

IMPACTO DEL CONFINAMIENTO POR LA PANDEMIA DE COVID-19 EN LA VARIACIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO AMBIENTAL EN LA CIUDAD DE CUENCA (ECUADOR) DURANTE EL PERIODO 2020-2021

Impact of the COVID-19 pandemic lockdown on environmental noise level variations in Cuenca, Ecuador, during 2020-2021

Ismael VANEGAS GALINDO¹, Darío ESPINOZA SAQUICELA¹,
Julia MARTÍNEZ GAVILANES¹, Julio MOSQUERA GUTIERRES² y Esteban BRAVO LÓPEZ¹

¹ Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador, Universidad del Azuay, Avenida 24 de mayo 7-77 y Hernán Malo, Cuenca, 010204, Azuay, Ecuador.

² Centro de Estadística, Universidad del Azuay, Avenida 24 de Mayo 7-77 y Hernán Malo, Cuenca, 010204, Azuay, Ecuador.

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

(Recibido: septiembre de 2025; aceptado: febrero de 2026)

Palabras clave: Cuenca, monitoreo continuo, sistemas IoT, contaminación acústica, salud ambiental, indicadores acústicos.

RESUMEN

La calidad acústica urbana es un componente clave de la planificación del territorio por su relación directa con la salud y la calidad de vida de la población. El objetivo de este estudio es evaluar el impacto del confinamiento por la pandemia de COVID-19 en la variación de los niveles de ruido ambiental en la ciudad de Cuenca (Ecuador) durante el periodo 2020-2021. Para ello, se analizaron registros continuos de nivel sonoro equivalente ponderado A (LAeq) en cuatro puntos de monitoreo, ubicados en diferentes usos de suelo dentro del límite urbano, durante siete meses consecutivos, distribuidos entre fases de confinamiento y de levantamiento progresivo de las restricciones. A partir de estas series se calcularon indicadores diarios y horarios de LAeq, que se compararon con los niveles máximos permisibles establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, para cada categoría de uso de suelo. Los resultados muestran reducciones de los niveles de ruido de hasta 24.1 dB en los puntos asociados a vías de alta circulación durante las fases de mayor restricción de movilidad, así como incrementos graduales al restablecerse la actividad económica y el tráfico vehicular. En los cuatro puntos de monitoreo se registraron superaciones de los límites normativos en las franjas horarias diurna y nocturna, especialmente en zonas de uso comercial. Se concluye que la contaminación acústica en Cuenca es altamente sensible a los cambios en la movilidad urbana y que, aun en condiciones de fuerte reducción del tráfico, persisten superaciones de los valores límite, lo que destaca la necesidad de incorporar la gestión del ruido ambiental en las políticas locales de ordenamiento territorial y transporte.

Key words: Cuenca, continuous monitoring, IoT systems, noise pollution, environmental health, acoustic indicators.

ABSTRACT

Urban acoustic quality is a key component of spatial planning due to its direct relationship with population health and quality of life. The aim of this study is to assess the impact of the COVID-19 pandemic lockdown on variations in environmental noise levels in the city of Cuenca (Ecuador) during the period 2020-2021. Continuous A-weighted equivalent sound level (LAeq) records were analyzed at four monitoring points across different land-use categories within the urban boundary over seven consecutive months, spanning lockdown phases and the progressive lifting of mobility restrictions. From these time series, daily and hourly LAeq indicators were computed and compared with the maximum permissible levels established in the Ecuadorian national environmental regulation, the Unified Text of Secondary Environmental Legislation, for each land-use category. The results show reductions in noise levels of up to 24.1 decibels at locations near high-traffic roads during periods of stricter mobility restrictions, followed by gradual increases as economic activity and vehicular traffic resumed. At all four monitoring points, exceedances of regulatory limits were observed during both daytime and nighttime, particularly in commercial land-use areas. The study concludes that environmental noise pollution in Cuenca is highly sensitive to changes in urban mobility and that, even with substantial traffic reductions, exceedances of limit values persist, underscoring the need to integrate environmental noise management into local land-use planning and transport policies.

INTRODUCCIÓN

La contaminación acústica es un problema trascendental en el ámbito de la salud pública, asociada a la calidad de vida de los seres humanos (Platzer et al. 2007, Fiedler y Zannin 2015, Orozco y González 2015, Nazneen et al. 2020). Este fenómeno adquiere relevancia en virtud de que la exposición a niveles elevados de ruido provoca efectos fisiológicos como la pérdida de la capacidad auditiva y el tinnitus, coloquialmente conocido como “zumbido dentro del oído” (Amable et al. 2017, Daiber et al. 2019). Asimismo, la exposición a niveles moderados pero de carácter continuo genera efectos psicológicos como estrés, problemas cognitivos y alteraciones del sueño, entre otros (Romo y Gómez 2013, Azeez et al. 2021, MMA 2023).

En los últimos años, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha realizado diversas investigaciones para determinar los efectos de la contaminación acústica sobre la salud de la población. Dicha organización ha establecido recomendaciones sobre niveles máximos de exposición al ruido ambiental proveniente de diversas fuentes, con el fin de proteger la salud (OMS, 2018). En el caso del tráfico rodado, se recomienda reducir los niveles medios de exposición por debajo de 53 dB (dB) de nivel sonoro continuo equivalente diurno (L_{día}) y por debajo de 45 dB de nivel sonoro continuo equivalente nocturno (L_{noche}); para el tráfico ferroviario se proponen valores inferiores a 54 dB L_{día} y 44 dB L_{noche}, y para

el ruido de aeronaves, valores por debajo de 45 dB L_{día} y 40 dB L_{noche}. Estas referencias constituyen un marco de comparación relevante para evaluar la calidad acústica en entornos urbanos y contrastar los niveles de ruido medidos en distintas ciudades y países, así como para impulsar acciones políticas con miras a salvaguardar a las comunidades frente a los efectos adversos del ruido (García y Garrido 2003, Sánchez 2007).

El confinamiento, como medida preventiva para evitar contagios masivos del virus SARS-CoV-2 durante 2020, tuvo un impacto positivo en la reducción de los niveles de ruido a nivel mundial. Basu et al. (2021), Čurović et al. (2021) y Hornberg et al. (2021) resaltaron la importancia de la información obtenida durante una pandemia global, ya que permite comprender cómo los cambios en el comportamiento de la sociedad pueden generar repercusiones en la contaminación ambiental. Un ejemplo de ello se observó en la ciudad de Madrid, España, donde se registró una disminución significativa de los niveles de ruido, especialmente en las zonas de alto tráfico vehicular (Asensio et al. 2020). Según Zambon et al. (2021), en Milán se evidenció un aumento de hasta 16.4 % de la población expuesta a niveles de ruido menores a 53 dB durante el día y 45 dB durante la noche con respecto a 2019. Asimismo, Pagès et al. (2020) evidenciaron cambios significativos en los niveles de ruido en Roma y Milán, con diferencias de hasta 12.8 dB. El estudio realizado por Caniato et al. (2021) en Italia arrojó resultados sobre la percepción

del ruido exterior por parte de las personas, en el que se afirmó que experimentaron una sensación de un ambiente más tranquilo y una preferencia clara por mantener dichos niveles de ruido.

Los cambios observados en los niveles de ruido durante el confinamiento muestran el potencial de la reducción de la movilidad para mejorar la calidad acústica urbana y la calidad de vida. Estos resultados no implican que sea posible mantener las condiciones excepcionales del periodo de confinamiento, pero sí ofrecen una referencia útil para diseñar medidas graduales y realizables de gestión del ruido en la planificación post-COVID-19, orientadas a disminuir la exposición en los puntos y horarios más conflictivos (Aletta et al. 2020, Nieuwenhuijsen 2021).

