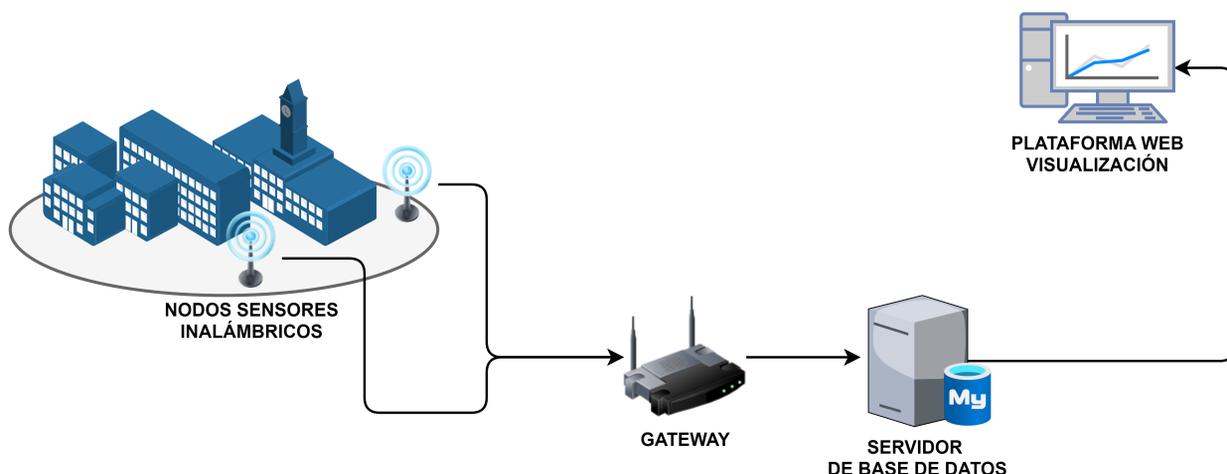


Figura 2. Esquema del funcionamiento de la red de sensores inalámbricos y transmisión de datos. Figura elaborada por Darío Espinoza.

El presente estudio es de naturaleza empírica con enfoque cuantitativo y los datos fueron levantados entre marzo y abril de 2019. La investigación partió del levantamiento de datos in situ tanto con sonómetro como con sensor, la información recopilada se comparó con los estándares establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del (Ministerio de Ambiente, 2019), luego se correlacionaron los datos obtenidos con sensor y sonómetro.

2.2 Monitoreo con sonómetro

Se cuenta con una red de 31 puntos de monitoreo (Figura 3), para su ubicación se consideraron tres criterios: densidad de tráfico, uso y ocupación del suelo y dinámicas de la población. La medición se realizó en seis horarios, correspondientes a las horas pico de flujo vehicular en la ciudad de Cuenca: 7h01, 13h00 y 18h00, y horas valle 10h00 y 15h00; adicionalmente se incorporó el horario nocturno de las 21h01. Estos horarios se establecieron en función del estudio realizado por el GAD de Cuenca, que determinó las horas de mayor y menor ingreso y salida de vehículos del centro de la ciudad (GAD Cuenca, 2007). El período de monitoreo por punto fue de 15 minutos en cada horario, cumpliendo con lo establecido en el Anexo V del TULSMA, el que recomienda un período de monitoreo de 10 minutos como mínimo (Ministerio de Ambiente, 2019).

2.3 Monitoreo con nodos sensores

Se establecieron seis puntos de monitoreo (Figura 4); para su ubicación se consideraron las denuncias por exceso de ruido recibidas en el Municipio de Cuenca, inspecciones a los sitios reportados como generadores de ruido y las condiciones logísticas como requerimientos de energía, cámaras de video, seguridad de los equipos.

La información de los nodos sensores son captados de manera continua y en tiempo real desde octubre de 2018; los datos se presentan en períodos de 12,25 min en el sitio web de la UDA; para el presente proyecto se utilizó la información reportada entre el 18 de marzo y 15 de abril de 2019, se unificó el horario de los sensores con los del sonómetro, es decir, se determinó el nivel de sonido equivalente (L_{eq}) para las 7h01, 10h00, 13h00, 15h00, 18h00 y 21h01.

Este cálculo se realizó con los datos reportados por el sensor por una hora. Los valores obtenidos son el resultado del promedio automático de todas las muestras captadas durante una hora, la escala de ponderación de los sensores es (A) y los promedios en este período fueron aritméticos. Los datos obtenidos con sonómetro fueron medidos por un período de 15 minutos en cada horario en cada punto de monitoreo.

