



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

Departamento de posgrados

**Evaluación de la contaminación urbana por emisiones
sonoras registradas con sonómetro y sensores remotos**

Maestría en gestión ambiental

Autora: Julia Martínez Gavilanes

Director: Omar Delgado Inga

Cuenca – Ecuador

2020

DEDICATORIA

A mi familia: Valdo, Belén y Teban, por el apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A Dios, mi familia y a mis amigos del IERSE, quienes han apoyado la realización del presente trabajo y de manera especial a los Ingenieros. Omar Delgado y Chester Sellers por la confianza y acompañamiento de siempre.

RESUMEN

El incremento de las emisiones sonoras se asocia a las actividades antrópicas, y es en los centros urbanos en dónde se dan un conjunto de afectaciones tanto a la población como al entorno. El presente estudio abarcó la evaluación del comportamiento sonoro de la ciudad de Cuenca durante el año 2019, los datos utilizados fueron levantados con el sonómetro calibrado y con sensores remotos. Se establecieron 6 puntos de monitoreo, en los cuales se midieron las emisiones de ruido. Los resultados presentaron un alto coeficiente de correlación de Pearson " $r = 0,8$ ", entre los datos levantados con sensor y sonómetro. Es de resaltar el uso del sonómetro calibrado cuando se realizan mediciones sonoras con diversos instrumentos, ya que permite verificar y validar los datos.

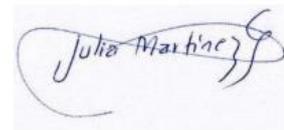
PALABRAS CLAVE: emisión sonora, sonómetro, sensores remotos, TULSMA

ABSTRACT

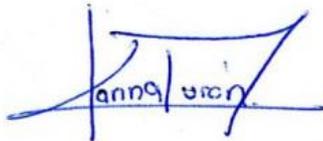
The increase in noise emissions is associated with anthropic activities. It is in urban centers where a series of effects on both the population and the environment occur. This study included the evaluation of the sound behavior in Cuenca during 2019. The data were collected with a calibrated sound level meter and remote sensors. Six monitoring points were established, in which noise emissions were measured. The results presented a high Pearson correlation coefficient " $r = 0.8$ ", between the data collected with the sensors 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 for data verification and validation.

KEYWORDS: noise emission, sound level meter, remote sensors, TULSMA

Translated by

A handwritten signature in black ink that reads "Julia Martínez". The signature is written in a cursive style with a large, sweeping flourish at the end.

Julia Martínez

A handwritten signature in blue ink. The signature is stylized and appears to be "Kannalun". It is written in a cursive style with a large, sweeping flourish at the end.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	09
2. MATERIALES Y MÉTODOS	13
2.1. Monitoreo con sonómetro	15
2.2. Monitoreo con sensores remotos	16
2.3. Evaluación del ruido en la ciudad	18
2.4. Representación de los datos a través de mapas	19
3. RESULTADOS	20
3.1. Emisiones de ruido en Cuenca con sonómetro 2019	20
3.2. Emisiones de ruido con sensores vs. sonómetro	21
3.3. Mapas de ruido	28
4. DISCUSIÓN	28
4.1. Evaluación del ruido en Cuenca con sonómetro	28
4.2. Evaluación del ruido en Cuenca con sensores vs. sonómetro	31
5. CONCLUSIÓN	32
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Mapas de ubicación del proyecto	14
Figura 2.- Mapa de ubicación de los sitios de monitoreo con sonómetro	15
Figura 3.- Mapa de ubicación de los sitios de monitoreo con sensor	17
Figura 4.- Proceso de transmisión de datos de la red de sensores inalámbricos	18
Figura 5.- Gráfico de las mediciones de ruido con sonómetro -Cuenca-2019	20
Figura 6.- Gráfico de las mediciones de ruido con sensor -Cuenca-2019	22
Figura 7.- Gráfico de las emisiones sonoras en los puntos de monitoreo con sensor	22
Figura 8.- Gráfico de las emisiones sonoras captadas con sensor vs. sonómetro Calle Larga (SCP – 04)	24
Figura 9.- Gráfico de las emisiones sonoras captadas con sensor vs. sonómetro Calle Presidente Córdova (SCP – 05)	24
Figura 10.- Gráfico de las emisiones sonoras captadas con sensor vs. sonómetro Avenida Remigio Crespo (SCP – 06)	25
Figura 11.- Gráfico de las emisiones sonoras captadas con sensor vs. sonómetro Sector Estadio Serrano Aguilar (SCP – 07)	25
Figura 12.- Gráfico de las emisiones sonoras captadas con sensor vs. sonómetro Mercado El Arenal (SCP – 08)	26
Figura 13.- Gráfico de las emisiones sonoras captadas con sensor vs. sonómetro Parque industrial (SCP – 09)	26
Figura 14.- Mapa de ruido – método IDW – 7h00	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Ubicación de los sensores.....	16
Tabla 2.- Límites permisibles de ruido – TULSMA 2015.....	18
Tabla 3.- Puntos de monitoreo con sonómetro de acuerdo al uso del suelo	19
Tabla 4.- Puntos de monitoreo con sensor de acuerdo al uso del suelo	19
Tabla 5.- Evaluación de ruido con sensores remotos con relación al TULSMA	21
Tabla 6.- Evaluación del ruido con sonómetro con relación al TULSMA	23
Tabla 7.- Emisiones sonoras con sensor y sonómetro	23
Tabla 8.- Análisis de correlación de los datos obtenidos	27
Tabla 9.- Límites de ruido – OMS – EPA – TULSMA	29

Julia Martínez Gavilanes
Trabajo de graduación
Omar Delgado Inga
Septiembre de 2020

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

1. INTRODUCCIÓN

Hablar de sonido, se lo puede hacer desde un punto de vista físico, como una onda sonora capaz de producir la sensación de sonido; y la sonoridad que es la sensación subjetiva producida por ciertas variaciones de presión en el oído (Laforga, 2004)

Para la física, *“es una sensación percibida por el oído, debido a las diferencias de presión producidas por la vibración de un cuerpo”* (Robles & Arias, 2015), en tanto que al ruido se lo asocia con sonidos molestos, no deseados (García & Garrido, 2003),(Robles & Arias, 2015), o *“cualquier sonido que perturba al ser humano y el desarrollo de sus actividades”* (Rodríguez, 2015).

Los seres vivos, desde su aparición en el planeta, han sido receptores de variedad de sonidos, los cuales han provenido del entorno, generalmente de los fenómenos naturales. Sin embargo, el sonido ambiental ha ido en incremento asociados a la actividad antrópica, y ya desde tiempos de la revolución industrial, se le considera como un contaminante, por ser un sonido indeseable que afecta el equilibrio natural, perjudica a la población y se presenta como una importante fuente de contaminación de las ciudades (Cohen & Castillo, 2017) y un problema de salud pública (Fiedler y Zannin, 2015) citado por (Nazneen et al., 2020).

Desde un punto de vista físico, inicialmente se intentó cuantificar el volumen del sonido a través de la música, pero lo realizaron de manera cualitativa, es decir: fuerte, alto, moderadamente suave, etc., pero sin precisión científica y dependiente de la agudeza auditiva de la persona que lo percibe (Long, 2006).

Luego de múltiples pruebas y estudios experimentales de niveles de sonoridad que se han realizado desde los años 1920, como es el caso de Fletcher Munson (1933), Robinson y

Dadson (1956), quienes elaboraron unas curvas con los niveles de sonoridad basados en juicios humanos, sobre un tono percibido, en comparación con uno de referencia (Long, 2006).

Las curvas de Fletcher Munson 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. Las curvas A y C son las más utilizadas, el nivel A(dBA) es la medida de volumen más frecuente, sin embargo, el filtro de ponderación C se recomienda cuando se registra ruido ambiental (Long, 2006); según Leo Beranek, "*la lectura de un medidor sonoro construido de acuerdo con las especificaciones de la American Standards Association recomienda usar el filtro A para lecturas comprendidas entre 24 y 55 dB, filtro B para lecturas entre 55 y 85 dB y la C por encima de 85 dB*" (Beranek, 1969).

Si bien se puede medir el sonido como una magnitud, pero, para establecer el impacto por ruido, es necesario hacerlo en función de las afecciones o alteraciones que puede causar a la sociedad, ya sea fisiológica o psicosociológicamente.

En tal razón, el factor ruido es estudiado en el último tiempo por universidades, entidades públicas y privadas a nivel mundial, por ser considerado como un impacto ambiental generado directamente por la actividad humana y que perjudica la salud y la calidad de vida de la población; según Romo y Gómez (2012), los altos niveles pueden alterar el órgano auditivo, y los bajos afectan la salud psicosomática, citado por (Cohen & Castillo, 2017)

Partiendo de la definición de ruido urbano como el "*ruido emitido por todas las fuentes a excepción de las áreas industriales*", se lo conoce también como: ruido ambiental o doméstico (Berglund et al., 1999), su conocimiento, comportamiento y análisis se presenta como una necesidad, ya que está en incremento, por lo que requiere ser delimitado, debidamente regulado y combatido con políticas y legislación. (García & Garrido, 2003)

En la actualidad, conocer el nivel sonoro de los centros urbanos es necesario, sin embargo, no es una actividad habitual, debido a que se considera al sonido que emitimos como un hecho común producto de la vida cotidiana, razón por la cual se ha dado poca importancia a sus efectos (Castañeda, 2005).

Generalmente se ha considerado como contaminación a los efectos negativos sobre el agua, el suelo, el aire, en tanto que, al ruido se lo considera "*poco grave*" (Zamorano et al., 2015). No se ha dado atención al ambiente sonoro en donde de manera diaria la población se desenvuelve, salvo algunas excepciones que lo consideran con seriedad (Rodríguez, 2015).

Desde los años 70 empieza a conocerse al ruido como contaminante con efectos sobre la salud, paralelamente a través del avance científico se ha ido documentando, estudiando tanto en los campos de la física y de la medicina, sus características, causas, efectos y su relación con el bienestar humano (Cohen & Castillo, 2017).

Las áreas urbanas de los distintos territorios presentan un crecimiento poblacional continuo, mucho más aquellas ciudades que son consideradas polos de desarrollo, a los cuales ingresa la población ya sea por estudios, gestión, trabajo o residencia.