A inicios de 2020, el gobierno ecuatoriano impuso restricciones de movilidad que exigían el confinamiento parcial y total de la población en sus hogares en respuesta a la emergencia sanitaria asociada al COVID-19. Estas acciones provocaron un impacto significativo en los niveles de contaminación acústica, que disminuyeron notablemente en comparación con años anteriores. En Ecuador, el proceso de confinamiento se extendió a lo largo de tres etapas. El 17 de marzo se inició la fase denominada “encierro parcial” (EP), en la que el gobierno implementó un toque de queda entre las 21:00 y las 5:00 hora local. Además, se anunció la suspensión de los vuelos nacionales y la restricción de la circulación del transporte interprovincial, así como un sistema de restricción vehicular durante el día, basado en el último dígito de las placas de los vehículos (El Universo 2020). El 25 de marzo se inició la fase conocida como “encierro total” (ET), en la cual se mantuvieron todas las restricciones previamente mencionadas y se amplió el toque de queda desde las 14:00 hasta las 5:00 hora local (SECOM 2020). Finalmente, el 4 de mayo se instauró la etapa denominada “nueva normalidad” (NN), que se implementó gradualmente durante ese mes. En esta fase, los establecimientos educativos continuaron sus actividades de forma remota; el retorno a la jornada de trabajo presencial se permitió únicamente en casos necesarios, con un estricto distanciamiento de 1.5 m entre puestos de trabajo y los establecimientos comerciales reanudaron sus actividades con restricciones de aforo máximo y el toque de queda continuó en vigencia, restringiendo la circulación entre las 21:00 y las 5:00 hora local (El Comercio 2020).

A nivel nacional, en Guayaquil, Velástegui et al. (2023) estudiaron los cambios en el nivel de ruido asociados a la pandemia por COVID-19 entre 2020 y 2021 mediante registros captados con dispositivos

móviles en junio, julio y agosto. Se demostró que el ruido en 2021 fluctuó entre 10 y 20 dB en distintas zonas de la ciudad respecto a 2020. El estudio realizado en la ciudad de Cuenca (Ecuador) por Martínez et al. (2024) reveló que, durante 2020, 69.4 % de los puntos monitoreados anualmente presentaron niveles inferiores respecto a 2019. En Ecuador es posible evaluar la contaminación acústica con base en los lineamientos establecidos para fuentes móviles y fijas en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), en el cual se establecen franjas horarias que comprenden el día y la noche, distintos usos de suelo y los niveles máximos permisibles para los horarios diurno y nocturno (MAE 2015). En este marco, en 2020, desde la Universidad del Azuay, a través del Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE), se realizó un estudio sobre el impacto del ruido ambiental en la ciudad de Cuenca, cuyo objetivo fue evaluar el impacto del confinamiento por la pandemia de COVID-19 en la variación de los niveles de ruido ambiental en dicha ciudad durante el periodo 2020-2021.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de este estudio se basó en un diseño observacional, descriptivo y longitudinal, sustentado en el monitoreo continuo de ruido ambiental en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Para ello se utilizaron datos de nivel sonoro continuo equivalente con ponderación A (LAeq) registrados mediante una red de nodos sensores instalados en cuatro puntos de monitoreo dentro del límite urbano, durante siete meses consecutivos en 2020 y 2021, que abarcaron fases de confinamiento y de levantamiento progresivo de las restricciones de movilidad. A partir de estas series temporales se elaboraron indicadores horarios y diarios de ruido ambiental, los cuales posteriormente se compararon con los niveles máximos permisibles establecidos en la normativa nacional vigente.

Para la obtención de datos se utilizaron nodos sensores de funcionamiento remoto integrados en una red basada en el concepto de internet de las cosas (IoT). Esta red opera mediante la interconexión de dispositivos enlazados que ejecutan funciones sin necesidad de supervisión humana continua y permite obtener registros de nivel sonoro equivalente cada 10 min, los cuales son transmitidos por medio de una red de datos móviles a un servidor para su posterior descarga y análisis. Los sensores cuentan con certificados emitidos por el fabricante, en los que se indica que, en comparación

con un sonómetro certificado, presentan diferencias de 0.1 a 0.2 dB, con base en los requerimientos de la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 (UNE 2017). Para corroborar este desempeño, en el campus central de la Universidad del Azuay se realizaron pruebas empíricas en condiciones de ruido semicontroladas, utilizando bocinas para generar ruido blanco a distintos niveles. En estas pruebas se obtuvieron resultados aproximados con diferencias que no superaron el orden de 1 decibel. No obstante, las mediciones registradas por los sensores empleados deben considerarse referenciales, ya que estos equipos no cumplen todos los requisitos establecidos en la norma UNE-EN ISO 1996-1:2009 (UNE 2009) para la certificación de equipos de medición de niveles de presión sonora.

Los dispositivos registran el ruido con ponderación temporal lenta y generan una muestra por segundo. A partir de estos registros, se calcula de forma iterativa, cada 10 min, un valor único de nivel equivalente. De la misma forma, se aplica una curva de ponderación A, que introduce una atenuación en bajas frecuencias acorde con la sensibilidad del oído humano. Los datos de ruido se ponen a disposición

de la ciudadanía en la página del Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador de la Universidad del Azuay, en la cual se muestra la ubicación de cada nodo sensor y el comportamiento de los niveles de ruido durante las 24 h del día (<https://ierse.uazuay.edu.ec/proyectos/ruido-continuo/>). Los datos están disponibles para su descarga desde 2019.

Los sensores se encuentran instalados en distintos puntos de la ciudad de Cuenca, Ecuador (**Fig. 1**). En este estudio se evaluaron cuatro puntos: calle Remigio Crespo (SCP06), Av. Doce de Abril (SCP11), centro de abastecimiento El Arenal (SCP08) y Parque Industrial (SCP09).

Con relación al funcionamiento adecuado de los nodos sensores, se consideraron tres variables para la ubicación de los dispositivos. En primer lugar, se verificó la disponibilidad de espacio, de manera que el equipo no quedara obstaculizado por cableado eléctrico, telefónico o de internet. En segundo lugar, se determinó la disponibilidad de servicio eléctrico. Finalmente, se consideró la presencia de elementos de seguridad, como púas antirrobo y cámaras de vigilancia. La altura de instalación dependió de estas

