

Artículo de Investigación

## Determinación y monitoreo de puntos críticos de ruido urbano considerando múltiples factores in situ

*Determination and monitoring of urban noise hotspots considering multiple in situ factors*

María Fernanda Romero-Villacrés<sup>1</sup> , María Fernanda Rivera-Velásquez<sup>2</sup> , César Ramiro Cisneros-Vaca<sup>1</sup> , Ángel Andrés Naranjo-Polo<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 060150; ramiro.cisneros@unach.edu.ec

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 060150; mariaf.rivera@epoch.edu.ec

<sup>3</sup>ENGIPETROL S.A., Coca, Ecuador, 220150; hse@engipetrol.com

\*Correspondencia: mfromero@unach.edu.ec

**Citación:** Romero-Villacrés, M.; Rivera-Velásquez, M.; Cisneros-Vaca, R. & Naranjo-Polo, A., (2024). Determinación y monitoreo de puntos críticos de ruido urbano considerando múltiples factores in situ. *Novasinerugia*. 7(1). 67-87.

<https://doi.org/10.37135/ns.01.13.04>

Recibido: 19 mayo 2023

Aceptado: 26 octubre 2023

Publicado: 10 enero 2024

Novasinerugia  
ISSN: 2631-2654

**Resumen:** La presente investigación determina y monitorea puntos críticos, a través de un análisis multicriterio, en el centro urbano de la Ciudad de Riobamba, para la posterior representación dentro de mapas temáticos de ruido. Para la selección de puntos críticos se realizó una matriz de ponderación considerando los siguientes factores: encuestas de percepción ciudadana, rutas de los buses urbanos, cercanías a instituciones públicas y privadas, parques y mediciones iniciales. Los monitoreos fueron realizados en 25 puntos priorizados desde las 7H00 hasta las 19H00, los valores obtenidos corresponden al  $Leq(A)$  mínimo, al  $Leq(A)$ , y al  $Leq(A)$  máximo. Los resultados principales indican que la fuente primordial de ruido son los mercados populares, los días lunes, martes, y miércoles, con rangos de  $Leq(A)$  superiores a 70 dB(A). Se observa que en todos los puntos los valores de  $Leq(A)$  sobrepasan en algún momento del día el límite permisible nacional. Los mapas de ruido se realizaron mediante el método Kriging, a través el modelo del semivariograma gaussiano, para todos los días, a excepción del miércoles que se usó el modelo de semivariograma cuadrático racional. Para estos modelos los valores de RMSE e ASE indican una alta calidad de los modelos.

**Palabras clave:** Contaminación Acústica, Límite Equivalente Ponderado(A), Mapas de Ruido, Método Kriging, Puntos críticos.

**Abstract:** The present research determines and monitors critical points through a multi-criteria analysis in the urban center of the city of Riobamba for its subsequent representation in thematic noise maps. For the selection of critical points, a pondering matrix was made considering the following factors: citizen perception surveys, urban bus routes, proximity to public and private institutions, parks and initial measurements. The monitoring was carried out at 25 prioritized points from 7:00 am to 7:00 pm; the values obtained correspond to the minimum  $Leq(A)$ , the  $Leq(A)$ , and the maximum  $Leq(A)$ . The main results indicates that the main source of noise are the popular markets, on Mondays, Tuesdays and Wednesdays, with  $Leq(A)$  ranges above 70 dB(A). It is observed that at all points the  $Leq(A)$  values exceed the national permissible limit at some time during the day. The noise maps were made using the Kriging method, through the Gaussian semivariogram model, for all days, with the exception of Wednesday when the rational quadratic semivariogram model was used. For these models the RMSE and ASE values indicate high model quality.

**Keywords:** Noise Pollution, Equivalent Continuous Sound Level (A), Noise Maps, Kriging Method, Critical Points.



**Copyright:** 2024 derechos otorgados por los autores a Novasinerugia.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia de Creative Commons Attribution (CC BY NC). (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introducción

La contaminación acústica es un problema territorial en crecimiento dentro de las ciudades, incrementando su frecuencia e intensidad día a día, de hecho, en la actualidad se la categoriza como una plaga moderna (Goines & Hagler, 2007) en extensión, frecuencia y gravedad como resultado del aumento de la población, la urbanización y los desarrollos tecnológicos (Brown, 2015). El ruido ambiental se ha convertido en uno de los contaminantes más molestos de la sociedad actual que incide directamente sobre el bienestar de la población (Platzer M et al., 2007). La palabra ruido puede definirse como sonido irritante, en el lugar y en el momento equivocado. El ruido comunitario, conocido también como ruido ambiental, es aquel emitido por todas las fuentes, excepto ruido en el lugar de trabajo industrial. Actualmente, la Organización Mundial de la Salud (OMS), define a la contaminación acústica como el tercer tipo de contaminación ambiental más peligrosa, precedida solo por la contaminación del aire (emisión de gases) y del agua (Khilman, 2004).

La contaminación acústica es una molestia para los seres humanos, ya que puede interrumpir sus actividades o perturbar el equilibrio dentro de su forma de vida, entre las consecuencias más graves a causa de la exposición se pueden evidenciar: los efectos en el sistema respiratorio y el sistema nervioso (central y periférico), estrés, discapacidad auditiva, problemas cardiovasculares y trastornos del sueño, etc. En la Unión Europea, se estima que el 40% de las personas viven en zonas de alta contaminación, generada principalmente por el ruido vehicular, con un nivel equivalente de presión sonora que excede 55 dB(A) en el día y, el 20% están expuestos a más de 65 dB(A). Se considera como contaminación acústica nocturna niveles de ruido superiores a 55 dB(A) (Organización Mundial de la Salud [OMS], 1999).

En literatura científica se identifica como la principal causa del ruido urbano el proveniente de tráfico vehicular, o conocido también como ruido de tráfico, hecho que no se manifiesta exclusivamente en los países desarrollados, sino también en aquellos en vías de desarrollo (Bostanci, 2018). En los últimos 50 años, en América Latina el crecimiento urbano ha aumentado en varios países hasta un 80%, como resultado de un éxodo rural hacia las ciudades. La urbanización, el crecimiento económico y la popularización del automóvil, son las principales fuentes de ruido en entornos urbanos. El ruido de tráfico se origina principalmente en los motores, los sistemas de escape, los neumáticos y la interacción de los vehículos con la carretera, en muchos de los casos, este sobrepasa los límites permisibles de las normativas nacionales e internacionales (Khan et al., 2018).

En Ecuador, la contaminación por ruido, se ampara en la reforma de la Constitución del año 2008, que establece, en su artículo 66, numeral 27, que el Estado garantizará a las personas el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza (Asamblea Nacional, 2008). Por otro lado, el Art. 27 del Código Orgánico Ambiental (Asamblea Nacional, 2017), faculta a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD's), el control de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de los componentes agua, suelo, aire y ruido; a pesar de esto, solamente 3 ciudades de las 17 que sobrepasan los 100.000 habitantes, que son Quito, Cuenca y

Guayaquil, cuentan con planes de acciones en su planificación y ordenamiento territorial, para actuar frente a la contaminación acústica.

De manera particular, la ciudad de Riobamba, hasta la presente fecha, no cuenta con un informe técnico y mapas de ruido, que integre zonas amplias y representativas de la urbe, solamente se ha relevado pocos monitoreos puntuales en algunas zonas de alta afluencia de personas, cuyos valores tendencialmente superan los límites establecidos por la OMS (OMS, 1999) y el Ministerio del Ambiente (MAE, 2015). De este análisis se muestra una relación directamente proporcional entre el ruido y el tráfico de vehículos principalmente cerca de los mercados y establecimientos comerciales, especialmente los sábados y miércoles (Patín Patín, 2018).

Por otro lado, el realizar un estudio del ruido es complejo, en relación a otros contaminantes, porque no presenta efecto acumulativo en el medio, sin embargo, mediante muestreos consecutivos y aplicando conceptos estadísticos se puede llegar a determinar modelos tendenciales y predictivos (González, 2005). En este sentido, el presente estudio identifica un método novedoso de obtención de puntos críticos, a tomar en consideración en futuros monitores, obtenidos a través de un análisis multicriterio considerando cuatro factores: F1: encuestas de percepción ciudadana, F2: rutas de buses urbanos, F3: mediciones iniciales (puntos aleatorios) y; F4 cercanías a instituciones públicas y privadas. Finalmente se representan mapas temáticos usando método de interpolación geoespaciales, los cuales ayudan a visualizar, en el caso de estudio, la distribución espacial de los puntos críticos (Wei et al., 2016).

## 2. Metodología

### 2.1. Descripción del lugar

El Cantón Riobamba, se encuentra ubicado en el centro geográfico del Ecuador, limitada al norte por los cantones Guano y Penipe; al sur por los cantones Colta y Guamate; al este por el cantón Chambo y el cantón Pablo Sexto (provincia de Morona Santiago); y, al oeste por el cantón Guaranda (provincia de Bolívar), tiene una superficie de 979.7 km<sup>2</sup>. Está constituido de 16 parroquias urbanas y rurales, su alrededor está circundada de volcanes como el Chimborazo, el Tungurahua, el Altar y el Carihuairazo. La ciudad de Riobamba se encuentra formada por 5 parroquias urbanas, cuenta con una superficie de 220.87 km<sup>2</sup>, donde habitan aproximadamente 124,807 habitantes, concentrando el 70.01% de la población ( Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2020).

La Figura 1 muestra la zona de estudio que comprende el centro de la ciudad de Riobamba, punto divisorio de las 4 parroquias urbanas (Lizarzaburu, Velasco, Veloz y Maldonado). De manera específica, el parque Sucre, localizado en las calles Juan Larrea, 10 de Agosto, España y Primera Constituyente, frente al colegio Maldonado, se convierte en el punto centro del estudio, y a manera de compas, se traza un radio de 2 km que cubre un área aproximada de 12.5 km<sup>2</sup>.