El incremento poblacional en áreas urbanas acarrea un abandono de las zonas periféricas, causando un desequilibrio territorial (Gómez & Vallarino, 2010), del cual se derivan un conjunto de alteraciones al entorno urbano como son: congestión vehicular, emisiones al ambiente, específicamente de gases, material particulado, y ruido; lo que ocasiona una pérdida de la calidad ambiental del centro urbano y por ende de la calidad de vida de la población; se debe indicar inclusive que la carga mundial de morbilidad ha cambiado como consecuencia de la industrialización y modernización, ya que al incorporar factores de riesgo entre los que se destaca el ruido, genera enfermedades crónicas (Daiber et al., 2019); por lo tanto los problemas a la salud derivados de la exposición al sonido urbano no solamente son de tipo físico, sino también psíquico como estrés, trastornos de sueño, interferencia con la comunicación del habla, pérdida de rendimiento ; Ongel y Sezgin 2016, etc., los mismos que crecen cuando el sonido se incrementa, afectando la calidad de vida (Basner et al. 2014), citados en (Nazneen et al., 2020).

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

Yadia Grass 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, es decir, 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”* citado por (Grass et al., 2017), es de mencionar que grupos críticos como los infantes, niños, ancianos, enfermos y madres embarazadas, son los que sufren más a causa del ruido (Burneo, 2007).

Con el incremento de la población en los centros urbanos, se ha creado un ambiente ruidoso, el cual es compartido democráticamente por todos, en mayor o menor cantidad; sus fuentes pueden ir desde el uso de un vehículo a altas velocidades, o vehículos sin revisión o mantenimiento, alzar la voz, entre otras; que provienen del actuar habitual de la población (García & Garrido, 2003), inclusive factores como la edad, los estudios que se hayan realizado, o aspectos como la calidad del aire, olores contribuyen en el paisaje sonoro de un territorio, ya sea de manera positiva o negativa (Moraga et al., 2017).

El ruido tiene una causa que es el agente que produce el sonido, la transmisión de la vibración y el efecto o reacción, la cual se produce con la audición (García & Garrido, 2003). El ruido proviene de distintas fuentes que pueden ser: vehículos, industrias, construcción; en general de las actividades productivas que realiza el hombre, por lo que es necesario dar a conocer a los generadores o promotores de actividades, cómo sus acciones están produciendo impactos al ambiente y a la salud de la población.

Con el propósito de mostrar a la población información relacionada con el factor ruido, es necesario registrar las emisiones; es por esa razón que la Universidad del Azuay, lleva adelante desde el año 2009 el monitoreo del ruido ambiente en la ciudad de Cuenca a través de mediciones con sonómetro certificado; y, desde el año 2018, con sensores remotos distribuidos en seis sitios en la ciudad.

Para el caso del Ecuador, las ciudades en donde se conoce que se monitorea el ruido son Quito, Guayaquil y Cuenca; en tanto que en las restantes se carece de esta información, lo que dificulta determinar el grado de afectación de la población, así como también impide dar cumplimiento a la norma ambiental TULSMA (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2015), la cual establece que en ciudades con 250.000 habitantes o más, deberán elaborar mapas de ruido; así mismo, no se considera lo detallado en el 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).

En el caso particular de la ciudad de Cuenca, aproximadamente el 66% de la población del cantón está asentada en el área urbana de esta ciudad (INEC, 2010), reuniendo una población total de 330.000 habitantes; dando como resultado ambientes con contaminación acústica generalizada, fenómeno del cual no podemos estar indiferentes (García & 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”*, (Laboratorio de

Informática Aplicada, 2010), este concepto se relaciona con la infraestructura de comunicación para recolectar información y luego distribuirla, a través de redes.

El uso de las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC), ha permitido mejorar la calidad de vida de la población, disminuyendo tiempo de gestión, tiempo de movilización que contribuye en la reducción de emisiones y contaminación ambiental (Lin et al., 2011) citado por (Quiñones, 2017).

Las redes de sensores inalámbricas, están formados por una red de adquisición y por otra de distribución de datos, los cuales 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 (Akyildiz & Vuran, 2010). Los datos captados pueden ser variables ambientales como es el caso de las emisiones sonoras.

Para la ciudad de Cuenca, los monitoreos se han realizado desde el año 2009 hasta la fecha de manera anual, con la utilización de un sonómetro y, desde octubre de 2018 con el propósito de caracterizar el factor ruido de manera continua, por períodos de tiempo (mes, semana, días, etc.), se utilizan los sensores remotos en tiempo real, los cuales han sido ubicados en sitios estratégicos de la ciudad, proporcionando información relevante de ruido, de manera continua.

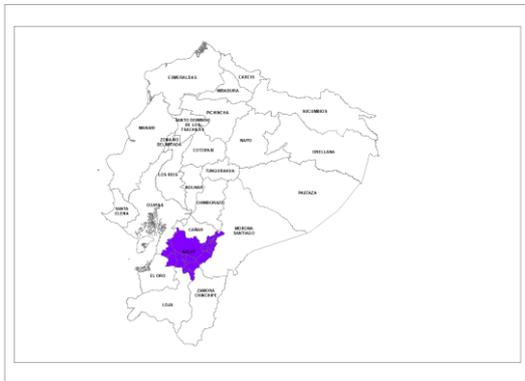
El presente estudio abarcó la evaluación del comportamiento sonoro de la ciudad de Cuenca durante el año 2019, los datos utilizados fueron levantados con el sonómetro calibrado y con los sensores remotos. Los valores de ruido obtenidos se compararon entre sí con el propósito de establecer el grado de precisión de la toma de datos y también con los estándares establecidos en la norma técnica del Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente – TULSMA- (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2015).

Los datos se representaron por mapas, elaborados con métodos de interpolación los que son aplicados a variables físicas con continuidad espacial (González & Abellán, 2006), con el propósito de obtener una imagen del ruido urbano, lo que contribuye a contar con un diagnóstico de la situación, que permita establecer áreas con mayor o menor afectación sonora (Martínez & Moreno, 2005).

2. CAPÍTULO 1: MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se desarrolló en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay. La zona de estudio está a 2550 m.s.n.m, con 331.888 hab (INEC, 2010), en un área de 79,59 km².

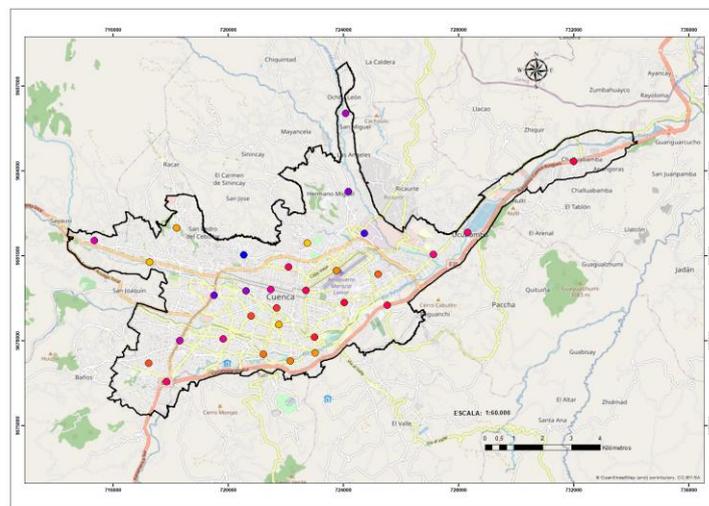
Figura 1.- Mapas de ubicación del proyecto



Localización provincia del Azuay



Localización de la ciudad de Cuenca



Elaboración: propia

En este marco, el presente estudio es de naturaleza empírica, ya que se trabaja con hechos de experiencia directa, no manipulados; el enfoque es cuantitativo porque el fenómeno es medible. La unidad de medición del sonido y por ende de ruido es el decibelio (dB).

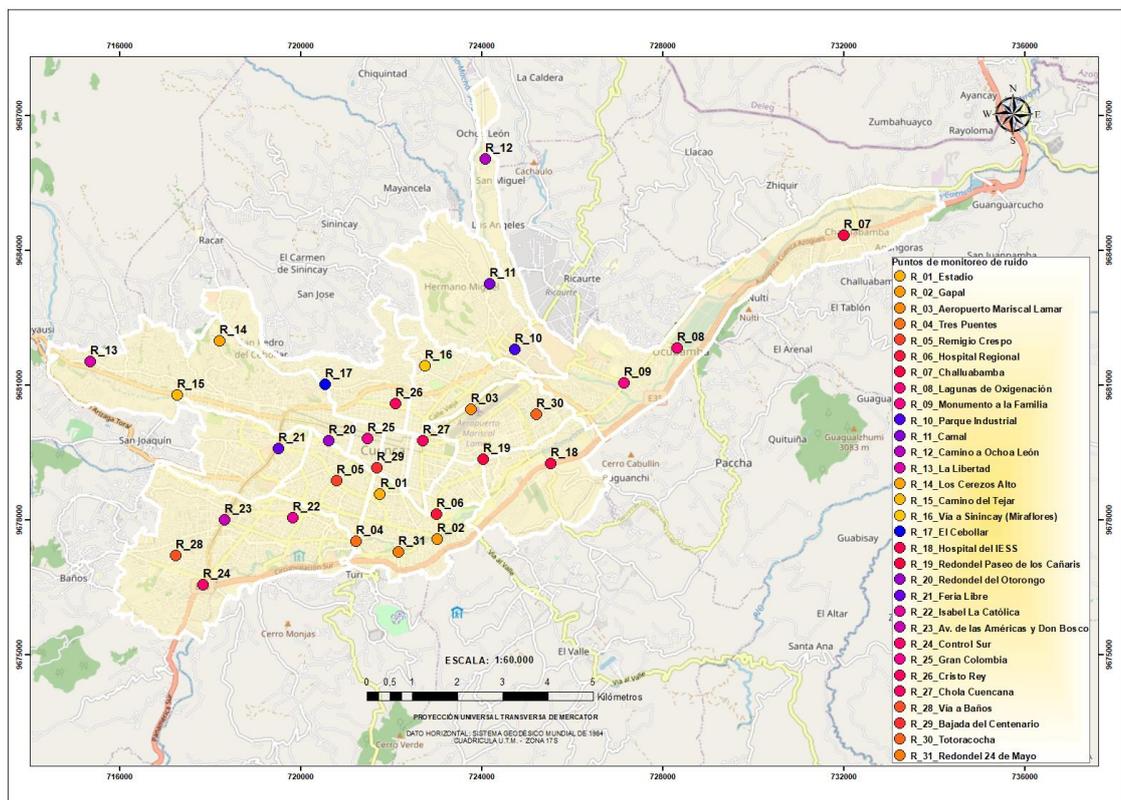
Los datos fueron levantados por el equipo técnico de IERSE-UDA, en el período comprendido entre marzo y abril de 2019, con la finalidad de conocer el estado de las emisiones de ruido en Cuenca, que surgen de la interacción de las prácticas sociales; información que será de utilidad para mejorar la calidad sonora de la ciudad.