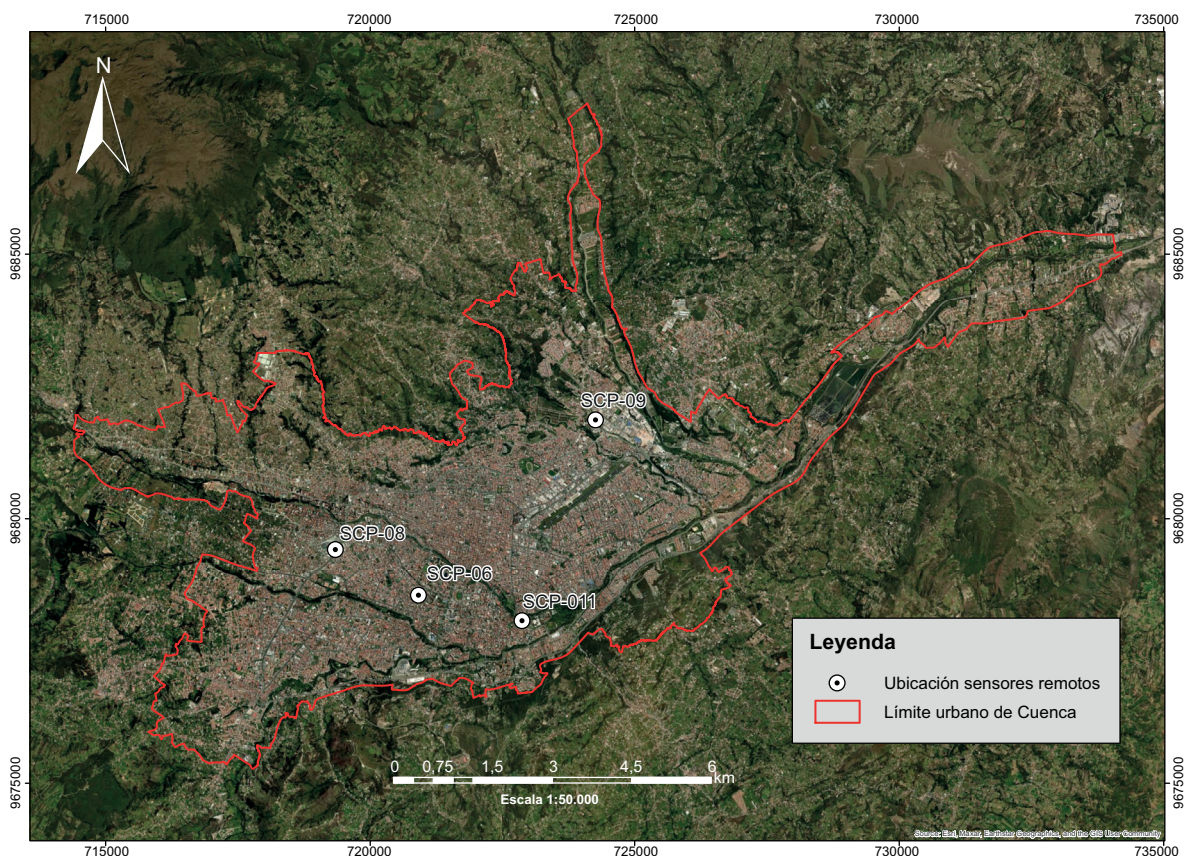


Fig. 1. Ubicación de los sensores de ruido en el área de estudio.

condiciones, por lo que los sensores se colocaron entre 5 y 7 m sobre el nivel del suelo.

Para la validación de los datos registrados por los nodos sensores se utilizó como referencia el nivel medido con un equipo certificado y calibrado (sonómetro) en cada una de las zonas donde se encontraban los dispositivos. Mediante la comparación de niveles se obtuvieron diferencias inferiores a 0.5 dB, lo que respalda la validez de los registros generados por la red de nodos sensores para fines comparativos.

Los datos analizados correspondieron a 2020 y 2021. La selección de las estaciones se realizó con base en un criterio mínimo de disponibilidad de datos, a fin de generar indicadores fiables de contaminación acústica en cada zona. Este criterio estableció la necesidad de contar con al menos 100 muestras diarias para construir los distintos indicadores acústicos.

Los datos fueron depurados mediante la eliminación de registros vacíos o iguales a cero, dado que no es posible registrar silencio absoluto y dichos valores se interpretaron como errores de medición o de transmisión. A partir de los registros obtenidos cada segundo, se calculó el nivel sonoro continuo equivalente en intervalos de 10 min (LAeq,10min) mediante un promedio energético o logarítmico de los niveles de presión sonora, ya que, al tratarse de magnitudes relacionadas con la energía acústica, no es adecuado emplear un promedio aritmético.

A partir de los valores de LAeq,10min se definieron los indicadores diarios de Ldía y Lnoche, calculados como promedios energéticos de todos los LAeq,10min comprendidos, respectivamente, en la franja horaria diurna (07:01-21:00 hora local) y en la franja horaria nocturna (21:01-07:00 hora local) de cada día. Posteriormente, los valores diarios de Ldía y Lnoche se agregaron por fases de estudio y por meses utilizando nuevamente promedios energéticos, de modo que cada fase y cada mes quedaran caracterizados por un valor representativo de Ldía y Lnoche. En síntesis, la cadena de agregación temporal aplicada fue la siguiente: registros de 1 s → LAeq,10min → Ldía y Lnoche diarios → Ldía y Lnoche medios por fase y por mes.

Para la obtención del nivel sonoro continuo equivalente se utilizó la siguiente ecuación:

$$L_{eq} 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum ti \times 10^{\frac{Li}{10}} \right] \quad (1)$$

donde $L(ti)$ es el nivel de presión acústica, ponderado A, en el instante t y T es el intervalo temporal considerado.

Para el estudio se consideraron dos franjas horarias establecidas en la normativa del Ministerio

del Ambiente (MAE 2015), en las cuales se evalúan los niveles máximos permisibles según el uso de suelo (**Cuadro I**). El análisis de los datos se realizó de manera objetiva, con énfasis en las diferencias numéricas entre periodos y sitios de monitoreo, sin incorporar variables de percepción subjetiva.

CUADRO I. FRANJAS HORARIAS ESTABLECIDAS POR EL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MEDIO AMBIENTE.

Franja horaria	Hora local
Horario diurno	7:01-21:00
Horario nocturno	21:01-7:00

Los lugares dispuestos a análisis fueron:

- Remigio Crespo (SCP06). Nodo sensor ubicado en la avenida del mismo nombre, correspondiente a una de las zonas comerciales más concurridas de la ciudad de Cuenca. En el sector se concentran bancos, instituciones educativas, restaurantes y supermercados, lo que genera durante el día un alto tránsito vehicular y peatonal. En horario nocturno, la presencia de bares y establecimientos de entretenimiento incrementa la actividad urbana y favorece niveles elevados de ruido.
- El Arenal (SCP08). En esta zona se localiza el centro de abastecimiento más grande y diverso de la ciudad. La dinámica poblacional del sector favorece un flujo constante e intenso de vehículos y peatones. Durante el día, los niveles de ruido se mantienen elevados debido a la actividad comercial, mientras que en horario nocturno se observa una disminución asociada a la reducción de dicha actividad.
- Parque Industrial (SCP09). Este sector registra un notable flujo de vehículos pesados tanto de día como de noche. Aunque en la zona operan industrias de manera continua, la principal fuente de ruido identificada es el tráfico vehicular.
- Av. Doce de Abril (SCP11). Esta zona se caracteriza por la presencia del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso, donde es especialmente importante mantener niveles bajos de contaminación acústica. Además, en el sector confluyen dos ejes viales de alta circulación, las avenidas Doce de Abril y Paseo de los Cañaris, lo que favorece un tránsito vehicular intenso y niveles de ruido que pueden interferir con la tranquilidad del entorno hospitalario.

En la **figura 2** se muestran las fotografías de la ubicación específica de los sensores en los sitios descritos.

Nodos sensores

Este estudio utilizó una red de nodos sensores con capacidades de captura, procesamiento y envío de datos a través de red celular de servicio general de paquetes de radio (GPRS). Cada nodo registra mediciones por medio de un concentrador utilizando comunicación máquina a máquina (M2M), protocolo que optimiza el intercambio de información entre dispositivos y facilita la escalabilidad del sistema. Los nodos cuentan con encapsulamiento IP65, lo que permite su funcionamiento a la intemperie. En cuanto al ruido, el parámetro de medición objetivo es el nivel equivalente ponderado A (LeqA), en modos de captura programables de 125 ms y 1 s, siendo este último el utilizado en el presente estudio, con un rango de operación óptimo de 50 a 100 dB. El micrófono incorporado es de tipo MEMS con patrón omnidireccional. En la **figura 3** se presenta una imagen referencial de los nodos sensores utilizados.

Algoritmo

El lenguaje de programación utilizado para el desarrollo del firmware de los nodos sensores fue C. Se estableció un periodo de 10 min para la ejecución de un proceso iterativo en el que se obtuvieron, cada segundo, valores de ruido que se acumularon para calcular un nivel equivalente por periodo. La ejecución del muestreo fue controlada por el módulo de reloj en tiempo real (RTC) del nodo sensor y, al finalizar cada ciclo, se ejecutaron procedimientos para el cálculo del nivel equivalente, el envío del valor obtenido al concentrador mediante el protocolo de transferencia



Fig. 3. Imagen referencial del nodo sensor de ruido.

de hipertexto (HTTP) y el control del circuito de reinicio preventivo (*watchdog*).

