

# Situación actual y predicción del ruido vehicular en la zona urbana de la ciudad de Loja (Ecuador)

## *Current situation and prediction of vehicular noise in the urban area of Loja city (Ecuador)*

Raquel Verónica Hernández-Ocampo<sup>1,\*</sup>, Carlos Guillermo Chunchu-Morocho<sup>1</sup>, Santiago Rafael García-Matailo<sup>1</sup>, Christian Fernando León-Celi<sup>1</sup>, Jackelinne Andrea Castillo-Villalta<sup>1</sup>, Ana Catalina Puertas-Azanza<sup>2</sup>, Denny Caridad Ayora-Apolo<sup>3</sup> y Yovany Augusto Cabrera-Sinche<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador

<sup>2</sup> Carrera de Psicología Clínica, Facultad de la Salud Humana, Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador

<sup>3</sup> Carrera de Enfermería, Facultad de la Salud Humana, Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador

<sup>4</sup> Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador

\* Autor para correspondencia: raquel.hernandez@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 23/04/2021

Fecha de aceptación del manuscrito: 22/07/2021

Fecha de publicación: 24/12/2021

---

**Resumen**—La ciudad de Loja está siendo afectada por el incremento de su parque automotor, y como consecuencia de ello, por un mayor ruido. Este estudio tuvo como objetivo analizar la situación actual y futura del ruido generada por el parque automotor de la zona urbana de la ciudad de Loja. Para ello, se recopiló datos de presión sonora de investigaciones previas y mediciones en distintas avenidas y calles de la ciudad, desde el año 2007 al 2019 y en tres horarios: 07:00-09:00, 11:00-13:00 y 17:00-19:00. La situación actual del ruido se determinó a través de medidas de tendencia central, de dispersión, series de tiempo y la función de densidad de probabilidad por el método de densidad de Kernel, mientras que la predicción futura del ruido del periodo 2019 – 2023 se realizó a través del modelo ARIMA y el modelo francés NMPB Routes-08 en QGIS. Los resultados obtenidos mostraron un incremento del nivel de ruido en el periodo 2007 – 2019, el promedio en los tres horarios analizados fue de 70,58 dB, valor que supera los límites establecidos por la OMS. El modelo predictivo para el periodo 2019 – 2023 reveló un incremento de 1,5 dB por año, por tanto, es necesario implementar medidas que disminuyan los niveles de ruido en la ciudad, con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes y prevenir los daños que pueda provocar en la salud.

**Palabras clave**—Nivel de ruido, Modelo ARIMA, Predicción, Parque automotor.

---

**Abstract**—The city of Loja is being affected by the increase in its vehicle fleet, and as result of this, by greater noise. The aim of this study was to analyze the current and future situation of noise generated by the automobile fleet in the urban area of Loja city. To do this, sound pressure data from previous research and measurements were collected in different avenues and streets of the city, from 2007 to 2019, at three times: 07:00-09:00, 11:00-13:00 and 17:00-19:00. The current noise situation was determined through measures of central tendency, dispersion, time series and the probability density function by Kernel density method. On the other hand, the future noise prediction for the period 2019-2023 was done through the ARIMA model and the French NMPB Routes-08 model in QGIS. The results obtained showed an increase in the noise level in the period 2007-2019, the average in the three times analyzed was 70.58 dB, a value that exceeds the limits established by the WHO. The predictive model for the period 2019-2023 revealed an increase of 1.5 dB per year, therefore, it is necessary to implement measures that reduce noise levels in the city, in order to improve the quality of life of the inhabitants and prevent the damage it may cause to health.

**Keywords**—Noise level, ARIMA model, Prediction, Vehicle fleet.

---

## INTRODUCCIÓN

El ruido se define como el conjunto de sonidos que ocasiona una sensación desagradable, molesta e indesea-

ble, la cual puede causar daños en la salud de la población (WHO, 2017). Además de ser considerado un contaminante, también constituye la causa principal de deterioro ambiental y estrés de las ciudades al producir alteraciones fisiológicas

y psicológicas en la población (Moser y Robin 2005). Entre las principales alteraciones están el incremento de la presión sanguínea, cambios en la respiración e hipertensión, así como desórdenes psicológicos como molestia, ansiedad, estrés, agresividad, náuseas y dolor de cabeza, entre otros (Ramírez Domínguez 2011). También genera impedimentos de desempeño, interferencia en la comunicación, dificultad para dormir y reducción de las capacidades de atención (WHO, 2017).

Entre las fuentes de ruido existentes, el 80 % del ruido ambiental es provocado principalmente por el parque automotor (OSMAN, 2009), por ello la necesidad de establecer modelos de cálculo del ruido para comprender el ruido del tráfico vehicular (Steele, 2001). Los métodos incluyen modelos tradicionales que se basan en la recopilación de datos, ecuaciones empíricas, modelos probabilísticos innovadores y algoritmos neuronales (Li et al., 2016).

En Ecuador, el índice de contaminación sonora es superior en las ciudades consideradas como punto clave de comercio, turismo o industria, como lo son Guayaquil, Quito y Cuenca (Guijarro et al., 2015). Particularmente, la ciudad de Loja con una población de 180.617 habitantes, según el último censo (INEC, 2010), atraviesa distintos problemas ambientales, tales como: contaminación del aire y ruido. Estudios previos concluyen que el incremento de las concentraciones del material particulado (MP2.5) y los altos niveles de ruido que posee la ciudad han superado lo estimado por la OMS, siendo de 50 dB el límite superior deseable en lo referente al ruido (Hernández et al., 2018).