La investigación, partió con el levantamiento de datos insitu, tanto con el sonómetro como con el sensor, luego se evaluó la información recopilada en comparación con los estándares establecidos en la norma ambiental nacional vigente (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2015), se realizó la correlación de datos obtenidos con sensor y sonómetro y se representaron los datos a través del mapa de ruido.

2.1 Monitoreo con sonómetro

Se cuenta con una red de 31 sitios de monitoreo, cuya ubicación se realizó tomando en consideración tres criterios: la densidad de tráfico, el uso y ocupación del suelo y las dinámicas de la población. Ver Figura 2.

Figura 2.- Mapa de ubicación de los sitios de monitoreo con sonómetro



Elaboración: propia

La medición se realizó en seis horarios, que corresponden a las horas pico de flujo de tránsito en la ciudad de Cuenca: 7h01, 13h00 y 18h00, y las horas valle 10h00 y 15h00; adicionalmente se consideró un horario por la noche, que corresponde a las 21h01. Estos horarios se establecieron en función de los resultados de un estudio realizado por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca, el que determinó las horas de mayor y menor ingreso y salida de vehículos en la zona céntrica de la ciudad (GADMCC, 2007); adicionalmente el período de monitoreo por punto fue de 15 minutos en cada horario, con lo cual se da cumpliendo a lo establecido en el Anexo V del TULSMA, en el que se recomienda un período de monitoreo de 10 minutos como mínimo. (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2015).

El levantamiento de la información se realizó con un Sonómetro Marca QUEST TECHNOLOGIES, el modelo es SOUNDPRO DL-2-1/3 SLM, de serie BCQ120001, con certificado de calibración N°5137981BCQ12001, actualizado a la fecha de medición. El dato levantado por cada punto de monitoreo fue el nivel de sonido equivalente (Leq), expresado en ponderación con escala A/C, el cual es recomendado por tratarse de monitoreo de ruido ambiental (Long, 2006).

El nivel de sonido equivalente (Leq), mide el nivel constante de ruido, con el mismo contenido de energía, que la variación acústica de la señal sonora calculada (Aagesen, 2002), citado por (García & Garrido, 2003).

2.2 Monitoreo con sensores remotos

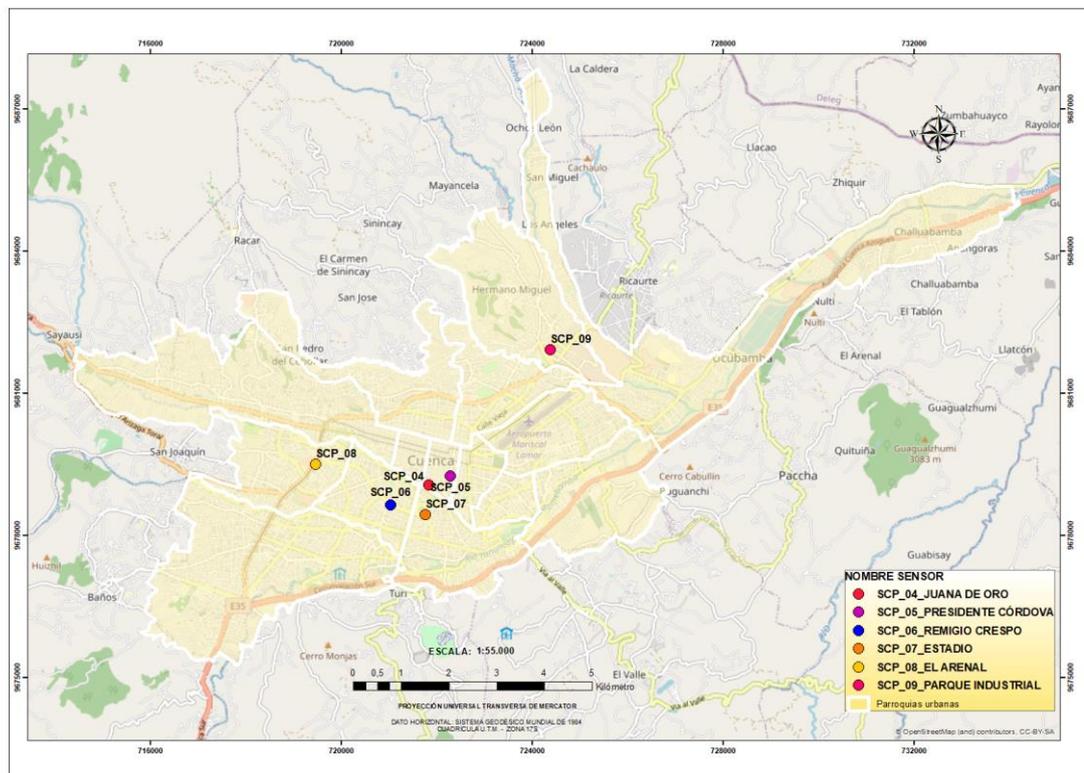
Se establecieron seis puntos de monitoreo, los criterios utilizados para su selección fueron tres; la base de datos de las denuncias por exceso de ruido, recibidas y sistematizadas por la Comisión de Gestión Ambiental del GAD Municipal de Cuenca; inspecciones realizadas a los sitios reportados como generadores de ruido; y, las condiciones logísticas necesarias relacionadas con la provisión de energía eléctrica y la presencia de cámaras de video, por seguridad de los equipos. La Tabla 1 da cuenta de la ubicación de cada punto de monitoreo con sensor.

Tabla 1.- Ubicación de los sensores

Código medido	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

Elaboración: propia

Figura 3.- Mapa de ubicación de los sitios de monitoreo con sensor – 2019



Elaboración: propia

La información de los sensores remotos son captados de manera continua, en tiempo real desde octubre de 2018; los datos se presentan a través de la página Web de la Universidad del Azuay en períodos de 12,25 min; para el presente proyecto se utilizó la información correspondiente al período comprendido 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 calculó el nivel de sonido equivalente (Leq) para las 7h01, 10h00, 13h00, 15h00, 18h00 y 21h01.

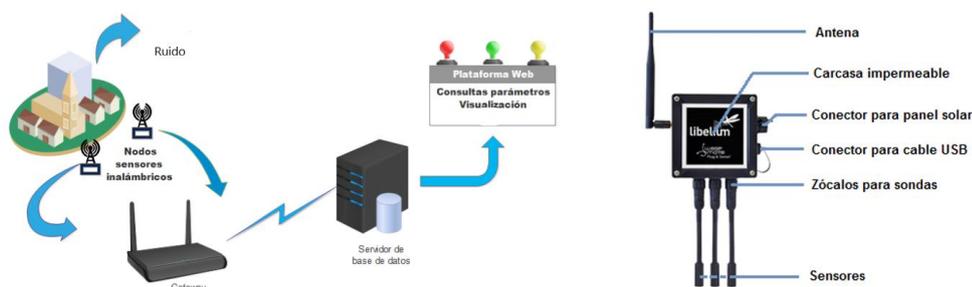
Este cálculo se realizó en función de los datos reportados por el sensor por una hora y promediados, para de esta manera proceder con la comparación. Cabe mencionar que la escala de ponderación de los sensores es (A) y los promedios de los sensores en este período fueron aritméticos. En tanto que los datos obtenidos con el sonómetro, fue una medida por un período de 15 minutos por cada horario en los seis puntos de monitoreo.

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 (Salgado F. & Carranco S., 2017).

Los equipos utilizados son propiedad de la Universidad del Azuay, según la casa proveedora, los nodos sensores referenciales se denominan “Waspnote 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 F. & Carranco S., 2017). Ver Figura 4.

Figura 4.- Proceso de transmisión de datos de la red de sensores inalámbricos



Fuente: (Salgado F. & Carranco S., 2017)

2.3 Evaluación del ruido en la ciudad

Para establecer el comportamiento sonoro de la ciudad de Cuenca durante el año 2019, se tomó como referencia la norma ambiental nacional vigente - TULSMA (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2015). Ver Tabla 2:

Tabla 2.- Límites permisibles de ruido – TULSMA 2015

Uso del suelo	Denominación	Lkeq (dB)	
		Período diurno 07:01 hasta 21:00 horas	Período nocturno 21:01 hasta 07:00 horas
Residencial	R1	55	45
Equipamiento de servicios sociales	EQ1	55	45
Equipamiento de servicios públicos	EQ2	60	50
Comercial	CM	60	50
Agrícola residencial	AR	65	45
Industrial	ID1 / ID2	65	55
Industrial	ID3 / ID4	70	65
Uso múltiple	Cuando existan usos de suelo múltiple o combinados, se utilizará el Lkeq más bajo de cualquiera de los usos de suelo que componen la combinación		
Protección ecológica	PE	La determinación del Lkeq para estos casos se lo llevará a cabo de acuerdo al procedimiento descrito en el Anexo 4 del Anexo N° 5 del TULSMA	
Recursos naturales	RN		

Fuente: AM- 097-A. Libro VI, Anexo 5 del TULSMA – noviembre de 2015

Para el presente proyecto, los 31 puntos de monitoreo con sonómetro y los 6 con sensor, de acuerdo al uso y ocupación del suelo, se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 3.- Puntos de monitoreo con sonómetro de acuerdo al uso del suelo