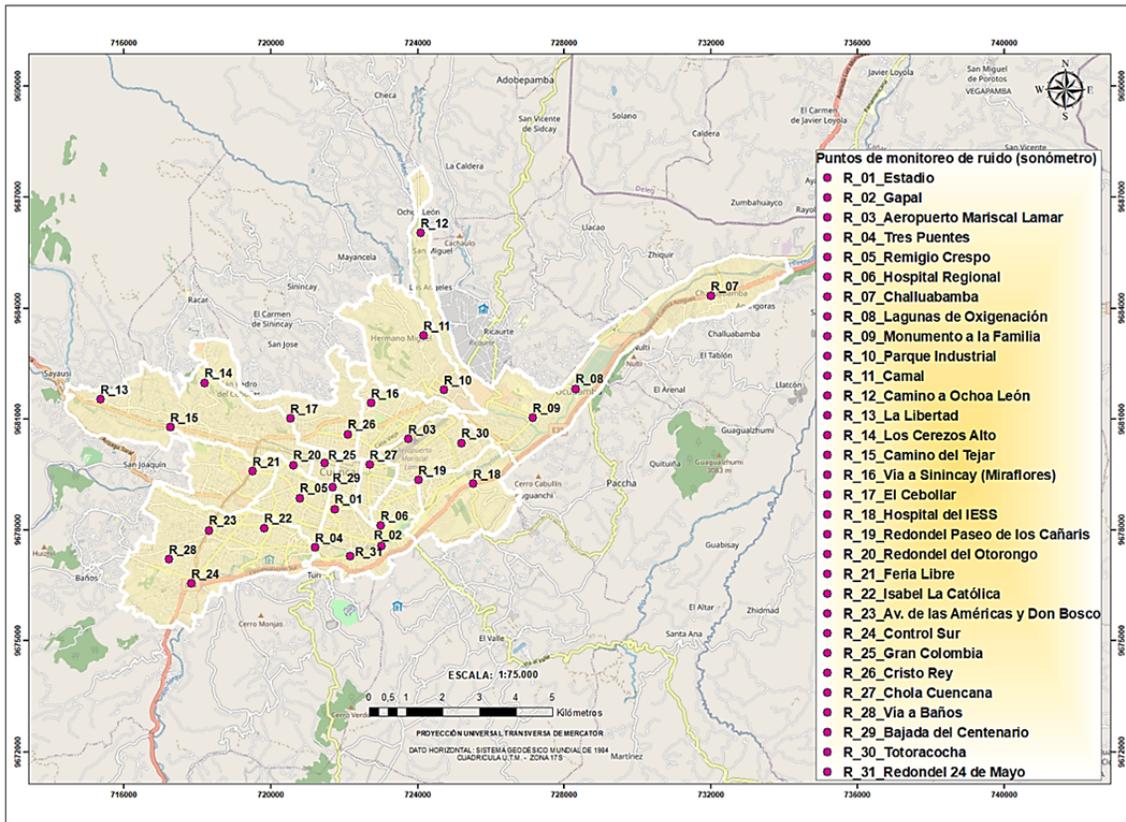


Figura 3. Ubicación de los sitios de monitoreo con sonómetro.

Tabla 1. Ubicación de los sensores de ruido en 2019.

Código	Sector	Calle Primaria	Calle Secundaria
SCP-04	Escalinata Juana de Oro	Calle Larga	Escalinata
SCP-05	Presidente Córdova	Presidente Córdova	Vargas Machuca
SCP-06	Remigio Crespo	Remigio Crespo	Agustín Cueva
SCP-07	Estadio Serrano Aguilar	Av. del Estadio	Av. Manuel J. Calle
SCP-08	Mercado El Arenal	Av. de las Américas	Av. Remigio Crespo
SCP-09	Parque Industrial	Paseo Río Machángara	Av. Octavio Chacón Moscoso

Tabla 2. Límites permisibles de ruido de acuerdo con TULS-MA, (2019).

Uso del suelo	L _{keq} (dB)	
	Período diurno 07:01 a 21:00h	Período nocturno 21:01 a 07:00h
R1	55	45
EQ1	55	45
CM	60	50
ID3 / ID4	70	65

2.4 Evaluación del ruido en la ciudad

Para establecer el comportamiento sonoro al 2019 se tomó como referencia el Anexo 5 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del (Ministerio de Ambiente, 2019) de la Tabla 2. Los 31 puntos de monitoreo con sonómetro se describen en la Tabla 3. Mientras que, los seis puntos en donde se realizaron monitoreos de manera simultánea se describen en la Tabla 4.

