



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

VALIDACIÓN DEL MAPA DE RUIDO DE TRÁFICO DE LA ZONA URBANA
DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

AUTORES

MARÍA LUISA ARIZA ÁLVAREZ
CRISTIAN ANDRÉS OJEDA TINOCO

AÑO

2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

VALIDACIÓN DEL MAPA DE RUIDO DE TRÁFICO DE LA ZONA URBANA
DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingenieros en Sonido y Acústica

Profesor Guía

Ph.D. Luis Alberto Bravo Moncayo

Autores

María Luisa Ariza Álvarez

Cristian Andrés Ojeda Tinoco

Año

2018

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido el trabajo, Validación del Mapa de Ruido de Tráfico de la Zona Urbana del Distrito Metropolitano de Quito, a través de reuniones periódicas con los estudiantes, María Luisa Ariza Álvarez y Cristián Andrés Ojeda Tinoco, en el semestre 2018-1, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

Luis Alberto Bravo Moncayo
Doctor en Ingeniería Acústica
CI: 1711710606

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, Validación del Mapa de Ruido de Tráfico de la Zona Urbana del Distrito Metropolitano de Quito, de los estudiantes, María Luisa Ariza Álvarez y Cristián Andrés Ojeda Tinoco, en el semestre 2018-1, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Miguel Ángel Chávez Avilés

Master of Science

CI: 171072484

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LOS ESTUDIANTES

“Declaramos que este trabajo es original, de nuestra autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

María Luisa Ariza Álvarez

C.I. 1757568892

Cristian Andrés Ojeda Tinoco

C.I. 1104061120

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la vida y la sabiduría otorgada en cada paso de esta travesía universitaria.

Agradecemos a nuestros familiares y amigos por su apoyo y compañía. De manera especial, también, a las personas que contribuyeron con el desarrollo de este estudio.

DEDICATORIA

Esto es de ustedes, Eduardo y Constanza: mis padres, por inculcarme desde niña a luchar por mis sueños. A mis abuelos Gladis, por tanto amor, y Félix, “En la vida aplica dos cosas y triunfarás: lógica y disciplina”. A mi hermano Eduardo, por acompañarme durante mi crecimiento personal y profesional. A Miguel, por motivarme para cada día ser la mejor en todo lo que me proponga. A Jack y Nina, por sus huellas.

María Luisa

DEDICATORIA

Al Más Alto, por enredarme en sus lazos de amor. A mi familia, por su fe. A mis abuelas, por seguir alargando el calendario. A Goodman, por enseñarme el significado de las cosas. A Silvania, por ser mi vida y dármele de vuelta. A Juan Adrián, por su genialidad y ejemplo. A mi futura hija, Isabella, que algún día llegará. A mi esposa, quién quiera que vaya a ser. A Tamales, el niño diversión.

Cristian

RESUMEN

La finalidad del presente estudio es, validar el mapa de ruido de tráfico de la zona urbana del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), desarrollado por la Universidad de las Américas en el transcurso del año 2017. La primera fase del proyecto consistió, en realizar a lo largo del territorio urbano, mediciones de ruido de corta y larga duración, poniendo a consideración la evaluación del flujo vehicular. Por otro lado, se plantean conteos vehiculares con la finalidad de verificar la clasificación vial del DMQ, propuesta por la Gerencia de planificación de la movilidad (EPMMP). La validación consiste, en la comparación de niveles generados por distintos modelos de predicción (entre ellos el RLS-90, utilizado durante la construcción del mapa actual), proporcionados por el software de simulación CADNA-A, con aquellos medidos durante la etapa inicial del trabajo. Finalmente, se estudió el comportamiento del modelo validado, adaptado a las características de la zona urbana del DMQ, con los datos adquiridos durante el periodo de medición bajo la metodología de larga duración. Debido a que el proyecto implica muestreo, el proceso va acompañado de un análisis estadístico. Como resultado el comportamiento del modelo predictivo RLS-90 es muy similar al modelo suizo STL-86, sin embargo, este último cuenta con grandes ventajas al presentar una tendencia clara de sobre exposición, además de tener menor error absoluto y menor dispersión. Por otro lado, el modelo NMPB-08 genera predicciones de nivel menores en contraste con los valores reales medidos. Adicionalmente, el presente estudio contempló una validación del flujo vehicular, en donde se realizaron conteos de automotores con el fin de contrastar sus resultados con la información proporcionada por la Secretaría de Movilidad y, a la postre, poder realizar un análisis sobre la variación de nivel en dBA que puede suscitarse en la simulación del CADNA-A y su influencia que éste puede ejercer sobre los datos registrados.

ABSTRACT

The purpose of the present study is to validate the traffic noise map of the urban zone of the Metropolitan District of Quito (DMQ), developed by the Universidad de las Americas in 2017. The project's first stage focuses on performing short and long-term noise measurements across the urban territory, taking into account a traffic flow evaluation; whilst analyzing vehicular counts, aimed at verifying the DMQ's road classification scheme, established by the Office for Mobility Planning (EPMMOP). The validation consists of comparing the noise levels estimated by distinct predictive models generated by the simulation software CADNA-A (such as RLS-90, used during the current map construction), against those obtained across the initial stage of the project. Finally, the behavior of the validated model was studied, adapted to the DMQ urban zone characteristics, with the acquired data during the measured period, under a long-term methodology. Due to the sampling process that this project implies, it comes with a statistical analysis. As a result, the behavior of the RLS-90 predictive model is very similar with the swiss STL-86 model; nevertheless, this last one has great advantages at the moment of showing a clear overexposure tendency, beside that of showing a minor absolute error and a low dispersion. On the other hand, the NMPB-08 model generates lower level predictions in contrast with the real measured values. Additionally, the current study contemplated a traffic flow validation, where vehicle counts were made with the purpose of comparing their results with the given information by the Mobility Secretary and, in the future, making an analysis about the level variation in dBA that can arise in the CADNA-A simulation and its influence on the registered data.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Alcance	4
1.3 Justificación	5
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Ruido de Flujo Vehicular.....	6
2.1.1 Ruido de Tráfico Vehicular.....	7
2.1.2 Fuentes de Ruido Propias del Vehículo.....	8
2.2 Efectos del Ruido en la Salud Humana	14
2.2.1 Afecciones	15
2.3 Descriptores Acústicos.....	19
2.3.1 Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente (Leq).....	19
2.3.2 Nivel Diurno (Ld).....	20
2.3.3 Nivel Nocturno (Ln).....	20
2.3.4 Nivel Día-Noche (Ldn)	20
2.4 Mapas de Ruido.....	20
2.4.1 Tipologías de Mapas de Ruido	22
2.4.2 Datos Previos para la Construcción de un Mapa de Ruido.....	24
2.4.3 Modelamiento mediante Software de Predicción.....	25
2.5 Software de Modelamiento CANDIA-A	27
2.6 Modelos de Predicción de Ruido de Tráfico	28
2.6.1 Modelo de Predicción RLS-90	29
2.6.2 Modelo de Predicción STL-86.....	31
2.6.3 Modelo de Predicción NMPB Routes-08.....	32

2.7 Normativa	32
2.7.1 Niveles Máximos de Emisión de Ruido Permitidos en Fuentes Móviles de Ruido	32
2.7.2 De los Mapas de Ruido.....	33
3. METODOLOGÍA	34
3.1 Ámbito Geográfico de la Investigación	34
3.1.1 Territorio	34
3.1.2 Población	37
3.1.3 Condiciones Meteorológicas	39
3.1.4 Categorización Vial.....	39
3.2 Selección de Puntos de Medición	42
3.3 Instrumentación	45
3.4 Recolección de Datos	46
3.4.1 Condiciones de Campo.....	46
3.4.2 Mediciones.....	47
3.5 CADNA-A	48
3.6 Validación.....	50
3.7 Otros.....	53
4. RESULTADOS	54
4.1 Validación.....	54
4.1.1 Mediciones.....	54
4.1.2 Modelo Predictivo	56
4.1.3 Análisis	60
4.2 Validación del Flujo Vehicular	68
4.3 Influencia de Otras Fuentes.....	72
4.4. Resumen de Resultados	80
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
5.1 Conclusiones	83
5.2 Recomendaciones	85

REFERENCIAS	86
ANEXOS	92

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En la actualidad, el ruido resulta ser un factor de contaminación y uno de los principales responsables de la calidad de vida en entornos urbanos (Fritschi et al., 2011). Es posible analizar varias propuestas para mitigar los altos niveles de ruido presentes en una ciudad, mediante la recolección de información categorizada que exponga espacios de afectación relacionados al ruido, como el ruido provocado por el tráfico vehicular y el flujo que determina la clasificación vial. Así, Suárez y Barros (2014) realizaron el mapa de ruido de tráfico de Santiago de Chile, utilizando un software de predicción que toma como base la información territorial de la capital chilena. El estudio procura detectar las zonas más afectadas por el ruido proveniente de los distintos automotores que transitan a diario en el distrito, haciendo hincapié en la recolección de datos mediante mediciones de corta duración y el análisis de los niveles registrados en el día y la noche.

El mapeo del ruido es el proceso mediante el cual se analiza el impacto del ruido en el medio ambiente, con el fin de establecer políticas ambientales. Actualmente la mayoría de estos mapas estratégicos se basan en enfoques 2D y 3D que permiten la recolección de datos, como, por ejemplo: levantamientos topográficos, distribución de población, e incluso permiten cuantificar los efectos directos del ruido sobre la salud humana y el desarrollo urbanístico de una ciudad. La investigación descrita por Stoter et al., (2008) en su propuesta de mapeos 3D dentro de zonas urbanas, plantea una mejora en la evaluación del impacto del ruido en el medio ambiente, creando mapas 3D para casos en los que la difusión en el espacio (ya sea ciudades grandes o pequeñas) genera efectos relevantes.

Algunos mapas de ruido aportan con información de la contaminación acústica a partir de un modelo simplificado. Los modelos simplificados reducen la

cantidad de información necesaria en el uso de algoritmos predictivos para emisión y propagación de ruido, agrupando por categorías el flujo vehicular y concentrando las edificaciones en bloques. Así lo demuestran Bastián-Monarca et al., (2016) en su estudio para la ciudad de Valdivia, Chile, en el que se demostró que la información obtenida tras utilizar este método es válida para ser aplicada en ciudades, sobre todo, de alta densidad poblacional debido al bajo costo de inversión.

La importancia de los mapas de ruido radica en realizar una evaluación objetiva de la contaminación ambiental por ruido que una zona específica de un lugar determinado puede estar expuesta. La evaluación puede abarcar áreas delimitadas en donde los indicadores de ruido puedan o no superar los niveles permitidos, además del número de viviendas colindantes y la presencia de lugares sensibles como colegios u hospitales. El proceso puede ser llevado a cabo mediante el uso de un software de modelamiento y el despliegue de mediciones de ruido de las zonas, siempre tomando en consideración el margen de incertidumbre existente en la elaboración final del mapa de ruido. Así, Ausejo et al., (2010) establece una guía para determinar el posible margen de error de un mapa de ruido, independiente de la metodología utilizada, ya sea por medio de simulaciones, por mediciones de ruido o por el uso de ambas.

En la actualidad la mayoría de mapas de ruido son elaborados mediante herramientas y métodos computacionales, sin embargo, es todavía necesario realizar comparaciones entre los resultados obtenidos con los modelos predictivos y aquellos obtenidos en las mediciones. El modelado computacional optimiza el uso de recursos, personal y tiempo, mientras que los métodos que sugieren algún tipo de monitoreo presentan mayor exactitud y fidelidad en los resultados obtenidos, por ello resulta necesario establecer un margen de error entre ambos enfoques de trabajo con el fin de evaluar los resultados obtenidos. Así lo muestran Mioduszewski et al., (2011) en su estudio: validación de mapas de ruido mediante el monitoreo continuo de ruido en tiempo real, donde se

reúnen descriptores de niveles acústicos, propios de un mapeo, obtenidos con el objetivo de elaborar comparaciones entre los procedimientos de ensayos y los de un modelo predictivo.