Plataforma para publicación

Los niveles equivalentes calculados por los nodos sensores se almacenaron en una base de datos relacional que también contiene información de georreferenciación y datos asociados a la normativa nacional de contaminación acústica (MAE 2015). A partir de esta base se desarrolló una página web en la que se georreferencia cada nodo sensor en un mapa interactivo y se muestran los niveles de ruido equivalentes más recientes, así como los valores máximos, mínimos y equivalentes para horarios diurnos y nocturnos. Además, se presenta el comportamiento temporal diario de cada estación, junto con niveles equivalentes en horarios pico (07:00, 13:00 y 18:00 hora local) y valle (10:00, 15:00 y 21:00 hora local), así como la descarga de mediciones en formato de hoja



Fig. 2. Ubicación de los sensores: (a) SCP06 sector Remigio Crespo, (b) SCP08 sector El Arenal, (c) SCP09 sector Parque Industrial y (d) SCP11 Hospital Regional (Av. Doce de Abril).

de cálculo (<https://ierse.uazuay.edu.ec/proyectos/ruido-continuo/>).

Equipo certificado para validación

La información empleada para la validación de los datos fue levantada con un sonómetro certificado de clase 2, marca 3M Quest Technologies, con certificado de calibración núm. 5137981BCQ12001 vigente a la fecha de medición. Los datos se descargaron y analizaron con el programa QuestSuite Professional II (Fig. 4).



Fig. 4. Ubicación del sonómetro para las mediciones de validación de los nodos sensores (SCP11).

Análisis de significancia estadística

Para fortalecer los hallazgos del estudio, se analizaron estadísticamente los registros de nivel sonoro continuo equivalente obtenidos durante los periodos diurno y nocturno mediante el programa R. Debido a la falta de normalidad en la distribución de los datos, se utilizó la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney (equivalente a la prueba de suma de rangos de Wilcoxon), que permite comparar dos muestras independientes y tiene como hipótesis nula que ambas proceden de la misma distribución (Perme y Manevski 2019), por lo que resulta adecuada para datos ambientales con distribuciones no normales y presencia potencial de valores atípicos (Conroy 2012).

En concreto, se compararon las distribuciones diarias de $L_{día}$ y L_{noche} entre los años 2020 y 2021 en cada uno de los cuatro puntos de monitoreo y para cada periodo analizado. Cuando correspondió, también se realizaron comparaciones por fase de estudio, incluyendo el encierro parcial (EP) y el encierro total (ET). Se utilizó un nivel de significancia de $p < 0.05$; se reportaron los valores de p asociados a cada prueba

y, como medida de tamaño de efecto, se calculó la diferencia de medianas de $L_{día}$ y L_{noche} entre 2021 y 2020 para cada comparación, con el fin de valorar la relevancia práctica de las diferencias observadas más allá de su significancia estadística. Debido a que se realizaron múltiples comparaciones, los resultados se interpretaron considerando el aumento potencial del error de tipo I. Sin embargo, no se aplicó una corrección formal debido al carácter exploratorio del análisis y al interés principal en identificar patrones consistentes en la variación del ruido entre ambos años.

RESULTADOS

Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los niveles de ruido correspondientes a 2020 y 2021 en cuatro estaciones ubicadas en la ciudad. Para realizar esta evaluación, se empleó la totalidad de las muestras obtenidas por los dispositivos en intervalos de diez minutos a lo largo de las 24 h del día, durante un periodo de siete meses, de febrero a agosto. Cabe destacar que se excluyeron los registros vacíos o con valores iguales a cero, que representaron el 1.6 % de la totalidad de la base de datos. Esta depuración de datos se realizó con el propósito de mitigar la influencia de factores externos, tales como la interrupción del suministro eléctrico de los dispositivos, los fallos en la transmisión de datos y la ejecución de tareas de mantenimiento requeridas por cada sensor.

Con la finalidad de obtener una mejor representación de los resultados, se calculó el promedio diario para 2020 y 2021. Este cálculo se realizó de manera segregada en dos indicadores: el periodo diurno, comprendido entre las 7:01 y las 21:00 hora local, y el periodo nocturno, comprendido entre las 21:01 y las 7:00 hora local.

La **figura 5** muestra la evolución de los niveles de ruido durante siete meses en horario diurno. En esta representación se observaron fluctuaciones notables en los niveles de ruido. Entre el 17 de marzo y el 25 de mayo, periodo en el que se desarrollaron las fases de encierro parcial (EP) y encierro total (ET), se identificó una variabilidad marcada, con diferencias de hasta 8.0 dB entre 2020 y 2021.

También se observa que, desde el 25 de mayo hasta el 31 de agosto, periodo en el cual se instauró la “nueva normalidad”, persistieron variaciones en los niveles de ruido, aunque estas carecen de relevancia significativa. Este fenómeno puede atribuirse al hecho de que, desde el 25 de mayo, las restricciones de movilidad se impusieron a partir de las 21:00 hora local, lo que implicó un mayor flujo de tránsito durante todo el horario diurno.