Nº	Punto medido (sector)	Uso del suelo (TULSMA 2015)	Nº	Punto medido (sector)	Uso del suelo (TULSMA 2015)	
R_02	Gapal	Residencial	R_01	Estadio	Comercial	
R_04	Tres Puentes		R_03	Aeropuerto Mariscal Lamar		
R_07	Challuabamba		R_05	Remigio Crespo		
R_08	Lagunas de oxigenación		R_19	Redondel Paseo de los Cañaris		
R_09	Monumento a la Familia		R_21	Feria Libre		
R_12	Camino a Ochoa León		R_23	Av. de las Américas y Don Bosco		
R_13	La Libertad		R_24	Control Sur		
R_15	Camino al Tejar		R_25	Gran Colombia		
R_16	Vía a Sinincay (Miraflores)		R_27	Chola Cuencana		
R_17	El Cebollar		R_29	Bajada Centenario		
R_26	Cristo Rey		R_06	Hospital Regional		Equipamientos de servicios sociales
R_28	Vía Baños		R_18	Hospital del IESS		
R_30	Totoracocha		R_20	Redondel del Otorongo		
R_10	Parque Industrial		R_22	Isabel La Católica		
R_11	Camal	R-31	Redondel 24 de mayo			
R_14	Los Cerezos Alto					
		Industrial				

Elaboración propia

Tabla 4.- Puntos de monitoreo con sensor de acuerdo al uso del suelo

Nº	Punto medido (sector)	Uso del suelo TULSMA 2015
SCP-04	Calle Larga (Escalinata Juana de Oro)	Comercial
SCP-05	Presidente Córdova	
SCP-06	Remigio Crespo	
SCP-07	Estadio Serrano Aguilar	
SCP-08	Mercado El Arenal	
SCP-09	Parque Industrial	Industrial

Elaboración propia

2.4 Representación de los datos a través de mapas

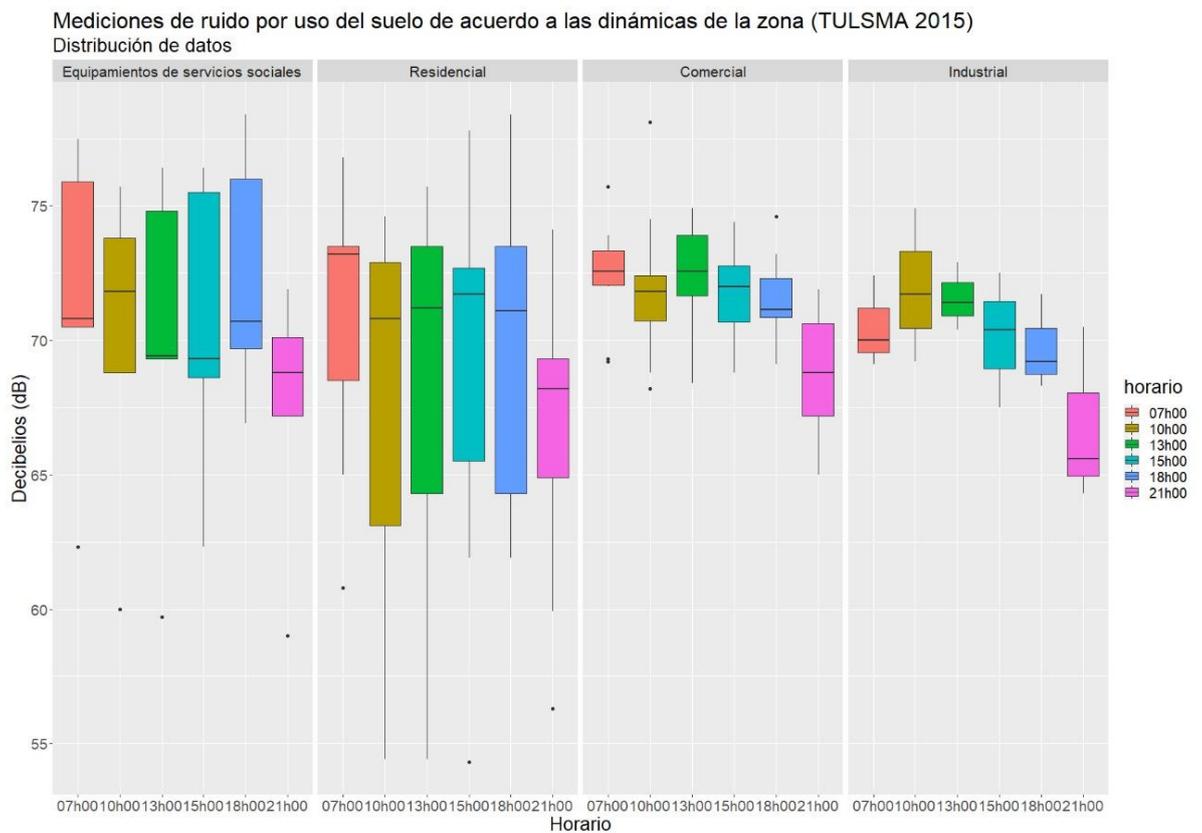
Para mostrar gráficamente los datos se elaboraron mapas de ruido, que son la representación visual del comportamiento del ruido en un espacio geográfico y en un tiempo determinado (Suárez, 2019). Los datos de ruido levantados con sonómetro fueron representados a través del método de interpolación de Inverso a la distancia ponderada IDW, “con lo cual, cada valor que tiene una correspondencia con un punto determinado, influye sobre los demás de forma local y disminuye proporcionalmente su efecto con la distancia; este método se basa en el concepto de continuidad espacial, con valores más parecidos para posiciones cercanas, los que se van diferenciando conforme se incrementa la distancia” (González & Abellán, 2006). Se elaboró un mapa por cada horario de levantamiento de datos, es decir, seis mapas.

3. CAPÍTULO 2: RESULTADOS

3.1 Emisiones de ruido en Cuenca con sonómetro 2019

El análisis de los datos recolectados con sonómetro y evaluados con base al Texto Unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2015), se representan en la siguiente Figura:

Figura 5.- Gráfico de las mediciones de ruido con sonómetro – Cuenca – 2019



Elaboración: Equipo IERSE – UDA - 2020

Como se ve 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).

Si se revisan los resultados obtenidos del análisis de datos de la zona de equipamientos de servicios sociales (EQ1), las medianas en todos los horarios están entre los 68 dB y 72,3 dB, es decir sobre la norma ambiental. Además, en los horarios de las 7h01, 13h00, 15h00 y 18h00, muestran que en su mayoría los datos levantados están sobre los 70 dB y que por lo tanto el valor atípico ejerce un apalancamiento hacia valores inferiores. En el horario de

las 7h01, 10h00 y 13h00 no tienen valores bajo el primer cuartil salvo sus respectivos valores atípicos.

En la zona residencial (R1), se cuenta con un mayor número de monitoreos, las medianas en los distintos horarios oscilan entre aproximadamente los 68,2 dB y 72,4 dB, por lo tanto, sobrepasan los límites establecidos en el TULSMA. Se cuenta con valores mínimos en todos los horarios, siendo el menor, el que se obtuvo en el horario de las 15h00 con 54,3 dB. La mayoría de datos están por debajo de las medianas, en todos los horarios analizados.

En la zona comercial, se observa la presencia de valores atípicos tanto por debajo, como por encima de la mediana. Los valores de las medianas están entre 68,2 dB y 72,4 dB y están por encima de los límites especificados en el TULSMA. Los datos obtenidos en los horarios de las 7h01, 13h00, 18h00 y 21h01, muestran que los valores obtenidos están en su mayoría sobre la mediana; en tanto que a las 10h00 y 15h00 la mayoría de datos están por debajo de la mediana.

En la zona industrial, 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 solo valor de 64,3 dB en el horario de las 21h01 que está por debajo de la norma TULSMA – 2015; todos los restantes valores en los distintos horarios están sobre la citada norma.

3.2 Emisiones de ruido con sensores remotos vs. sonómetro

Los valores obtenidos tanto con sensor como con el sonómetro fueron evaluados en comparación con la norma ambiental vigente (TULSMA, 2015). Ver Tablas 5 y 6.

Tabla 5.- Evaluación de ruido con sensores remotos con relación al TULSMA – 2015

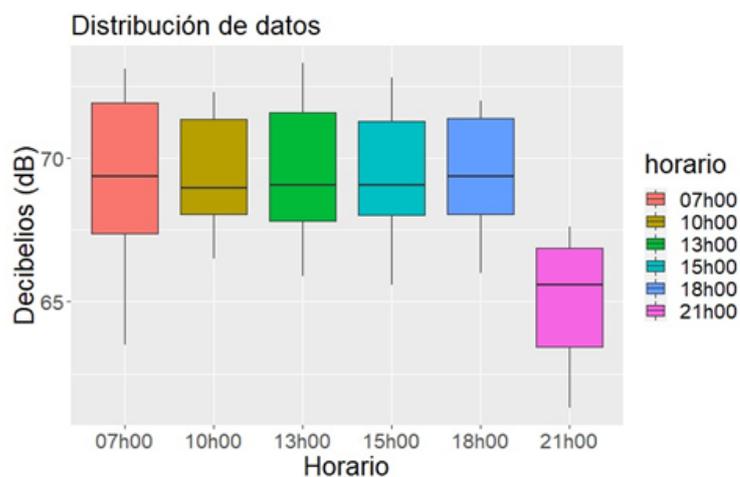
Hora	Calle Larga	Calle Presidente Córdova	Av. Remigio Crespo	Estadio Serrano Aguilar	Mercado El Arenal	TULSMA 2015 (dB)	Parque Industrial	TULSMA 2015 (dB)
	Ruido sensor (dB)- Uso del suelo Comercial						Ruido Sensor (dB) - Uso del suelo Industrial	
7:01	68.8	72.6	63.5	66.9	69.9	60	73.1	70
10:00	68.2	71.9	66.5	68.0	69.7	60	72.3	70
13:00	68.7	73.3	65.9	67.5	69.4	60	72.3	70
15:00	68.0	71.7	65.6	68.0	70.0	60	72.8	70
18:00	68.5	72.0	66.0	67.9	70.2	60	71.8	70
21:01	65.0	66.2	61.3	62.9	67.1	50	67.6	65

Fuente: IERSE – 2019

Elaboración: Equipo IERSE – UDA – 2020

Los sitios en donde están ubicados los sensores corresponden a la zona Comercial (CM), con excepción del Parque Industrial cuya zona es Industrial de alto impacto (ID4). Los límites permitidos para la zona comercial para el día y la noche son de 60 dB y 50 dB, respectivamente, en tanto que para la zona industrial son de 70dB para el día y 65 dB para la noche. Los datos captados con los sensores en los distintos puntos, están sobre los límites establecidos en la norma nacional ambiental vigente.