Respecto al mapeo de ruido, es necesario mencionar las distintas normativas y documentos que hasta el momento han sido tomados en cuenta para efectuar mediciones exitosas, de manera que los resultados sean lo más cercanos a valores reales. Algunos de los documentos que corresponden a normas europeas donde la salud y el bienestar humano van de la mano con el desarrollo urbanístico, tecnológico y científico, pueden ser citados a continuación. Así, los documentos corresponden a Registros Europeos y a la directiva Europea (*Environmental Noise Directive*, 2002) tales como:

- Libro Verde de la comisión Europea de 1996 sobre la política de la lucha contra el ruido (Comisión Europea, 1996).
- Guía de buenas prácticas para un mapa estratégico de ruido y la producción de datos asociados con la exposición de ruido (GPG) (WG—AEN, 2007), entre otros.

Makarewicz y Galuszka (2011) respaldan la idea de la revisión empírica de un mapeo de ruido, en donde se destaca el uso de las normas de la metodología de medición y de la evaluación de parámetros ya mencionados. Al respecto se permiten verificar los resultados teniendo a consideración variables externas, pudiendo ser validados tanto en ciudades grandes, como en pequeñas y con poblaciones heterogéneas.

Para validar un mapa de ruido, se requiere de la selección objetiva de espacios de medición que permitan verificar los niveles de presión sonora generados por los modelos predictivos (Bastián-Monarca et al., 2016). Para ello se consideran distancias prudentes de separación entre los lugares y las superficies cercanas reflectantes, así como las distancias mínimas requeridas entre el personal que realiza la medición y el equipo de medición. Así lo demuestran Zannin y Fiedler

(2015) en la evaluación de la contaminación auditiva, en los exteriores del Hospital Universitario de Curitiba Paraná, mediante mediciones y mapas de ruido, donde se seleccionaron 45 puntos de medición a través de los cuales se pudo determinar que todos los espacios sobrepasan el límite diurno permitido para los alrededores del hospital.

Dentro de lo que conlleva realizar un mapa de ruido para una ciudad o una determinada zona, se establecen comparaciones entre los distintos valores registrados durante el periodo en el que se llevó a cabo el estudio. Las mediciones continuas de larga duración que son ejecutadas en lugares específicos representan un alto costo en cuanto a presupuesto, tiempo y riesgo del instrumento de medición. Es por esto que Romeu et al., (2011) en su estudio de la obtención de niveles mediante mediciones cortas, propone mediciones de 15 minutos con las que se establece un margen de error, que permita estimar la validez del periodo de tiempo, al respecto concluyen que existe un margen de error de $\pm 2\text{dB}$ entre el valor de ruido real y aquellos datos obtenidos durante el proceso de simulación y medición.

Dados estos antecedentes se evidencia la necesidad de realizar una validación cada vez que se elabore un mapa de ruido, de manera que se pueda verificar el margen de error generado por el modelo predictivo utilizado y el método de mediciones.

1.2 Alcance

El estudio plantea, la validación del mapa de ruido de tráfico vehicular de la zona urbana del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), mediante mediciones de corta duración. De manera que se reconozca uno de los primeros proyectos realizados en territorio ecuatoriano de esta índole y pueda ser, en determinado caso, el punto de partida para la reforma de la normativa actual (Norma Técnica Para Control De La Contaminación Por Ruido (Nt003), (2016), teniendo como base a las condiciones reales del distrito. Se puede hablar de

futuros planes de acción que procuren el bienestar de la ciudadanía expuesta y la protección del medio ambiente.

Dentro del DMQ existen 32 parroquias urbanas en las que se ubicaron 130 puntos de medición, que tienen a consideración distintos intervalos de tiempo, periodos del día, tipos de vía, flujo vehicular, además de condiciones climáticas y territoriales. Se estudia también el comportamiento del ruido de flujo vehicular durante el día (Ld) y durante la noche (Ln).

1.3 Justificación

El presente proyecto de investigación de la Universidad de las Américas, demuestra la necesidad de comprobar los resultados de distintos modelos de predicción, mediante mediciones acústicas. Los valores de ruido medidos proporcionan la información necesaria para validar algoritmos de cálculo utilizados por el software de predicción CADNA.

Debido a la falta de un modelo predictivo propio para el DMQ, la ejecución del proyecto plantea la comparación entre los niveles de ruido de tráfico generados por tres modelos predictivos correspondientes a: Alemania, Suiza y Francia, con los descriptores obtenidos durante la etapa de mediciones. La finalidad de esta validación consiste en definir un modelo predictivo que pueda ser utilizado en el DMQ y entornos similares.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Validar los resultados del mapa de ruido de tráfico de la zona urbana del Distrito Metropolitano de Quito, mediante mediciones acústicas en distintos puntos de la ciudad.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar mediciones acústicas de larga y corta duración que cumplan un procedimiento como el estipulado en la norma ISO 1996-2 (INEN, 2014), en lugares estratégicos del DMQ.
- Modelar a través del software de predicción CADNA-A, niveles de ruido de tráfico vehicular, bajo los parámetros establecidos por tres modelos predictivos.
- Comparar los resultados obtenidos durante el proceso de medición de corta duración, con los niveles simulados por los modelos de predicción.
- Validar mediante conteos vehiculares manuales, el flujo vehicular establecido por la Secretaria de Planificación y Movilidad, para cada tipo de vía del DMQ.
- Analizar el comportamiento durante el día y la noche, del modelo empleado en el mapa actual, mediante mediciones de 24 horas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Ruido de Flujo Vehicular

El automóvil se inventó en 1885 y desde entonces el ruido que genera se ha convertido en un problema ambiental que crece a ritmos alarmantes, cuyo impacto desestimado en algunos países en vías de desarrollo, se puede apreciar en la mayoría de los entornos urbanísticos actuales (Campello-Vicente, 2014).

La atención mínima que la sociedad ha presentado a la contaminación por ruido de tráfico implica en las personas el aumento de graves efectos y enfermedades. Entre algunos antecedentes se tiene, por ejemplo, que en el transcurso de los años 2011 y 2012 por lo menos 4 millones de trabajadores en Estados Unidos fueron expuestos a niveles de ruido que los condujeron a la pérdida de la audición (*The National Academies of Sciences Engineering Medicine*, 2017).

El ruido que proviene de un vehículo en movimiento es una de las principales fuentes emisoras de este contaminante en la mayoría de ciudades alrededor del mundo (González, 2013), ello debido a la necesidad de tener un medio de movilización diario que permita a las personas trasladarse a diferentes lugares de acuerdo a sus profesiones o *modus vivendi*. Por otro lado, se deben considerar los requerimientos de transporte que respaldan los diferentes sistemas industriales, comerciales, de servicios y administrativos. Mientras una conversación entre dos personas bordea aproximadamente los 55 dBA el ruido de flujo vehicular puede llegar a alcanzar entre los 80 y 90 dBA, llegando a compararse en algunos casos con el ruido emitido por un taladro mecánico (Alonso, 2014). Al respecto se puede considerar que existe una relación directa y de carácter exponencial entre el nivel de desarrollo que ha tenido una urbe y el grado de contaminación acústica que ha impactado a su población, teniendo en cuenta el aumento considerable del número de vías y tráfico vehicular.

En estudios que conciernen al incremento total del flujo vehicular de una ciudad, se han encontrado entre sus principales causas: el incremento poblacional, la expansión urbana y el incremento de vehículos, situaciones que han venido creciendo desde la década de los años 60 (González, 2013). El uso de variables para el manejo de modelos de predicción y estimación del ruido vehicular son parte fundamental en su desarrollo; mismas que son: flujo vehicular, tipo de vía, proporción de vehículos pesados y livianos, tipo de asfalto y zonas urbanas específicas a analizar.

2.1.1 Ruido de Tráfico Vehicular

Con el fin de analizar el ruido producido por el tráfico vehicular es necesario clasificar los vehículos, además se deben considerar otros factores como:

- Tipo de vehículo (pesados, livianos y motos).
- Diseño corrector de ruido implementado en su carrocería y cabinas internas (uso de resonadores, material especial aislante de ruido para el

interior del automotor, utilización de elementos amortiguadores para evitar la transferencia de ruido por medio de vibraciones).

- Condiciones del vehículo (kilómetros recorridos por el automóvil, condiciones del motor, estado de la carrocería y elementos principales del vehículo).
- Tipo de transmisión y cilindraje.

Así, existen actualmente dos tipos de procedimientos para medir el nivel de ruido generado por un automóvil: el primero de ellos se encuentra en la normativa ISO R362:1961, mientras que el segundo está descrito en la normativa inglesa BS 4325:1966 (Bartí, 2010).

2.1.2 Fuentes de Ruido Propias del Vehículo

Gracias a los avances tecnológicos logrados en las últimas décadas, se tiene actualmente vehículos un tanto más silenciosos en comparación con modelos antiguos; sin embargo, existe aún una fuente que supone una contribución energética importante: el ruido del motor y de los neumáticos (también conocido como “ruido de rodadura”). Existen también otros factores generadores de ruido en un automóvil, tales como:

- Tubo de escape
- Sistema de transmisión
- Modelo aerodinámico del automóvil
- Sistema de refrigeración interna y cilindraje

La contribución energética de los factores anteriormente citados, a excepción del ruido aerodinámico, no resulta ser muy representativa, por lo que no serán analizados a fondo durante el presente estudio. A continuación, se detallan algunos aspectos importantes:

2.1.2.1 Ruido Producido por el Motor

También conocido como “ruido del tren de potencia”, abarca el ruido provocado por el motor (incluyendo los sistemas de admisión, combustión y escape), además de los sistemas de transmisión y refrigeración. Hasta hace algunos años era considerada como la principal fuente de ruido en vehículos de propulsión a motor, pero los avances en ingeniería fueron reduciendo su contribución al global de ruido emitido por automotores, llegando a depender únicamente de la carga y velocidad de las revoluciones por minutos propias del motor (Alonso, 2014). Este tipo de ruido es poco dependiente de la velocidad, aunque se da la situación de que depende mucho de la carga y revoluciones del motor, debido al mecanismo de cambio de marchas de los automóviles.

2.1.2.2 Ruido Aerodinámico

Tipo de ruido producido por el flujo de aire que circula a través del vehículo. Por lo general no resulta ser un ruido muy problemático en contraparte con el exterior del automóvil, por lo menos para velocidades que no superen los 120 km/h. Las mejoras en el diseño aerodinámico de los automóviles, con el fin de cumplir con los requisitos del consumo de combustible, han conseguido una notable reducción de este ruido. Sin embargo, dado que el ruido aerodinámico puede llegar a ser muy molesto dentro del automotor, se intenta también minimizarlo con el objetivo de conseguir confort acústico y calidad sonora (Alonso, 2014).

2.1.2.3 Ruido de Neumáticos

También conocido como “ruido de rodadura”, es producido por la interacción de los neumáticos con la calzada durante la etapa de movimiento del vehículo (Alonso, 2014). A elevadas velocidades este tipo de ruido junto con el producido por el diseño aerodinámico de carrocería es el que más influencia tiene en un automotor; existen 5 factores que determinan el nivel de ruido emitido:

- Ruido de rodadura producido por la influencia de fuerzas tangenciales, es decir, cuando se realiza un giro de las llantas en interacción con el pavimento (Alonso, 2014).
- Ruido emitido por el aire atrapado dentro de los surcos del neumático, mismo que sale disparado cuando éste último es girado.
- Ruido producido por la influencia de fuerzas longitudinales, es decir, el roce de las gomas del neumático con el asfalto cuando se frena o acelera (Alonso, 2014).
- Vibración de la carcasa y aro del neumático.