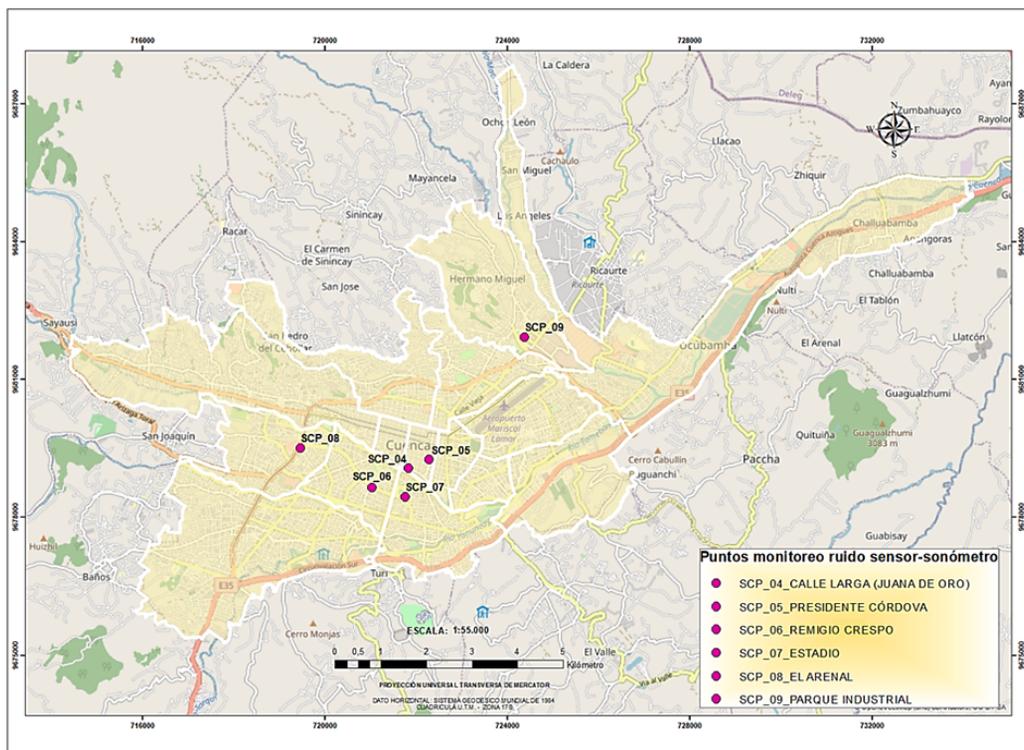


Figura 4. Ubicación de los sitios de monitoreo con sensores tipo 2019.

3 Resultados y discusión

3.1 Emisiones de ruido en Cuenca con sonómetro 2019

El análisis de los datos recolectados con sonómetro y evaluados con base al TULSMA (2019), se representan en la Figura 5. Los datos de ruido obtenidos para todas las zonas de estudio están sobre los límites establecidos en la norma ambiental- TULSMA, en todos los horarios de muestreo (Ver Tabla 2).

En la zona de equipamientos de servicios sociales (EQ1) las medianas en todos los horarios están entre los 68 dB y 72,3 dB. En los horarios de las 7h01, 13h00, 15h00 y 18h00, la mayoría de datos están sobre los 70dB.

La zona residencial (R1) cuenta con mayor número de monitoreos, las medianas en los distintos horarios oscilan entre los 68,2 dB y 72,4 dB. El menor valor se dio en el horario de las 15h00 con 54,3 dB. En la zona comercial (CM) los valores de las medianas están entre 68,2 dB y 72,4 dB y en los ho-

rarios de las 7h01, 13h00, 18h00 y 21h01, los datos obtenidos están en su mayoría sobre la mediana y a las 10h00 y 15h00 están por debajo de la mediana.

En la zona industrial (ID3/ID4), la mediana oscila entre 64,7 dB y los 70,4 dB, en los horarios 7h01, 10h00, 13h00, 18h00 y 21h01; los datos obtenidos en su mayoría están sobre la mediana; existe un sólo valor de 64,3 dB en el horario de las 21h01 que está por debajo de la norma TULSMA (2019); todos los restantes valores en los distintos horarios están sobre la citada norma.

Los valores de ruido en la ciudad de Cuenca para el año 2019 están sobre la legislación establecida en todos los horarios monitoreados y en todas las zonas de uso y ocupación del suelo. Los datos levantados que están sobre la norma TULSMA son: Zona EQ1 (100%), Zona R1 (96%), Zona CM (100%) y en la Zona ID3/ID4 (72%) del total de mediciones realizadas.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), indica que los valores de ruido por circulación vehicular están alrededor de los (70) dB, por lo que, al ser

el monitoreo en Cuenca realizado en puntos críticos, en las vías de mayor tráfico vehicular, se observa que los datos obtenidos están en correspondencia con lo establecido por la OMS (Berlung, Lindvall y Schwela, 1999).