Por su parte, el número de vehículos matriculados en la ciudad de Loja se ha incrementado: en el 2006 contaba con 19.869 vehículos matriculados y para el año 2017 se registraron 36.190, es decir, hubo un incremento del 54,90 % (Hernández et al., 2018; Centro de Matriculación Vehicular, 2018). Debido a esto, la investigación surge como una necesidad para conocer los niveles de ruido que la ciudad de Loja tendrá en un futuro, a partir de modelos estandarizados de predicción, que permitan adoptar medidas tanto técnicas como administrativas para disminuir los niveles de presión sonora, sobre todo en zonas sensibles como: áreas residenciales, establecimientos educativos y de salud.

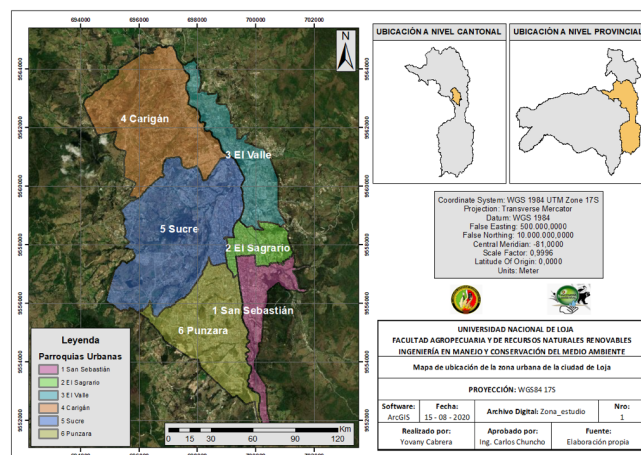
## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Determinación de las variaciones de los niveles de ruido vehicular, periodo 2007-2019*

#### *Recopilación de datos*

Los datos de la presión sonora que corresponden al periodo enero del 2007 hasta agosto del 2019 fueron obtenidos de investigaciones previas realizadas por estudiantes de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Loja (Hernández, Quizhpe, 2007; Aguirre Iñiguez, 2010; Bustamante Ruilova, 2010; Salinas Vicente, 2010; Samaniego, 2019; Regalado, 2019; Castro, 2019). Los datos de presión sonora y el número de vehículos registrados en el periodo septiembre-diciembre del año 2019 fueron tomados y contados en distintas calles de la ciudad de Loja (Figura 1). Estos datos se tomaron utilizando el Sonómetro Integrador con Analizador Portátil de Precisión OHM 2010, previamente calibrado, el cual se colocó en un

trípode a una altura de 1,50 metros del nivel del suelo, direccionando el micrófono hacia la fuente con una inclinación de 45 a 90 grados sobre un plano horizontal, lejos de obstáculos y teniendo en cuenta que el viento sea igual o menor a 5m/s y que no existan precipitaciones (TULSMA, 2015), en tres horarios distintos: 07:00-09:00, 11:00-13:00 y 17:00-19:00, con intervalos de 10 minutos y con tres repeticiones por punto, cada 100 metros. Con la información obtenida se creó la base de datos correspondiente al periodo 2007-2019.



**Fig. 1:** Mapa de la zona de estudio conformada por las parroquias urbanas de la ciudad de Loja.

**Tabla 1:** Rangos de los niveles de presión sonora, según TULSMA (2015).

	Nivel bajo (verde): Rango de 55 – 59 dB
	Nivel medio bajo (amarillo): Rango de 60 a 64 dB
	Nivel medio (naranja): Rango de 65 a 69 dB
	Nivel medio alto (rojo claro): Rango de 70 a 74 dB
	Nivel alto (rojo intenso): Rango de 75 a 79 dB
	Nivel muy alto (Rojo púrpura): > a 80 dB

### *Sistematización de datos con aplicación de SIG (Sistemas de Información Geográfica)*

Se realizó un análisis estadístico descriptivo, series de tiempo y función de densidad de Kernel con la base de datos del ruido en el periodo 2007-2019. De este periodo se realizaron mapas de ruido, con la finalidad de representar los sitios con mayor cantidad de ruido. Además, se consideraron las parroquias urbanas de la ciudad de Loja, con calles y edificios, y se interpolaron datos con IDW donde correspondía. Se adicionaron los valores de presión sonora, relacionándolos con los colores según la reclasificación de los niveles de ruido. Para esto se tomó en cuenta lo estipulado en el Libro VI, Anexo 5 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA, 2017), referente a los límites permisibles de ruido ambiente para fuentes fijas móviles y para vibraciones. Los mapas de ruido se representaron con

la delimitación de los rangos y colores indicados en la Tabla 1. Los mapas fueron realizados en ArcGIS ® versión 10.3.

### Predicción de la variación de los niveles de ruido vehicular, desde el año 2019 hasta el 2023

Para la predicción de los niveles de ruido del parque automotor se utilizó el modelo matemático ARIMA y para la dispersión de este ruido en los mapas se utilizó el modelo de propagación del NMPB Routes-08. El mismo modelo ARIMA se utilizó para la predicción del número de vehículos.