El hecho de que el ruido del motor no dependa en su mayor parte de la velocidad, y que el ruido de neumáticos aumente linealmente con la misma, produce que a partir de una rapidez determinada la principal contribución de ruido en un automóvil se atribuya a la rodadura (Alonso, 2014). Pese a la información antes citada, existen todavía desacuerdos entre algunos autores en que el ruido producido por el motor dependa tan poco de la velocidad, tal y como puede verse en la siguiente figura, en donde se muestran las distintas contribuciones de ruido a en un automóvil a motor.

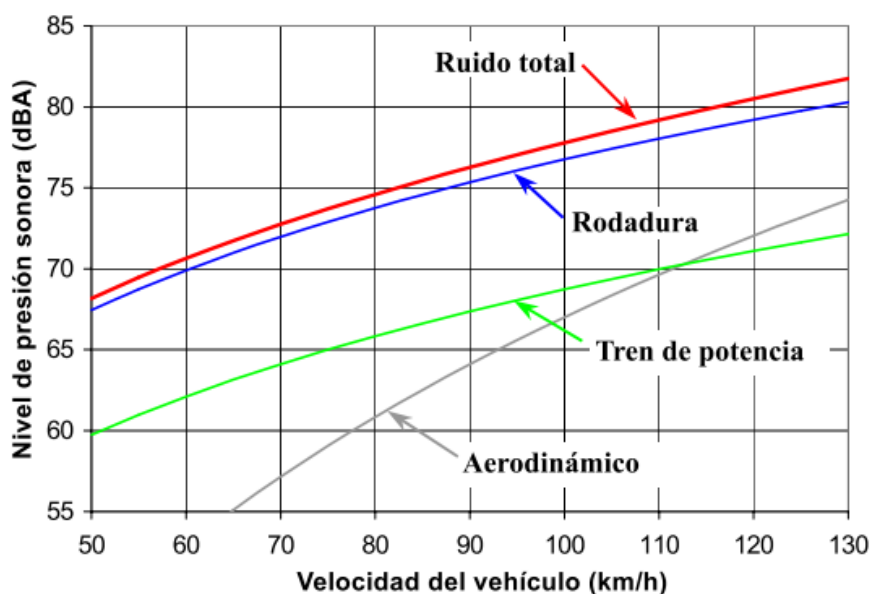


Figura 1. Contribución de las diferentes fuentes de ruido en carreteras.
Tomado de (Alonso, 2014)

2.1.2.4 Ruido de Frenos

Los frenos en buen estado no generan algún tipo de ruido perceptible por los pasajeros o peatones, sin embargo, cuando éstos ya han llegado a un desgaste considerable, el ruido generado puede llegar a ser muy molesto. Éste puede ser generado por el rozamiento de las pastillas y la superficie del disco de la llanta, o por la pérdida de elementos amortiguadores destinados a absorber las vibraciones causadas por las pastillas de freno. Las frecuencias generadas por este tipo de ruido suelen situarse, por lo general, entre 4000 y 8000 Hz. A continuación, se exhibe los elementos que actúan en el sistema de frenos de un vehículo a combustión (RO-DES, 2010).

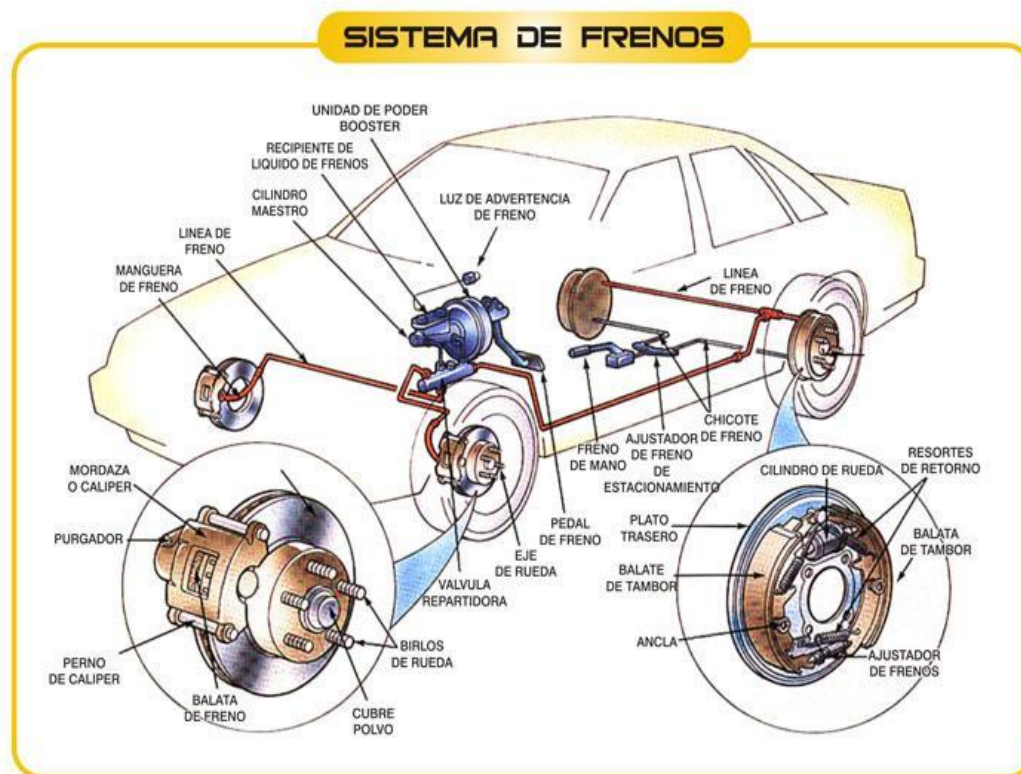


Figura 2. Sistema de frenos de un vehículo a combustión.

Tomado de (RO-DES, 2010)

2.1.2.5 Superficie de la Calzada

El ruido de los neumáticos posee algunas componentes diferenciadas; si bien algunas se producen debido a fenómenos ajenos, gran parte de ellas son

generadas por la interacción directa entre llanta y calzada, por lo que es necesario estudiar las características tanto de la superficie de rodadura como la de los neumáticos, de manera que estos mecanismos puedan ser caracterizados. Dentro de la gran variedad de calzadas, se hará hincapié en las de tipo asfaltadas, puesto que son las más utilizadas en la mayoría de urbes a nivel mundial; éstas, por lo general, están compuestas de gravilla y aglomerante. En cuanto a la generación de ruido, tomando en cuenta los tipos de pavimento, el aspecto más importante de una calzada asfaltada viene a ser su textura, misma que se define como la desviación del pavimento de una superficie totalmente plana (Alonso, 2014). Es decir, que las diferentes rugosidades características que se encuentran en el pavimento son lo que componen su textura.

La textura es una longitud de onda y es obtenida como el inverso de la frecuencia espacial. Se distinguen las siguientes (Alonso, 2014):

- Mega textura: Su longitud de onda está comprendida entre 50mm y 50mm., siendo esta una característica no deseada y producida por defectos en la construcción de las vías, o también causada por desgaste. Las más comunes son baches, ondulaciones e irregularidades en la calzada.
- Micro textura: presencia de pequeñas piedras u otras partículas que componen la superficie directamente en contacto con las llantas. Afecta la percepción de la dureza de la carretera y su longitud de onda es menor a 0,5mm.
- Macro textura: Su longitud de onda está comprendida entre los 0,5mm y 50mm. Se remite a valores concretos durante la construcción de la vía con el fin de favorecer el drenaje de agua. Es obtenida mediante diversas técnicas de acabado de asfalto.

Las irregularidades con longitudes de onda que superan las mega texturas son conocidas como irregularidades o desniveles, y no ejercen una directa

influencia en cuanto a mecanismos de generación de ruido, sino más bien pueden llegar a tener influencias indirectas en el conductor (la manera de conducir, por ejemplo).

De igual manera, la clasificación de la calzada según la textura desarrollada por la AIPCR (Asociación Mundial de Carreteras) y sus efectos en la conducción, son representados en la siguiente figura:

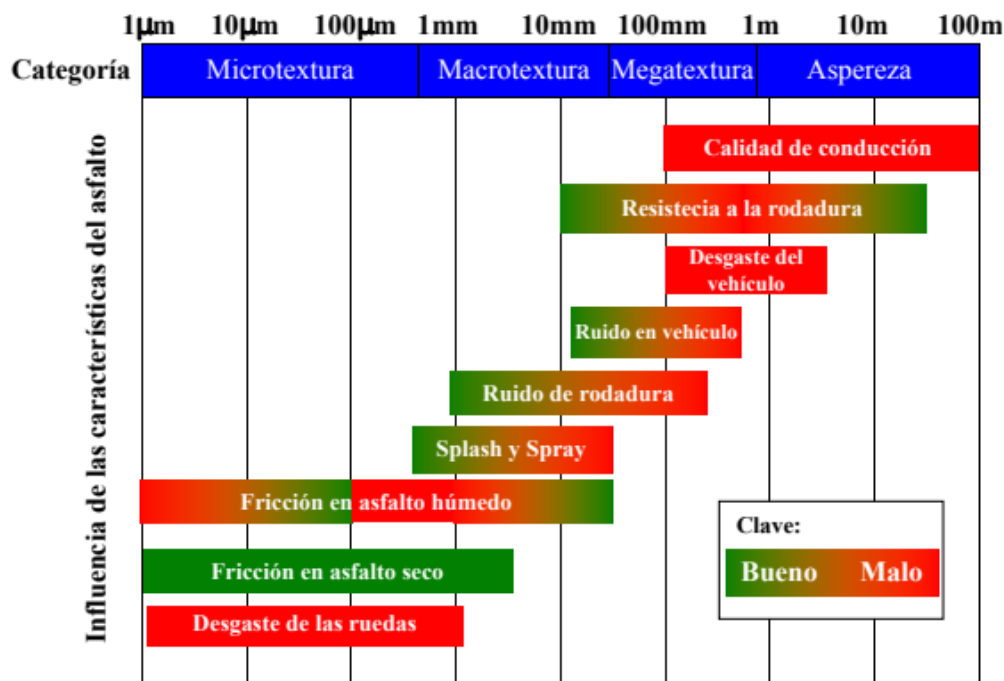


Figura 3. Aspectos afectados por la textura del asfalto.

Tomado de (Alonso, 2014)

2.1.2.6 Neumáticos

Los neumáticos son la parte que une al automóvil con la calzada y poseen una influencia directa, no solamente en el confort percibido durante la etapa de conducción y en el agarre con el asfalto, sino también en el ruido generado (Bastián-Monarca et al., 2016). Con el pasar de los años la calidad de llantas ha ido mejorando de manera muy notable, variando su composición interna, los materiales y los procesos de fabricación utilizados durante su concepción hasta

los días actuales. Los materiales de los que un neumático típico está compuesto pueden ser apreciados en la siguiente figura:



Figura 4. Partes de un neumático típico.

Tomado de (Alonso, 2014)

El ruido de rodadura se ha ido reduciendo progresivamente conforme la calidad de los neumáticos ha ido evolucionando, se han logrado obtener reducciones de ruido que van de la mano con el mejoramiento del consumo de combustible. Diversas variables influyen en el ruido de rodadura generado, siendo la más importante de ellas la composición y los surcos de la banda de rodadura (Bartí, 2010).

2.2 Efectos del Ruido en la Salud Humana

El ruido es un contaminante generado por diferentes fuentes de emisión fijas y móviles, entre ellas las provenientes de: maquinaria industrial en edificaciones, electrodomésticos, medios de transporte, construcciones, actividades comerciales, eventos de carácter social, espectáculos deportivos, industrias, animales domésticos, entre otros. Diferentes tipos de ruido como los que se encuentran en el interior de edificaciones o viviendas pueden ser controlados

por métodos de aislamiento y acondicionamiento acústico, a diferencia del ruido emitido por automóviles, que es una fuente externa y que representa mayor importancia al ser recurrente en sistemas urbanos (Murphy y King, 2014).