Tabla 3. Puntos de monitoreo con sonómetro por uso del suelo.

No.	Punto medido (sector)	Uso del suelo (TULSMA 2019)
R_02	Gapal	Residencial
R_04	Tres Puentes	
R_07	Challuabamba	
R_08	Lagunas de oxigenación	
R_09	Monumento a la Familia	
R_12	Camino a Ochoa León	
R_13	La Libertad	
R_15	Camino al Tejar	
R_16	Vía a Sinincay (Miraflores)	
R_17	El Cebollar	
R_26	Cristo Rey	
R_28	Vía a Baños	
R_30	Totoracocha	
R_01	Estadio	Comercial
R_03	Aeropuerto Mariscal Lamar	
R_05	Remigio Crespo	
R_19	Redondel Paseo de los Cañaris	
R_21	Feria Libre	
R_23	Av. de las Américas y Don Bosco	
R_24	Control Sur	
R_25	Gran Colombia	
R_27	Chola Cuencana	
R_29	Bajada del Centenario	
R_06	Hospital Regional	Equipamientos de servicios sociales
R_18	Hospital del IESS	
R_20	Redondel del Otorongo	
R_22	Isabel La Católica	
R-31	Redondel 24 de Mayo	Industrial
R_10	Parque Industrial	
R_11	Camal	
R_14	Los Cerezos Alto	

Tabla 4. Puntos de monitoreo con sensor y sonómetro por uso del suelo.

No.	Punto medido (sector)	Uso del suelo (TULSMA, 2019)
SCP-04	Calle Larga (Escalinata Juana de Oro)	
SCP-05	Presidente Córdova	Comercial
SCP-06	Remigio Crespo	
SCP-07	Estadio Serrano Aguilar	
SCP-08	Mercado El Arenal	
SCP-09	Parque Industrial	Industrial

3.2 Emisiones de ruido con nodos sensores vs. sonómetro

Con el propósito de establecer una comparación, se realizaron mediciones con sensor y sonómetro en los seis puntos establecidos en la Figura 4; y los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 5.

Por otro lado, la Figura 6 indica las diferencias presentadas entre las mediciones realizadas con sensor y sonómetro, por cada uno de los puntos de medición. En la estación “Calle Larga”, la diferencia de medición sonora entre sonómetro y sensor está entre 2,5 dB y 3 dB. En la estación “Calle Presidente Córdova”, la diferencia de valor medido con sensor y sonómetro varía entre 2,9 dB y 5,1 dB. Las mayores diferencias se presentan en la estación “Av. Remigio Crespo”, las que varían entre 1,3 dB y 9 dB. En la estación “Sector Estadio Serrano Aguilar”, las variaciones oscilan entre 0,0 dB y 2,9 dB, los cuales se dan en el horario comprendido entre las 15h00 y 21h00; en tanto que, en los otros horarios de medición, las diferencias son mínimas. Los datos levantados en la estación “Sector Mercado El Arenal”, presentan una variación menor al 1 dB. Las emisiones sonoras presentadas en la estación “Parque Industrial”, varían entre 3 dB y 6,3 dB.

De los datos obtenidos con sensor vs. sonómetro se analizó principalmente la correlación. Los resultados se detallan en la Tabla 6. Se obtuvo el coeficiente de correlación de Pearson (r) y de Spearman (rho) además de sus valores p de significancia en donde los datos más representativos se resaltan en la Tabla 6.

Tabla 5. Emisiones sonoras con sensor y sonómetro.

Horario	07:01	10:00	13:00	15:00	18:00	21:01
Ruido sensor						
SCP-04	68,8	68,2	68,7	68,0	68,5	65,0
SCP-05	72,6	71,9	73,3	71,7	72,0	66,2
SCP-06	63,5	66,5	65,9	65,6	66,0	61,3
SCP-07	66,9	68,0	67,5	68,0	67,9	62,9
SCP-08	69,9	69,7	69,4	70,0	70,2	67,1
SCP-09	73,1	72,3	72,3	72,8	71,8	67,6
Ruido sonómetro						
SCP-04	71,8	70,5	71,1	70,7	70,9	67,4
SCP-05	76,1	75,8	76,2	75,9	75	71,3
SCP-06	70,4	67,8	70,8	70,7	69,3	70,3
SCP-07	67,1	68	67,4	68,3	70	65,8
SCP-08	70,8	70,3	69,6	69,5	70,3	67
SCP-09	76,1	76,5	78,6	76,2	75	72,6

El coeficiente r en los sitios de monitoreo: Calle Larga, Presidente Córdova, El Arenal y el Parque Industrial, presentan valores comprendidos entre 0,8 a 0,99, que muestran alta correlación entre los datos obtenidos con sensor y sonómetro; en el sector del Estadio Serrano Aguilar, aplica el coeficiente rho (por la no normalidad de los datos) con un valor de 0,81. La calle Remigio Crespo presenta valores erróneos, lo que indica que hay algún problema con este nodo sensor. Los indicadores estadísticos muestran que en zonas como el Parque Industrial y el Estadio Serrano Aguilar, hay variabilidad de los datos; en tanto que, en la calle Remigio Crespo se presentaron errores en la medición, que denotan la posibilidad de fallas cuando se emplean nodos sensores.