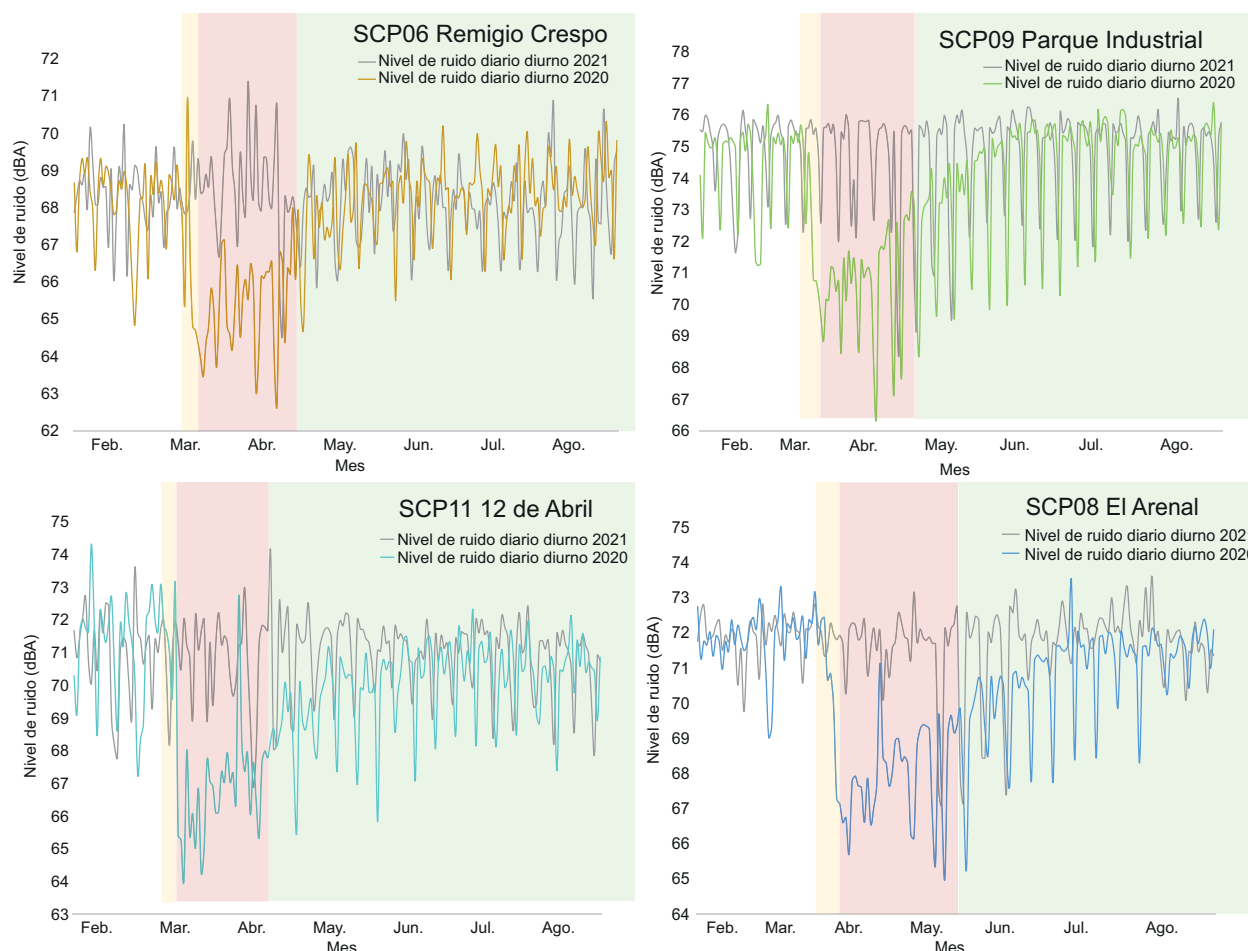


Fig. 5. Comparación de niveles de ruido durante 2020 y 2021 en las cuatro estaciones de monitoreo en el horario diurno.

La **figura 6** muestra la evolución de los niveles de ruido durante el horario nocturno comprendido entre las 21:01 y las 7:00 hora local. Se identificó que durante el periodo de las etapas EP y ET se registró la mayor variabilidad en los niveles de ruido. Este fenómeno se atribuye a las restricciones de movilidad y al toque de queda impuesto por el gobierno ecuatoriano en respuesta a la crisis sanitaria provocada por el virus COVID-19.

Se puede constatar que el impacto más significativo en la disminución de los niveles sonoros se evidenció en el sector Remigio Crespo (SCP06), caracterizado por la presencia de locales destinados al entretenimiento nocturno. En dicho ámbito se apreciaron variaciones que alcanzaron hasta 24.1 dB de diferencia entre el año 2020 y 2021, situación atribuible al cese completo de operaciones en establecimientos tales como restaurantes, bares y discotecas.

En contraste con las oscilaciones observadas en el horario diurno, es importante destacar que las

variaciones en los niveles de ruido en el periodo nocturno durante la fase conocida como “nueva normalidad” muestran diferencias notorias entre 2020 y 2021. Estas disparidades se deben a un conjunto de factores circunstanciales que han ejercido una influencia significativa sobre el entorno acústico, como el límite del aforo permitido en locales comerciales y el toque de queda establecido a partir de las 00:00 hora local por las autoridades de turno.

Las **figuras 7 y 8** ilustran los indicadores de L_{día} (14 h) y L_{noche} (10 h), los cuales se obtuvieron mediante el promedio de los niveles registrados entre las 7:01 y las 21:00 hora local y entre las 21:01 y 7:00 hora local, respectivamente. Esta representación gráfica permite visualizar de manera general el impacto en los niveles de ruido a lo largo de 2020. Para llevar a cabo el análisis se ha tomado como referencia los niveles de ruido generados en 2021, en el cual las dinámicas de la población se desarrollaron bajo la denominada “nueva normalidad”.

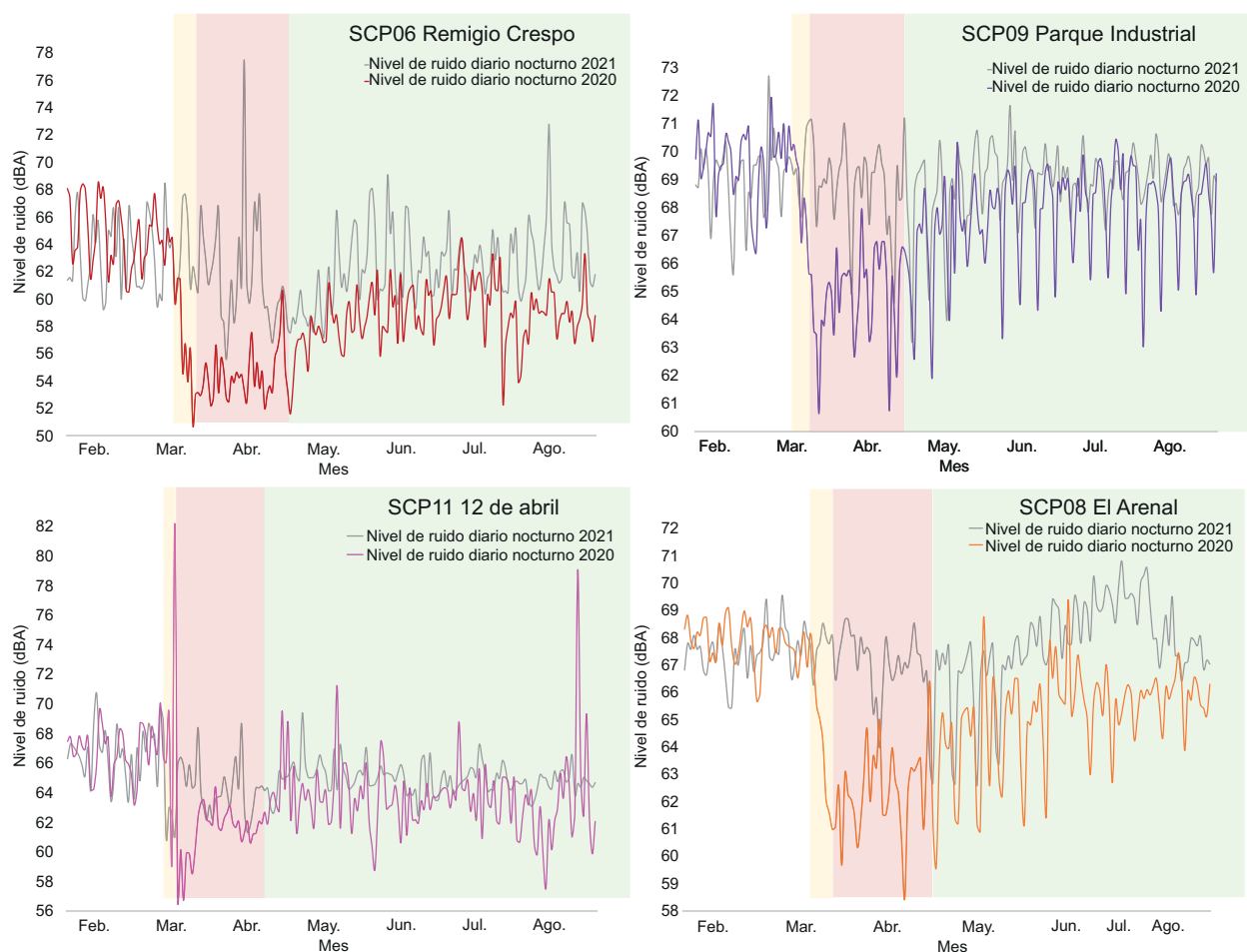


Fig. 6. Comparación de los niveles de ruido en 2020 y 2021 en las cuatro estaciones de monitoreo durante el horario nocturno.