#### Modelo matemático (ARIMA)

Previo a la aplicación del modelo ARIMA se analizaron series de tiempo de forma mensual del periodo 2007-2019. Su análisis permitió conocer la tendencia o patrones de la presión sonora y su estacionalidad en dicho periodo. Se recalca que, para predecir el ruido (2019-2023), sobre la base del modelo ARIMA únicamente se tomó la presión sonora provocada por el parque automotor del periodo 2007-2019. Se consideró la predicción desde el año 2019, para tomarlo como base, relacionándolo con información de vías y edificios o manzanas, variables que fueron consideradas en el modelo de propagación física. Para cumplir este objetivo se aplicaron las siguientes pruebas:

- Dickey-Fuller: permite conocer si hay presencia significativa de tendencia en las series temporales de las variables, eliminar la autocorrelación y establecer si los datos poseen estacionalidad. Hipótesis utilizada y nivel de significancia del 0,05:

$$H_0 = \text{noestacionaria}$$

$$H_1 = \text{estacionaria}$$

- Ljung-Box: permite comprobar si la serie de tiempo analizada en el periodo de tiempo estudiado es aleatoria e independiente.

$$H_0 = \text{noestacionaria}$$

El modelo matemático ARIMA (Ecuación 1) aplicado es autorregresivo integrado de promedio móvil, de predicción, y utiliza las variaciones y regresiones para encontrar los patrones en el futuro de la presión sonora (Findley et al., 2016).

$$Y_t = -(\Delta^d Y_t - Y_t) + (\rho_0 + \sum_{i=1}^p \rho_i \Delta^d Y_{t-i} - \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Donde:

$d$  = Diferencias (conversión de la serie de tiempo en estacionaria)

$\rho_1, \dots, \rho_p$  = Parámetros pertenecientes a la autoregresión del modelo

$\theta_1, \dots, \theta_q$  = Parámetros pertenecientes a las medias móviles del modelo

$\rho_0$  = Constante

$\varepsilon_t$  = Perturbación estocástica

Una vez cumplidos estos prerrequisitos se agregó la base de datos con los niveles de ruido, el parque automotor por mes y año, el algoritmo y el modelo matemático correspondiente al programa R versión 3.2.2 para obtener las figuras que indiquen la tendencia que tendrá el nivel de ruido en el periodo 2019-2023 (60 meses).

#### Modelo de propagación física (NMPB Routes-08)

Este modelo se usa con el fin de obtener mapas que demuestren la dispersión que tendrá el ruido en la ciudad de Loja, para esto se usa el modelo francés NMPB Routes-08 (Zefreh Torok, 2021), disponible dentro del complemento OpeNoise del programa QGIS. Para la aplicación de este modelo se consideró tráfico vehicular liviano y pesado, velocidad promedio, pendiente y superficie de las carreteras (Caldarón et al., 2016). Para la ejecución del modelo se tomaron en consideración los pasos descritos en la Figura 2.

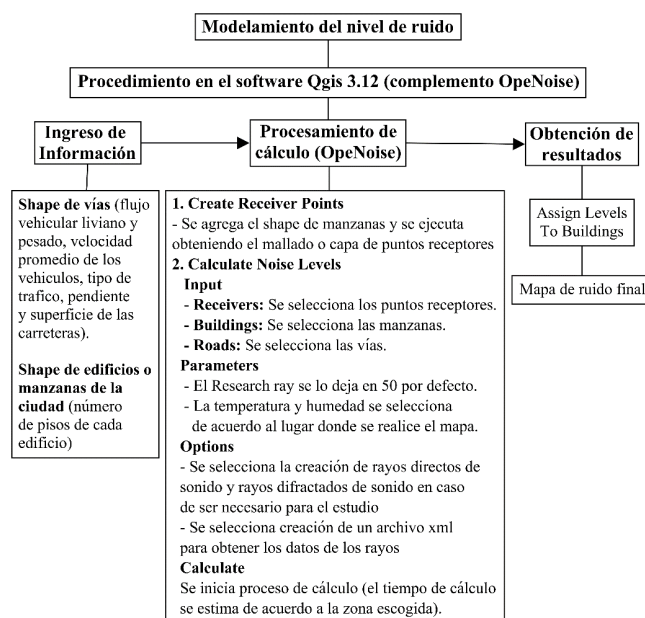


Fig. 2: Flujograma para la modelación de los niveles de ruido con Qgis 3.12. (OpeNoise).

Una vez concluido el proceso de modelamiento se obtuvieron los mapas finales correspondientes al periodo 2019-2023, los cuales indicaron el nivel de ruido que contiene cada manzana de la ciudad.

## RESULTADOS

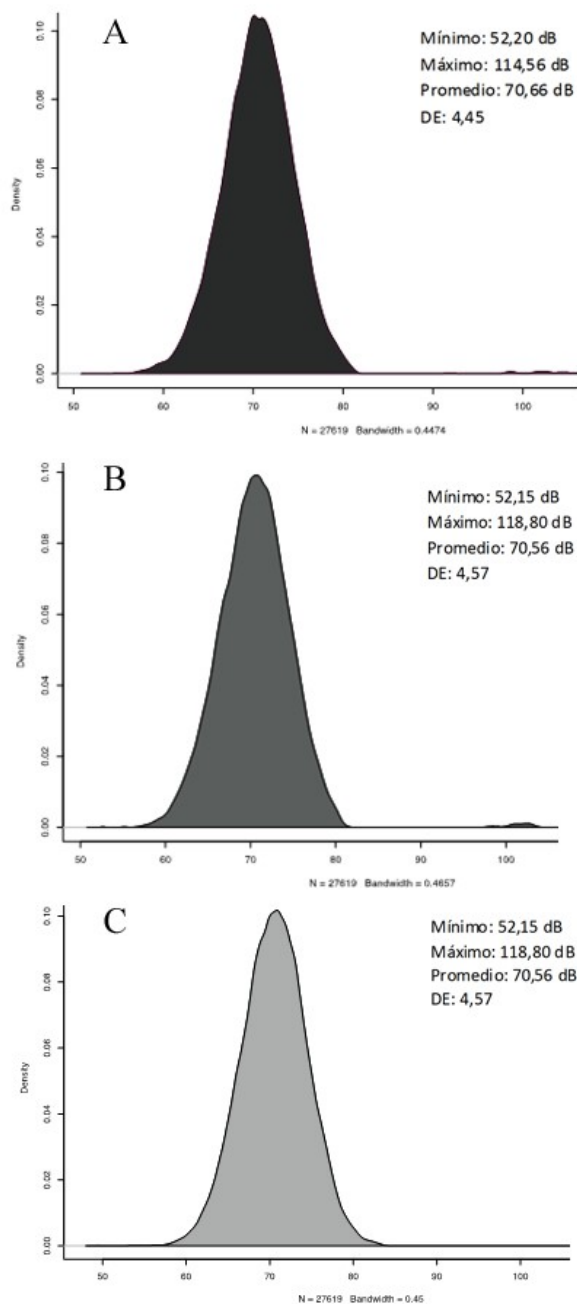
Por medio de la presente investigación se obtuvieron los siguientes resultados para cada uno de los objetivos planteados.