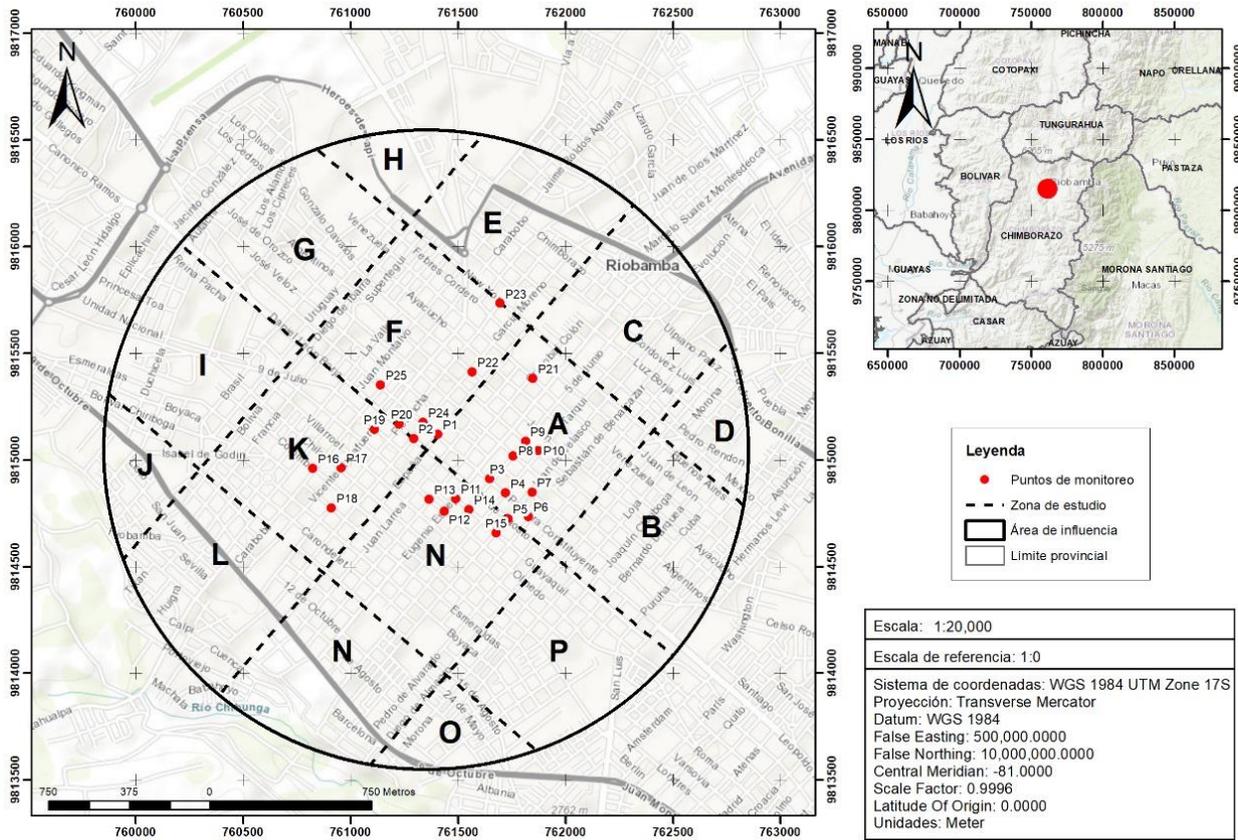


Figura 1: Centro histórico de la ciudad de Riobamba.

## 2.2. Priorización de los puntos de muestreo

El área de estudio inicialmente fue dividida en 16 cuadrantes en la cual se identificó la presencia de distintas instituciones públicas y privadas, financieras, educativas, sanitarias, parques, mercados y sectores de la población, posteriormente, se realizó una priorización de los puntos de muestreo, que recayeron en los cuadrantes A, F, K y N, a través de una adaptación del método de ponderación Brown y Gibson (Mavolo & Xodo, 2015) se consideran los siguientes factores tales como: F1. encuestas de percepción ciudadana, F2. rutas de los buses urbanos, F3. cercanías a instituciones públicas y privadas, F4. parques y F5. mediciones iniciales (puntos aleatorios).

### 2.2.1. Encuestas de percepción ciudadana (F1)

La encuesta tiene por objetivo evaluar la percepción de la ciudadanía asociada a niveles de ruido. De manera específica, el cuestionario permitió individualizar los puntos de aglutinamiento de personas considerados de mayor afectación, para que esto pueda ser traducido en términos de ponderación. Para el levantamiento de encuestas se consideró un universo de población igual a  $N = 264,048$  habitante que corresponde al número proyectado de habitantes de la ciudad al año 2020. De esta manera, a través de la ecuación 1 se obtuvo un tamaño de muestra igual a 384 con nivel de confianza del 95%.

$$n = \frac{N \cdot Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}{d^2(N - 1) + Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q} \quad (1)$$

Donde:

Z = Nivel de confianza (1.94)

P = Variable de investigación que participa directamente (0.05)

q = Variable de investigación que participa incipientemente (1-p, 0.90)

d = Nivel de precisión (10%).

### 2.2.2. *Rutas de los buses urbanos (F2)*

La ciudad de Riobamba cuenta con 16 líneas de buses urbanos, con una flota vehicular de 184 unidades, donde el 100% de las rutas de circulación cuentan con paradas dentro la zona de estudio (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Riobamba [GADMR], 2019). La tabla 2, muestra las rutas de las 16 líneas de rutas vigentes, la distancia recorrida (km) y el tiempo estimado por ciclo (min).

### 2.2.3. *Mediciones iniciales (Puntos aleatorios) y cercanías a instituciones públicas y privadas (F3, F4 y F5)*

Para las mediciones iniciales, por una parte, se realizó un catastro de centros de aglomeración masiva como: unidades educativas, instituciones financieras, parques, mercados, hospitales y clínicas, paradas de buses e instituciones públicas y privadas, y, por otro lado, se consideró el análisis de percepción ciudadana con respecto a puntos estimados como críticos por sus altos valores de ruido, es decir, a través de este cruce de información fueron definidos los puntos de muestreo in situ.

### 2.3. *Matriz de ponderación.*

La tabla 1 describe los valores de ponderación que fueron designados dando el peso o la relevancia a los diferentes factores F1, F2, F3 y F4. Se le asignó un mayor valor al "monitoreo inicial de ruido", por considerarlo un dato real relevado in situ y que muestra tendencias de comportamiento. En lo que respecta a los otros parámetros, para la asignación del valor de ponderación, se consideró fuertemente los resultados obtenidos de las encuestas de percepción ciudadana, es así que, la mayor preocupación para los moradores de estos sectores, es el ruido generado en los "mercados"; seguido por las "instituciones públicas y privadas" y "paradas de buses", ambos muestran una similitud de valoración por parte de la ciudadanía; y finalmente, se encuentra "parques" que a criterio de la población no son considerados una fuente importante de contaminación acústica.

Tabla 1: Valores de ponderación

| Lugares de conglomeración                      | Valores de Ponderación |
|--|------------------------|
| F1: Mercados                                   | 0.25                   |
| F2: Paradas de Buses                           | 0.15                   |
| F3: Instituciones públicas y privadas          | 0.15                   |
| F4: Parques                                    | 0.05                   |
| F5: Muestreo inicial de valores de ruido dB(A) | 0.40                   |

#### 2.4. Georreferenciación y toma de datos in situ

La georreferenciación de los puntos de priorizados se realizó a través de sus coordenadas geográficas (latitud y longitud). Las mediciones de ruido se ejecutaron utilizando los sonómetros, marca Extech SL510, tipo o clase 2, ponderación de frecuencia A y C. Los valores obtenidos fueron: límite equivalente máximo  $Leq(A) Max$ , límite equivalente mínimo  $Leq(A) Min$  y límite equivalente ponderado  $Leq(A)$  calculado a través de la ecuación 2:

$$Leq(A) = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} 10^{(L(t)/10)} dt \right) \quad (2)$$

Donde:  $Leq(A)$  es el límite equivalente ponderado en escala A en decibelios dB(A), T es el período de tiempo en el que se está calculando el  $Leq(A)$  expresado en segundos;  $t_1$  y  $t_2$  son los límites de tiempo dentro del período de medición y;  $L(t)$  es el nivel de presión sonora en decibelios dB(A) en el instante de tiempo. Esta fórmula implica calcular el promedio ponderado de los niveles de ruido durante el período de tiempo T utilizando la ponderación A, que tiene en cuenta la sensibilidad del oído humano a diferentes frecuencias de sonido (Steele, 2001).

Una vez georreferenciados los puntos de muestreo, se monitoreo los niveles de presión sonora según las escalas,  $Leq(A) Max$ ,  $Leq(A) Min$  y  $Leq(A)$ , con una temporalidad continua de lunes a sábado, en el horario de 7:00 hasta las 19:00, el equipo fue programado para una ponderación temporal (lenta) a escala A. Para el muestreo se consideró una altura aproximada 1,2 metros desde el piso, tratando en lo posible de evitar obstáculos reflectantes durante la medición. El tiempo de toma de muestra fue de 10 minutos, en cada uno de los 25 puntos priorizados, es decir, 12 muestras diarias por punto, obteniendo un total de 72 datos por cada sitio por semana.