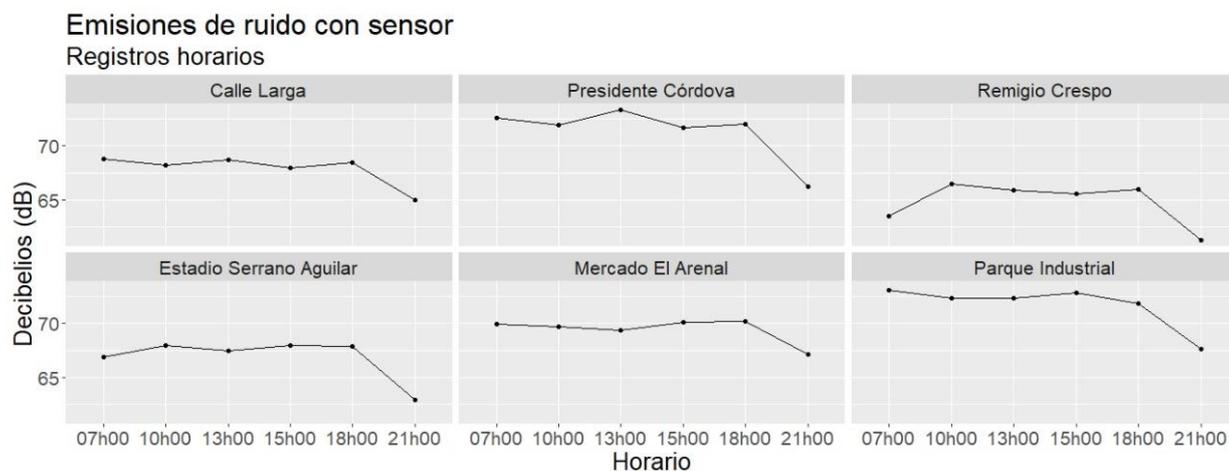
Figura 6.- Gráfico de las mediciones de ruido con sensor – Cuenca – 2019



Elaboración: Equipo IERSE – UDA - 2020

De la gráfica se puede colegir que no se han presentado unos valores atípicos, los valores de las medianas oscilan entre 65,6 dB y 69,35 dB. En los horarios de 7h00, 10h00, 13h00, 15h00 y 18h00 muestran que el mayor número de datos están sobre sus respectivas medianas.

Figura 7.- Gráfico de las emisiones sonoras en los puntos de monitoreo con sensor



Fuente: IERSE – 2019

Elaboración: Equipo IERSE – UDA – 2020

Tabla 6.- Evaluación ruido con sonómetro con relación al TULSMA – 2015

Hora	Calle Larga	Calle Presidente Córdova	Av. Remigio Crespo	Estadio Serrano Aguilar	Mercado El Arenal	TULSMA	Parque Industrial	TULSMA
	Ruido sonómetro (dB)- Uso del suelo Comercial					2015 (dB)	Ruido Sonómetro (dB) Uso del suelo industrial	2015 (dB)
7:01	71,8	76.1	70.4	67.1	70.8	60	76.1	70
10:00	70.5	75.8	67.8	68	70.3	60	76.5	70
13:00	71.1	76.2	70.8	67.4	69.6	60	78.6	70
15:00	70.7	75.9	70.7	68.3	69.5	60	76.2	70
18:00	70.9	75	69.3	70	70.3	60	75	70
21:01	67.4	71.3	70.3	65.8	67	50	72.6	65

Fuente: IERSE – 2019

Elaboración: Equipo IERSE – UDA - 2019

Con el propósito de establecer la comparación, se realizaron mediciones con sonómetro en los sitios en donde están ubicados los sensores. Como se ve en la Tabla 6, los valores obtenidos de ruido, están sobre el límite máximo establecido en el TULSMA, en el 100% de los datos levantados. A continuación, se presentan los datos de las emisiones de ruido captadas tanto con sensor como con sonómetro, adicionalmente, de manera gráfica se realiza la comparación de los datos.

Tabla 7.- Emisiones sonoras con sensor y sonómetro

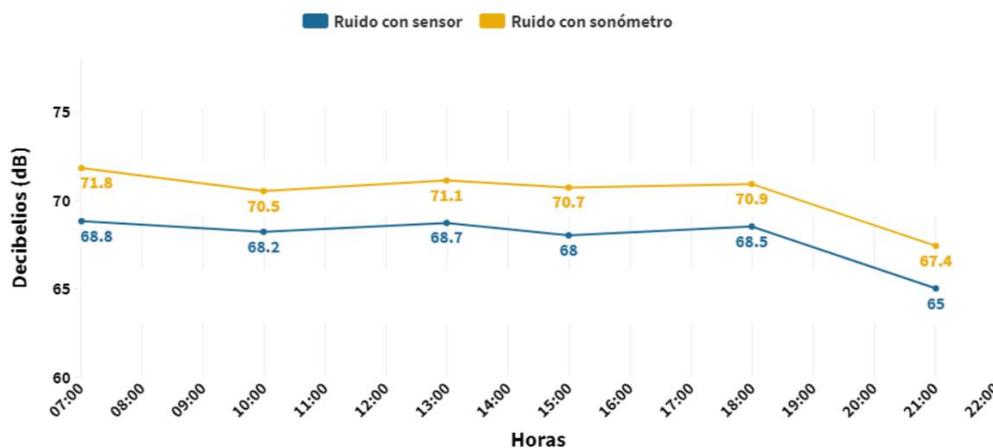
Hora	Calle Larga (Escalinata Juana de Oro)		Calle Presidente Córdova		Av. Remigio Crespo		Estadio Serrano Aguilar		Mercado El Arenal		Parque Industrial	
	Ruido Sensor	Ruido Sonómetro	Ruido Sensor	Ruido Sonómetro	Ruido Sensor	Ruido Sonómetro	Ruido Sensor	Ruido Sonómetro	Ruido Sensor	Ruido Sonómetro	Ruido Sensor	Ruido Sonómetro
7:01	68.8	71.8	72.6	76.1	63.5	70.4	66.9	67.1	69.9	70.8	73.1	76.1
10:00	68.2	70.5	71.9	75.8	66.5	67.8	68.0	68	69.7	70.3	72.3	76.5
13:00	68.7	71.1	73.3	76.2	65.9	70.8	67.5	67.4	69.4	69.6	72.3	78.6
15:00	68.0	70.7	71.7	75.9	65.6	70.7	68.0	68.3	70.0	69.5	72.8	76.2
18:00	68.5	70.9	72.0	75	66.0	69.3	67.9	70	70.2	70.3	71.8	75
21:01	65.0	67.4	66.2	71.3	61.3	70.3	62.9	65.8	67.1	67	67.6	72.6

Fuente: IERSE – 2019

Elaboración: Equipo IERSE – UDA - 2019

De manera gráfica, las diferencias son:

**Figura 8.- Gráfico de las emisiones sonoras captadas con sensor vs. sonómetro
Calle Larga (SCP – 04)**

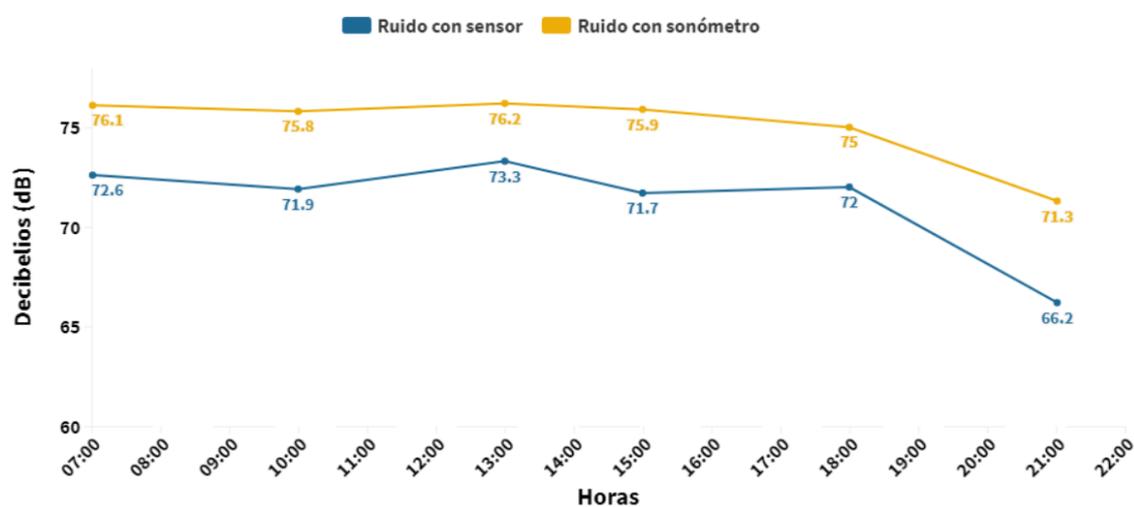


Fuente: Datos IERSE – UDA – 2019

Elaboración: Equipo IERSE - 2020

En la estación “Calle Larga”, la diferencia de medición sonora entre sonómetro y sensor está entre 2,5 dB y 3 dB.

**Figura 9.- Gráfico de las emisiones sonoras captadas con sensor vs. sonómetro
Calle Presidente Córdova (SCP – 05)**

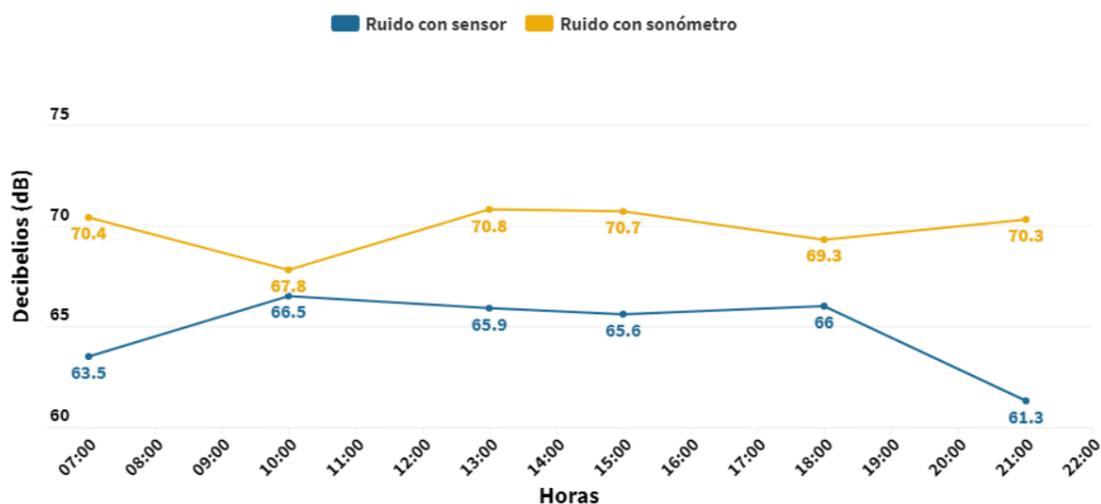


Fuente: Datos IERSE – UDA – 2019

Elaboración: Equipo IERSE - 2020

En la estación “Calle Presidente Córdova”, la diferencia de valor medido con sensor y sonómetro varía entre 2,9 dB y 5,1 dB.