2.2.1 Afecciones

Los efectos del ruido en las personas no solamente son de largo plazo sino inclusive acumulativos. Estudios en relación con los daños ocasionados por el ruido en la salud humana (Fritschi et al., 2011) han sido desarrolladas, pudiendo clasificar las distintas afecciones dentro del rango del bienestar físico, mental y social. Las afecciones producidas por el ruido de flujo vehicular se relacionan con alteraciones psicológicas, fisiológicas, o incluso ambas; la magnitud de dichos efectos es asociada con la exposición a niveles altos de ruido y lapsos muy prolongados.

Además de las afecciones citadas, Fritschi et al., (2011) muestran que el ruido de tráfico produce problemas en los seres humanos como *tinnitus*, mal funcionamiento del sistema cognitivo, enfermedades cardiovasculares, estrés y distracción involuntaria. A continuación, se exponen a manera de escala los niveles de ruido que un ser humano percibe.

SALUD Y NIVELES DE RUIDO

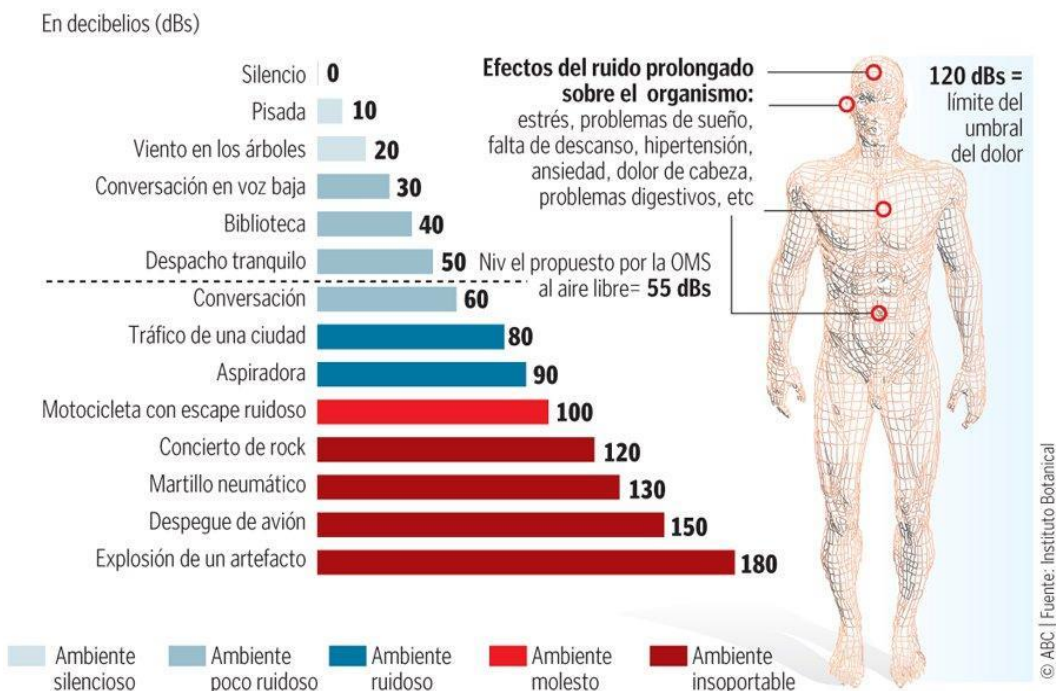


Figura 5. Salud y niveles de ruido percibidos por el ser humano.

Tomado de (FranMass, 2011)

Los principales problemas de salud relacionados con el ruido, en general, son los siguientes:

2.2.1.1 Impedimento Auditivo

Se trata de la pérdida de audición (aumento en el umbral auditivo), *paracusia* (distorsión) y *tinitus* (ruidos temporales o permanentes). Estos efectos perturban las actividades diarias e interfieren en aspectos cotidianos de la vida como escuchar el sonido del teléfono, el timbre, el despertador, alarmas o música. El mayor riesgo de pérdida radica en las frecuencias de 3.000 a 6.000 Hz, aunque en exposiciones de larga duración también se afecta en los 1000 y 2000 Hz (Fritschi et al., 2011).

El nivel de ruido es considerado aceptable hasta los 60 dBA, pero de ese punto en adelante se presentan molestias que son tomadas como más desagradables, hasta llegar al límite de 130 dBA con afectaciones graves, generando pérdida auditiva al llegar a los 140 dBA. Incluso las exposiciones en

periodos cortos por debajo de los 100 dBA pueden causar daños irreversibles al oído (Miyara, 2001).

2.2.1.2 Interferencia en la Comunicación

Produce incapacidad y alteraciones en el comportamiento humano, Incluyendo problemas de falta de concentración, náuseas, falta de confianza, mal humor, tergiversaciones, pérdida de aptitud para el trabajo, problemas para relacionarse con otras personas y estrés.

Una conversación común se desarrolla entre los 50 y 55 dBA, de manera que exista una inteligibilidad adecuada, la relación entre el habla y ruido debe limitarse a un margen de 15 – 18 dBA. Los ruidos que superan los 35 o 40 dBA generan problemas en la comunicación oral. Desde los 65 dBA los diálogos llegan a ser considerablemente incomprensibles (Fritschi et al., 2011).

2.2.1.3 Dificultad para Dormir

El 80 y 90% de las molestias padecidas por las personas en cuestiones de conciliar el sueño, se encuentran las relacionadas al ruido de comunidad (Fritschi et al., 2011). Algunos de estos problemas son: dificultad para dormir, despertar numerosas veces en la noche, menor profundidad de sueño, aumento de la presión sanguínea y de los latidos del corazón, vasoconstricción, alteraciones en la respiración, arritmia cardiaca y mayor movimiento durante la etapa de sueño. Además, se presentan efectos retardados como náuseas, bajo rendimiento, irritación, uso de medicamentos e incluso desórdenes mentales.

Existe también una conexión entre el tráfico vehicular presente durante la noche y muchos de las enfermedades citadas anteriormente, así como una dependencia directa entre el número de veces que se despierta una persona y el nivel de ruido presente durante las horas de sueño. Respecto a ruidos impulsivos o continuos su incidencia es notoria en: la longevidad de las personas, el intervalo de los ruidos, la presencia de vibraciones y el nivel de

presión sonora. Así también, se observó que la relación entre el insomnio y la distancia a la vía en niveles de ruido superiores a 50 dBA, es inversamente proporcional, por ello los autores definen el problema como de carácter epidemiológico (Fritschi et al., 2011).

2.2.1.4 Efectos Cardiovasculares y Fisiológicos

Estudios epidemiológicos en relación con el ruido de tráfico y los efectos cardiovasculares han sido llevados a cabo tanto en adultos como en niños, haciendo hincapié en el análisis de la presión sonora, hipertensión y enfermedades isquémicas del corazón como problemas cardiovasculares irreversibles. La evidencia, en general, de una asociación positiva ha aumentado en los últimos años, siendo la más notoria la relación entre el ruido de tráfico con el incremento de enfermedades al corazón, incluyendo infartos de miocardio. Los ruidos de alta frecuencia pueden alterar el sistema nervioso y hormonal, ocasionando desórdenes como la variación de la tasa y vasoconstricción, cambios en la presión sanguínea, hipertensión, alteraciones en el grado de viscosidad en la sangre y lípidos, así como también alteraciones en los balances electrolíticos del cuerpo, cambios hormonales en la epinefrina y los niveles de cortisol (Fritschi et al., 2011).

2.2.1.5 Salud Mental

Se evidencian distintas consecuencias en la salud como estrés, ansiedad, fatiga, dolor de cabeza, pérdida argumentativa, inestabilidad emocional, impotencia sexual, incremento de conflictos sociales, cambios de humor, irritabilidad y desórdenes psiquiátricos como histeria, neurosis y psicosis. También se especula que puede llevar al consumo de drogas, tranquilizantes y pastillas para dormir (Fritschi et al., 2011). Ha sido ampliamente documentado que la exposición al ruido afecta la memoria, capacidad de atención, motivación, lectura y desempeño en tareas cognitivas complejas; hecho que incita a un número mayor de accidentes (Sasazawa et al., 2014).

Los ruidos en vecindarios generan molestia, distracción, agitación, cansancio, agresividad, mal humor, impotencia, decepción, ansiedad, depresión, alteraciones de comportamiento, insolidaridad, quejas y conflictos.

2.3 Descriptores Acústicos

El análisis realizado en el presente proyecto se ha basado en la utilización de los siguientes descriptores acústicos:

2.3.1 Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente (Leq)

Descriptor estudiado en los 60's, utilizado principalmente para evaluar el nivel de exposición sonora al que un trabajador ha sido sometido durante cierto periodo de tiempo (Miyara, 2001). Está definido como el ruido de nivel constante que provee una cantidad de energía similar al ruido fluctuante medido. Nivel de presión sonora continuo equivalente puede ser calculado partiendo del valor medio cuadrático de la presión sonora (en ponderación A) dentro de un periodo determinado de observación (t), mismo que es igual a $t_2 - t_1$. Así, puede ser expresado en la siguiente ecuación:

$$L_{Aeq} = 10 * \log \left(\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{P_A^2(t)}{P_{ref}^2} \right) * dt \right) \text{ [dBA]} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Los instrumentos de medición de ruidos como un sonómetro pueden ser programados para proporcionar un nivel continuo equivalente cada t segundos, en donde las variaciones de t_i pueden ser calculadas con la siguiente ecuación:

$$L_{Aeq} = 10 * \log \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N \Delta t_i * 10^{\frac{(L_{\lambda m})}{10}} \right) \text{ [dBA]} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde N es el número total de intervalos en los que la variable t está dividida y (LAeq) corresponde al nivel continuo equivalente en ponderación A dentro del intervalo *i-ésimo*, siendo todos los intervalos de recolección de muestras de una misma duración, es decir, que la variación de t_i sea igual a la variación de t. Así, la ecuación anterior se simplifica de la siguiente manera:

$$L_{Aeq} = 10 * \log \left(\frac{\Delta t}{N * \Delta t} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{(L_{\lambda m})}{10}} \right) = 10 * \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{(L_{\lambda m})}{10}} \right) [\text{dBA}] \text{ (Ecuación 3)}$$

2.3.2 Nivel Diurno (Ld)

Nivel sonoro medio a largo plazo en ponderación A, establecido en la norma ISO 1996-2: 1987, en donde el índice de ruido está asociado a la molestia concerniente al periodo de un día. Se habla de un periodo de 15 horas diurnas distribuidas de acuerdo a la localidad, en algunos escenarios nacionales corresponde al horario de 7am a 10pm.

2.3.3 Nivel Nocturno (Ln)

Nivel sonoro medio a largo plazo en ponderación A, establecido en la norma ISO 1996-2:1987, en donde el índice de ruido corresponde a la alteración del sueño en ciclos nocturnos de 9 horas, en algunos casos dentro del periodo de 10pm a 7am, dependiendo de la localidad donde las mediciones sean realizadas.

2.3.4 Nivel Día-Noche (Ldn)

Nivel sonoro medio producido a lo largo del día ponderado a un año, expresado en ponderación A y determinado mediante la siguiente expresión:

$$L_{dn} = 10 * \log \frac{1}{24} \left(15 * 10^{\frac{L_d}{10}} + 9 * 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) [\text{dBA}] \quad \text{(Ecuación 4)}$$

2.4 Mapas de Ruido

Un mapa de ruido puede ser definido como una compilación de datos, que hacen referencia a una situación acústica existente o pronosticada, basado en descriptores de ruido y en el que se hace hincapié en cualquier exceso de los valores límite establecidos por las normas del país donde se efectúe el análisis, así como también el número de personas perjudicadas y edificaciones expuestas (Stoter et al., 2008).

Los mapas de ruido permiten realizar evaluaciones objetivas considerando una realidad acústica existente dentro de una determinada zona urbana, determinando exceso en los límites de determinadas zonas, cantidad de viviendas, centros educativos y de salud sometidos a niveles de ruido superiores a los permitidos. Para estas evaluaciones, se puede tratar un entorno concreto mediante los distintos descriptores de ruido, además de considerar factores que pueden incrementar o disminuir los niveles de ruido, como: tipo de calzada, flujo vehicular, condiciones meteorológicas, entre otros. Los mapas de ruido representan, de esta forma, una herramienta de gestión indispensable para autoridades responsables de una gestión urbanística correcta, además de ser también un reflejo de la realidad acústica a la que los habitantes de una ciudad están expuestos a diario (Campello-Vicente, 2014).