Como se observa en este acápite se analizaron los datos levantados en los seis puntos de monitoreo con sensor, sitios en los cuales de manera simultánea se levantaron datos con el sonómetro. Los datos de ruido obtenidos con los dos equipos están sobre los límites establecidos en la norma ambiental (Ministerio de Ambiente, 2019).

Adicionalmente entre los datos levantados se pueden observar que existen diferencias en todos los puntos de monitoreo. Entre las causas de la diferencia, se pueden mencionar: El filtro de ponderación en el que mide el sensor es "A", en tanto que con el sonómetro es A/C; el rango óptimo de medición del sensor es "50 dB – 100 dB", el sonómetro, al estar configurado simultáneamente en ponderación

A/C, cuenta con un rango mayor de medición que le permite percibir frecuencias bajas y altas (Salgado y Carranco, 2017).

Otro elemento analizado es la altura de toma de datos, los sensores fueron ubicados en los postes en donde se cumplían las condiciones logísticas necesarias; pero la altura de colocación depende de la ubicación en la cual están las cámaras de vigilancia del ECU 911.

La altura aproximada fue de 4 m sobre el nivel del piso y cada sensor se ubicó en distinta altura, razón por la cual imposibilita establecer una correlación que permita una generalización de comportamiento. Según los resultados obtenidos los valores captados por los sensores son menores a los del sonómetro, debido a la diferencia de altura de captación del dato, ya que el sonómetro monitorea el ruido a 1,80 m. sobre el nivel de piso y los sensores están sobre los 4m del nivel del piso.

Otras experiencias como en Quito que cuenta con un mapa de ruido para el día y otro para la noche (Bravo Moncayo, 2019). Para la toma de datos la ciudad ha sido dividida por sectores (32), identificando información como: nombre del sector, emisiones sonoras (dB), población potencial y altamente molesta. Para determinar la contaminación acústica utilizan el software CadnaA (Computer Aided Noise Abatement) que modela el ruido en función del tráfico vehicular y las características viales como ancho de carriles, capa de rodadura,

velocidad de circulación, IMD, etc. De manera aleatoria realizan la validación de datos con el uso de un sonómetro calibrado (Bravo Moncayo, 2019).

61,90 dB en el sector El Condado; hasta 72,70 dB en el Centro Histórico, durante el día; y, por la noche los valores disminuyen a 54,80 dB en el sector El Condado y hasta 67,40 dB en el sector La Libertad (Bravo Moncayo, 2019).