### Determinación de las variaciones de los niveles de ruido vehicular, periodo 2007-2019

#### Distribución de Kernel

Para el periodo 2007-2019, la presión sonora, en los tres horarios estudiados, presentaron un promedio de 70,58 dB (Figura 3). En el horario de 07:00-09:00, el 88,90% del ruido estuvo entre 64,67 y 77,14 dB, el porcentaje restante se distribuyó entre 52,2 y 64,67 dB (6,81%), y en un 4,29% entre

77,14 y 114,56 dB. Por su parte, en el horario de 11:00-13:00 y de 17:00-19:00 el porcentaje más alto representó el 87,09 % (65,48-78,81dB) y el 84 % (61,97-74,6dB) respectivamente.

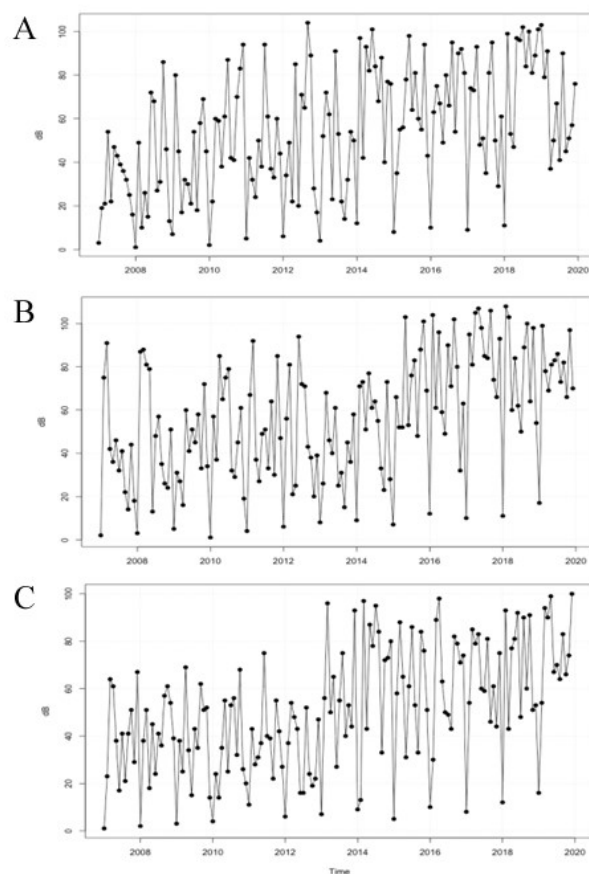


**Fig. 3:** Distribución de Kernel para la presión sonora en los tres horarios evaluados, 07:00-09:00 (A), 11:00-13:00 (B) y 17:00-19:00 (C) del periodo 2007-2019 en la ciudad de Loja.

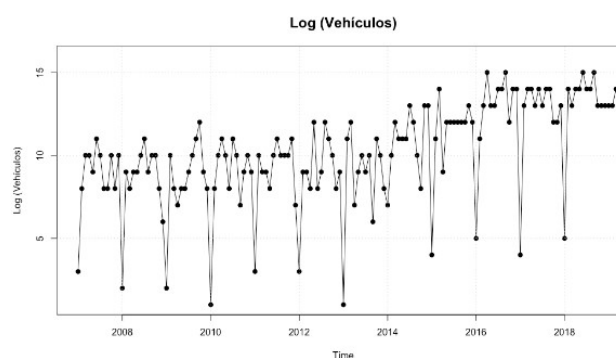
### Series de tiempo

De acuerdo a los resultados obtenidos, las series de tiempo (Figura 4) realizadas para los tres horarios (07:00-09:00, 11:00-13:00, 17:00-19:00) demostraron un incremento en el nivel de presión sonora provocada por el parque automotor, especialmente desde el año 2015.

En la Figura 5 se puede observar el incremento del número de vehículos en la ciudad de Loja. Este incremento es reflejado principalmente desde el año 2015 debido a que a partir de ese año se superaron los 40.000 vehículos en la ciudad.



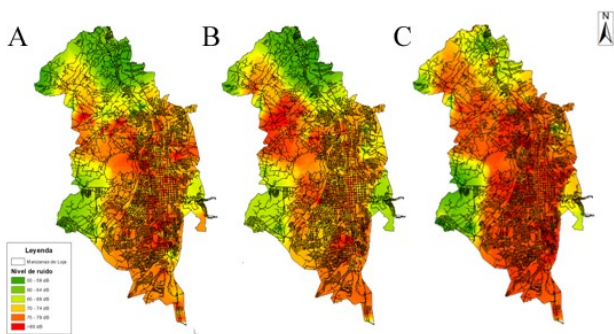
**Fig. 4:** Serie de tiempo de la presión sonora correspondiente a los horarios de 07:00-09:00 (A), 11:00-13:00 (B) y 17:00-19:00 (C) en la ciudad de Loja.