Los resultados de un mapa de ruido pueden desembocar, en su mayoría, en un plan de acción a escala local, buscando reducir los niveles de ruido general que excede los límites permitidos por las normas competentes dentro de un distrito metropolitano y el malestar en las personas expuestas al ruido.

A la hora de implementar un plan de acción, se deberán incluir los siguientes apartados:

- Situación acústica existente en función de un indicador acústico (ruido).
- Comparaciones entre límites establecidos y el exceso de ruido existente. Se deberán identificar las zonas donde se encuentre mayor afección y las que deban recurrir a un plan de acción.
- Identificación de zonas tranquilas o de especial atención acústica.
- Estimación del número de viviendas, centros educativos y centros de salud expuestos al ruido dentro del área de estudio.
- Porcentaje estimado de la población expuesta al ruido.
- Superficie total afectada por la exposición al ruido.

La realización de un plan de acción prevé una reducción considerable de la población que está expuesta al ruido, además de la conservación de las áreas silenciosas existentes. Dichos planes deben ser revisados cada 5 años (END, 2002) con el fin de asegurar que se estén llevando a cabo de la manera más adecuada. Estos planes abarcan varios campos y tienen medios para ser ejecutados eficazmente:

- Planificación de transporte.
- Planificación urbana.
- Optimización de fuentes de ruido.
- Optimización de aislamientos acústicos.
- Regulaciones dentro del marco legal.
- Incentivos o penalizaciones económicas.
- Sensibilización y educación.

2.4.1 Tipologías de Mapas de Ruido

Dentro de la planificación elaborada por la Comisión Europea, se tratan dos tipos de criterio en cuanto a la contaminación acústica: el emisor (quién contamina) y el receptor (quién es afectado), por ello la atención se centra en poblaciones humanas de mayor densidad o grupos sensibles que deben ser protegidos. Los mapas de ruido son elaborados de acuerdo con los siguientes puntos:

- Aglomeraciones.
- Principales carreteras y autopistas.
- Líneas de tren de vasta extensión.
- Aeropuertos.

De acuerdo a la Directiva Europea de Ruido Ambiental, el resto de actividades humanas no se toma en cuenta en la realización de mapas estratégicos, dejando de lado una importante fuente de ruido en ciudades densamente

pobladas (END, 2002). Un mapa de ruido contará también con dos partes fundamentales:

- Mapa de nivel sonoro:
Refleja los niveles sonoros de un terreno mediante líneas isofónicas a partir de cálculos de propagación sonora en puntos receptores dispuestos en una determinada zona de estudio.
- Mapa de exposición a ruido:
Se toman en cuenta edificios, viviendas y población expuesta a determinados niveles de ruido. Los niveles sonoros son medidos en la fachada de la edificación y el efecto producido por las reflexiones es descartado.

Los mapas estratégicos de ruido están diseñados para evaluar, de manera global, la exposición al ruido en un área definida y que es afectada por distintas fuentes generadoras de ruido; o en general, para predecir los niveles de exposición de un área grande. Mientras que el mapa de ruido tiene como único fin el presentar datos de ruido, el estratégico se enfoca en evaluar la exposición de ruido, siguiendo los estatutos impuestos por la Directiva de Ruido Ambiental (Hernández-Molina y Cueto-Ancela, 2007), tomando en cuenta la población y viviendas expuestas, además de las zonas donde los valores límite están siendo superados y el ruido generado por fuentes de transporte e industria (Suárez y Barros, 2014).

Un mapa estratégico de ruido sigue los lineamientos descritos por la Comisión Europea, teniendo en cuenta algunos criterios metodológicos muy específicos con el único fin de poder abrir la posibilidad a una comparación con el resto de países de la Unión Europea. Todos los países están bajo la obligación de mostrar la información recolectada (además de los resultados) a la población en general (Mioduszewski et al., 2011).

2.4.2 Datos Previos para la Construcción de un Mapa de Ruido

Los parámetros tomados en cuenta para definir una metodología a llevar a cabo dentro de un mapa de ruido están en función de:

- Objetivo del mapa de ruido.
- Planificación de las mediciones de niveles de ruido.
- Métodos de medición.
- Descriptores acústicos utilizados durante las mediciones.

Antes de desarrollar un mapa de ruido, es necesario tener en cuenta los siguientes datos de entrada previos:

- Receptores de ruido:
 - Censo poblacional, escolar y de centros de salud.
 - Autoridades involucradas.
 - Receptores cercanos a la infraestructura a analizar.
 - Uso y tipología de los suelos según el punto de vista de zonificación acústica.
 - Datos cartográficos actualizados.
- Fuentes de ruido:
 - Descripción de las vías por donde circule el tránsito.
 - Discretización de fuentes de ruido.
 - Ruido de fondo.
 - Datos de locación, dimensiones y flujo de tráfico.
 - Modelamiento de un tramo dado y sus respectivas intersecciones.
 - Densidad de circulación de autos.
 - Velocidad de los autos
 - Puntos de aceleración y frenado (semáforos, parterres).

2.4.3 Modelamiento mediante Software de Predicción

Tomando en cuenta la gran multiplicación de modelos matemáticos capaces de realizar predicciones de ruido, a partir de la década de los 90's se vuelve una costumbre el utilizar software de simulación de ruido en ambientes exteriores, en donde su geografía resulta tan extensa que los límites de tiempo delineados en los márgenes de un proyecto resultan casi inalcanzables (Mioduszewski et al., 2011).

La Directiva Europea de ruido ambiental (END, 2002) ha establecido que los mapas de ruido deben ser realizados a través de métodos de medición o de cálculo, así como dicho procedimiento deberá basarse en técnicas de simulación, validando resultados mediante medidas experimentales (Campello-Vicente, 2014). Con el constante crecimiento de los *softwares* de predicción de niveles de ruido, también se suscita un aumento en las comparaciones existentes entre fabricantes de dichos programas, por lo que también se comienza a utilizar entornos de sistema de gestión de datos de entrada en la elaboración de mapas de ruido.

Así, la Directiva Europea de ruido ambiental se vio en la necesidad de establecer ciertas recomendaciones a la hora de desarrollar un mapa de ruido. Entre otras cosas, se han establecido algunos valores por defecto y posibles soluciones para la correcta obtención de datos necesarios para el desarrollo de un mapa de ruido, entre las que se tienen los siguientes tres grupos:

- Datos relacionados con fuentes de ruido (Flujo de tráfico en determinados horarios, velocidad media del tráfico en determinados horarios, composición y categorización de tráfico, tipo de calzada, pendientes en la carretera).
- Datos relacionados con propagación sonora (elevaciones del terreno en las proximidades de la fuente, cunetas, rompe velocidades, tipo de calzada, coeficiente de absorción sonora de edificios y barreras acústicas, humedad, temperatura).

- Datos relacionados con receptores de ruido (estimación de un número poblacional dentro de una vivienda residencial, determinación de número de viviendas en base a conteos de edificios residenciales y número de habitantes por vivienda, asignación de niveles de ruido a residentes de viviendas en varias localizaciones de la urbe).

Además, se tiene en consideración los modelos geográficos basados en mapas reales de levantamientos topográficos recientes. Los sistemas de gestión, análisis y representación de datos resultan ser una herramienta muy útil a la hora de crear un modelo acústico (Ausejo et al., 2010), ya que facilitan la tarea de un post proceso de geometría de datos como:

- Ajuste de geometría a ser tratada posteriormente por software de simulación acústica.
- Reconstrucción topográfica.
- Conversión de modelos 2D a 3D.
- Validación de elementos duplicados o erróneos.
- Combinación de elementos con atributos distintos.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten crear un modelo acústico que trabajará juntamente con un motor de cálculo, en donde se tendrán formatos compatibles y coherencia entre datos provenientes de distintas plataformas o software.

2.4.3.1 Recolección de datos

Proceso vital para poder realizar cálculos que garantice resultados fiables. Generalmente la información prioritaria es la proveniente del flujo de tráfico en las calles evaluadas. Con respecto a las edificaciones existentes en los límites de las rutas analizadas se deberá contar con la altura y geometría de los edificios, además de su estructura y materiales presentes en fachadas. También, dependiendo del método de cálculo que se vaya a utilizar, será

necesaria la información meteorológica y topográfica, donde se incluyen la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento (Campello-Vicente, 2014)

A continuación, se enlistan los datos de entrada necesarios para la elaboración del mapa de ruido:

- Datos del emisor:
 - Flujo vehicular
 - Industrial
 - Datos acústicos

- Datos ambientales:
 - Cobertura del piso
 - Edificaciones
 - Obstáculos
 - Factores meteorológicos
 - Datos acústicos

- Datos demográficos:
 - Límites de ruido
 - Estructura poblacional
 - Edificaciones
 - Urbana
 - Datos acústicos

2.5 Software de Modelamiento CANDA-A

CADNA-A (*Computer Aided Noise Abatement*) es un software diseñado para el cálculo y simulación de la exposición a ruido aéreo de algunos contaminantes atmosféricos, como, por ejemplo: emisión de ruido industrial, *malls*, parqueaderos, autopistas, líneas ferroviarias y tráfico vehicular. Este programa de simulación resulta ser una herramienta muy útil a la hora de validar estudios extremadamente extensos y de carácter científico, gracias a su capacidad de

modelar en 3 dimensiones un entorno natural, además de su método de cálculo basado en más de 30 modelos acústicos, tanto europeos como norteamericanos.

CADNA-A permite diseñar mapas de ruido en fachadas de edificios para representarlos en un espectro de colores correspondiente a una categorización de niveles de presión sonora, además implementando un procesado en paralelo entre ordenadores reduce el tiempo de cálculo en mapas de ruido a gran escala mediante el *Program Controlled Segmented Processing*. Es necesario tomar en cuenta que, al tratarse de un software de simulación, existe un cierto grado de incertidumbre en los resultados que son puestos en consideración al final de una validación.

2.6 Modelos de Predicción de Ruido de Tráfico

Un primer intento de predicción de ruido vehicular fue realizado en la década de los 50's La idea consistía en evaluar, principalmente, un indicador percentil (L50), definido como un nivel de ruido excedido en un 50% en un periodo de medición establecido. Este modelo hace referencia a un flujo continuo, tomando como variable una velocidad constante y omitiendo algún tipo de categorización vehicular. Toma también como referencia la distancia de 6 metros para efectuar una medición.

La ecuación correspondiente a este indicador es la siguiente:

$$L_{50} = 20 + 10 * \log\left(\frac{Qv^2}{d}\right) + 0,4P \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

- Q = volumen de tráfico de vehículos por hora
- d = distancia desde el punto de observación al centro del carril de la calzada, medido en pies.
- v = velocidad de los vehículos en millas por hora.
- P = porcentaje de vehículos presentes durante la medición.

2.6.1 Modelo de Predicción RLS-90

Estándar nacional alemán para la predicción de ruido de tráfico que cuyas siglas corresponden a *Richtlinien für den Lärmschutz an Straben* y que fue una mejora para el antiguo estándar, el RLS81. El modelo RLS90 es un modelo efectivo de cálculo que permite determinar la clasificación de nivel de ruido de tráfico y es el método de cálculo más relevante utilizado en Alemania. El modelo requiere datos de entrada con respecto a un promedio de horas determinado de flujo de tráfico, categorizado por motocicletas, vehículos livianos y pesados, la velocidad promedio de cada grupo, la dimensión, geometría y tipo de calzada y obstáculos tanto naturales como artificiales dentro de la vía. Este modelo toma también en consideración las principales características que influyen en la propagación de ruido, tales como absorción del aire, reflexiones y difracción del sonido. Este modelo hace posible la verificación de la reducción de ruido producido por barreras (Quartieri et al., 2009).