**Figura 10.- Gráfico de las emisiones sonoras captadas con sensor vs. sonómetro
Avenida Remigio Crespo (SCP – 06)**

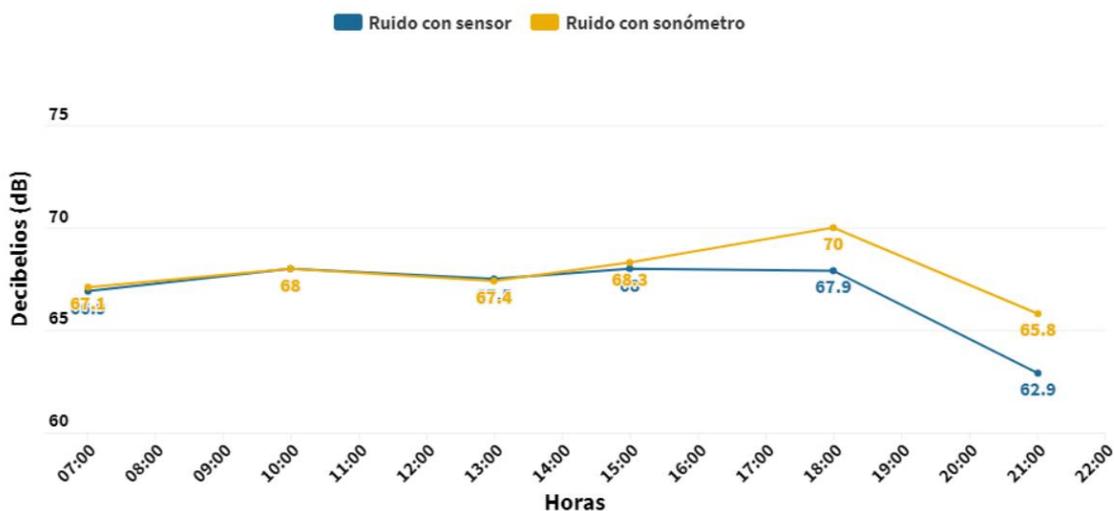


Fuente: Datos IERSE – UDA – 2019

Elaboración: Equipo IERSE - 2020

Las mayores diferencias se presentan en la estación “Av. Remigio Crespo”, las que varían entre 1,3 dB y 9 dB.

**Figura 11.- Gráfico de las emisiones sonoras captadas con sensor vs. Sonómetro
Sector Estado Serrano Aguilar (SCP – 07)**

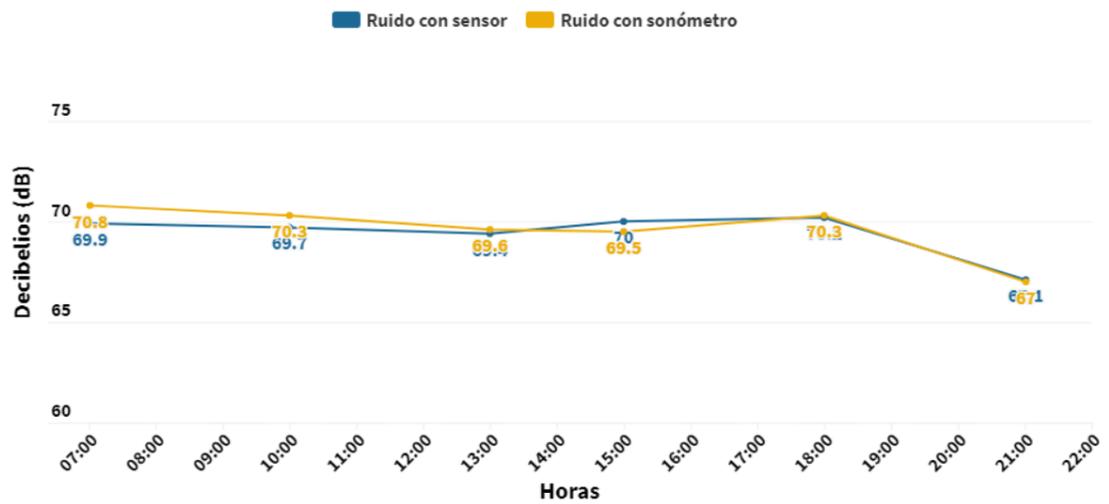


Fuente: Datos IERSE – UDA – 2019

Elaboración: Equipo IERSE - 2020

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.

**Figura 12.- Gráfico de las emisiones sonoras captadas con sensor vs. Sonómetro
Mercado El Arenal (SCP – 08)**

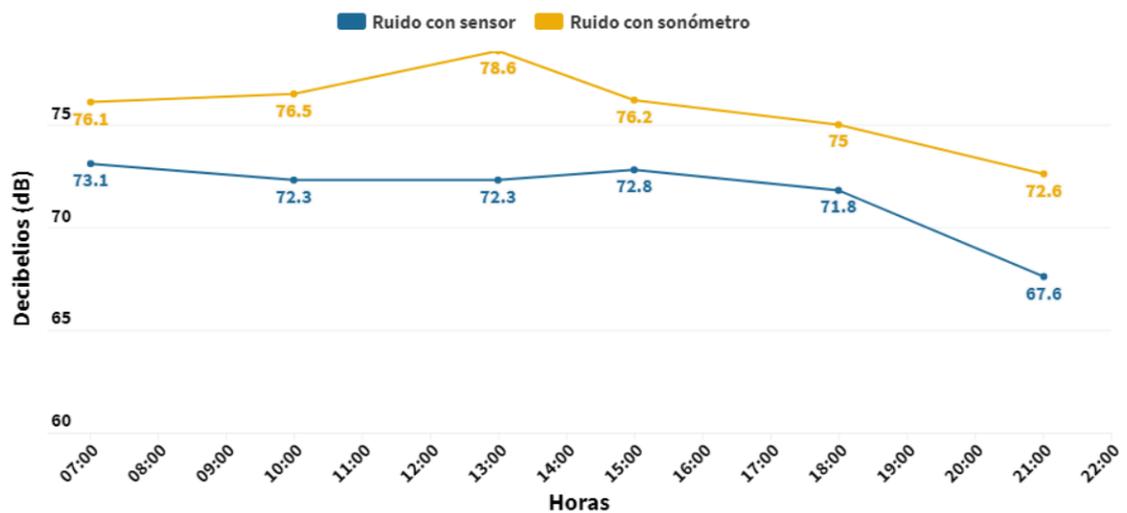


Fuente: Datos IERSE – UDA – 2019

Elaboración: Equipo IERSE - 2020

Los datos levantados en la estación “Sector Mercado El Arenal”, presentan una variación menor al 1 dB.

**Figura 13.- Gráfico de las emisiones sonoras captadas con sensor vs. Sonómetro
Parque Industrial (SCP – 09)**



Fuente: Datos IERSE – UDA – 2019

Elaboración: Equipo IERSE - 2020

Las emisiones sonoras presentadas en la estación “Parque Industrial”, varían entre 3 dB y 6,3 dB.

3.2.1 Resultados del análisis de correlaciones de los datos sensor vs. sonómetro

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 8.- Análisis de correlación de los datos obtenidos

Índices de rendimiento		Comparación de registros Sonómetro vs Sensor					
Nombre	Símbolo	Calle Larga	Presidente Córdova	Remigio Crespo	Estadio Serrano Aguilar	El Arenal	Parque Industrial
Error medio cuadrático	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	0,98	-0,41	0,77	0,93	0,8
Coefficiente de determinación (0 ≤ R ² ≤ 1)	R ²	0,97	0,95	0,17	0,6	0,87	0,64
Coefficiente de regresión (0 ≤ bR ² ≤ 1)	bR ²	0,94	0,91	0,15	0,59	0,87	0,6

Elaboración: Equipo IERSE - 2020

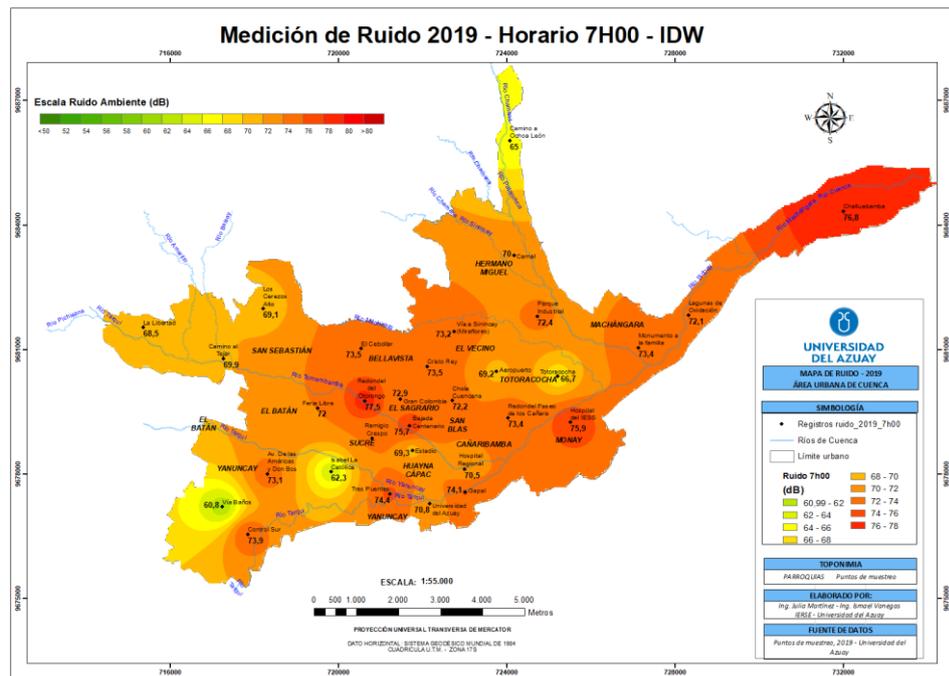
Si se observa el coeficiente de correlación Pearson “r”, en los sitios de monitoreo: Calle Larga, Presidente Córdova, El Arenal y el Parque Industrial, cuentan con valores comprendidos entre 0,8 a 0,99. Lo que indica que existe una alta correlación entre los datos obtenidos con sensor y sonómetro; solamente en el sector del Estadio Serrano Aguilar, el valor obtenido es de 0,77, que representa una correlación media. Pero en la Calle Remigio Crespo se presenta un valor negativo (-0,41) lo que nos muestra que se está presentando algún problema con este sensor. La presencia de datos negativos, muestran dispersión de los mismos, lo que imposibilitan establecer un factor de corrección entre el sensor y sonómetro.