**Fig. 5:** Serie de tiempo de los vehículos de la ciudad de Loja del periodo 2007-2019.

### Mapas de ruido periodo 2007-2019

Los resultados que observan en la Figura 6, indican que entre el año 2007 y el año 2013 existe una tendencia de crecimiento en el nivel de ruido y un crecimiento más prolongado entre el año 2007 y 2019. Igualmente, se evidencia que los niveles de ruido mayores a 80 dB (tonalidad roja) en los mapas se incrementa en el año 2019 en relación al año 2007. Además, los mapas han permitido identificar los barrios con altos niveles de ruido en la ciudad, los cuales se indican en la Tabla 2.



**Fig. 6:** Promedio del nivel de ruido (dB) de los tres horarios de los años 2007 (A), 2013 (B) y 2019 (C).

**Tabla 2:** Barrios con valores mayores a 65 dB de ruido correspondientes a las parroquias urbanas de la ciudad de Loja.

<b>San Sebastián</b>	Pucará, Pradera, Yaguarcuna, Máximo Agustín Rodríguez
<b>El Sagrario</b>	24 de Mayo, Ramón Pinto, Perpetuo Socorro, 18 de Noviembre
<b>El Valle</b>	San Juan del Valle, Las Palmas, Santiago Fernández, Jipiro
<b>Carigán</b>	Pitas, La Banda
<b>Sucre</b>	San José, Celi Román, El Pedestal, San Vicente, Belén Miraflores
<b>Punzara</b>	San Pedro, La Tebaida, Isidro Ayora, La Argelia, San Isidro, Daniel Álvarez

### **Predicción de las variaciones de los niveles de ruido vehicular, periodo 2019-2023**

#### *Predicción de los niveles de ruido*

De acuerdo al resultado obtenido en la Figura 7, se puede observar que, a partir del año 2019, la línea de tendencia (marcada de color azul) indica un incremento del nivel de ruido en los tres horarios del periodo 2019-2023 (60 meses), aproximadamente 1,5 dB por año.

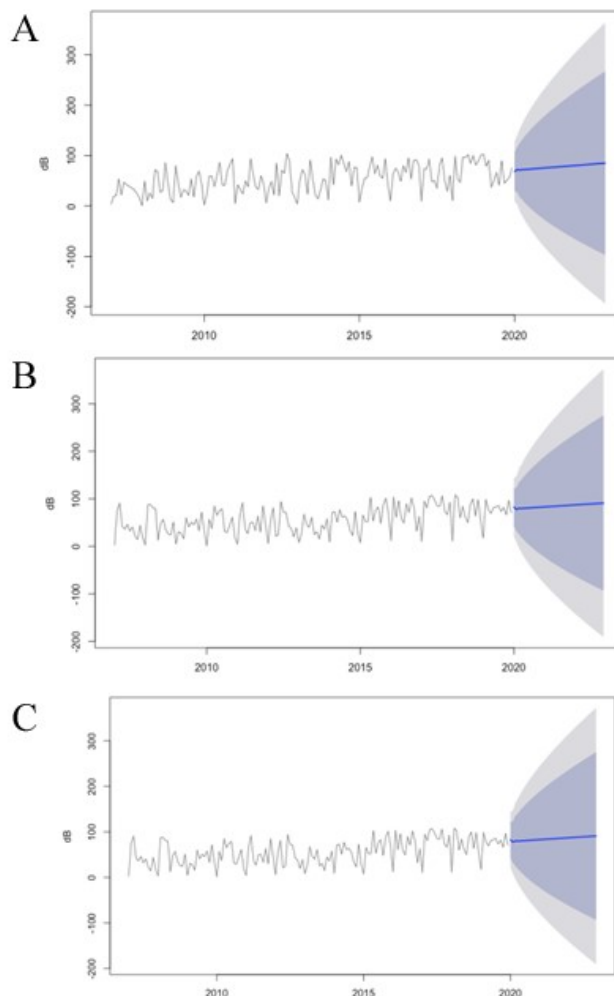
#### *Mapas de predicción de ruido*

En la Figura 8 se evidencian los mapas de ruido correspondientes al periodo 2019-2023. El ruido observado en cada mapa corresponde al ruido promedio de los tres horarios planificados a medir (07:00-09:00, 11:00-13:00, 17:00-19:00). Además, en la Tabla 3 se observa el aumento del nivel de ruido, de vehículos livianos y pesados y las calles con mayor cantidad de tráfico con base en la predicción obtenida.

De acuerdo al resultado obtenido (Figura 8) para el año 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023 el nivel promedio de ruido esta entre 63,99 y 67,14 dB. Además, se puede observar que los niveles de ruido entre 65 y 69 dB son los que predomina en los sectores como La Tebaida, San Pedro, El Valle y San José.

De la misma forma, se observa que los niveles de ruido entre 70 y 75 dB se dan en las calles 18 de Noviembre, Ramón Pinto, 24 de Mayo y Juan de Salinas y sectores como el Perpetuo Socorro, Máximo Agustín Rodríguez, Celi Román, Gran Colombia y Las Pitas, sitios donde circulan gran cantidad de vehículos. Además, se puede observar que los niveles de ruido se incrementan cada año: para el 2019 predominan

valores entre 65 y 69 dB, y para el año 2023 superarán los 80 dB, por lo tanto se estima que este incremento se dará en las seis parroquias urbanas de la ciudad de Loja.