#### 2.5. Construcción de mapas temáticos

Una vez realizada la priorización de puntos, que corresponden a los 4 cuadrantes (A, F, N y K), en aproximadamente en un área de 6 km<sup>2</sup>, dentro al centro histórico, se realizaron 25 puntos de monitoreo, posteriormente al trabajo en campo, fueron elaborados seis mapas temáticos que representan el comportamiento diario de  $Leq(A)$  de lunes a sábado y, uno consolidado donde se observa los niveles de  $Leq(A)$  promedio de toda la semana. El método con el cual se realizó la interpolación es Kriging. Para la creación de los mapas se utilizó el software ArcGIS 10.5, que es un sistema de información geográfica (SIG) desarrollado por Esri (Environmental Systems Research Institute) que tiene su sede en Estados Unidos (Maguire, 2016). El fundamento del método Kriging, se basa en la teoría de la geoestadística, que considera que los valores en un punto dado están correlacionados espacialmente con los valores en otros puntos cercanos. El sistema de coordenadas consideradas es, UTM WGS 1984 Zona 17S (Mårtensson, 2002). Para aplicar el método geoestadístico Kriging se usó la herramienta Geostatistical Analyst de ArcMap cuyo proceso viene descrito a través del diagrama mostrado en la Figura 2.

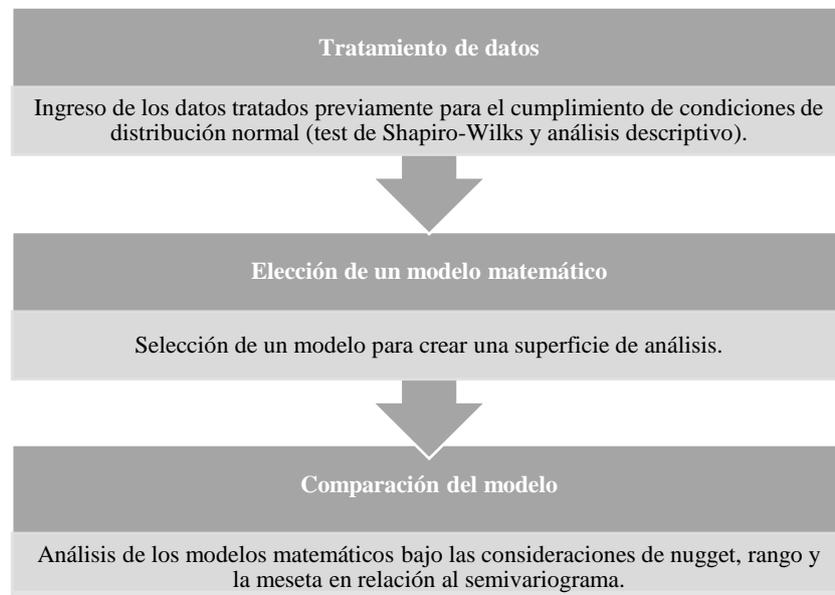


Figura 2: Metodología usada para la generación de Kriging Ordinario

Es importante señalar que los modelos Kriging pueden funcionar mejor cuando los datos se ajustan a una distribución normal, debido a que los intervalos de confianza son más precisos alrededor de las estimaciones. En este sentido, a los datos iniciales, se les aplicó el test de Shapiro-Wilks, donde se analizó su distribución normal, a través de la comprobación de la hipótesis nula, con un nivel de significancia del 0.05 (Ersahin, 2003). Posteriormente, se realizó un tratamiento estadístico exploratorio, para verificar la similitud entre los valores medios, medianos y la asimetría estimada. En este sentido, ambos métodos muestran una normalidad en los días: lunes, martes miércoles, viernes y sábado; sin embargo, en lo que respecta al día jueves no tiene un comportamiento normal, motivo por el cual se aplicó el método Box-Cox, técnica utilizada para transformar datos que no siguen una distribución normal a una forma que se asemeje más a una normalidad. Finalmente, se utilizó el método de validación cruzada (cross validation), para evaluar la fiabilidad del modelo de los semivariogramas utilizados: exponencial, gaussiano, esférico, cuadrático, racional y estable. La validación cruzada es esencial para evaluar la capacidad predictiva de un modelo de Kriging y para determinar si el modelo es adecuado para hacer predicciones en ubicaciones no muestreadas.

### 3. Resultados

#### 3.1. Análisis y caracterización del área de estudio

La zona de estudio comprende el centro de la ciudad de Riobamba, punto divisorio de las 4 parroquias urbanas (Lizarzaburu, Velasco, Veloz y Maldonado). De manera concreta, el parque Sucre, localizado en las calles Juan Larrea, 10 de agosto, España y Primera Constituyente, frente al colegio Maldonado, se convierte el punto centro del estudio, y a manera de compas, se traza un radio 2 Km que cubre un área aproximada de 12,5 Km<sup>2</sup>, como se observa en el Mapa 1.

Esta área es considerada como el centro histórico de Riobamba, y tiene características de zona mixta, es decir, residencial y comercial, por otro lado, es aquella de mayor confluencia

de mercados, líneas de buses, instituciones públicas y privadas. La zona centro se encuentra influenciada por mercados como: “Dávalos”, “San Alfonso”, “San Francisco”, “La Merced”, “Santa Rosa” y “La Condamine”; también por Unidades Educativas (UE) como: UE Maldonado, UE San Felipe Neri, UE San Vicente de Paúl, UE La Salle entre las principales; y además, por entidades públicas como: el GAD Provincial de Chimborazo, GAD Municipal de Riobamba, que son lugares en los cuales se genera un gran movimiento de personas y vehículos. Adicionalmente, se considera las principales vías de movilización como son las calles 10 de Agosto, Primera Constituyente y Olmedo, vías por las cuales existe un gran flujo vehicular y son puntos estratégicos considerados dentro el presente estudio.

### 3.2. Priorización de los puntos de muestreo

La priorización de los puntos de muestreo se realizó en función de los valores de ponderación y calificación considerando los siguientes criterios: encuestas de percepción ciudadana, rutas de los buses urbanos, cercanías a instituciones públicas y privadas, parques, y mediciones iniciales. En este sentido, como primer paso, se elaboró un cuestionario que fue aplicado a la ciudadanía, es así como, de un total de 384 encuestas, que corresponden a la muestra obtenida, a través de la ecuación 1, a 202 (53%) mujeres y 182 hombres (47%), donde el 91% de las personas encuestadas manifestó que existe contaminación acústica en su sector de trabajo o vivienda. El 51% de la población consideró que los días más críticos son el miércoles y los fines de semana. El 63% de los ciudadanos afirmó que los horarios de mayor ruido corresponden a las horas pico. Adicionalmente, el 47% de la ciudadanía expresa verse afectado por problemas de salud causados por el ruido, siendo las principales molestias el dolor de cabeza (91%), estrés (62%) pérdida de sueño (36%), pérdida de la audición (22%), falta de concentración (85%), problemas digestivos (15%) y otros (4%). Además, la ciudadanía identificó, en orden decreciente, como puntos críticos de ruido dentro de la urbe los siguientes lugares: mercados (42%), paradas de buses (22%), instituciones públicas y privadas (21%), parques (12%) y otros (3%); estos últimos fueron utilizados para la asignación de la ponderación en la matriz mostrada en la tabla 4.

Por otro lado, teniendo como base la información otorgada por la Dirección de Gestión de Movilidad Tránsito y Transporte del GAD Riobamba, se hizo un análisis de las 16 líneas de buses vigentes, mostradas en la tabla 2, que cuentan con una flota vehicular de 184 unidades. De este análisis se observó, que todas las rutas existentes pasan en alguna de sus paradas por el centro histórico, siendo la calle Olmedo aquella que cuenta con la mayor circulación de buses, para ser exactos 94 de las 184 unidades existentes transitan por esta calle.

Tabla 2: Líneas de buses vigentes en la ciudad de Riobamba

| Línea | Denominación                  | Distancia (km) | Tiempo (min) |
|-------|-------------------------------|----------------|--------------|
| 1     | Santa Anita – Bellavista      | 22.50          | 87.00        |
| 2     | 24 de Mayo – Bellavista       | 17.00          | 77.00        |
| 3     | El Carmen – Camal – Mayorista | 24.80          | 93.00        |
| 4     | Licán – Bellavista            | 25.00          | 85.00        |
| 5     | Corona Real – Bellavista      | 31.00          | 110.00       |
| 6     | Miraflores – Bellavista       | 26.00          | 87.00        |
| 7     | Inmaculada – El Rosal         | 31.00          | 100.0        |
| 8     | Yaruquíes – Las Abras         | 18.50          | 89.00        |

|    |   |       |        |
|----|---|-------|--------|
| 9  | Cactus – Licán  | 24.00 | 102.00 |
| 10 | Pinos – San Antonio   | 28.40 | 101.00 |
| 11 | Terminal Interparroquial – Mayorista  | 19.00 | 72.00  |
| 12 | San Gerardo – El Batán  | 21.30 | 90.00  |
| 13 | Sixto Duran – 24 de Mayo  | 23.00 | 94.00  |
| 14 | Parque San Luis – 24 de Mayo  | 25.60 | 119.00 |
| 15 | Licán – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) –<br>Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) | 19.60 | 85.00  |
| 16 | Calpi – La Paz  | 22.80 | 90.00  |

Fuente: (GADMR, 2019)

Asimismo, se seleccionaron 66 puntos para realizar el muestreo de las mediciones iniciales, tomando como criterio aquellos lugares que denotan una mayor aglomeración masiva de personas y vehículos, en ese sentido, se les otorgó una calificación mayor a aquellos puntos donde el  $Leq(A)$  alcanzó valores de ruido mayores a 70 dB(A). Finalmente, se realizó un catastro de los principales puntos de aglomeración masiva en el centro histórico de la ciudad de Riobamba. La tabla 3 muestra un resumen de estos puntos ubicados en los cuadrantes A, K, F y N evidenciados en la Figura 1.