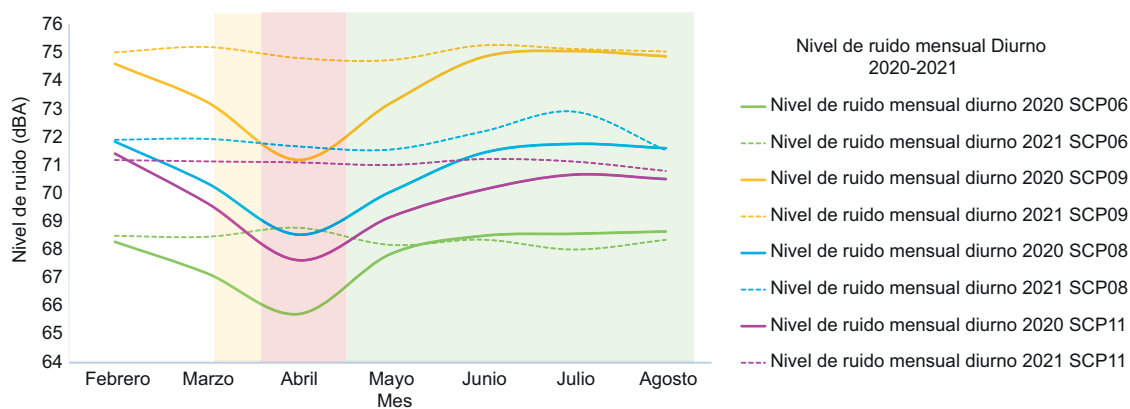


Fig. 7. Comparación del nivel equivalente mensual en 2020 y 2021 en las cuatro estaciones de monitoreo durante el horario diurno.

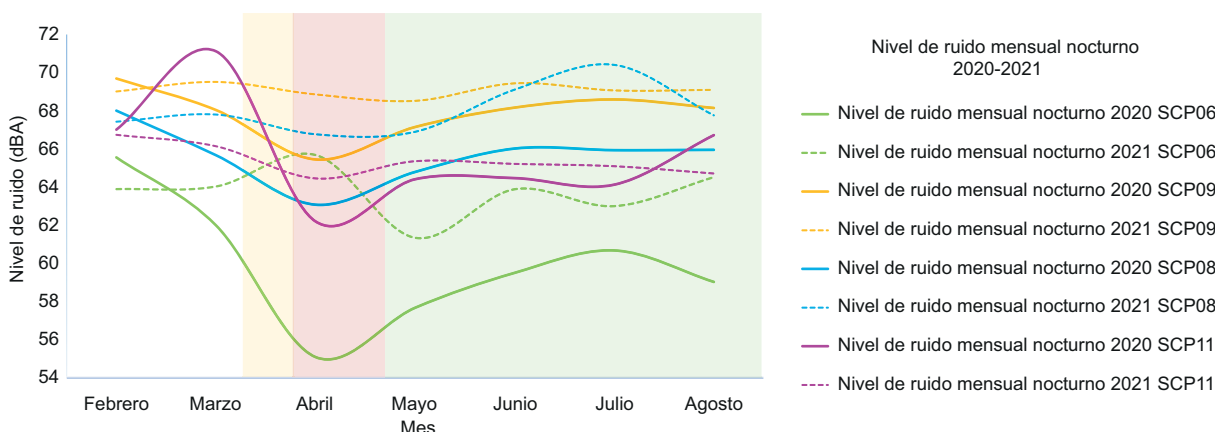


Fig. 8. Comparación del nivel equivalente mensual en 2020 y 2021 en las cuatro estaciones de monitoreo durante el horario nocturno.

Se observó una marcada variación en los niveles de ruido durante marzo, abril y mayo. Se destaca una disminución notable en abril tanto en Ldía como en Lnoche; además, se aprecia de manera general que todas las estaciones presentaron la misma tendencia.

En junio, julio y agosto, en el periodo diurno, los niveles de ruido generados en 2020 se aproximaron a los registrados en 2021. Esto se atribuye a la normalización de las actividades durante el día; no obstante, esta convergencia no se replicó en el periodo nocturno, particularmente en las zonas SCP06 y SCP08, donde los niveles de ruido no experimentaron similitud, lo cual se relaciona con las características dominantes de estas zonas, como es el caso de SCP06, donde se encuentran varios establecimientos de entretenimiento nocturno con restricciones que no permitieron su funcionamiento con normalidad. De la misma forma, la zona SCP08, que si bien carece de centros de entretenimiento nocturno, se rige como un importante centro de abastecimiento en la ciudad. Sin embargo, el tránsito de vehículos de carga pesada, habitual en esta zona, estuvo limitado por restricciones de circulación impuestas por el gobierno desde las 00:00 hasta las 5:00 hora local.

En el **cuadro II** se evidencia claramente la reducción de los niveles de ruido durante las etapas de EP y ET, caracterizadas por restricciones de movilidad impuestas por el gobierno. Cabe señalar que las cuatro estaciones en estudio presentaron dinámicas distintas, lo que se tradujo en impactos divergentes en los niveles de ruido en cada una de las áreas evaluadas.

La estación de monitoreo SCP06, ubicada en una zona donde predomina la actividad de entretenimiento nocturno, experimentó una disminución de 9.9 dB en los niveles de ruido durante el periodo nocturno.

CUADRO II. DIFERENCIAS DE LOS INDICADORES ACÚSTICOS ENTRE LAS REDUCCIONES PROMEDIO DE LOS NIVELES DE RUIDO DURANTE LAS ETAPAS DE ENCIERRO PARCIAL Y ENCIERRO TOTAL.

	Variación de ruido, horario diurno	Variación de ruido, horario nocturno
SCP06 (zona de entretenimiento nocturno)	-3.1	-9.9
SCP08 (zona comercial)	-3.5	-4.3
SCP09 (zona industrial)	-3.9	-3.7
SCP11 (zona de equipamientos sociales)	-3.7	3.4

Esta variación guardó una relación directa con las medidas restrictivas impuestas al funcionamiento de los establecimientos de entretenimiento nocturno en esta área.

En la estación SCP08 se observó que el impacto generado en el horario nocturno fue el mayor, con 4.3 dB. Esto se atribuye al hecho de que todas las actividades debieron suspenderse, de conformidad con las restricciones impuestas por las autoridades gubernamentales a partir de las 21:00 hora local.

En el análisis de la zona SCP09, que se caracteriza por encontrarse dentro del parque industrial de la ciudad, se observó una semejanza notable en las variaciones presentadas en ambos intervalos temporales, ya sea en el periodo diurno o nocturno. Esta

similitud se explica porque, a pesar de la disminución del tráfico vehicular, ciertas industrias no tuvieron la posibilidad de cesar su operatividad por completo.

Una de las zonas de mayor interés es la SCP11 donde se encuentra el hospital regional Vicente Corral Moscoso. Esta zona es de especial interés por la convergencia de dos ejes viales importantes y de alto tránsito. Se evidenció una variación de 3.7 dB en los niveles de ruido durante el periodo diurno. Esta discrepancia se debe a la drástica reducción del volumen de tráfico vehicular en esta área. Se debe destacar que, durante el horario nocturno, el nivel de ruido durante el año 2020 fue mayor que en 2021, esto se atribuye al constante paso de ambulancias al ser una zona donde se encuentra un hospital que acoge pacientes a nivel regional.

En el análisis de niveles de ruido, la prueba U de Mann-Whitney evalúa la existencia de diferencias estadísticamente significativas en dichos niveles entre distintos grupos o condiciones con base en el valor p calculado (Conroy 2012). En este contexto, el **cuadro III** muestra los resultados del análisis, los cuales indican que existe una diferencia significativa entre las mediciones del día y la noche ($p < 0.05$) de los años comparados en cada lugar de ubicación de los sensores.

CUADRO III. COMPARACIÓN DE LOS DATOS CAPTADOS POR LOS SENSORES EN LOS LUGARES DE ESTUDIO PARA LOS PERIODOS DIURNO Y NOCTURNO.

Sensor	Periodo	W	Significancia estadística
SCP06 (zona de entretenimiento nocturno)	Día	40132.500	0.021
	Noche	32029.000	0.000
SCP08 (zona comercial)	Día	21357.000	0.000
	Noche	19925.500	0.000
SCP09 (zona industrial)	Día	33925.000	0.000
	Noche	35098.500	0.000
SCP11 (zona de equipamientos sociales)	Día	26798.000	0.000
	Noche	27543.500	0.000

W: Suma de rangos de Wilcoxon.