Los valores óptimos del coeficiente de determinación R² son los cercanos a 1, en tal razón los datos de las calles: Calle Larga, Presidente Córdova y El Arenal. Se corrobora que los datos de la Remigio Crespo presentan errores. En el Parque Industrial y en el Estadio Serrano Aguilar, hay variabilidad de los datos.

3.3 Mapas de ruido

Para la representación gráfica de los datos levantados con el sonómetro, se elaboró el mapa de ruido con el método del Inverso a la Distancia Ponderada IDW. Se obtuvieron 6 mapas, uno por cada horario: 7h01, 10h00, 13h00 15h00, 18h00 y 21h01. Para el presente documento se incluye el mapa de ruido correspondiente a las 7h01, por ser el horario en dónde se presentan las mayores emisiones.

Figura 14.- Mapa de ruido – Método IDW – 7h00



Fuente: Datos IERSE – UDA – 2019

Elaboración: Equipo IERSE - 2020

El método geoestadístico IDW, requiere para su utilización de un mínimo de 20 estaciones de monitoreo, en tal razón se realizó el mapa de ruido con los 31 puntos de medición con sonómetro, y con el sensor, al contar solamente con 6 sitios de monitoreo, no se elaboró el mapa.

4. CAPÍTULO 3: DISCUSIÓN

4.1 Evaluación del ruido en Cuenca con sonómetro

El “Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente” (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2015), es la norma ambiental ecuatoriana vigente; en ella se establecen los límites permisibles de emisiones de ruido ambiente Tabla 2.

En la ciudad, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca (GAD), fue acreditado como Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable en la jurisdicción del Cantón, la cual es ejercida por la Comisión de Gestión Ambiental. Desde el GAD se cuenta con normas ambientales locales como es la Ordenanza de Control de la contaminación ambiental originada por la emisión de ruido proveniente de fuentes fijas y móviles (GAD Cuenca, 2017).

La legislación ambiental referida al ruido tanto nacional como local, coinciden con la norma técnica que regula los límites permisibles para emisiones sonoras en la ciudad. De acuerdo a la misma, 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%).

La Organización Mundial de la Salud, es el organismo multilateral que ha generado guías del ruido urbano, en el cual se muestran las afecciones a la salud al sobrepasar los límites establecido para ambientes específicos (OMS, 1999). Al comparar los datos obtenidos en la ciudad de Cuenca con los valores máximos establecidos por la OMS y la EPA, se tiene:

Tabla 9.- Límites de ruido – OMS – EPA – TULSMA

Ambiente	TULSMA (Leq) dB (A)	OMS (Leq)* dB (A)16	EPA (Leq)* dB(A) 24	Ruido Cuenca (Ld)** dB(A/C) 14
Exterior habitable (OMS) Zonas habitacionales (EPA) (Residencial)	De 45 a 55	De 50 a 55	55	71,9
Centros educativos	De 45 a 55	35	45	73,3
Hospitales	De 45 a 55	30		73,3
Comercios	De 50 a 60	70		72,5
Industrias	De 65 a 70	70		71,2

* Nivel equivalente continuo con escala de ponderación (A) en período de exposición de 24 horas.

** Nivel equivalente continuo para el día (14 horas) (García & Garrido, 2003)

Fuente: (OMS, 1999) (EPA, 1974); IERSE - 2019

Elaboración: Equipo IERSE

Para la comparación se han tomado los datos promedio del día, obtenidos por cada zona de uso y ocupación del suelo y se observa que no cumplen los límites establecidos por la OMS; sin embargo, al ser el monitoreo realizado en las vías de mayor circulación vehicular, se tomó como valor de comparación el valor del límite establecido por la OMS para circulación vehicular (70dB), el cual tampoco se cumple.

La Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA) establece los límites de ruido recomendados para cuidar la salud pública, y para zonas habitacionales “Residencial”, el valor máximo permitido que no afecte o cause molestias o interferencia en las actividades que se desarrollen al exterior, es de 55 dB. Para espacios como el interior de escuelas u oficinas el límite máximo es de 45 dB; en tanto que, para cualquier zona, el límite máximo es de 70 dB, ya que se podría provocar la pérdida de audición. Estos valores son para períodos de exposición de 24 horas (EPA, 1974).

Los valores límites establecidos tanto por la OMS como por la EPA, están en ponderación (A). Los datos obtenidos con el sonómetro en la ciudad de Cuenca están en ponderación (A/C), ya que es el recomendado, al tratarse de ruido ambiente (Long, 2006); en tanto que el sensor en tiempo real está configurado en ponderación A.

Los valores L_d (14) obtenidos en la ciudad de Cuenca, en comparación con los límites establecidos por la norma ambiental nacional y local, así como con los detallados por la Multilateral OMS y la Agencia EPA, son altos y presentan un incumplimiento del 100%, lo que muestra el problema de contaminación sonora de la ciudad de Cuenca.

Adicionalmente se realizó la revisión de experiencias de medición de ruido que se han dado en las ciudades de Quito, Guayaquil y el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca, lo que se resume a continuación:

La ciudad de Quito cuenta con dos mapas de ruido en dos horarios, uno para el día y otro para la noche (Bravo Moncayo, 2019). Para la presentación de los datos, la ciudad ha sido dividida por sectores (32), en los mismos se identifica la siguiente información: nombre del sector, contaminación acústica (dBA), contaminación acústica per cápita, población potencial y altamente molesta y la población. Para determinar la contaminación acústica utiliza el software CadnaA (Computer Aided Noise Abatement), a través del cual se realiza la modelación del 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 se realiza la validación de los datos mediante la medición con sonómetro calibrado (Bravo Moncayo, 2019).

Los resultados revisados muestran que en la ciudad los niveles de ruido oscilan entre los 61,90 dB en el sector de El Condado hasta los 72,70 dB en el Centro Histórico de la ciudad durante el día, y; por la noche los valores disminuyen a 54,80 dB en el sector de El Condado hasta 67,40 dB en el sector La Libertad. (Bravo Moncayo, 2019). Los valores que se presentan en la ciudad de Quito son similares a los rangos que se dan en la ciudad de Cuenca.

Por otro lado la Universidad Politécnica Salesiana, en un trabajo de tesis que se ha llevado a efecto en el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca (Armijos-Arcos, 2018), específicamente en el punto de monitoreo con sonómetro establecido por la UDA, denominado R25, el cual está ubicado en la intersección de las calles Gran Colombia y Tarqui. Los datos levantados de manera periódica desde el año 2012 por el equipo técnico del IERSE – UDA, fueron tomados como base de comparación del estudio realizado.

Mediante la utilización del modelo de predicción - propagación "HARMONOISE P2P" se ha elaborado un mapa de ruido por tráfico vehicular en un área de 250 m alrededor del punto R25; la predicción se realiza sobre la base de parámetros viales, adicionalmente realizan la validación de los datos a través del levantamiento de emisiones sonoras con la utilización de un sonómetro calibrado. Los resultados que se han obtenido son: a) con el modelo de predicción 68,58 dB(A); b) el promedio de los monitoreos realizados con el sonómetro es de 71,84 dB(A) y; c) el promedio de datos históricos es de (72,13 dB(A); la diferencia que se presenta es de -3,26 dB(A), con lo cual concluyen que el modelo de propagación es adecuado (Armijos-Arcos, 2018).

En función de la información revisada se puede concluir que existen métodos de simulación y/o predicción que estiman las emisiones sonoras, sin embargo, es necesario realizar la validación con el sonómetro calibrado.

Así mismo, la ciudad de Guayaquil cuenta con un mapa de ruido elaborado por la empresa IDYC (Ingeniería, diseño y consultoría) de la ciudad de Cuenca (IDYC, 2016), la metodología se basó en la utilización de un sonómetro calibrado para monitorear 52 puntos prestablecidos en función del tráfico vehicular. En cada punto de medición se ha monitoreado el ruido por 12 minutos, en un solo horario de medición. Las emisiones de ruido que se han obtenido en Guayaquil están sobre los 70 dB(A), lo cual está sobre la norma nacional (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2015) (IDYC, 2016). Con relación al comportamiento sonoro de la ciudad de Guayaquil es similar al de la ciudad de Cuenca, los cuales están en función de la circulación o tráfico vehicular (IDYC, 2016).

4.2 Evaluación del ruido en Cuenca con sensores vs. sonómetro

Para 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 resultados de las mediciones de ruido realizadas tanto con los sensores remotos como con el sonómetro, están sobre los límites establecidos en la norma ambiental. (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2015).

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 dBA – 100 dBA, 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 F. & Carranco S., 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. Lo que se puede indicar según los resultados obtenidos, es que los valores captados por los sensores son menores a los del sonómetro, por 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 sobre el nivel del piso.

5. CONCLUSIÓN

La metodología planteada permitió contar con un conjunto de datos de ruido, distribuidos en la ciudad, tomando como referente para su ubicación la densidad de tránsito vehicular, con lo cual se garantizó que los puntos desde donde se obtuvo información, sean los más desfavorables. Así mismo, tomar como período de levantamiento de emisiones sonoras los 15 minutos, permitió cumplir, en lo referente al método de muestreo, con la legislación ambiental vigente (TULSMA, 2015), y a su vez contar con un período de ruido confiable que permita establecer un diagnóstico.