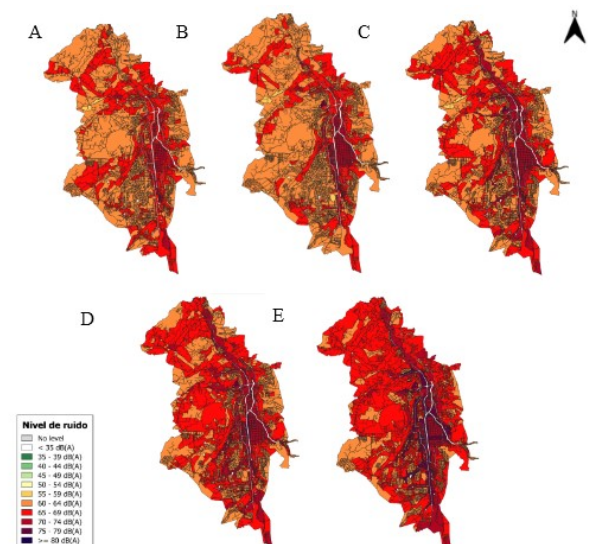
**Fig. 7:** Aplicación del modelo de predicción ARIMA en los datos de presión sonora de los horarios de 07:00-09:00 (A), 11:00-13:00 (B) y 17:00-19:00 (C) del periodo 2019-2023 en la ciudad de Loja, Ecuador.

**Tabla 3:** Barrios con valores mayores a 65 dB de ruido correspondientes a las parroquias urbanas de la ciudad de Loja.

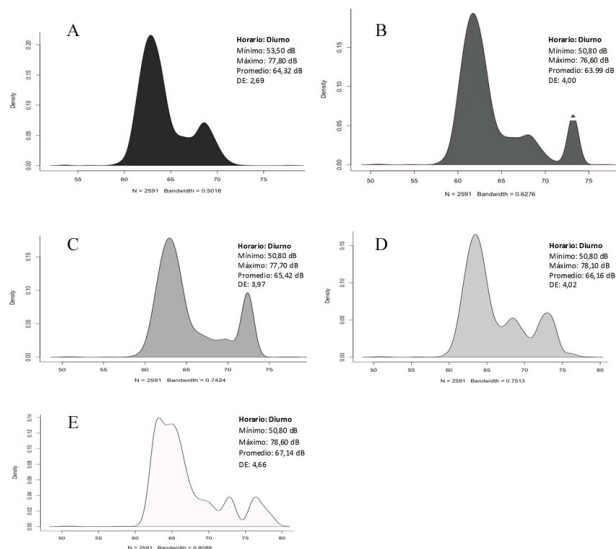
<b>San Sebastián</b>	Pucará, Pradera, Yaguarcuna, Máximo Agustín Rodríguez
<b>El Sagrario</b>	24 de Mayo, Ramón Pinto, Perpetuo Socorro, 18 de Noviembre
<b>El Valle</b>	San Juan del Valle, Las Palmas, Santiago Fernández, Jipiro
<b>Carigán</b>	Pitas, La Banda
<b>Sucre</b>	San José, Celi Román, El Pedestal, San Vicente, Belén Miraflores
<b>Punzara</b>	San Pedro, La Tebaida, Isidro Ayora, La Argelia, San Isidro, Daniel Álvarez

#### *Distribución de Kernel*

En la Figura 9 se muestra el promedio de los niveles de ruido entre los años 2019 al 2023, registrándose un incremento cada año que va desde 64,32 dB en el año 2019 a 67,14 dB en el año 2023.



**Fig. 8:** Nivel de ruido correspondiente a la zona urbana de la ciudad de Loja del año 2019 (A), 2020 (B), 2021 (C), 2022 (D), 2023 (E).



**Fig. 9:** Distribución Kernel del nivel de ruido de los años 2019 (A), 2020 (B), 2021 (C), 2022 (D) y 2023 (E) para la ciudad de Loja, Ecuador.

## DISCUSIÓN

### *Determinación de las variaciones de los niveles de ruido vehicular, periodo 2007-2019*

De acuerdo a los resultados obtenidos, los niveles de ruido de la zona urbana de la ciudad de Loja sobrepasan los límites máximos permisibles (65 dB) en el horario diurno de acuerdo a lo establecido en la normativa ambiental del Ecuador, la cual se indica en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente – TULSMA (2015), donde se establecen los límites permisibles de niveles de ruido para fuentes fijas y móviles. Estos niveles se deben principalmente al incremento del número de vehículos de 8.000 a 39.933 desde el año 2000 al 2014, es decir un incremento del 79,96 % (Centro de Matriculación Vehicular del Municipio de Loja, 2018).

El incremento de vehículos en la ciudad de Loja y el au-

mento del ruido son problemas que también se reflejan en otras ciudades. En Cuenca se encontró que el número de vehículos matriculados en 2016 fue de 85.961, incrementándose para el 2018 a 93.000 vehículos, lo cual se tradujo en niveles de ruido que superaban los límites permisibles de la zona (+70 dB), debido a la gran afluencia de tráfico que circula por el lugar (Delgado Martínez, 2015). Este gran crecimiento vehicular se debe no solo al incremento poblacional y la expansión urbana, sino también al aumento de propietarios de vehículos privados (Ramírez Domínguez, 2011).

Los niveles de ruido determinados en la ciudad de Loja (similares a los encontrados en la ciudad de Cuenca) han aumentado con el pasar de los años en los tres horarios del periodo 2007-2019, especialmente en las calles principales y secundarias de los sectores centro, norte y sur de la ciudad. Estos resultados se relacionan con los encontrados por Hernández et al. (2018), donde menciona que en el año 2018 algunos sectores de la ciudad presentan puntos críticos que alcanzan los 82,1 dB en horas pico, debido a la gran cantidad de flujo vehicular existente en la zona. Del mismo modo, estudios realizados por Martínez Delgado (2017) en ciudades con características similares a Loja, encontraron incrementos del ruido en un 7 % de un año a otro (2014 a 2015), especialmente en el horario de 13:00 y 18:00 y en zonas de mayor tráfico vehicular.