DISCUSIÓN

La disminución de los niveles de contaminación acústica tuvo un impacto global debido a las restricciones impuestas en diversas regiones del mundo,

donde se observaron efectos similares a los registrados en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Al tratarse de un acontecimiento de relevancia, se destaca la importancia de registrar los cambios producidos en el medio ambiente durante el confinamiento.

La implementación de nuevas tecnologías permite monitorear de forma remota y continua variables ambientales, como en este estudio, donde se obtuvieron alrededor de 52 000 muestras por estación de monitoreo al año, a partir de las cuales fue posible observar los cambios ocurridos durante 2020 y compararlos con los del año posterior (2021).

Mediante la red de sensores de ruido ubicada en Cuenca, fue posible registrar datos de gran importancia que permitieron comprender la magnitud de la contaminación sonora de origen antrópico, siendo el tránsito vehicular una de sus principales fuentes. Estudios similares se han realizado en todo el mundo. En Dublín, Irlanda, Basu et al. (2021) observaron una reducción notable del ruido ambiente mediante una red de 12 estaciones de monitoreo, cuyos resultados se asemejan a los obtenidos en este estudio, ya que, por la suspensión de la circulación vehicular en la ciudad, se observó una clara tendencia a la disminución de los niveles de ruido.

En un estudio desarrollado en Madrid, España, Asensio et al. (2020) analizaron el impacto de las medidas de confinamiento en el ruido ambiental de la ciudad, utilizando un total de 31 estaciones de monitoreo. Los resultados arrojaron una disminución de hasta 4 dB en áreas de alto tráfico vehicular durante el día y una variación de hasta 4.6 dB durante la noche. Estos hallazgos comparten similitudes notables con los resultados obtenidos en este estudio, en el cual se observó que en la zona SCP08, caracterizada por un elevado flujo de tránsito vehicular, se registró una variación de 3.5 dB durante el horario diurno y 4.3 dB durante el horario nocturno.

En Milán, Italia, Zambon et al. (2021) analizaron la contaminación acústica mediante mapas de ruido, comparando 2019 y 2020. Según los indicadores referentes al ruido promedio durante las 24 h del día, se registró una disminución promedio del nivel sonoro equivalente de entre 5 y 7 dB en la ciudad. Los datos obtenidos se asemejan a los resultados de este estudio, en el que se observó una variación promedio de entre 3 y 9 dB en el nivel sonoro continuo equivalente, registrado tanto en el día como en la noche.

Asimismo, Caniato et al. (2021) llevaron a cabo un estudio centrado en la percepción de las personas respecto al ruido ambiental, en el que se evidenció que percibieron un entorno más tranquilo durante el confinamiento y expresaron una preferencia por

niveles bajos de ruido ambiental. Esto resalta la importancia de realizar estudios de esta índole en otras regiones del mundo, con el objetivo de evaluar la contaminación acústica tanto de manera objetiva como subjetiva.

Existen diversas metodologías que permiten evaluar el ruido ambiental. Una de ellas es la implementada por Velastegui et al. (2023) en Guayaquil, Ecuador, donde se registró el nivel de ruido con dispositivos móviles para representar los cambios en la contaminación sonora mediante mapas de ruido generados con interpolaciones estadísticas. De manera similar a los resultados obtenidos en el presente estudio, se observó una clara tendencia al aumento del nivel de ruido en 2021 en comparación con 2020.

Al igual que en otras investigaciones a nivel mundial, se ha observado la importancia de generar conciencia sobre los niveles de ruido obtenidos en 2020 durante el confinamiento, los cuales favorecen la calidad de vida de los seres humanos, tal como afirman Aletta et al. (2020) en Italia, por lo cual es imperativo implementar acciones que permitan mantener la contaminación por ruido en niveles saludables.

Este estudio presenta varias fortalezas metodológicas. En primer lugar, se basa en registros continuos de nivel sonoro equivalente ponderado A (LAeq) con alta resolución temporal (intervalos de 10 min) durante siete meses consecutivos en 2020 y 2021, lo que permite caracterizar con detalle la dinámica del ruido ambiental en diferentes fases del confinamiento y de la reapertura. En segundo lugar, el uso de una red de nodos sensores instalados en cuatro puntos de monitoreo ubicados en sitios con distintos usos de suelo dentro del límite urbano, así como la comparación de los resultados con los niveles máximos permisibles establecidos en la normativa nacional TULSMA (MAE 2015), facilitan la reproducibilidad del diseño en otros contextos urbanos que dispongan de infraestructura similar.

No obstante, el estudio también presenta limitaciones que deben considerarse al interpretar y extrapolar los resultados. La cobertura espacial se restringe a cuatro puntos de monitoreo, por lo que la representatividad de toda la ciudad es limitada y no se capturan todas las posibles configuraciones de uso del suelo ni los patrones de movilidad. Además, los sensores empleados no cumplen todos los requisitos establecidos en la normativa UNE-EN ISO 1996-1:2009 (UNE 2009), por lo que las mediciones son referenciales, si bien fueron contrastadas con un sonómetro certificado y resultan adecuadas para el análisis comparativo de tendencias. Por otra parte, el

horizonte temporal de observación es acotado y está condicionado por un contexto excepcional de pandemia, lo que restringe la capacidad de generalizar los hallazgos a otros periodos y a poblaciones urbanas diferentes. Estas limitaciones ponen de manifiesto la necesidad de complementar este tipo de estudios con redes de monitoreo más densas y campañas de mayor duración que permitan confirmar la estabilidad de las tendencias observadas.

CONCLUSIONES

Se observó una disminución significativa del nivel de ruido durante el confinamiento en la ciudad de Cuenca, al analizar zonas comerciales, residenciales e industriales, donde se registraron tendencias similares. El mayor impacto se produjo durante la etapa denominada “encierro total” (ET), en la que se implementó un toque de queda desde las 14:00 hasta las 05:00 hora local durante 45 días consecutivos.

Los registros analizados muestran una variación notable entre los niveles de ruido de 2020 y 2021 en las etapas de encierro parcial (EP) y ET, junto con una tendencia al aumento a lo largo de los meses posteriores al periodo de mayor restricción. Estos resultados son consistentes con un posible retorno progresivo a los niveles de ruido previos al confinamiento; no obstante, esta inferencia debe considerarse con prudencia, dado que se basa en un periodo de observación limitado y en condiciones excepcionales que limitan la extrapolación a otros contextos y horizontes temporales.

Durante el horario diurno se observó que, a pesar de existir vehículos en circulación, el nivel de ruido disminuyó, lo cual se asocia a la baja cantidad de vehículos en circulación, que no genera la saturación de los ejes viales ni el ruido excesivo que ello implica.

Las medidas de distanciamiento social tuvieron una repercusión significativa en el ruido producido durante el horario nocturno debido a que en zonas con establecimientos de entretenimiento nocturno se implantaron restricciones de funcionamiento, lo que generó una disminución del nivel de ruido de hasta 9.9 dB.

Es de gran relevancia el desarrollo de estudios que permitan conocer variables ambientales poco exploradas, como el ruido y los niveles de contaminación a los que la sociedad está expuesta, debido a su relación directa con la calidad de vida de los seres humanos. De esta forma se incentiva la generación de planes de acción que permitan mantener niveles de ruido que no afecten la salud auditiva.