El punto de partida para su cálculo es el nivel promedio L_{mE} medido a una distancia de 25 metros desde el centro del carril de la calzada. Este L_{mE} es una función de la cantidad de vehículos por hora Q y del porcentaje de camiones pesados P (peso mayor a 2.8 toneladas), bajo condiciones ideales (por ejemplo, a una velocidad de 100 km/h, con una pendiente en la calzada por debajo del 5% y con una superficie de rodadura especial). Analíticamente el L_{mE} está dado por:

$$L_{mE} = 37,3 + 10 * \log(Q(1 + 0,082P)) \quad (\text{Ecuación 6})$$

El siguiente paso es el de cuantificar las distintas desviaciones de estas condiciones ideales por términos de correcciones para la “velocidad real” la pendiente real de la calzada o la superficie real, etc. Esta corrección depende del periodo diurno (07h00 – 21h59) o del nocturno (22h00 – 06h59) que sea considerado para llevar a cabo la predicción, por lo que para cada escenario el nivel medio en dBA, L_m , es calculado como:

$$L_m = L_{mE} + R_{SL} + R_{RS} + R_{RF} + R_E + R_{DA} + R_{GA} + R_{TB} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

- R_{SL} = corrección para el límite de velocidad
- R_{RS} = corrección por tipo de calzada. Está dado por una tabla y depende del tipo de superficie y velocidad del vehículo. Sus rangos van de 0 a 6 dBA
- R_{RF} = corrección para irregularidades a lo largo de la calzada.
- R_E = corrección para características de absorción de la calzada.
- R_{DA} = coeficiente de atenuación que toma en cuenta la distancia desde el receptor y la absorción del aire.
- R_{GA} = coeficiente de atenuación dado por las condiciones atmosféricas y de suelo.
- R_{TB} = coeficiente de atenuación dado por la topografía y dimensiones de la calzada.

En particular, el RSL está dado por la siguiente fórmula:

$$R_{SL} = L_{PKW} - 37,3 + 10 * \log \left(\frac{100 + (10^{0,1D} - 1)P}{100 + 8,23P} \right) \quad (\text{Ecuación 8})$$

Con:

$$L_{PLOW} = 27,7 + 10 * \log (1 + (0,02v_{PLOW})^3) \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$L_{LKW} = 23,1 + 12,5 * \log (v_{PLOW}) \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$D = L_{LKW} - L_{PLOW} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde v_{PLOW} es el límite de velocidad en el rango de 30 hasta 130 km/h para vehículos livianos y v_{LKW} es el límite de velocidad en el rango de 30 hasta 80 km/h para vehículos pesados.

Evaluando el L_{mE} para cada carril de la calzada puede obtener:

$$L_m = 10 * \log(10^{0,1L_{m,n}} + 10^{0,1L_{m,f}}) \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde n representa la más cercana y f la más lejana línea, respectivamente.

$$L_r = L_m + K \quad (\text{Ecuación 13})$$

K es el término adicional para el incremento del efecto de luces de tráfico destinado para intersecciones (Quartieri et al., 2009).

2.6.2 Modelo de Predicción STL-86

Modelo oficial de predicción de ruido de tráfico vehicular en Suiza. Entrega un nivel de emisión a una distancia de referencia de 1 metro con respecto al centro de una calzada de dos vías o carriles y a una altura referencial de 1 metro. Se toman en cuenta variables como la velocidad del flujo vehicular (incluyendo vehículos livianos y pesados), el número de vehículos pesados en contraste con el número total de vehículos por un determinado intervalo de tiempo. STL-86 es un modelo informático de primera generación que permite calcular en el punto receptor el LAeq, tomando en consideración variables topográficas (Bastián Monarca, 2014).

Este modelo está dado por la siguiente ecuación:

$$L_{\text{ref}} = 42 + 10 * \log \left(\left(1 + \left(\frac{v}{50} \right)^3 \left(1 + 20P \left(1 - \frac{v}{50} \right) \right) \right) \right) + 10 * \log(N) \text{ [dBA]}$$

(Ecuación 14)

Donde:

- v = velocidad media del flujo vehicular (livianos y pesados).
- P = razón entre el número de vehículos pesados y la cantidad total de vehículos.
- N = flujo total de vehículos por hora.

2.6.3 Modelo de Predicción NMPB Routes-08

Versión más actual del modelo francés NMPB Routes–96. Proporciona un método de predicción de ruido de tráfico para la recepción de niveles a larga distancia, considerando como variables iniciales para el cálculo: la velocidad del tráfico, tanto de vehículos ligeros como de pesados, así como sus respectivos caudales en vehículos por hora. El modelo de propagación empleado dentro del método tiene en cuenta consideraciones expuestas en la norma ISO 9613, variando la dispersión del ruido en función de las condiciones ambientales y del terreno en el que se propaga, así como los obstáculos que el sonido encuentra a su paso entre el emisor y receptor. La propagación sonora varía en función de las condiciones atmosféricas (homogéneas y favorables) (Quartieri et al., 2009). Este modelo está dado por la siguiente ecuación:

$$L_{Awi} = ((E_L + 10 * \log(Q_L) + (E_p + 10 * \log(Q_p)) + 20 + 10 * \log(I_i) + R_j$$

(Ecuación 15)

Donde:

- E_L y E_p corresponden a los niveles de emisión obtenidos de 21, para vehículos livianos y pesados.
- I_i =longitud en metros de una determinada calzada.
- R_j = valor normalizado del espectro de ruido que toma en cuenta el comportamiento frecuencial de la propagación de la onda sonora.

2.7 Normativa

2.7.1 Niveles Máximos de Emisión de Ruido Permitidos en Fuentes Móviles de Ruido

De acuerdo a la Secretaría del Ambiente del Municipio del DMQ y a la resolución NO.SA-DGCA-NT002-2016, que pone en vigencia la Ordenanza Metropolitana 138 y sus normas técnicas, a partir del mes de septiembre del 2016, se establece la norma técnica (No. 003) para el control de la

contaminación por ruido. Al respecto el literal 5.2 menciona los niveles máximos de emisión de ruido permitidos en fuentes móviles de ruido:

Tabla 1.

Niveles máximos de emisión de ruido permitidos en fuentes móviles de ruido.

Categoría de vehículo	Descripción	Leq (dBA)
Motocicletas o similares	Hasta 200 c.c.	80
	Entre 200 y 500 c.c.	85
	Mayores a 500 c.c.	86
Vehículos	Transporte de personas hasta 9 asientos incluido el conductor y peso no mayor a 3.5 toneladas.	81
	Transporte de personas hasta 9 asientos incluido el conductor y peso mayor a 3.5 toneladas.	82
	Transporte de personas hasta 9 asientos incluido el conductor y peso mayor a 3,5 toneladas y potencia de motor mayor a 200 HP.	85
Vehículos para carga mediana y pesada (Incluye buses, busetas, articulados)	Peso máximo hasta 3.5 toneladas	81
	Peso máximo de 3.5 toneladas hasta 12 toneladas	86
	Peso máximo mayor a 12 toneladas	88

Tomado de (MDMQ, 2016)

2.7.2 De los Mapas de Ruido

De acuerdo a lo establecido por el artículo 5 del Texto Unificado de Legislación Secundaria (2015) del Ministerio del Ambiente, en el que se hace referencia al control de contaminación por ruido, sección 7: “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 planificación territorial”.

3. METODOLOGÍA

3.1 Ámbito Geográfico de la Investigación

3.1.1 Territorio

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) es la capital del Ecuador, se localiza a una altura promedio de 2800 metros sobre el nivel del mar (msnm) y como se puede apreciar su extensión territorial, se ubica a las faldas del Cerro Guagua Pichincha.

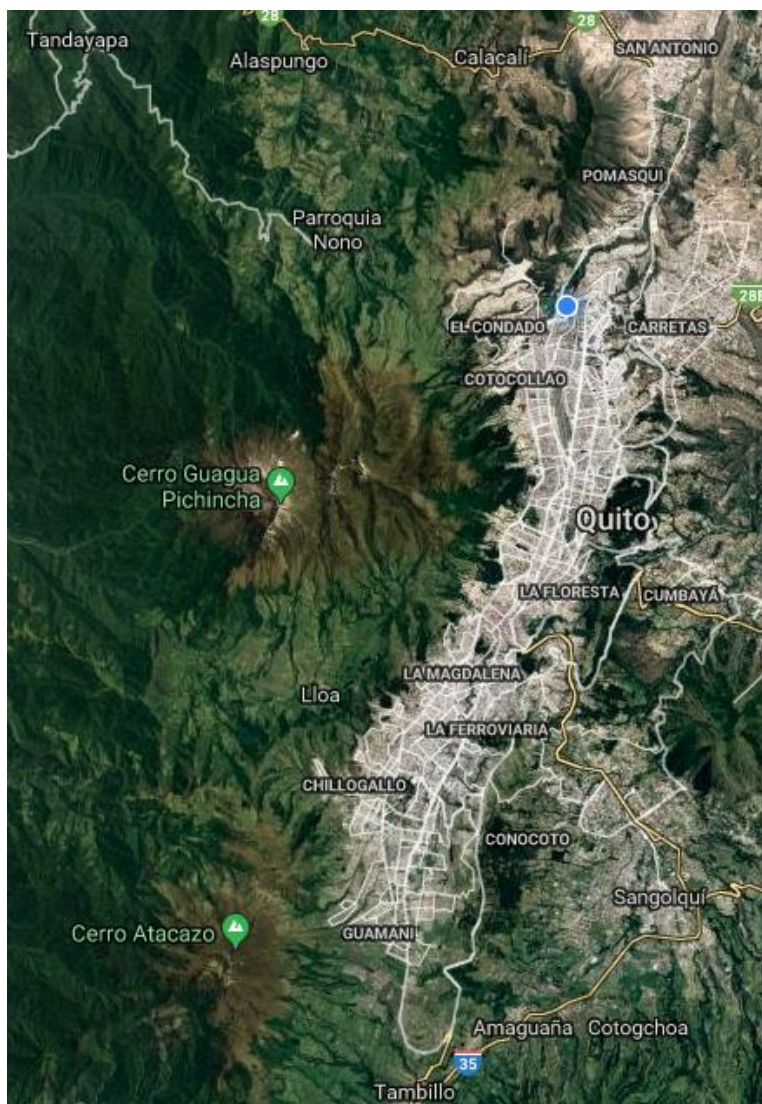


Figura 6. Mapa físico del DMQ.

Tomado de (Google Maps, s.f.)

Quito fue fundada el 6 de diciembre de 1534, motivo por el cual la ciudad cuenta con una zona colonial claramente visible en su infraestructura urbana, es decir: calles, plazas, templos, entre otros. La arquitectura tiene una clara influencia en el nivel de ruido propagado en el medio, que se puede incrementar de acuerdo a los materiales de construcción y calzada utilizados en la época.



Figura 7. Centro histórico del DMQ.

A) Calle angosta y calzada adoquinada.

La Dirección Metropolitana de Parroquias Rurales define las zonas del cantón que pertenecen al área sub urbana, considerando la densidad poblacional y el flujo de tráfico existente, de manera que las parroquias con mayor densidad y flujo pertenecen a la sección urbana.

– Parroquias Urbanas:

Chilibulo, Chillogallo, Chimbacalle, Cochapamba, Comité del Pueblo, Condado, Concepción, Cotocollao, La Ecuatoriana, La Ferroviaria,

3.1.2 Población

De acuerdo al Instituto Nacional De Estadística y Censos (INEC), haciendo referencia al censo de población y vivienda registrado en el DMQ en el año 2010, se muestra que existen 2'239.191 de habitantes en total, tomando en cuenta la división rural y urbana. Al respecto se sabe que para ese año el 0,4% de la población concierne a personas que superan los 65 años, mientras que el 15,59% corresponde a menores de 11 años, datos imperativos en cuanto a la vulnerabilidad de estas edades frente a la contaminación auditiva. Se estima que para el año 2020 la población aumente a 2'781.641, superando al porcentaje de población estimada para la ciudad de Guayaquil y convirtiéndola en el distrito con más habitantes del Ecuador, además de representar el rápido crecimiento de su población y consecuentemente de la infraestructura urbana (INEC, 2013).