Otro de los elementos importantes dentro de la metodología utilizada, es el contar con seis horarios de muestreo, lo que abarca tanto horas pico como horas valle, y permite tener una visión complementaria del comportamiento sonoro con y sin afluencia vehicular, así mismo, los monitoreos se realizaron durante el período escolar, garantizando que las actividades productivas y educativas se estén desarrollando con normalidad.

En lo que tiene que ver con el uso de los dispositivos para el levantamiento de información, es necesario resaltar el uso del sonómetro. Al ser un instrumento que está debidamente calibrado, sirve de referencia para otras mediciones que pueden hacerse con otros dispositivos, como es el caso del sensor a tiempo real, es decir, cuando se realicen

mediciones sonoras con diversos instrumentos, es necesario, realizar aleatoriamente verificaciones con un sonómetro calibrado, para de esta manera validar los datos.

Otras experiencias que han sido realizadas en ciudades del Ecuador como Quito y Guayaquil, muestran resultados de emisiones de ruido similares a los obtenidos en la ciudad de Cuenca, es decir, valores superiores a los 60 dB, lo cual, dependiendo del sector, muestran que están sobre la norma legal ambiental. La metodología utilizada en la ciudad de Guayaquil difiere de la utilizada por la Universidad del Azuay por el número de mediciones realizada en cada punto (uno), así como por el período de la toma de los datos (12 min); lo que ha imposibilitado conocer el comportamiento sonoro diario en los sitios de monitoreo de manera detallada.

Para los mapas elaborados en la ciudad de Quito y el Centro Histórico de Cuenca, se han utilizado el software Cadna A y el modelo de predicción - propagación "HARMONOISE P2P" respectivamente. Los valores de ruido son similares a los que se presentan en la ciudad de Cuenca, sin embargo, se ratifica que los valores obtenidos, para su utilización requieren ser validados por un sonómetro calibrado.

En cuanto al comportamiento sonoro del área de estudio, se observan que las emisiones captadas con el sonómetro en los 31 puntos preestablecidos, están sobre la norma ambiental vigente (TULSMA, 2015), lo que se explica porque los puntos de monitoreo están en los sitios más desfavorables, es decir, con alta intensidad de circulación vehicular, y no al interior de las edificaciones; en tanto que, los datos obtenidos con los sensores también están sobre la norma ambiental, este comportamiento se da porque los puntos de monitoreo fueron escogidos en función de las denuncias que la autoridad ambiental cantonal recibe de la ciudadanía cuencana, de molestias por ruidos excesivos y periódicos en ciertas zonas de la ciudad; y también se consideró que sean zonas de alto flujo vehicular.

En referencia a los datos levantados con sensor y sonómetro, se encontró que en los puntos de medición con sensores como son: Calle Larga, Presidente Córdova, Sector del Estadio Serrano Aguilar, Sector del Mercado El Arena y sector del Parque Industrial, los datos que se levantaron con sensor y sonómetro guardan una correlación, la misma que se muestra en el cálculo estadístico con un coeficiente de correlación (Pearson) cercano a 1 (0,77 a 0,99), sin embargo, el contar con un valor negativo (- 0,41) en el sector de la Av. Remigio Crespo Toral, indica que los datos son dispersos; lo que dificultó la determinación de un factor de corrección sensor y sonómetro.

En general los indicadores estadísticos que se presentan en la estación de monitoreo de la Av. Remigio Crespo, muestran una alteración con relación a los otros sensores; es necesario analizar si en el sitio de ubicación actual hay la presencia de campos magnéticos

o algún transformador eléctrico; que esté perturbando el normal funcionamiento del sensor, o caso contrario que el sensor esté con alguna anomalía. En tal razón se recomienda cambiar el sensor o su ubicación con el propósito de mejorar los datos.

Para los cálculos y comparaciones realizadas, se utilizó el Nivel equivalente continuo (Leq) de ruido captados en los distintos horarios, los cuales fueron recibidos de manera automática desde los sensores; el (Leq) programado del sensor fue aritmético y en banda (A), en tanto que con el sonómetro el promedio es logarítmico y en banda (A/C), factores que influyen en los resultados obtenidos, y que también contribuyen con la imposibilidad de establecer un factor de corrección. Ante lo cual se recomienda para la próxima toma de datos del siguiente período que los promedios sean logarítmicos y en la banda (A), con lo cual se podría contar con información más homogénea que permitirá obtener resultados óptimos.

Con relación a los puntos de monitoreo con sonómetro en los 31 puntos preestablecidos se recomienda incrementar el número de puntos de muestreo e intercalar sitios al interior de los manzanos que puedan mostrar cómo se percibe el ruido al interior de la infraestructura construida.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aagesen, H. (2002). Índices basados en Leq. *Jornadas Internacionales Sobre Contaminación Acústica*.
- Akyildiz, I., & Vuran, M. (2010). *Redes inalámbricas de sensores. Vol. 4. 4*.
- 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*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución República del Ecuador* (R.O. 449).
- Beranek, L. (1969). *Acústica* (Copyright by Editorial Hispano Americana S.A. Versión castellana. Derechos exclusivos McGraw - Hill. Book (ed.); Segunda ed).
- Berglund, B., Lindvall, T., & H, D. (1999). *Guía para el ruido urbano -OMS*.
- Bravo Moncayo, L. (2019). *Investigadores de la UDLA publican el primer mapa de ruido de Quito*. Edición Médica. <https://www.edicionmedica.ec/secciones/salud-publica/investigadores-de-la-udla-publican-el-primer-mapa-de-ruido-de-quito-94031>
- Burneo, A. (2007). El ruido, un criminal sigiloso. *Contaminación Ambiental Por Ruido y Estrés En El Ecuador*.
- Castañeda, M. B. (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*. Universidad de Guadalajara.
- Cohen, M. A., & Castillo, O. S. (2017). Noise in the city. Acoustic pollution and the walkable

- city. *Estudios Demográficos Urbanos*, 32. <https://doi.org/10.24201/edu.v32i1.1613>
- Daiber, A., Kröller-Schön, S., Frenis, K., Oelze, M., Kalinovic, S., Vujacic-Mirski, K., Kuntic, M., Bayo Jimenez, M. T., Helmstädter, J., Steven, S., Korac, B., & Münzel, T. (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. *BioFactors*, 45(4), 495–506. <https://doi.org/10.1002/biof.1506>
- EPA. (1974). *Office of Noise Abatement and Control. Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Protect Public Health and Welfare with an Adequate Margin of Safety*. Environmental Protection Agency.
- GAD Cuenca. (2017). *ordenanza ruido.PDF* (p. 15).
- GADMCC, G. A. D. M. de C. (2007). *Estudio de actualización operacional del sistema integrado de transporte de Cuenca*.
- García, B., & Garrido, F. J. (2003). *La contaminación acústica en nuestras ciudades* (Fundación “La Caixa” (ed.); Colección). www.estudios.lacaixa.es
- Gómez, D., & Vallarino, T. (2010). *Evaluación de impacto ambiental* (M. Prensa (ed.); Tercera Ed).
- González, G., & Abellán, C. (2006). La interpolación como método de representación cartográfica para la distribución de la población: Aplicación a la provincia de Albacete. *El Acceso a La Información Espacial y Las Nuevas Tecnologías Geográficas*, 165–178.
- Grass, Y., Castañeda, M., Pérez, G., Rosell, L., & Roca, L. (2017). Noise in the stomatological working environment. *MEDISAN*, 21.
- IDYC. (2016). *Análisis de la situación actual de ruido* (pp. 1–63).
- INEC. (2010). *Censo de población y vivienda*. Instituto nacional de estadísticas y censos Ecuador.
- Laforga, P. (2004). Conceptos físicos de las ondas sonoras. *Física y Sociedad*.
- Lewis, F. L. (2004). Wireless Sensor Networks. *Smart Environments: Technologies, Protocols and Applications*, 11–46.
- Lin, C., Zadorozhny, V., Krishnamurthy, P., & Lee, C. (2011). A Distributed and Scalable Time Slot Allocation Protocol for Wireless Sensor Networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 505–518. <http://dx.doi.org/10.1109/tmc.2010.163>
- Long, M. (2006). *Architectural Acoustics* (Copyright 2006. Elsevier INc. All rights reserved (ed.)).
- Martínez, P., & Moreno, A. (2005). El ruido ambiental urbano de Madrid: caracterización y evaluación cuantitativa de la población potencialmente afectable. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 40, 153–180. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1308514&info=resumen&idioma=SPA>
- Ministerio del Ambiente Ecuador. (2015). Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente. *Libro VI, Anexo 5, AM 097A*.
- Moraga, P., Morillas, J., Rey, G., & Montes, D. (2017). Sonidos naturales y entorno urbano.

- Son compatibles? In *ACOUSTICS 48º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA* (pp. 446–455).
- Nazneen, S., Raza, A., & Khan, S. (2020). Assessment of noise pollution and associated subjective health complaints and psychological symptoms: analysis through structure equation model. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(17), 21570–21580. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08655-x>
- OMS. (1999). *Guías para el ruido urbano*. Organización Mundial de la Salud.
- Quiñones, M. et al. (2017). Sistema de monitoreo de variables medioambientales usando una red de sensores inalámbricos y plataformas de internet de las cosas. *Enfoque UTE*. <http://dx.doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n1.139>
- Robles, A., & Arias, E. (2015). *Metodologías de evaluación: exposición ocupacional a ruido y casos de análisis en agentes ambientales físicos* (T. y A. en A. C. (SALTRA) Programa Salud (ed.)).
- Rodríguez, F. (2015). Ruido ambiental, comunicación y normatividad en la ciudad de México. *Primera Revista Electrónica En Iberoamérica Especializada En Comunicación*, 13(3), 22. www.razonypalabra.org.mx
- Salgado F. & Carranco S. (2017). *Sistema de monitoreo de calidad del aire y ruido ambiental para la determinación de índices de contaminación, basados en redes inalámbricas de sensores* (p. 132).
- Suárez, E. (2019). Mapas de ruido. *Simposio Internacional de Acústica Ambiental y Gestión Del Ruido*.
- Laboratorio de Informática Aplicada, Pub. L. No. Resolución N° 070/10, 2 (2010).
- Zamorano, B., Peña, F., Parra, V., Velázquez, Y., & Vargas, J. (2015). Contaminación por ruido en el centro histórico de Matamoros. *Acta Universitaria*. <http://dx.doi.org/10.15174/au.2015.819>