Los resultados muestran niveles de ruido entre

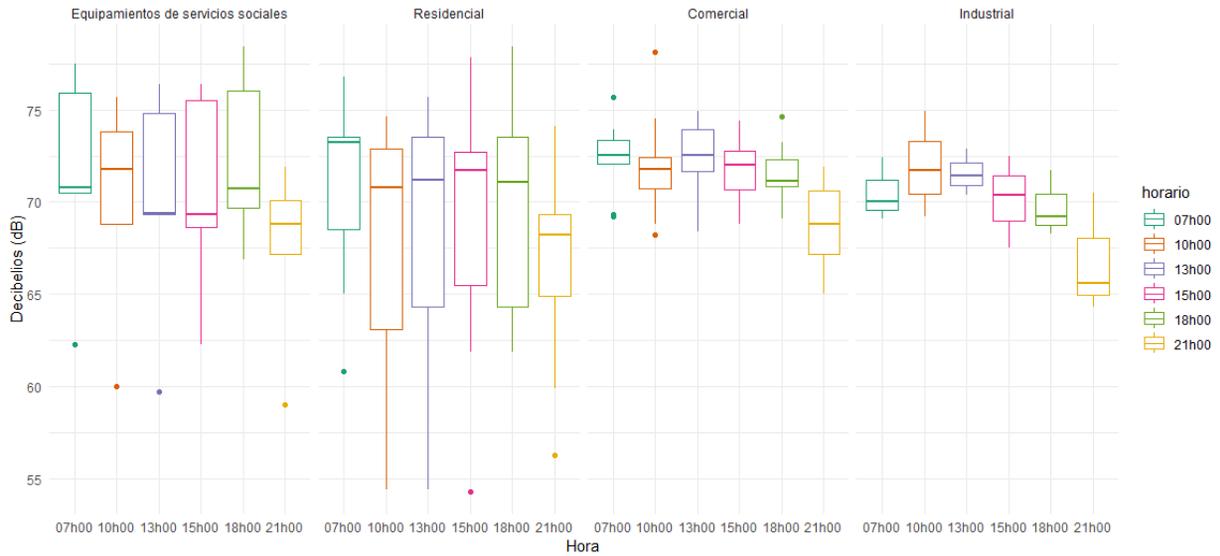


Figura 5. Gráfico de la medición de ruido con sonómetro, clasificado por uso del suelo de Cuenca, 2019.

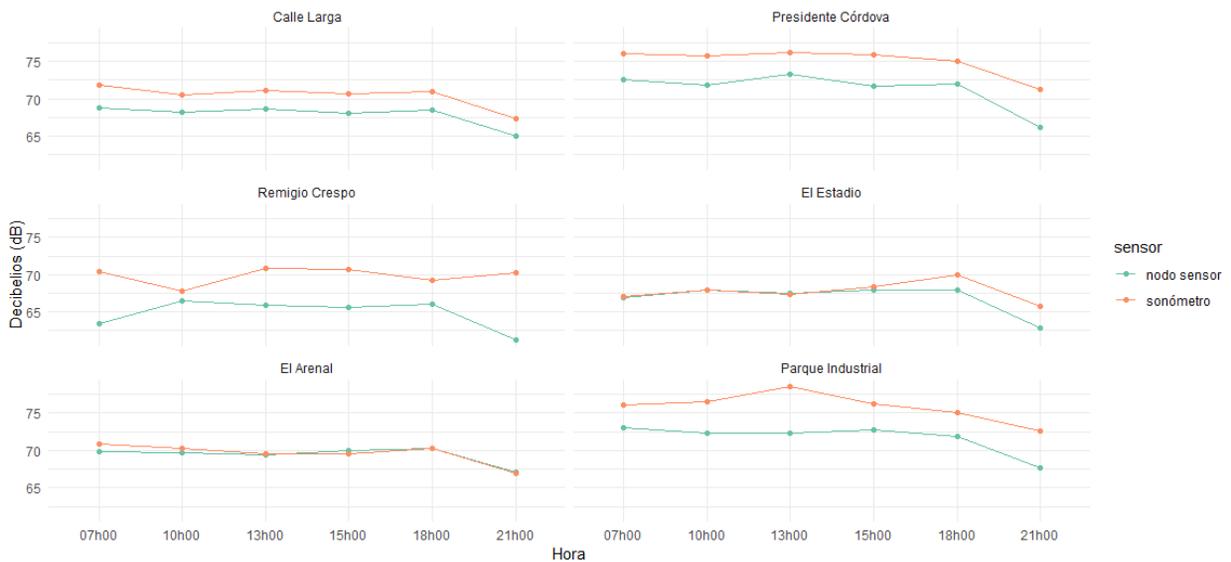


Figura 6. Comparación de las emisiones realizadas con sensor y sonómetro.

El ruido en el Centro Histórico de Cuenca ha sido estudiado por la Universidad Politécnica Salesiana (Armijos-Arcos, 2018), específicamente en un área de 250 m. alrededor de un punto de monitoreo ubicado en las calles Gran Colombia y Tarqui. A través de la utilización del modelo de predicción - propagación "HARMONOISE P2P" elaboran un mapa del ruido generado por el tráfico vehicular, utilizan un sonómetro para validar los datos.

Con el modelo de predicción obtienen un promedio de 68,58 dB, con el sonómetro el valor es 71,84 dB la diferencia es de -3,26 dB, concluyen que el modelo de propagación es adecuado (Armijos-Arcos, 2018). Guayaquil monitorea el ruido utilizando un sonómetro que monitorea 52 puntos preestablecidos en función del tráfico de los vehículos, en períodos de 12 min. Los valores obtenidos están sobre los 70 dB (IDYC, 2016).

Tabla 6. Correlación de los datos.