A continuación, se presenta de manera tabulada la estimación del total de la población por años, para el periodo 2010-2020, correspondiente a la zona urbana del DMQ.

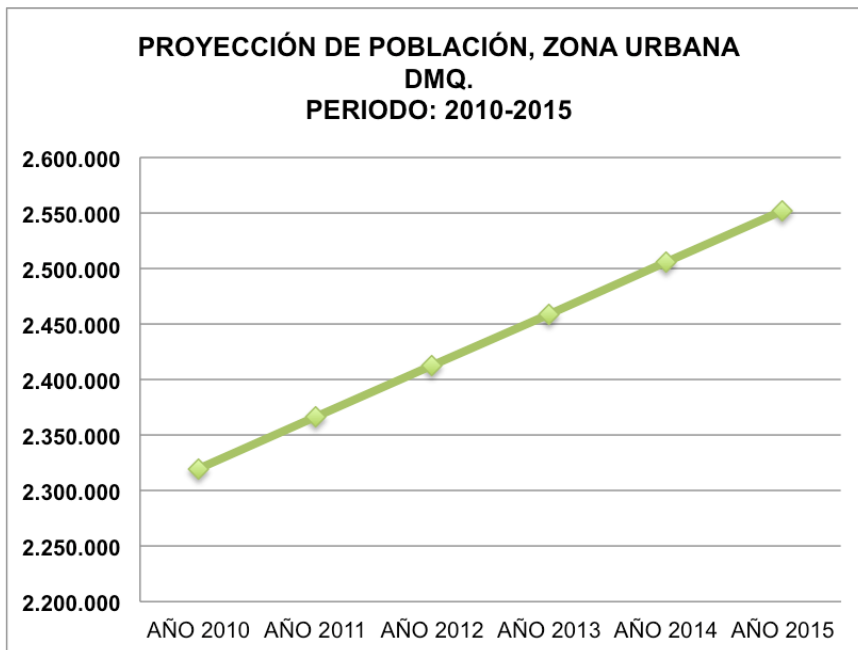


Figura 9. Población total del DMQ.

Tomado de (INEC, 2013)

A) Eje y: número de habitantes

B) Eje x: año

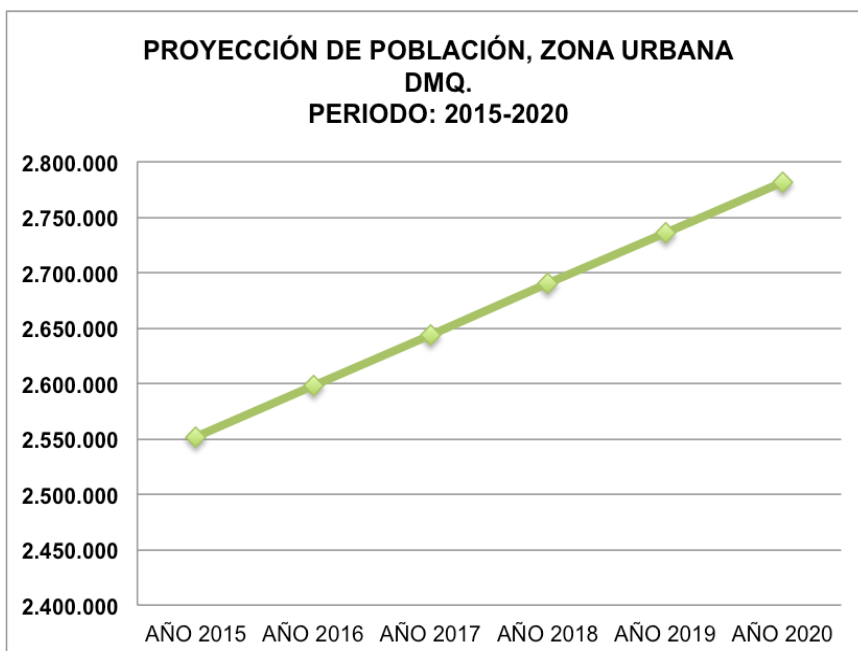


Figura 10. Población total del DMQ.

Tomado de (INEC, 2013)

A) Eje y: número de habitantes

B) Eje x: año.

3.1.3 Condiciones Meteorológicas

La zona territorial ocupada por el área urbana del DMQ, debido a su altitud, concierne a la región ecuatorial templada; esta región se caracteriza por las variaciones de temperatura significativas durante el día. Debido al desplazamiento de masas de aire calientes y húmedas provenientes de la parroquia de *Guayllabamba*, la superficie se calienta elevando progresivamente el aire. Consecuentemente genera un sistema de condensaciones y precipitaciones durante la estación lluviosa, que va desde los meses de octubre hasta mayo.

La humedad relativa corresponde a un 76%, mientras que en promedio la presión atmosférica equivale a 548 milibares; sin embargo, el DMQ cuenta con diferencias bruscas en el comportamiento climático debido a la irregularidad en el relieve del territorio (Atlas Ambiental Del Distrito Metropolitano De Quito, 2016)

3.1.4 Categorización Vial

Quito se ha convertido con el pasar de los años, en una ciudad en donde la movilidad es un tema de suma importancia, a tal punto que el tiempo invertido en desplazarse de un lugar a otro por medio de algún tipo de vehículo o servicio de transporte, influye en factores tanto culturales como económicos.

La fragmentación vial del DMQ ha ido cambiando constantemente de acuerdo a su crecimiento urbano, un ejemplo de ello puede ser evidenciado en la siguiente figura:

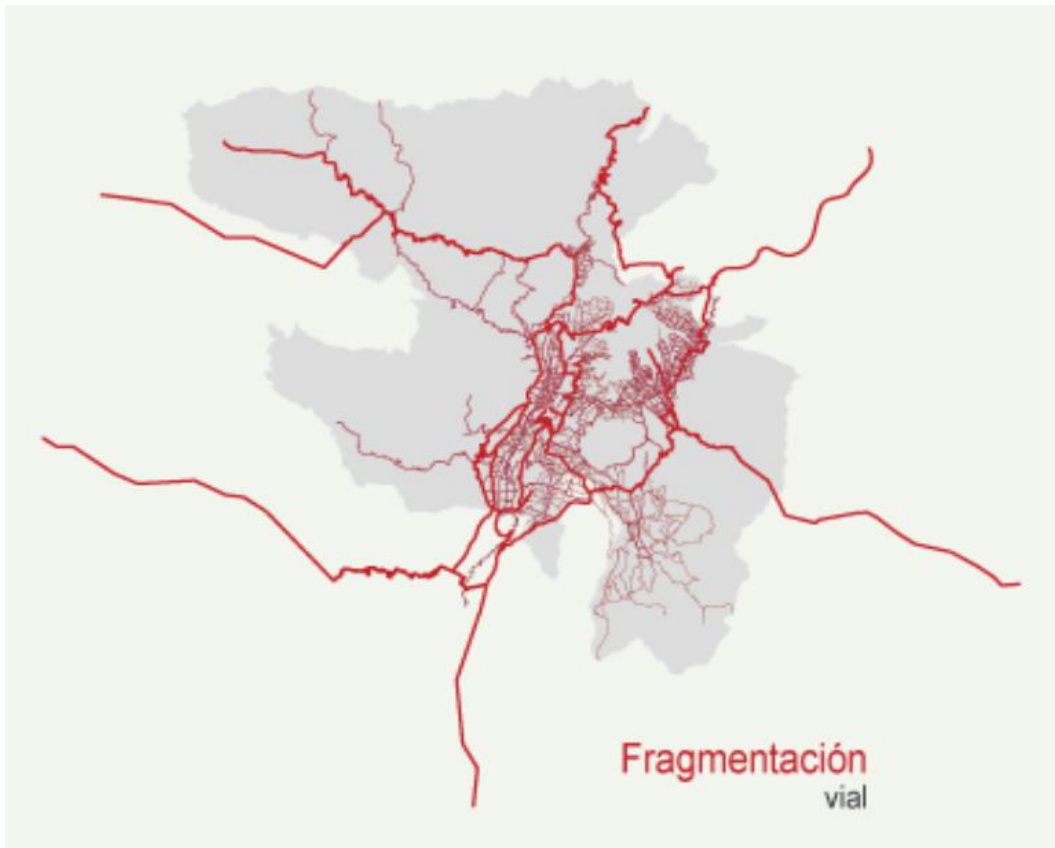


Figura 11. Fragmentación vial del DMQ.

Tomado de (Alcaldía de Quito, s.f.)

A) El color de la senda es atenuado de acuerdo a su categorización, correspondiendo al más intenso las vías expresas y al menos intenso las vías locales.

De acuerdo a la Gerencia de Planificación de la Movilidad (EPMMOP), el sistema vial urbano del DMQ se clasifica de la siguiente manera:

Tabla 2.

Tipos de vías del DMQ.

Tipos de vías	Expresas	Semi expresas	Arteriales	Colectoras (Principal, Secundaria)	Locales (1,2,3, Pasaje)
Función	Permiten el paso de tráfico entre sectores que rodean Quito.		Empalma sectores urbanos y suburbanos de la ciudad.	Acceso a zonas residenciales, comerciales, industriales	Restricción de servicios de transporte públicos.
Rango de velocidad permitido	60-80 km/h.		50-70 km/h.	20-50 km/h.	60-80 km/h.
Sentidos de circulación		Ambos sentidos.		Una dirección.	
Líneas de buses	Ínter urbano y regional.	Ínter urbano, interprovincial y urbano.	Urbanos de largos recorridos.	Urbanos y públicos.	Circulación restringida.

Adaptado de (Planificación y movilidad, 2011)

Además, de acuerdo a la Secretaría de Planificación y Movilidad del DMQ, la categorización vial considera el flujo de tráfico que atraviesa las calles y avenidas de la ciudad, estableciendo la cantidad aproximada y el porcentaje de vehículos livianos y pesados. Dichas cifras fueron obtenidas mediante conteos automáticos.

Tabla 3.

Distribución vial DMQ.

Distribución Vial	Vehículos livianos, día (Veh/h).	Porcentaje vehículos pesados (día).	Vehículos livianos, noche (Veh/h).	Porcentaje vehículos pesados (día).
Expresa	1300	15	350	8
Semi-expresa	1150	8	300	5
Arterial	1000	5	275	1,5
Colectora	900	5	200	1
Secundaria	600	5	130	1
Local (Alta demanda)	300	3	70	1
Local (Demanda media)	150	1	35	0
Local (Baja demanda)	50	1	20	0
Pasaje	20	1	10	0

Adaptado de (Planificación y movilidad, 2011).

3.2 Selección de Puntos de Medición

Como punto de partida es necesario establecer el límite urbano dentro del DMQ, de acuerdo a lo establecido por el municipio, además de delimitar cada una de las parroquias existentes. Una vez identificado el predio urbano, es fundamental ubicar (de acuerdo a su clasificación) la distribución vial a lo largo del mapa, de tal manera que exista dispersión geográfica en cuanto al plano parroquial y los puntos de monitoreo. Debido a que el mapa de ruido es exclusivamente de ruido de flujo vehicular, es ideal que los lugares seleccionados se encuentren alejados de fuentes de ruido distintas como: colegios, centros comerciales, parques, entre otros.