En relación al congestionamiento vehicular, Ramírez Domínguez (2011) menciona que el diseño vial juega un papel importante en el ruido urbano, dado que ciudades como Beijing lograron reducir los niveles de ruido mediante la implementación de anillos viales, aumentando los niveles de ruido en la periferia y reduciéndolos en el centro de la ciudad, considerando que esta ciudad posee una tasa anual de 11 % en el crecimiento de automóviles. En cambio, en el caso de Loja la infraestructura vial es limitada, con poco acceso del espacio público (Torres y Maldonado, 2020), por lo que no ayuda a descongestionar el tráfico vehicular.

Por otra parte, el estudio realizado por Rubio (2012) indica que la infraestructura de los edificios juega un papel importante en la disminución de ruido y menciona que gracias a las innovaciones tecnológicas se podrá experimentar una mejoría en los niveles de ruido: los sistemas de aislamiento basados en las propiedades geométricas de los materiales, el estudio de nuevos compuestos, junto con los nuevos sistemas de colocación de los antiguos y nuevos materiales acústicos, representan una alternativa para disminuir el nivel de ruido de las personas que conviven cada día con esta situación.

Otras causas del aumento de ruido vehicular provocado en la ciudad de Loja son el uso excesivo del claxon, la falta de conciencia ambiental de los conductores, el congestionamiento vehicular en horas pico y al estado de conservación de los vehículos (Ruilova Bustamante, 2010; Salinas Vicente, 2010)

### *Predicción de las variaciones de los niveles de ruido vehicular, periodo 2019-2023*

Los resultados obtenidos del modelo ARIMA señalan una tendencia de crecimiento en el nivel de ruido de la zona urbana de la ciudad. El modelo de propagación indica que desde el año 2019 hasta el 2023 el nivel de ruido se incrementará 1,5 dB por año, llegando a niveles superiores a los 85

dB. Este incremento se debe principalmente al crecimiento del parque automotor de la ciudad. Los estudios revelan que existe una relación directa entre el incremento del parque automotor y el ruido (Henríquez et al., 2018). Además, estos resultados se relacionan con los reportados por Calderón et al. (2016), quien determinó el nivel de ruido que existe en la calle Mariscal Lamar de la ciudad de Cuenca, encontrando valores superiores a los 75 dB, valores que superan los límites permisibles señalados en el TULSMA.

Otros resultados similares al presente estudio se encontraron en la ciudad de Quito, donde se concluye que el 25,2 % de la población quiteña está expuesta a ruido de tráfico superior a los 65 dB, aumentándose aún más en las calles secundarias y en tramos con pendientes. Estos niveles representan umbrales peligrosos para la salud pública de acuerdo a la OMS (Bravo et al., 2019).

Las calles céntricas de la ciudad de Loja, por ejemplo las avenidas Manuel Agustín Aguirre, Universitaria, 8 de Diciembre e Isidro Ayora, y las calles céntricas secundarias son las que tendrán mayor cantidad y variabilidad explicada de tráfico vehicular. Investigaciones previas señalan que, considerando el nivel de ruido y las condiciones del flujo de vehículos, las variaciones de ruido en las calles céntricas de una ciudad son mayores debido al flujo intermitente y a las paradas obligadas debido a la presencia de semáforos, mientras que en las autopistas las variaciones del ruido son menores (Bravo et al., 2019).

De esta manera se determina que es necesario incluir medidas que permitan la reducción de niveles de ruido en el futuro, las cuales pueden plantearse como lo señala Mendoza et al. (2012), el cual indica que se deben elaborar o modificar las normativas de tal manera que obligue a conductores a reducir niveles de ruido (uso adecuado del claxon, mantenimiento de vehículos, uso de silenciadores), además, mejorar el diseño de las vías y los materiales que se usan para su construcción.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Municipio de Loja por brindar información y a los estudiantes de la carrera de Ingeniería de Manejo y Conservación del Medio Ambiente, quienes participaron en el levantamiento y generación de información, los cuales completaron el desarrollo de un indicador como parte del proyecto de Investigación “Calidad Ambiental de la ciudad de Loja y su relación con la salud de sus habitantes” (04-DI-FARNR-2019).

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Conceptualización, RVH-O; Curación de datos: CGC-M; Análisis formal: CGC-M; Investigación: SRG-M y CFL-C; Metodología: SRG-M; Administración del proyecto: RVH-O; Software: CGC-M; Supervisión: RVH-O; Visualización: CFL-C; Redacción - borrador original: JAC-V, ACP-A y DCA-A; Redacción - revisión y edición: JAC-V, ACP-A, DCA-A y RVH-O. Todos los autores han leído y aceptado la versión del manuscrito.

## FINANCIAMIENTO

Esta investigación fue financiada por la Universidad Nacional de Loja a través de la Dirección de Investigación.

## REFERENCIAS

Aguirre, F. y Iñiguez, P. (2010). Estudio de la contaminación acústica derivada del parque automotor en la zona Sur-Oriente de la ciudad de Loja. Tesis Ing. Manejo y Conservación del Medio Ambiente. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 136 pp.

Alit, P. (2015). Modelling road traffic noise for collector road ( case study of Denpasar City ). *Procedia Engineering*, 125, 467–473. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.125>

Bravo, L., Naranjo, J., Chávez, M., Pavón, I., Garzon C. (2019). A machine learning approach for traffic-noise annoyance assessment. *Applied Acoustics*. Volume 156, December 2019, Pages 262-270. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.07.010>

Bustamante, M. A. Ruilova (2010). Contaminación acústica derivada del parque automotor en el sector norte de la ciudad de Loja. Tesis Ing. Manejo y Conservación del Medio Ambiente. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. Pp. 89.