Tabla 3: Catastro de centros de aglomeración masiva en el centro histórico

| Cuadrante | Unidades Educativas | Mercados | Instituciones Financieras | Instituciones Públicas | Clínicas y Hospitales | Parques | Suma |
|-----------|---------------------|----------|---------------------------|------------------------|-----------------------|---------|------|
| A         | 7                   | 2        | 1                         | 11                     | 4                     | 4       | 29   |
| K         | 1                   | 2        | 5                         | 5                      | 5                     | 1       | 19   |
| F         | 9                   | 1        | 7                         | 8                      | 4                     | 3       | 32   |
| N         | 9                   | 1        | 4                         | 4                      | 2                     | 0       | 20   |
| Total     | 26                  | 6        | 17                        | 28                     | 15                    | 8       | 100  |

Entre los principales puntos de aglomeración masiva que hacen parte del conteo de la tabla se encuentran:

1. Intuiciones educativas emblemáticas como: U.E Pedro Vicente Maldonado, U.E María Auxiliadora, U.E Mariana de Jesús, U.E La Salle, U.E San Felipe Neri, UE San Vicente de Paúl y U.E Nuestra Señora de Fátima.
2. Instituciones Públicas como: el GAD Municipal y el GAD Provincial, Correo del Ecuador, Empresa Eléctrica, Consejo Nacional de Telecomunicaciones, Matriz del Consejo de la Judicatura, Contraloría, entre otros.
3. Mercados como: Centro Comercial Popular “La Condamine”, “Mariano Borja” o “La Merced”; “Simón Bolívar” o “San Alfonso”, “Pedro de Lizarzaburu” o “San Francisco”; “Víctor Proaño” o “Santa Rosa” y “Gral. Juan Bernardo Dávalos”
4. Instituciones Financieras como: Matriz del Banco de Guayaquil, Matriz Banco del Pichincha, Matriz Banco Internacional, Servipagos, entre otros,
5. Clínica y Hospitales como: Clínica Moderna, Clínica Santa Cecilia, Cruz Roja, Hospital Pediátrico Alfonso Villagómez, Clínica Metropolitana, entre otros.
6. Parques como: Maldonado, Sucre, San Francisco, Concepción, 21 de Abril, General Barriga, entre otros.

La tabla 4 muestra los resultados de la priorización de los puntos donde se realizó las campañas de muestreo, estos datos están agrupados teniendo en cuenta que en las columnas se encuentran factores F1, F2, F3, F4 y F5 con sus respectivas calificaciones y ponderaciones; y en filas, los puntos de muestreo y direcciones. El cálculo de la priorización, mostrado en la tabla 4, fue procesado teniendo presente el valor de la ponderación mostrado en la tabla 1, al cual se le multiplicó por una calificación predefinida de la siguiente manera: leve = 1, moderado = 5 y máximo= 10. En el caso del parámetro ruido, la calificación se asignó mediante el siguiente criterio: leve = 1 (< 50 dB(A)), moderado = 5 ( 50 ≤dB(A) ≤60 ) y máximo = 10 (> 60 dB(A)). Por ejemplo, el punto 1, está ubicado en las calles Primera Constituyente y España, para el parámetro “mercados” se multiplicó el valor de ponderación 0.25 x la calificación 1, ya que la influencia del mercado no es directa, por otro lado, para el parámetro “parada de buses” se multiplicó el valor de ponderación 0.15 x 10 porque existe una parada de bus en el punto de muestreo siendo la incidencia máxima. El criterio final de selección fue considerar los valores mayores a 7.50 como puntos prioritarios.

Tabla 4: Priorización de puntos de muestreo.

| Puntos | Dirección                             | FACTORES      |             |               |             |               |             |               |             |              |             | Priorización |
|--------|---------------------------------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|        |                                       | F1<br>(0.25*) |             | F2<br>(0.15*) |             | F3<br>(0.15*) |             | F4<br>(0.05*) |             | F5<br>(0.4*) |             |              |
|        |                                       | Calificación  | Ponderación | Calificación  | Ponderación | Calificación  | Ponderación | Calificación  | Ponderación | Calificación | Ponderación |              |
| P1     | Primera Constituyente y España        | 10            | 2.5         | 10            | 1.5         | 5             | 0.75        | 1             | 0.05        | 10           | 4           | 8.80         |
| P2     | Primera Constituyente y Espejo        | 10            | 2.5         | 10            | 1.5         | 5             | 0.75        | 1             | 0.05        | 10           | 4           | 8.80         |
| P3     | Primera Constituyente y 5 de Junio    | 10            | 2.5         | 10            | 1.5         | 5             | 0.75        | 1             | 0.05        | 10           | 4           | 8.80         |
| P4     | Primera Constituyente y Tarqui        | 5             | 1.25        | 10            | 1.5         | 5             | 0.75        | 1             | 0.05        | 10           | 4           | 7.55         |
| P5     | 10 de Agosto y Juan de Velazco        | 10            | 2.5         | 10            | 1.5         | 10            | 1.5         | 1             | 0.05        | 10           | 4           | 9.55         |
| P6     | Primera Constituyente y Benalcázar    | 1             | 0.25        | 10            | 1.5         | 10            | 1.5         | 10            | 0.5         | 10           | 4           | 7.75         |
| P7     | Veloz y Juan de Velasco               | 1             | 0.25        | 10            | 1.5         | 10            | 1.5         | 10            | 0.5         | 10           | 4           | 7.75         |
| P8     | Orozco y 5 de Junio                   | 1             | 0.25        | 10            | 1.5         | 10            | 1.5         | 10            | 0.5         | 10           | 4           | 7.75         |
| P9     | Argentinos y 5 de Junio               | 5             | 1.25        | 10            | 1.5         | 10            | 1.5         | 5             | 0.25        | 10           | 4           | 8.50         |
| P10    | Argentinos y Tarqui                   | 10            | 2.5         | 5             | 0.75        | 10            | 1.5         | 10            | 0.5         | 10           | 4           | 9.25         |
| P11    | Guayaquil y Espejo                    | 10            | 2.5         | 10            | 1.5         | 5             | 0.75        | 10            | 0.5         | 10           | 4           | 9.25         |
| P12    | Olmedo y Espejo                       | 10            | 2.5         | 10            | 1.5         | 1             | 0.15        | 10            | 0.5         | 10           | 4           | 8.65         |
| P13    | Olmedo y Colón                        | 5             | 1.25        | 10            | 1.5         | 5             | 0.75        | 10            | 0.5         | 10           | 4           | 8.00         |
| P14    | Guayaquil y 5 de Junio                | 5             | 1.25        | 10            | 1.5         | 5             | 0.75        | 5             | 0.25        | 10           | 4           | 7.75         |
| P15    | Guayaquil y Juan de Velasco           | 10            | 2.5         | 10            | 1.5         | 1             | 0.15        | 1             | 0.05        | 10           | 4           | 8.20         |
| P16    | Colombia y Carabobo                   | 10            | 2.5         | 10            | 1.5         | 1             | 0.15        | 1             | 0.05        | 10           | 4           | 8.20         |
| P17    | Chile y Rocafuerte                    | 10            | 2.5         | 10            | 1.5         | 1             | 0.15        | 1             | 0.05        | 10           | 4           | 8.20         |
| P18    | Esmeraldas y Pichincha                | 10            | 2.5         | 10            | 1.5         | 1             | 0.15        | 1             | 0.05        | 10           | 4           | 8.20         |
| P19    | Guayaquil y Rocafuerte                | 10            | 2.5         | 10            | 1.5         | 1             | 0.15        | 1             | 0.05        | 10           | 4           | 8.20         |
| P20    | 10 de agosto y Pichincha              | 5             | 1.25        | 10            | 1.5         | 10            | 1.5         | 1             | 0.05        | 10           | 4           | 8.30         |
| P21    | Colon y Venezuela                     | 1             | 0.25        | 10            | 1.5         | 10            | 1.5         | 10            | 0.5         | 10           | 4           | 7.75         |
| P22    | Junín y García Moreno                 | 10            | 2.5         | 10            | 1.5         | 5             | 0.75        | 1             | 0.05        | 10           | 4           | 8.80         |
| P23    | New York y Pichincha                  | 10            | 2.5         | 10            | 1.5         | 1             | 0.15        | 1             | 0.05        | 10           | 4           | 8.20         |
| P24    | Primera Constituyente y García Moreno | 10            | 2.5         | 10            | 1.5         | 5             | 0.75        | 1             | 0.05        | 10           | 4           | 8.80         |
| P25    | Primera Constituyente y Carabobo      | 5             | 1.25        | 10            | 1.5         | 5             | 0.75        | 10            | 0.5         | 10           | 4           | 8.00         |

(\*) valores de ponderación asignados para cada factor mostrados en la tabla

### 3.3. Análisis de datos relevados *in situ*

La figura 3 muestra un análisis global del límite equivalente ponderado  $Leq(A)$  de lunes a sábado a través de un diagrama de cajas (Box-Plot). De este análisis, se observa que los valores promedios de  $Leq(A)$  sobrepasan, en todos los casos, el límite máximo permisible de 60  $Leq(A)$  según el Acuerdo Ministerial 097–A del MAE (MAE, 2015) y; que bordean el límite máximo permisible según la normativa de la OMS (OMS, 1999). En lo que respecta a los días lunes, miércoles y jueves, del diagrama se evidencia la presencia de valores atípicos, es decir, su presión sonora es alta en algunas horas del día y tiene un comportamiento inusual dentro del conjunto de datos relevados *in situ*.