REFERENCIAS

- Aletta F., Oberman T., Mitchell A., Tong H. y Kang J. (2020). Assessing the changing urban sound environment during the COVID-19 lockdown period using short-term acoustic measurements. *Noise Mapping* 7 (1), 123-134. <https://doi.org/10.1515/noise-2020-0011>
- Amable Álvarez I., Méndez Martínez J., Delgado Pérez L., Acebo Figueroa F., de Armas Mestre J. y Rivero Llop M.L. (2017). Contaminación ambiental por ruido. *Revista Médica Electrónica* 39 (3), 640-649.
- Asensio C., Pavón I. y Arcas G. (2020). Changes in noise levels in the city of Madrid during COVID-19 lockdown in 2020. *The Journal of the Acoustical Society of America* 148 (3), 1748-1755. <https://doi.org/10.1121/10.0002008>
- Azeez M.F., Khudair F.W. y Al-Fahham A.A. (2021). Effect of noise on general health status of electrical generator workers in Iraq. *Indian Journal of Forensic Medicine and Toxicology* 15 (4), 1374-1378. <https://doi.org/10.37506/ijfmt.v15i4.16900>
- Basu B., Murphy E., Molter A., Basu A.S., Sannigrahi S., Belmonte M. y Pilla F. (2021). Investigating changes in noise pollution due to the COVID-19 lockdown: The case of Dublin, Ireland. *Sustainable Cities and Society* 65, 102597. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102597>
- Caniato M., Bettarello F. y Gasparella A. (2021). Indoor and outdoor noise changes due to the COVID-19 lockdown and their effects on individuals' expectations and preferences. *Scientific Reports* 11, 16533. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96098-w>
- Conroy R.M. (2012). What hypotheses do “nonparametric” two-group tests actually test? *The Stata Journal* 12 (2), 182-190. <https://doi.org/10.1177/1536867X1201200202>
- Čurović L., Jeram S., Murovec J., Novaković T., Rupnik K. y Prezelj J. (2021). Impact of COVID-19 on environmental noise emitted from the port. *Science of The Total Environment* 756, 144147. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144147>
- Daiber A., Kröller-Schön S., Frenis K., Oelze M., Kalinovic S., Vujačić-Mirski K., Kuntić M., Bayo Jiménez M.T., Helmstädter J., Steven S., Münzel T. y Schmidt F.P. (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>
- El Comercio (2020). Gobierno anuncia nueva normalidad en Ecuador desde el 4 de mayo del 2020; ¿finaliza la cuarentena por el COVID-19? El Comercio [en línea]. <https://www.elcomercio.com/actualidad/politica/ecuador-normalidad-distanciamiento-social-coronavirus/04/05/2021>
- El Universo (2020). Ecuador: restricciones en semáforo rojo, amarillo y verde del mes de junio ante coronavirus. El Universo [en línea]. <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/05/28/nota/7854669/semaforo-amarillo-rojoverde-guayaquil-quito-cuenca-ecuador-covid/04/05/2021>
- Fiedler P.E.K. y Zannin P.H.T. (2015). Evaluation of noise pollution in urban traffic hubs—Noise maps and measurements. *Environmental Impact Assessment Review* 51, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.09.014>
- García Sanz B. y Garrido F.J. (2003). La contaminación acústica en nuestras ciudades. Fundación “la Caixa”, Barcelona, España, 252 pp.
- Hornberg J., Haselhoff T., Lawrence B.T., Fischer J.L., Ahmed S., Gruehn D. y Moebus S. (2021). Impact of the COVID-19 lockdown measures on noise levels in urban areas—A pre/during comparison of long-term sound pressure measurements in the Ruhr Area, Germany. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (9), 4653. <https://doi.org/10.3390/ijerph18094653>
- MAE (2015). Acuerdo ministerial núm. 097-A. Anexo 5: Niveles máximos de emisión de ruido y metodología de medición para fuentes fijas y fuentes móviles y niveles máximos de emisión de vibraciones y metodología de medición. Registro Oficial, edición especial núm. 387, Ministerio del Ambiente, Quito, Ecuador, 4 de noviembre.
- Martínez Gavilanes J., Delgado Inga O., Vanegas Galindo I., Espinoza Saquicela D. y Salgado Castillo F. (2024). Evaluación de la contaminación urbana por emisiones sonoras registradas con sonómetro y nodos sensores. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida* 40 (2), 78-91. <https://doi.org/10.17163/lgr.n40.2024.05>
- MMA (2023). Minuta: ruido ambiental y sus efectos en la salud. Proceso de elaboración de la norma primaria de calidad ambiental para Ruido. Ministerio del Medio Ambiente, Santiago, Chile, 17 pp. [en línea]. https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2023/proyectos/Minuta_Ruido_y_Efectos_en_Salud_NPCAR_Final_folio_1006-1014.pdf 04/05/2021
- Nazneen S., Raza A. y 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>
- Nieuwenhuijsen M.J. (2021). New urban models for more sustainable, liveable and healthier cities post COVID-19; reducing air pollution, noise and heat island effects and increasing green space and physical

- activity. *Environment International* 157, 106850. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106850>
- OMS (2018). *Environmental noise guidelines for the European Region*. Oficina Regional para Europa, Organización Mundial de la Salud, Copenhague, Dinamarca, 160 pp.
- Orozco Medina M.G. y González A.E. (2015). La importancia del control de la contaminación por ruido en las ciudades. *Ingeniería. Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán* 19 (2), 129-136.
- Pagès R.M.A., Alías F., Bellucci P., Cartolano P.P., Coppa I., Peruzzi L., Bisceglie A. y Zambon G. (2020). Noise at the time of COVID-19: The impact in some areas in Rome and Milan, Italy. *Noise Mapping* 7 (1), 248-264. <https://doi.org/10.1515/noise-2020-0021>
- Perme M.P. y Manevski D. (2019). Confidence intervals for the Mann-Whitney test. *Statistical Methods in Medical Research* 28 (12), 3755-3768. <https://doi.org/10.1177/0962280218814556>
- Platzer L., Íñiguez R., Cevo J. y Ayala F. (2007). Medición de los niveles de ruido ambiental en la ciudad de Santiago de Chile. *Revista de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello* 67 (2), 122-128. <https://doi.org/10.4067/S0718-48162007000200005>
- Romo Orozco J.M. y Gómez Sánchez A. (2013). La percepción social del ruido como contaminante. En: *Ordenamiento territorial y participación social: problemas y posibilidades* (Aguilar Robledo M., Delgado López E., Vázquez Solís V. y Reyes Pérez O., Eds.). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 271-293.
- Sánchez Gómez S. (2007). Efectos de la contaminación acústica sobre la salud. *Revista de Salud Ambiental* 7 (2), 175-180.
- SECOM (2020). Desde el miércoles 25 de marzo, el toque de queda en el país se extiende entre 14:00 y 05:00. Secretaría General de Comunicación de la Presidencia del Ecuador [en línea]. <https://www.comunicacion.gob.ec/desde-el-miercoles-25-de-marzo-el-toque-de-queda-en-el-pais-se-extiende-entre-1400-y-0500-04/05/2021>
- UNE (2009). UNE-EN ISO 1996-1:2009, Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación. Asociación Española de Normalización y Certificación. AENOR, Madrid, España. 2009.
- UNE (2017). UNE-EN ISO/IEC 17025:2017, Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Asociación Española de Normalización. UNE, Madrid, España. Diciembre de 2017.
- Velástegui A., Guerrero-Cabrera G., Gonzalez-Camba S., Jaramillo-Lindao Y., Murillo-Portillo R., Hidalgo-Crespo J. y Encalada-Abarca L. (2023). Acoustic contamination assessment during the transition between the COVID-19 restrictions and reactivation: A exploratory analysis in Guayaquil. *Geography and Sustainability* 4 (2), 138-149. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2023.02.001>
- Zambon G., Confalonieri C., Angelini F. y Benocci R. (2021). Effects of COVID-19 outbreak on the sound environment of the city of Milan, Italy. *Noise Mapping* 8 (1), 116-128. <https://doi.org/10.1515/noise-2021-0009>