Índices de desempeño		Comparación entre sonómetro y sensor					
Índice	Símbolo	Calle Larga	Presidente Córdova	Remigio Crespo	Estadio Serrano Aguilar	El Arenal	Parque Industrial
Error cuadrático medio	RMSE	2,54	3,84	5,65	1,47	0,5	4,34
Desviación estándar	rSD	0,93	1,36	1,74	1,42	0,85	1,03
Coefficiente de correlación de Pearson (-1 <= r <= 1)	r	0,99 (valor-p = 0,0003)	0,98 (valor-p = 0,0008)	-0,41 (valor-p = 0,6034)	0,77 (valor-p = 0,0724)	0,93 (valor-p = 0,0064)	0,8 (valor-p = 0,0571)
Coefficiente de correlación de Spearman (-1 <= rho <= 1)	rho	0,94 (valor-p = 0,0167)	0,77 (valor-p = 0,1028)	-0,43 (valor-p = 0,4194)	0,81 (valor-p = 0,04989)	0,46 (valor-p = 0,3542)	0,46 (valor-p = 0,3542)
Coefficiente de determinación (0 <= R2 <= 1)	R2	0,97	0,95	0,17	0,6	0,87	0,64
Coefficiente de regresión (0 <= bR2 <= 1)	bR2	0,94	0,91	0,15	0,59	0,87	0,6

4 Conclusiones

La metodología planteada permitió contar con un conjunto de puntos de monitoreo de ruido distribuidos en la ciudad y al tomar como criterio para su ubicación la densidad de tránsito vehicular, los datos levantados presentan mayor intensidad acústica siendo los más desfavorables para la población. El período de levantamiento de emisiones sonoras por 15 minutos permitió cumplir con el método de muestreo vigente en la ley (Ministerio de Ambiente, 2019) y establecer un diagnóstico.

Las emisiones medidas con sonómetro en los 31 puntos están sobre la norma ambiental, se explica porque el monitoreo fue en sitios con alta intensidad de circulación vehicular y no al interior de las edificaciones. Los datos obtenidos en seis sitios de monitoreo simultáneo con sensor y sonómetro incumplen también el TULSMA, en este caso los puntos fueron escogidos en función de las denuncias de molestias por ruidos excesivos y periódicos.

Otras experiencias en ciudades como Quito y Guayaquil muestran resultados de emisiones similares a los obtenidos en Cuenca y sobrepasan los límites de la norma legal. Es de resaltar el uso del sonómetro calibrado porque es un referente para mediciones realizadas con otros dispositivos o herramientas ya sean de simulación, predicción o nodos sensores que han requerido validación de manera aleatoria.

Los datos que se levantaron con sensor y sonómetro de manera simultánea en los sectores: Calle Larga, Presidente Córdova, Estadio Serrano Aguilar, Mercado El Arenal y Parque Industrial, guardan una correlación entre (0,81 a 0,99) y en el sector Av. Remigio Crespo Toral se obtuvo (- 0,41) por error en la medición del nodo sensor, dificultando la determinación de un factor de corrección entre dicho sensor y sonómetro para este punto. Sin embargo, es importante presentar este resultado ya que evidencia un riesgo que se puede tener al usar nodos sensores. Adicionalmente se calcularon los coeficientes de determinación (R2) y de regresión (bR2)

cuyos resultados ratifican la alteración de los datos captados con el sensor (SCP-06). Para monitoreos posteriores se deberá revisar la existencia de anomalías en el equipo o factores como la presencia de campos magnéticos o un transformador eléctrico que perturbe el normal funcionamiento del sensor.

Para el análisis de los datos de ruido se utilizó el Nivel equivalente continuo (Leq) captado en los distintos horarios, el (Leq) programado del sensor fue aritmético y en banda (A) y del sonómetro el promedio es logarítmico y en banda (A/C), factores que influyeron en los resultados obtenidos.

Contribución de los autores

J.M.G.: Conceptualización, análisis formal, metodología, administración de proyectos, supervisión, visualización, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición; O.D.I.: Conceptualización, metodología, validación; I.V.G.: Curación de datos, análisis formal, investigación; D.E.S.: Curación de datos, Software, investigación; F.S.C.: Análisis formal.