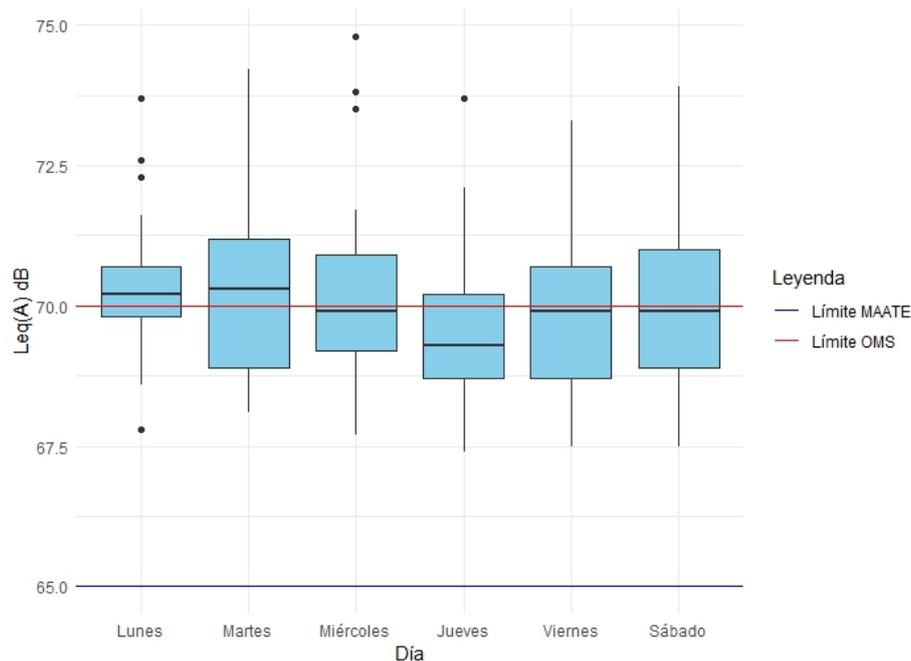


Figura 3: Box – Plot de los  $Leq(A)$  obtenidos por cada uno de los días de la semana

La figura 4, muestra el comportamiento semanal del  $Leq(A)$ , de lunes a sábado en cada uno de los puntos monitoreados, la línea roja evidencia los límites máximos permisibles según las normativas antes señaladas, para zonas mixtas. Los puntos P12, P13 y P17 son aquellos que presentan mayores niveles de ruido. Los puntos P12 y P13 se encuentran ubicados en el barrio La Merced, importante zona de comercio y principal arteria vial de transporte público, y corresponden a la interacción de las calles Olmedo y Espejo y; Olmedo y Colón respectivamente. El punto P17 se ubica en el barrio Santa Rosa, en la intersección de las calles Chile y Rocafuerte, este punto corresponde al mercado “Víctor Proaño”, que es un centro de aglomeración masiva cuyo comercio se realiza al aire libre. Adicionalmente, de los 25 puntos muestreados se observa que el día lunes es el más ruidoso (21 puntos) y el día jueves el menos ruidoso (13 puntos), que sobrepasan el límite de 70 dB(A) establecidos por la OMS. El 100% de los puntos sobrepasan los límites permisibles según la normativa local.

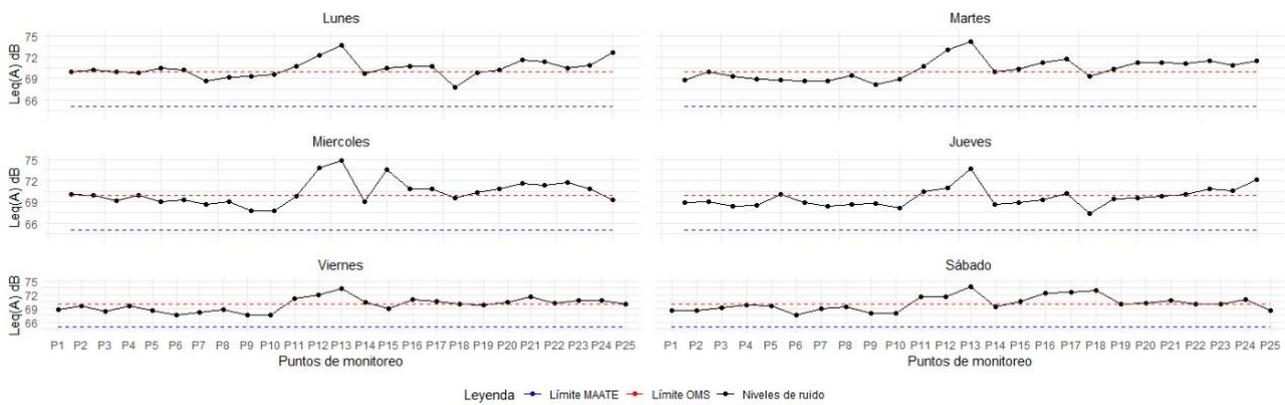


Figura 4: Análisis de los niveles de ruido semanal del  $Leq(A)$  en cada uno de los puntos monitoreados

En la figura 5 se observa que el día lunes presenta un mayor valor del  $Leq(A)$  igual a 70.40 dB(A) en contraste con el día jueves cuyo  $Leq(A)$  es 69.60 dB(A). Los valores del  $Leq(A)$  no presentan mayores variaciones de día a día, sin embargo, se evidencian que los días lunes, martes, miércoles y sábado, presentan los valores más altos y esto puede ser causa principalmente de las ferias populares en la zona de estudio. En lo que respecta al  $Leq(A)$  máximo su rango de variación oscila entre 74.80 dB(A) a 73.30 dB(A) para el miércoles y viernes respectivamente, mientras que, para el  $Leq(A)$  mínimo el rango de variación va desde 68.10 dB(A) a 67.40 dB(A) para el martes y jueves respectivamente. En todos los casos bien sea el  $Leq(A)$  máximo, el  $Leq(A)$  y el  $Leq(A)$  mínimo se incumple la normativa nacional.

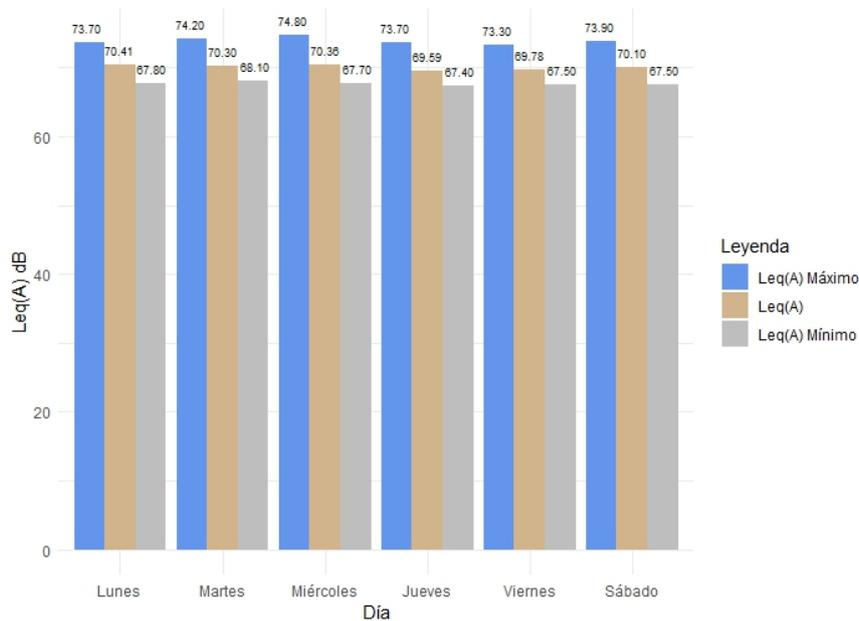


Figura 5: Análisis del comportamiento semanal del  $Leq(A)$ Máximo,  $Leq(A)$ y  $Leq(A)$ Mínimo

La figura 6 muestra el comportamiento global del  $Leq(A)$  por horas, donde se observa que los mayores picos se encuentran en el horario de las 12:00 a 14:00 que oscilan entre 70.75 dB(A) a 70.84 dB(A), seguido por el horario de 17:00 a 19:00 cuya variación se encuentra en un rango de 70.41 dB(A) y 70.38 dB(A). Es importante mencionar que el periodo de muestreo fue realizado entre los meses de agosto y septiembre, donde las unidades educativas, que producen movilidad en las primeras horas de la mañana, no se convirtieron en una fuente

de contaminación acústica activa, esta podría ser la razón por la cual no se evidencia puntos altos entre las 7:00 y 9:00 horas.

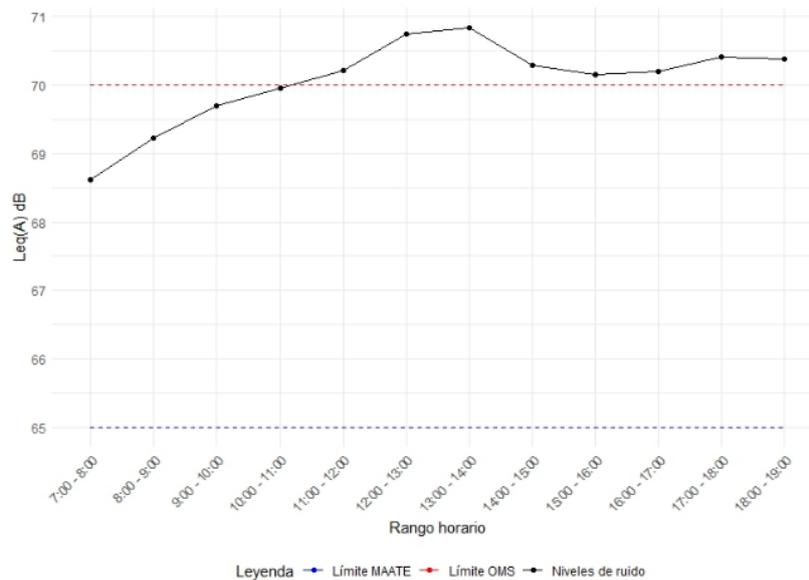


Figura 6: Análisis del comportamiento global por horas del **Leq(A)** en los puntos monitoreados

### 3.4. Construcción de mapas temáticos

La tabla 7, muestra los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, con una confiabilidad del 5%, donde se observa que todos los días, a excepción el día jueves, cumplen con una distribución normal. Para este último, se realizó un tratamiento para la normalización de datos mediante la transformación Box – Cox haciendo que la distribución de datos sea más cercana a lo normal (Levin, 2014).