Calderón, F., Tacuri, C., Sellers, C. (2016). Modelación del ruido por tráfico vehicular en la calle Mariscal Lamar en la ciudad de Cuenca. *Avances En Ciencias e Ingenierías*, 8(1), 88–94. <https://doi.org/10.18272/aci.v8i1.303>

Castro, D. (2019). Contaminación sonora por ruido vehicular y sus efectos en la zona céntrica oriental regenerada de la ciudad de Loja. Tesis Ing. Manejo y Conservación del Medio Ambiente. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 79 pp

Centro de Matriculación Vehicular. (2018). Reporte anual de matriculación vehicular (Vol. 93, Issue 1).

Delgado, O., Martínez, J. (2015). Elaboración del mapa de ruido del área urbana de la Ciudad de Cuenca – Ecuador, empleando la técnica de interpolación geoestadística Kriging ordinario. *Ciencias Espaciales*, 8(1), 411–440. <https://doi.org/10.5377/ce.v8i1.2059>

Findley, D., Lytras, D., y Maravall, A. 2016. Illuminating ARIMA model-based seasonal adjustment with three fundamental seasonal models. *Journal of the Spanish Economic Association*. DOI 10.1007/s13209-016-0139-4

González, A., Dominguez, E. (2015). Contaminación acústica de origen vehicular en la localidad de Chapinero. *Gestión y Ambiente*, 18(1), 17–28.

Guijarro-Peralta, J., Terán-Narváez, I. y Valdez-González, M. M. (2015). Determinación de la contaminación acústica de fuentes fijas y móviles en la vía a Sam-

- borondón en Ecuador. *Ambiente y Desarrollo*, 20(38), 41-51. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.ayd20-38.dcaf>  
doi:10.11144/Javeriana.ayd20-38.dcaf
- Henríquez, F., Quintero, J., De Frias, E. (2019). Uso de modelos matemáticos para el cálculo de ruido en las principales avenidas de Panamá. *Revista de Iniciación Científica*, 4(2), 49–56. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.2.2156>
- Hernández, R., García, S., Hernández, F., Chunchu, G., Alvarado, V. (2018). El ruido vehicular: un problema de contaminación en la ciudad de Loja, Ecuador. 08, 9–14.
- Hernández R. M. Quizhpe (2007). El ruido vehicular como causa de trastornos psicosomáticos en los habitantes del centro de la ciudad de Loja. Tesis Ing. Manejo y Conservación del Medio Ambiente. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. Pp. 141.
- Lenton, T. M., Crouch, M., Johnson, M., Pires, N., Dolan, L. (2012). First plants cooled the Ordovician. *Nature Geoscience*, 5, 86.
- Li, F., Liao, S.S., Cai, M., 2016. A new probability statistical model for traffic noise prediction on free flow roads and control flow roads. *Transport. Res. Part D: Transp. Environ.* 49, 313–322. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.10.019>.
- Martínez, J., Delgado, O. (2017). Evaluación del ruido en Cuenca en 2015. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 9(15). <https://doi.org/10.18272/aci.v9i15.711>
- Mendoza, J., Torras, S., Flores, M., Téllez, R., Rascón, O. (2012). El impacto ambiental del ruido generado por el transporte terrestre y su valoración hacia un transporte sustentable. In Instituto Mexicano del Transporte (IMT) Pp. 1–11.
- Moser, G., y Robin, M. (2006). Environmental annoyances: An urban-specific threat to quality of life? [Nuisances environnementales: Une menace spécifiquement urbaine pour la qualité de vie?]. *European Review of Applied Psychology / Revue Européenne de Psychologie Appliquée*
- OSMAN. (2009). Ruido y Salud. Junta de Andalucía, 68. [http://www.osman.es/contenido/profesionales/ruido\\_alud\\_osman.pdf](http://www.osman.es/contenido/profesionales/ruido_alud_osman.pdf)
- Ramírez, A. y Domínguez, E. (2011). El ruido vehicular urbano: problemática agobiante de los países en vías de desarrollo. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.
- Regalado, A. (2019). Contaminación Acústica Generada por el Parque Automotor en la Zona sur Regenerada de la Ciudad de Loja. Tesis Ing. Manejo y Conservación del Medio Ambiente. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. Pp 96.
- Rubio, M. (2012). Ruidos sin control. In *Técnica Industrial*. 299, 12.
- Ruilova, A., Bustamante, R. (2010). Contaminación acústica derivada del parque automotor en el sector norte de la ciudad de Loja. Tesis Ing. Manejo y Conservación del Medio Ambiente. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. Pp. 145.
- Salinas, P., Vicente, D. (2010). Estudio de la contaminación acústica producida por el parque automotor en la zona occidental de la ciudad de Loja. Tesis Ing. Manejo y Conservación del Medio Ambiente. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 145 pp.
- Samaniego, L. (2019). Contaminación sonora por ruido vehicular y sus efectos en la salud humana en la zona céntrica regenerada de la ciudad de Loja. Tesis Ing. Manejo y Conservación del Medio Ambiente. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. Pp 88.
- Steele, C., 2001. A critical review of some traffic noise prediction models. *Appl. Acoust.* 62 (3), 271–287. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(00\)00030-X](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(00)00030-X).
- Torres, M. y Maldonado, J. (2020). Diagnóstico del uso de la bicicleta como alternativa de movilidad sostenible en la ciudad de Loja, año 2020. Tesis Ingeniera en Administración Pública. Universidad Nacional de Loja.
- TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente). (2015). Libro VI, Anexo V.
- WHO. (2017). Atlas on children's health and the environment.
- Zefreh, M. y Torok, A. (2021). Theoretical Comparison of the Effects of Different Traffic Conditions on Urban Road Environmental External Costs. *Sustainability*, 22.