Referencias

- Aagesen, H. (2002). «Índices basados en Leq». En: *Jornadas internacionales sobre contaminación acústica*.
- Akyildiz, I. y M. Vuran (2010). *Wireless Sensor Networks*. Vol. 4. John Wiley y Sons.
- Alfie, M. y O. Salinas (2017). «Noise in the city. Acoustic pollution and the walkable city». En: *Estudios demográficos y urbanos* 32.1, 65-96. Online: <https://bit.ly/3RhuhYY>.
- Armijos-Arcos, F. (2018). «Predicción de ruido por tráfico vehicular y elaboración del mapa de ruido utilizando el modelo HARMONOISE del Centro Histórico de Cuenca». Tesis de maestría. Universidad Politécnica Salesiana.
- Asamblea Constituyente (2008). *Constitución de la República del Ecuador. Registro oficial 449*. Inf. téc. Asamblea Constituyente.
- Bañuelos Castañeda, M. (2005). «Análisis de los niveles de ruido ambiental por tráfico vehicular en puntos críticos de la Zona Metropolitana de Guadalajara y actualización del mapa de ruido». Tesis de maestría. Universidad de Guadalajara.
- Basner, M. y col. (2014). «Auditory and non-auditory effects of noise on health». En: *The lancet* 383.9925, 1325-1332. Online: <https://bit.ly/3dALjmQ>.
- Berlung, B., T. Lindvall y D. Schwela (1999). *Guías para el ruido urbano*. Inf. téc. OMS.
- Bravo Moncayo, L. (2019). *Investigadores de la UDLA publican el primer mapa de ruido de Quito*.
- Burneo, A. (2007a). «Contaminación Ambiental por ruido y estrés en el Ecuador». En: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Cap. El ruido, un criminal sigiloso, págs. 30-38.
- (2007b). «Contaminación Ambiental por ruido y estrés en el Ecuador». En: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Cap. Ruido y contaminación ambiental en Quito.
- Cuenca, M. Quiñones y col. (2017). «Sistema De Monitoreo de Variables Medioambientales Usando Una Red de Sensores Inalámbricos y Plataformas De Internet De Las Cosas». En: *Enfoque UTE* 8.1. Online: <https://bit.ly/4cEjDXe>, 329-343.
- Daiber, A. y col. (2019). «Environmental noise induces the release of stress hormones and inflammatory signaling molecules leading to oxidative stress and vascular dysfunction-Signatures of the internal exposome». En: *Biofactors* 45.4, 495-506. Online: <https://bit.ly/3r1s3Sv>.
- Fiedler, P. y P. Zannin (2015). «Evaluation of noise pollution in urban traffic hubs-Noise maps and measurements». En: *Environmental Impact Assessment Review* 51, 1-9. Online: <https://bit.ly/3RbdmXE>.
- García, B. y F. Garrido (2003). *La contaminación acústica en nuestras ciudades*. Fundación La Caixa.
- Gómez, D. y T. Vallarino (2010). *Evaluación de impacto ambiental*. M. Prensa.
- Grass, Y. y col. (2017). «Noise in the stomatological working environment». En: *MediSan* 21.05, 527-533. Online: <https://bit.ly/3r2Yikp>.
- IDYC (2016). *Análisis de la situación actual de ruido*. Inf. téc. Guayaquil - Ecuador: IDYC.
- INEC (2010). *Censo de población y vivienda*.
- Laforga, P. (2000). «Conceptos físicos de las ondas sonoras». En: *Física y Sociedad* 11. Online: <https://bit.ly/3C5VdGz>.
- Lin, Chih-Kuang y col. (2011). «A Distributed and Scalable Time Slot Allocation Protocol for Wireless Sensor Networks». En: *IEEE Transactions on Mobile Computing* 10.4. Online: <https://bit.ly/3zsGkPz>, págs. 505-518.
- Long, M. (2006). *Architectural acoustics*. Elsevier.

- Ministerio de Ambiente (2019). *Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente. Ecuador*. Inf. téc. MAE.
- Moraga, P. y col. (2017). «Sonidos naturales y entorno urbano. ¿Son compatibles?» En: *ACOUSTICS 48o CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA*, págs. 446-455.
- Nazneen, S., A. Raza y S. Khan (2020). «Assessment of noise pollution and associated subjective health complaints and psychological symptoms: analysis through structure equation model». En: *Environmental Science and Pollution Research* 27.17, 21570-21580. Online:<https://bit.ly/3Se3vle>.
- Robles, A. y E. Arias (2015). *Metodologías de Evaluación: Exposición Ocupacional a Ruido y casos de análisis en agentes ambientales físicos; módulo exposición ocupacional a ruido*. Inf. téc. Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas.
- Rodríguez, F. (2015). «Ruido ambiental, comunicación y normatividad en la Ciudad de México». En: *Razón y Palabra* 19.91. Online:<https://bit.ly/3dABLbL>.
- Romo Orozco, J. M. y A. Gómez Sánchez (2013). «Ordenamiento territorial y participación social». En: Instituto Nacional de Ecología. Cap. La percepción social del ruido como contaminante, págs. 271-293.
- Salgado, F. y S. Carranco (2017). «Sistema de monitoreo de calidad del aire y ruido ambiental para la determinación de índices de contaminación basado en redes inalámbricas de sensores». Tesis de pregrado. Universidad del Azuay.
- UNRN (2010). *Laboratorio de Informática Aplicada de la Universidad Nacional de Río Negro*. Inf. téc. Universidad Nacional de Río Negro, Argentina.
- Zamorano, B. y col. (2015). «Contaminación por ruido en el centro histórico de Matamoros». En: *Acta universitaria* 25.5, 20-27. Online:<https://bit.ly/3SiBgIK>.