Tabla 7: Prueba Shapiro-Wilk

| Días      | Cumple | Prueba Shapiro-Wilk (%) |
|-----------|--------|-------------------------|
| Lunes     | SI     | 0.2773                  |
| Martes    | SI     | 0.1462                  |
| Miércoles | SI     | 0.0630                  |
| Jueves    | NO     | 0.0392                  |
| Viernes   | SI     | 0.7032                  |
| Sábado    | SI     | 0.4112                  |

La tabla 8 muestra los resultados del análisis exploratorio de los datos del *Leq(A)*, donde se observa que el día jueves no presenta una distribución normal. Este análisis se realiza considerando que los valores de media y mediana no son cercanos, y, además, el valor de desviación estándar es alto, en comparación con los otros días. Finalmente, el coeficiente de asimetría, aun si no es un indicador de una forma de distribución, da indicaciones que la distribución del conjunto de datos tiene una cola derecha más larga y se considera sesgada positivamente. Por lo tanto, el día jueves no tiene un comportamiento normal, como se había previamente evidenciado con la prueba de Prueba Shapiro-Wilk. Por otro lado, considerando que los modelos de semivarograma dan mejores estimaciones con datos distribuidos normalmente se aplicó para este último día una transformación Box-Cox.

Tabla 8: Análisis exploratorio de datos

| Días      | Cumple | Descripción | Media   | Mediana | Desviación Estándar | Asimetría | Curtosis |
|-----------|--------|-------------|---------|---------|---------------------|-----------|----------|
| Lunes     | SI     | Normal      | 70.40   | 70.73   | 1.25                | 0.62      | 3.93     |
| Martes    | SI     | Normal      | 70.29   | 70.27   | 1.50                | 0.70      | 3.22     |
| Miércoles | SI     | Normal      | 70.34   | 69.93   | 1.76                | 0.90      | 3.48     |
| Jueves    | NO     | Box-Cox     | 2421.50 | 2398.70 | 94.88               | 1.25      | 4.84     |
| Viernes   | SI     | Normal      | 69.77   | 69.89   | 1.46                | 0.27      | 2.67     |
| Sábado    | SI     | Normal      | 70.09   | 69.85   | 1.65                | 0.58      | 2.62     |

Posteriormente se realizó un ajuste del semivariograma a los datos generados en campo, para esto se seleccionaron los siguientes modelos, exponencial, gaussiano, esférico, cuadrático, racional y estable, y se estimó los parámetros asociados tales como: Nugget (N); Rango (R); Meseta (S); Largo de meseta (LS), mostrados en la Tabla 9, cuyos valores permiten elegir la mejor estructura de correlación espacial.

Tabla 9: Análisis comparativo de los parámetros usados en el semivariograma de las funciones exponencial, gaussiana, esférica y cuadrática racional

| Días      | Parámetro | Exponencial | Gausiana | Esférica | Cuadrática Racional | Estable  |
|-----------|-----------|-------------|----------|----------|---------------------|----------|
| Lunes     | N         | 0.00        | 0.05     | 0.00     | 0.002               | 0.05     |
|           | R         | 538.38      | 305.06   | 445.28   | 619.94              | 305.06   |
|           | S         | 2.70        | 1.84     | 3.21     | 2.17                | 1.84     |
|           | LS        | 72.92       | 38.13    | 55.66    | 77.49               | 38.13    |
| Martes    | N         | 0.00        | 0.28     | 0.00     | 0.03                | 0.28     |
|           | R         | 619.94      | 305.06   | 353.93   | 583.38              | 305.06   |
|           | S         | 2.72        | 2.34     | 2.70     | 2.59                | 2.34     |
|           | LS        | 77.49       | 38.13    | 44.24    | 72.92               | 38.13    |
| Miércoles | N         | 0.00        | 1.45     | 0.70     | 0.05                | 1.44     |
|           | R         | 424.72      | 351.55   | 351.55   | 421.86              | 351.54   |
|           | S         | 4.11        | 2.67     | 3.30     | 4.00                | 2.67     |
|           | LS        | 53.09       | 43.94    | 43.94    | 52.73               | 43.94    |
| Jueves    | N         | 674.54      | 2252.80  | 0.000    | 1150.08             | 2252.80  |
|           | R         | 583.38      | 333.05   | 346.83   | 583.38              | 333.06   |
|           | S         | 10237.90    | 9125.71  | 10901.70 | 9510.12             | 9125.71  |
|           | LS        | 72.92       | 41.63    | 43.35    | 72.92               | 41.63    |
| Viernes   | N         | 0.00        | 1.66E+10 | 0.00     | 3.00E+08            | 1.66E+10 |
|           | R         | 654.35      | 419.02   | 344.49   | 654.35              | 419.02   |
|           | S         | 3.06E+11    | 3.32E+11 | 2.98E+11 | 3.00E+11            | 3.32E+11 |
|           | LS        | 81.79       | 52.38    | 43.06    | 81.79               | 52.38    |
| Sábado    | N         | 0.00        | 0.64     | 0.00     | 0.003               | 0.64     |
|           | R         | 413.40      | 262.95   | 277.54   | 413.40              | 262.95   |
|           | S         | 2.86        | 1.72     | 2.38     | 2.84                | 1.72     |
|           | LS        | 51.67       | 32.87    | 34.69    | 51.67               | 32.87    |

La tabla 10 muestra los valores de la Raíz del Error Cuadrático Medio -RMSE (del inglés Root MeanSquare) y ASE - Error Estándar Promedio (del inglés Average Standard Error) como una medida de evaluación de la calidad de un modelo. De este análisis, se puede observar que la RMSE, para todos los días, a excepción del miércoles, tiene valores más bajos, esto es un indicativo que el mejor modelo a ser usado es el gaussiano. En lo que respecta al día miércoles, el modelo cuadrático racional es aquel que presenta mejores características de ajuste con la RMSE más baja encontrada. Para todos los casos

mencionados, los valores del ASE son próximos al RMSE, esto significa que los modelos que se están comparando tienen un rendimiento de predicción similar en términos de precisión.

Tabla 10: Validación del rendimiento de los modelos a través de RMSE y ASE

| Días      | Parámetro | Exponencial | Gaussiana | Esférica | Cuadrática Racional |
|-----------|-----------|-------------|-----------|----------|---------------------|
| Lunes     | RMSE      | 1.126       | 0.966     | 1.086    | 1.039               |
|           | ASE       | 1.069       | 0.961     | 1.036    | 0.994               |
| Martes    | RMSE      | 1.038       | 0.943     | 1.011    | 0.985               |
|           | ASE       | 1.261       | 1.254     | 1.376    | 1.227               |
| Miércoles | RMSE      | 1.404       | 1.468     | 1.446    | 1.369               |
|           | ASE       | 1.761       | 1.795     | 1.818    | 1.774               |
| Jueves    | RMSE      | 1.203       | 1.102     | 1.120    | 1.181               |
|           | ASE       | 1.211       | 1.260     | 1.270    | 1.196               |
| Viernes   | RMSE      | 0.967       | 0.910     | 0.978    | 0.948               |
|           | ASE       | 1.217       | 1.026     | 1.366    | 1.125               |
| Sábado    | RMSE      | 1.187       | 1.080     | 1.099    | 1.175               |
|           | ASE       | 1.485       | 1.432     | 1.418    | 1.495               |

Una vez realizado el proceso de validación del modelo, se generaron 6 mapas temáticos uno por cada día de la semana, es decir, de lunes a sábado, como se muestran en la figura 7. Del análisis de los mapas generados se observa claramente los diferentes puntos críticos de contaminación acústica en el centro histórico, generándose corredores de ruido marcados, principalmente en las calles Olmedo, 10 de Agosto y Guayaquil de norte a sur; mientras que, de este a oeste el corredor se muestra en las calles Carabobo y Rocafuerte, que se constituyen en arterias vehiculares de la urbe. De manera particular, en lo que respecta a los días jueves y viernes (figuras 7d y 7e), existe una tendencia de tipo bimodal donde se observa claramente la separación de dos zonas con niveles de ruido de diferentes rangos entre 60 - 70 dB(A) y 70 - 80 dB(A), el comportamiento es mixto generándose un nuevo corredor con decrecimiento del  $Leq(A)$ , tal corredor de ruido en el día jueves se presenta en sentido oeste desde la Concepción hasta La Condamine, este fenómeno podría deberse al hecho que no son días de feria. En lo que respecta al día viernes, la forma del corredor se da en sentido noroeste desde el parque Sucre hasta el barrio General Barriga aproximadamente a la altura del Registro Civil. En el día sábado (figura 7f) los puntos de mayores rangos de ruido entre 70 - 80 dB(A), se ubican principalmente en las cercanías de actividades comerciales y mercados como La Condamine, Santa Rosa y La Merced. Los días lunes, martes, y miércoles (Figuras 7a, 7b y 7c), pueden ser considerados los más ruidosos de la semana donde existe un comportamiento unimodal fuertemente homogéneo predominando los rangos del  $Leq(A)$  de 70-80 dB(A). En el sentido noroeste, partiendo desde el barrio la Dolorosa hasta el barrio la Estación, tomando en cuenta las calles Olmedo, Guayaquil y 10 de Agosto se evidencia mayores concentraciones de ruido al ser las principales arterias de movilidad y de comercio. Por otro lado, en sentido noreste se observa un corredor de interconexión hacia el norte por la calle Vicente Rocafuerte y la calle Carabobo donde se identificaron puntos de aglomeración masivo, que son fuentes innatas de emisiones de ruido.

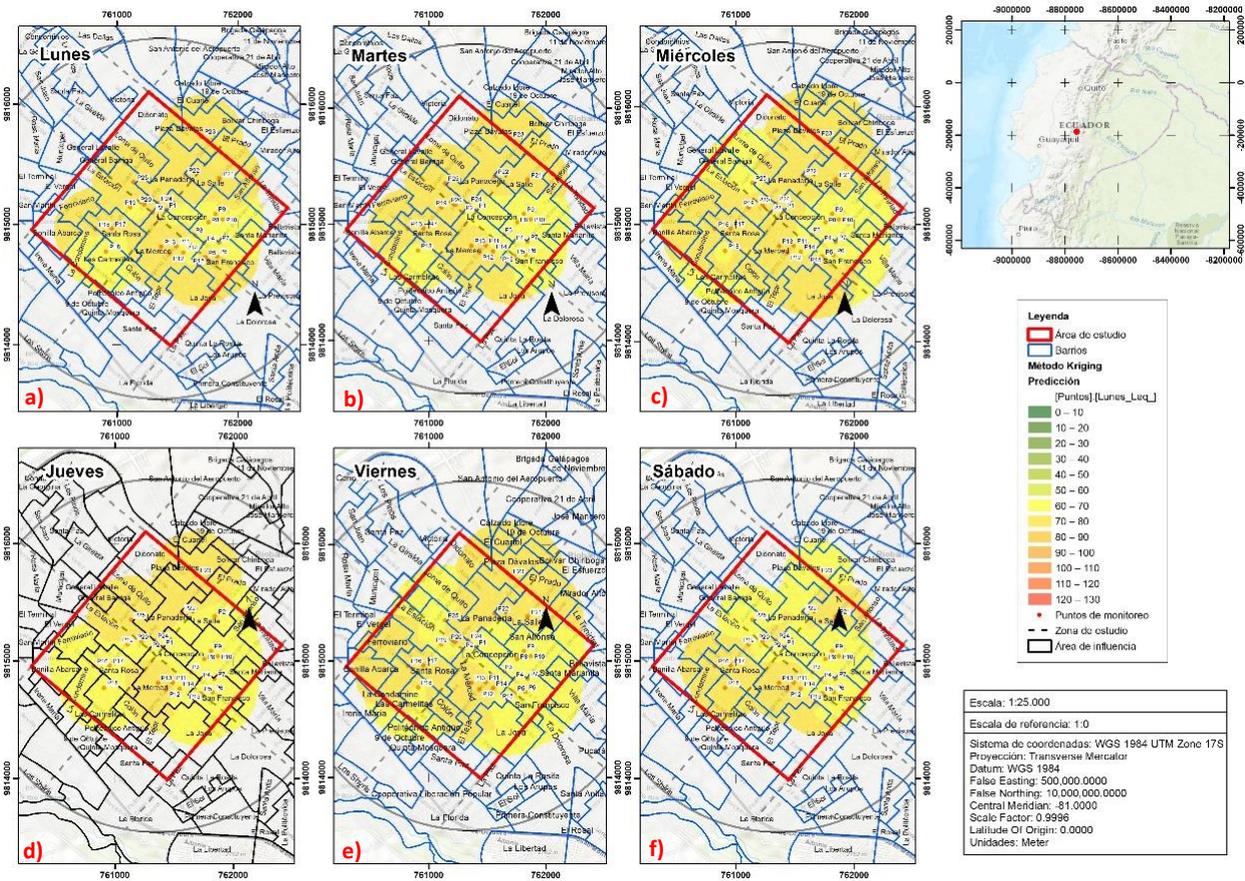


Figura 7: Mapa del  $Leq(A)$  en los puntos monitoreados por semana: a) Lunes, b) Martes, c) Miercoles, d) Jueves, e)Viernes y f) Sábado

#### 4. Discusión

En Ecuador, la regulación del ruido se encuentra especificada en el Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULSMA), a partir de este marco legal se establecen los niveles de ruido permisibles por categorías de uso y ocupación del suelo, por otro lado, el artículo 27 del COA, faculta a los GADs, el control de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de las componentes agua, suelo, aire y ruido; a pesar de la importancia de conocer los niveles de ruido en los centros urbanos, su monitoreo no es una actividad común. Por otro lado, la mayoría de las ciudades del país carecen de datos relacionados con las emisiones de ruido, lo que dificulta la toma de decisiones, inherentes a temas de ordenamiento territorial y control para mitigar el impacto sobre la población. Esto sucede a pesar de que la normativa nacional, establecida en el TULSMA, Libro VI, Anexo 5, exige la elaboración de mapas de ruido en todas las ciudades con una población superior a 250,000 habitantes, cuyo monitoreo deberá considerar los principales ejes viales, aeropuertos, centros industriales, centros comerciales, escuelas, colegios, universidades, hospitales y otros de interés ambiental y comunitario.

En lo que respecta a Ecuador, son muy pocas ciudades, con más de 250.000 habitantes como Quito, Guayaquil, Ambato y Cuenca, que tienen algún tipo de monitoreo ruido, sin embargo, estos estudios son de tipo puntual y no presentan continuidad y frecuencia de medición, y en otros casos, se generan aproximaciones de niveles de ruido en función del tráfico vehicular (Burgos Arcos, 2015). En Quito se realizó un monitoreo en el centro

histórico en 22 puntos estratégicos, considerando el tipo de vía, es decir, locales y arteriales; de este estudio se obtuvo valores del  $Leq(A)$  en el día de 76.1 dB(A) y en noche de 64 dB(A) (Tapia Mier, 2017). En la Ambato, se realizó 4 puntos de muestreo en sitios estratégicos: Mercado Ferroviario, Mercado Modelo, Parque Cevallos y Viaducto La Yahüira, a lo largo de la avenida Cevallos, una de las principales arterias de la ciudad, se encontró que el valor mínimo del  $Leq(A)$  es 49.9 dB(A) y máximo es 74.4 dB(A) (Marizande Lozada, 2018). En lo que respecta a la ciudad de Cuenca, se realizó un monitoreo en 30 puntos que cubren el área urbana, del análisis realizado se concluye que en el 99% de los puntos monitoreados se supera el límite permisible de la norma ambiental ecuatoriana vigente, de manera particular, en lo que corresponde a la zona residencial mixta, se realizaron 7 puntos de muestreo, donde se detectaron rangos del  $Leq(A)$  que alcanzan valores que van desde 48 dB(A) en horas de la noche hasta 77 dB(A) en la mañana (Delgado & Martínez, 2015). En la ciudad de Guayaquil se realizó un monitoreo de 5 puntos a lo largo de la avenida Machala, arteria principal de la urbe, donde se ubican numerosos comercios, tiendas, restaurantes, bancos y otros establecimientos comerciales. Esta concentración de negocios la convierte en un importante centro comercial y financiero de Guayaquil. En este estudio se reportan valores máximos y mínimos del  $Leq(A)$  van desde 73.2 dB(A) a 82.7 dB(A) en horas de la mañana (Reyes Betancourt, 2020).

De manera particular, la ciudad de Riobamba, según la proyección al año 2020 del INEC tiene una población aproximada de 264,048 habitantes (INEC, 2012), según los criterios establecidos por la Nueva Agenda Urbana tiene características de ser una ciudad intermedia, es decir, que cuenta con menos de 1'000,000 habitantes. Las ciudades intermedias, sin embargo, tienen diferentes características, cuantitativas y cualitativas, que varían de lugar a lugar, depende del continente y país; teniendo diferentes umbrales según particularidades políticas, sociales y económicas de cada uno de ellos. Esta categoría la comparte con otras ciudades como Esmeraldas, Milagro, Ibarra, Loja, Babahoyo, Quevedo, Santa Elena y La Libertad (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviend [MIDUVI], 2020). Por otro lado, según el Registro Oficial N° 387 (MAE, 2015), dentro del inciso 7.1 manifiesta que "Corresponde a los GAD Municipales con una población mayor o igual a 250,000 habitantes elaborar mapas de ruido ambiental como una herramienta estratégica para la gestión del control de la contaminación acústica y la planificación territorial", por lo tanto, la ciudad de Riobamba tiene la obligatoriedad de elaboración de mapas de ruido.

Es por esta razón, que la identificación de puntos críticos dentro de los mapas de ruido es una parte fundamental de la gestión ambiental en áreas urbanas, estos puntos corresponden a ubicaciones donde son superados niveles los umbrales predefinidos. En este contexto, considerando que el estudio tiene como objetivo la identificación de puntos críticos, del análisis de las figuras (3, 4 y 5) se observa que los días lunes, miércoles y jueves presentan valores atípicos, en los niveles del  $Leq(A)$ , principalmente en los puntos P12, P13 y P17, que corresponden a los muestreos ubicados en mercados como "La Merced", "Santa Rosa", o en la cercanía de ellos, esto corroboraría, los resultados de las encuestas de percepción ciudadana donde el 42% de la población manifestó que la principal fuente de ruido son los mercados, en los días de las ferias populares. Estos sitios de aglomeración masiva como fuentes altas de contaminación acústica son también evidenciados en estudios similares realizados en Ambato y Guayaquil (Marizande Lozada, 2018; Reyes Betancourt, 2020).

Por otro lado, en la figura 6, se observa que las horas de mayor ruido son las 12:00 a 14:00 con valores de  $Leq(A)$  que oscilan entre 70.75 dB(A) a 70.84 dB(A), seguido por el horario de 17:00 a 19:00 con niveles que varían entre 70.41 dB(A) y 70.38 dB(A), es importante señalar que el monitoreo se realizó en época de receso académico de las escuela y colegios, esta puede ser la razón por la cual los niveles de  $Leq$  en horas de la mañana no presentan valores atípicos. En el TULSMA se establece límites permisibles de contaminación sonora, según el uso del suelo, para zonas residenciales mixtas, en esta legislación, los niveles de  $Leq(A)$  varían entre de 55 dB(A) en el día, y de 45 dB(A) en la noche. En lo que respecta a la OMS considera que los niveles de exposición de una persona al ruido no deben nunca superar los 70 dB(A), ya que el oído humano puede tolerar y asimilar ese nivel sin ser dañado de manera temporal o permanente. Los resultados globales del presente estudio ponen de manifiesto que los valores del  $Leq(A)$  en todos los 25 puntos de monitoreo, sobrepasan los límites establecidos en el TULSMA; y de manera análoga, si se confronta los valores del  $Leq(A)$  con los permisibles de la OMS el 47% de los puntos sobrepasan los niveles tolerables.

En lo que respecta, a los mapas temáticos representan el comportamiento de la contaminación de ruido en un tiempo y un área determinada, y no puede ser considerado como un modelo de predicción a futuro, sino más bien tiene por objetivo servir de insumo para individualizar puntos críticos y poder realizar futuros planes de monitoreo para conocer si la contaminación se mantiene o no a lo largo del tiempo. Por otro lado, el rango (R) en cada uno de los modelos definido en la tabla 10 indica el nivel de confiabilidad de la interpolación, entendido como la distancia máxima confiable de predicción del ajuste del modelo, valores superiores al rango generan un alto grado de incertidumbre. Por lo tanto, rangos mayores al establecido por el ajuste del semivariograma no fueron considerados, esto implica, que los mapas en algunos casos presentan zonas blancas, es decir, zonas que el método no predice por encontrarse fuera del rango, lo que causaría una interpolación errónea.

## 5. Conclusiones

El centro histórico de la ciudad de Riobamba se caracteriza por ser una zona mixta (comercial y residencial). De los resultados del monitoreo realizado, entre los principales hallazgos encontrados se observa que, de un total de 25 puntos monitoreados, los niveles de  $Leq(A)$  superan en el 100% de los casos el límite establecido por el TULSMA. De manera similar, al comparar los valores de  $Leq(A)$ , de las mediciones realizadas in situ, con los límites permisibles de la OMS, se observa que en el 47% de los puntos se exceden los niveles considerados aceptables. Los valores altos atípicos fueron identificados en los días lunes, miércoles y sábado, con valores de 73.7dB(A), 74.8dB(A) y 73.9 dB(A) respectivamente, es importante mencionar que todos estos valores ponen en manifiesto que el punto más ruidoso del área de estudio es el P13, mismo que se encuentra ubicado en la intercepción de las calles Olmedo y Colón, locación aledaña al mercado La Merced.

En cuanto a la identificación de los puntos críticos de contaminación acústica en centro histórico de Riobamba, los resultados del monitoreo de valores del  $Leq(A)$  realizados in situ coinciden con las opiniones de la ciudadanía, es decir, los mercados y sus lugares aledaños, donde existe una alta afluencia de gente y vehículos, fueron relevados como aquellos más

críticos especialmente en el horario de 12:00 a 14:00 con valores del Leq(A) entre 70.75 dB(A) a 70.84 dB(A).

Los mapas de ruido son representaciones gráficas que muestran la distribución espacial de los niveles de Leq(A) en un área geográfica específica, y no deben considerarse como un modelo de predicción futuro, sino que su propósito principal es proporcionar información que permita identificar áreas críticas y facilitar la planificación de futuros programas de monitoreo para evaluar si la contaminación persiste o disminuye con el tiempo. Para la construcción de mapas de ruido se utilizó el modelo del semivariograma gaussiano, para todos los días, a excepción del miércoles que se usó el modelo de semivariograma cuadrático racional, tales modelos fueron considerados en vista que los valores de RMSE y ASE son los bajos y cercanos entre sí, lo que asegura un buen rendimiento del modelo.

### Contribuciones de los autores

En concordancia con la taxonomía establecida internacionalmente para la asignación de créditos a autores de artículos científicos (<https://casrai.org/credit/>). Los autores declaran sus contribuciones en la siguiente matriz:

|                                | Romero-Villacrés, M. | Rivera-Velásquez, M. | Cisneros-Vaca, R. | Naranjo-Polo, A. |
|--------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|------------------|
| Conceptualización              |                      |                      |                   |                  |
| Análisis formal                |                      |                      |                   |                  |
| Investigación                  |                      |                      |                   |                  |
| Metodología                    |                      |                      |                   |                  |
| Recursos                       |                      |                      |                   |                  |
| Validación                     |                      |                      |                   |                  |
| Redacción – revisión y edición |                      |                      |                   |                  |

### Conflicto de Interés

Los autores declaran no existen conflictos de interés.

### Referencias

Asamblea Nacional. (2008). *Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008* (p. 136). [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2020-06/CONSTITUCION 2008.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2020-06/CONSTITUCION%202008.pdf)

Asamblea Nacional. (2017). *Código Orgánico Del Ambiente*. In *Registro Oficial Suplemento 983* (pp. 1–92). [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO\\_ORGANICO\\_AMBIENTE.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf)

Bostanci, B. (2018). Accuracy assessment of noise mapping on the main street. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(4). doi: 10.1007/s12517-017-3343-z

Brown, A. L. (2015). Effects of Road Traffic Noise on Health: From Burden of Disease to Effectiveness of Interventions. *Procedia Environmental Sciences*, 30, 3–9. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.10.001>

Burgos Arcos, C. L. (2015). *Diseño de la primera red permanente de monitoreo de la calidad del aire en la Ciudad De*

- Ambato (tesis de maestría) Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí.
- 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>
- Ersahin, S. (2003). Comparing Ordinary Kriging and Cokriging to Estimate Infiltration Rate. *Soil Science Society of America Journal*, 67(6), 1848–1855. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1848>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Riobamba. (2019). *Plan de Movilidad del Cantón Riobamba Informe Fase III. Modelo de Gestión* (p. 454).
- Goines, L., & Hagler, L. (2007). Noise Pollution: A Modern Plague. *Southern Medical Journal*, 100(3), 287-94. doi: 10.1097/smj.0b013e3180318be5
- González, A. E. (2005). Evaluación de impacto acústico: Modelos predictivos sencillos que podrían dar complicaciones. In *Universidad Nacional de Rosario*. <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/gonzalez2005.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2012). *Proyección de la población ecuatoriana, por años calendario, según cantones*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2020). *No Title*. Proyecciones Poblacionales. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- Khan, J., Ketzler, M., Kakosimos, K., Sørensen, M., & Jensen, S. S. (2018). Road traffic air and noise pollution exposure assessment – A review of tools and techniques. *Science of the Total Environment*, 634, 661–676. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.374>
- Khilman, T. (2004). *Noise pollution in cities, Curitiba and Göteborg as examples*, in: *Proceedings of the Seminar – Environmental Aspects of Urbanization – Seminar in Honor of Dr. Mostafa Kamal Tolba*. Gothenburg, Sweden
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Reforma al Libro IX del Texto Unificado de Legislación Secundaria*. [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015\\_0.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf)
- Maguire, D. J. (2016). ArcGIS: General-Purpose GIS Software. *Encyclopedia of GIS*, 1–8. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23519-6\\_68-2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23519-6_68-2)
- Marizande Lozada, D. E. (2018). *Evaluación de Ruido Ambiental en la Av. Cevallos, de la ciudad de Ambato, Provincia de Tungurahua* (tesis de grado). Universidad Estatal Amazónica, Puyo.
- Mårtensson, S.-G. (2002). Height Determination by GPS –Accuracy with Respect to Different Geoid Models in Sweden. *FIG XXII International Congress*. Recuperado de: [https://www.fig.net/resources/proceedings/fig\\_proceedings/fig\\_2002/Ts5-2/TS5\\_2\\_martensson.pdf](https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig_2002/Ts5-2/TS5_2_martensson.pdf)
- Mavolo, L., & Xodo, D. (2015). Análisis comparativo de localizaciones. Brown-Gibson, ELECTRE y AHP Gestión de las Organizaciones y el Conocimiento Organizacional. UNCPBA .
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2020). *Agenda Hábitat Sostenible del Ecuador 2036* (pp. 3–111). *Agenda-2036-LOW-actualización-2022.pdf* ([habitatyvivienda.gob.ec](http://habitatyvivienda.gob.ec))
- Organización Mundial de la Salud. (1999). *GUÍAS PARA EL RUIDO URBANO* (p. 19). [http://www.juristas-ruidos.org/Documentacion/guia\\_oms\\_ruido\\_1.pdf](http://www.juristas-ruidos.org/Documentacion/guia_oms_ruido_1.pdf)
- Patín Patín, S. M. (2018). *Medición de los niveles de ruido ambiental en la zona urbana de la ciudad de Riobamba* (tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Platzer M, U., Iñiguez C, R., Cevo E, J., & Ayala R, 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>
- Reyes Betancourt, D. A. (2020). *Evaluación del nivel de ruido generado por el tráfico mediante monitoreo ambiental en*

*la Avenida Machala de la Ciudad de Guayaquil* (tesis de grado) Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil.

Steele, C. (2001). Critical review of some traffic noise prediction models. *Applied Acoustics*, 62(3), 271–287. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(00\)00030-X](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(00)00030-X)

Tapia Mier, F. W. (2017). *Optimización de mapas de ruido a través de Sistemas de Información Geográfica. Caso de estudio: Centro Histórico de Quito* (tesis de grado) Universidad de las Américas], Quito.

Wei, W., Van Renterghem, T., De Coensel, B., & Botteldooren, D. (2016). Dynamic noise mapping: A map-based interpolation between noise measurements with high temporal resolution. *Applied Acoustics*, 101, 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.08.005>