En total se realizaron 130 mediciones, de las cuales en 40 de los puntos las mediciones tuvieron un periodo de larga duración, mientras que 90 puntos

corresponden a mediciones de corta duración. Entre los factores considerados para la selección de localidades de monitoreo se tomó en cuenta la seguridad del equipo y personal de medición. Cabe indicar que el proceso contó con cinco grupos operarios de apoyo que se movilizaron a lo largo de la ciudad y que hicieron posible las mediciones en los puntos que a continuación se presentan:

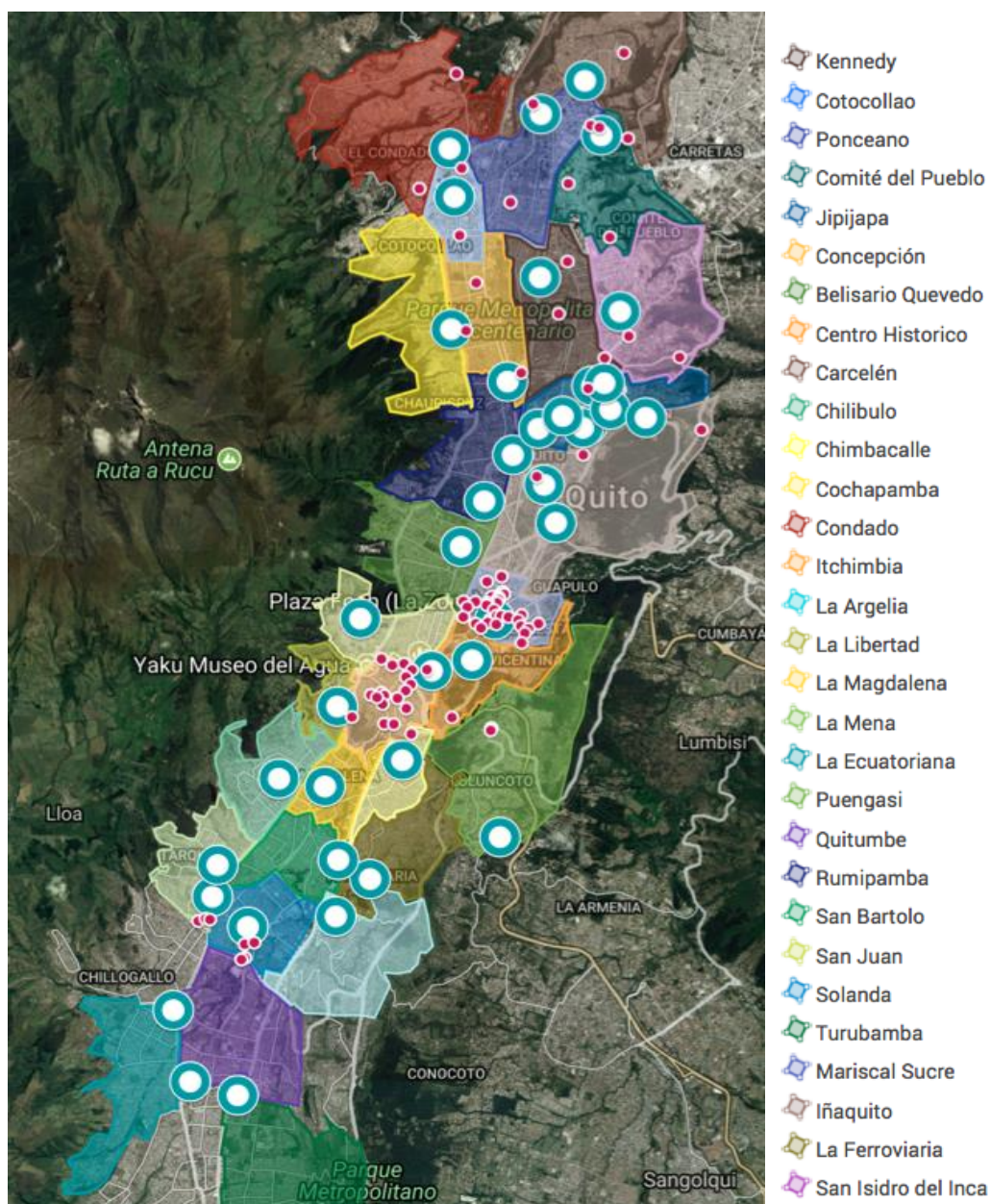


Figura 12. Selección de puntos de medición.

A) Cada lugar rojo se rigió bajo la metodología de corta duración, mientras que los sitios azules corresponden a la metodología de larga duración.

En cuanto a la selección de localidades de medición bajo la metodología de corta duración, éstas fueron establecidas de acuerdo a la facilidad de movilidad y seguridad. El criterio en esta sistemática es cubrir las zonas norte, centro y sur en que se divide el área urbana del DMQ; sin embargo, no se tiene la misma cantidad de mediciones en cada zona. Es necesario considerar que mientras más puntos de monitoreo existan, más precisos son los resultados de la validación, al respecto se presentan 90 puntos de medición. Las características que presentan los sitios de medición bajo este sistema, siguen algunas de las recomendaciones establecidas en la norma ISO 1996 y son las siguientes:

- Medición bajo condiciones de campo abierto, es decir, en exteriores.
- Distancia del micrófono del sonómetro a una superficie reflectante mayor a 1,2 m. (Con excepción del Centro Histórico de la ciudad).
- El operador debe ubicarse a una distancia mayor a 0,5 m, evitando que la persona actúe como una barrera acústica o genere reflexiones.
- Durante la medición no debe haber presencia de lluvias.
- Ubicación alejada a puntos focales de ruido ajenos al flujo vehicular, es decir: semáforos, retenes policiales, ventas ambulantes, entre otros.
- La altura del suelo al sonómetro corresponde a 1,5m.

Por otro lado, en los lugares de medición bajo la metodología de larga duración, se utilizó el criterio de al menos un punto por parroquia (considerando dispersión geográfica). Cabe mencionar que en dos parroquias de la ciudad no se pudo establecer un sitio de medición, en vista de la falta de un lugar apropiado y seguridad. Al respecto se presentan 40 sitios de medición, dispersados en 30 de las 32 parroquias que conforman la zona urbana del DMQ. Debido a la falta de una estación fija de medición, tales puntos presentan las siguientes cualidades:

- Terraza, solana o ventanal con orientación directa a la vía de medición.

- Zona segura.
- Espacio de medición de preferencia deshabitado o con escasa influencia de personas o actividades.
- Única fuente de influencia: ruido de flujo vehicular.
- Posición cubierta, previendo protección para el equipo en caso de fenómenos naturales inesperados, como lluvias o ventiscas.
- Durante la medición no debe haber presencia de lluvias.
- Debido a la infraestructura de los puestos establecidos, considerar ubicar el equipo al menos con una separación de 0,5m de cualquier superficie para prevenir cualquier efecto generado por reflexiones.
- La altura mínima del suelo más cercano al sonómetro corresponde a 1,5m.

En vista de la necesidad de conocer el porcentaje vehicular al cual representan los niveles de ruido medidos en cada uno de los puntos de monitoreo, se realizaron conteos vehiculares manuales.

3.3 Instrumentación

Una vez establecidos los puntos de monitoreo, se procede a realizar las mediciones de ruido vehicular en cada punto receptor, además de conteos vehiculares, al respecto se requiere de la siguiente instrumentación:



Figura 13. Equipos utilizados en la etapa de medición.

A) Sonómetro y contador manual.

- Sonómetro NTI XL2
- Calibrador
- Trípode
- Paravientos
- Alimentación A/C
- Contador Manual
- Ordenador
- Software CADNA-A

Cabe indicar que cada uno de los instrumentos debe estar en perfecto estado, además de que la calibración del dispositivo debe ser verificada previo y luego de cualquier medición. Por otro lado, y a pesar de que el micrófono incorporado en el sonómetro NTI XL2 controla el efecto producido por el viento hasta cierta velocidad, se vio la necesidad de utilizar un paravientos, pantalla que cubre el equipo y lo protege.

3.4 Recolección de Datos

3.4.1 Condiciones de Campo

El flujo vehicular de los puntos de monitoreo considerados es verificado mediante conteos vehiculares realizados al momento de la selección de sitios. Al respecto cada lugar cuenta con información en cuanto al flujo de vehículos livianos y el porcentaje de vehículos pesados, contabilizados durante un periodo de veinte minutos. Los veinte minutos representan un método simplificado que tanea la estabilidad del flujo vehicular, permitiendo estimar valores que cubren periodos de una hora. Cabe mencionar que, en este caso, el flujo vehicular obtenido durante los conteos manuales no determina el tipo de vía, debido a que la clasificación dada por la Secretaría de Movilidad del DMQ se basa en criterios geométricos, flujo vehicular, servicios de transporte, etc.

Por otro lado, se debe considerar el tipo de calzada que posee cada vía elegida, respectivamente el de las evaluadas en los puntos elegidos para la aplicación de ambas metodologías (corta y larga duración), mismas que varían entre asfalto y adoquín. Además, se debe denotar la altura a la que se realiza la medición, en el caso de las mediciones cortas los lugares respetan una altura mínima, debido a que se realizan directamente en campo libre. Lo contrario sucede con la altura considerada en las mediciones de larga duración, que corresponde a: 1,5m por nivel o piso. (Revisar Anexo 1 y 2).

3.4.2 Mediciones

En cuanto a la recolección de datos en las mediciones de corta duración no es necesario el cálculo de descriptores acústicos, debido a que cada una de ellas fueron realizadas durante un periodo diurno equivalente al descriptor L_{eq} ; la compilación de los resultados de cada medición arroja un valor único (L_{Aeq_dt}) a considerar.

Respecto a la compilación de los resultados de cada una de las mediciones (correspondientes a 24 horas de duración) se obtienen varios descriptores acústicos. Entre ellos, el único descriptor considerado corresponde al Nivel acústico equivalente medido por hora (L_{Aeq_dt}), mismo que permite el cálculo de los niveles acústicos: L_d , L_n y L_{dn} . Cabe mencionar que, para ello, es necesario la clasificación de la jornada diurna (7h00 - 22h00) y nocturna (22h00 - 7h00), como se puede apreciar en la ficha de una de las mediciones.

	Date [YYYY-MM-DD [hh:mm:ss]]	Time	Laeq_dt (pas.)	LAeq_dt [dB]
Periodo Diurno	11/05/17	17:18:48	20892961,31	73,2
	11/05/17	18:18:48	23442288,15	73,7
	11/05/17	19:18:48	20892961,31	73,2
	11/05/17	20:18:48	20417379,45	73,1
	11/05/17	21:18:48	14791083,88	71,7
Periodo Nocturno	11/05/17	22:18:48	12022644,35	70,8
	11/05/17	23:18:48	7943282,35	69
	12/05/17	0:18:48	6165950,02	67,9
	12/05/17	1:18:48	3890451,45	65,9
	12/05/17	2:18:48	2454708,92	63,9
	12/05/17	3:18:48	1698243,65	62,3
	12/05/17	4:18:48	1862087,14	62,7
	12/05/17	5:18:48	2511886,43	64
Periodo Diurno	12/05/17	6:18:48	8511380,38	69,3
	12/05/17	7:18:48	20892961,31	73,2
	12/05/17	8:18:48	23988329,19	73,8
	12/05/17	9:18:48	19498446,00	72,9
	12/05/17	10:18:48	17782794,10	72,5
	12/05/17	11:18:48	17378008,29	72,4
	12/05/17	12:18:48	16982436,52	72,3
	12/05/17	13:18:48	15848931,92	72
	12/05/17	14:18:48	16982436,52	72,3
12/05/17	15:18:48	14791083,88	71,7	
12/05/17	16:18:48	15135612,48	71,8	

Nivel día	Lday	18647847,62	72,7
Nivel Noche	Lnight	5228959,41	67,2
Nivel Día-Noche	Ldn		75,0

Figura 14. Compilación de datos.

A) Clasificación de jornadas y descriptor Laeq_dt utilizado para la obtención de los niveles Ld, Ln y Ldn.

3.5 CADNA-A

La etapa de validación pone a prueba el modelo acústico empleado durante la elaboración del actual mapa de ruido del DMQ. Ello, debido a que el fin del proceso es establecer un modelo predictivo, considerado el más adecuado en cuanto a su adaptación a la realidad urbana de la ciudad. Los modelos seleccionados durante la etapa de simulación son: RLS90, STL86 y NMPB-08, mismos que deben ser establecidos al iniciar un nuevo modelamiento.

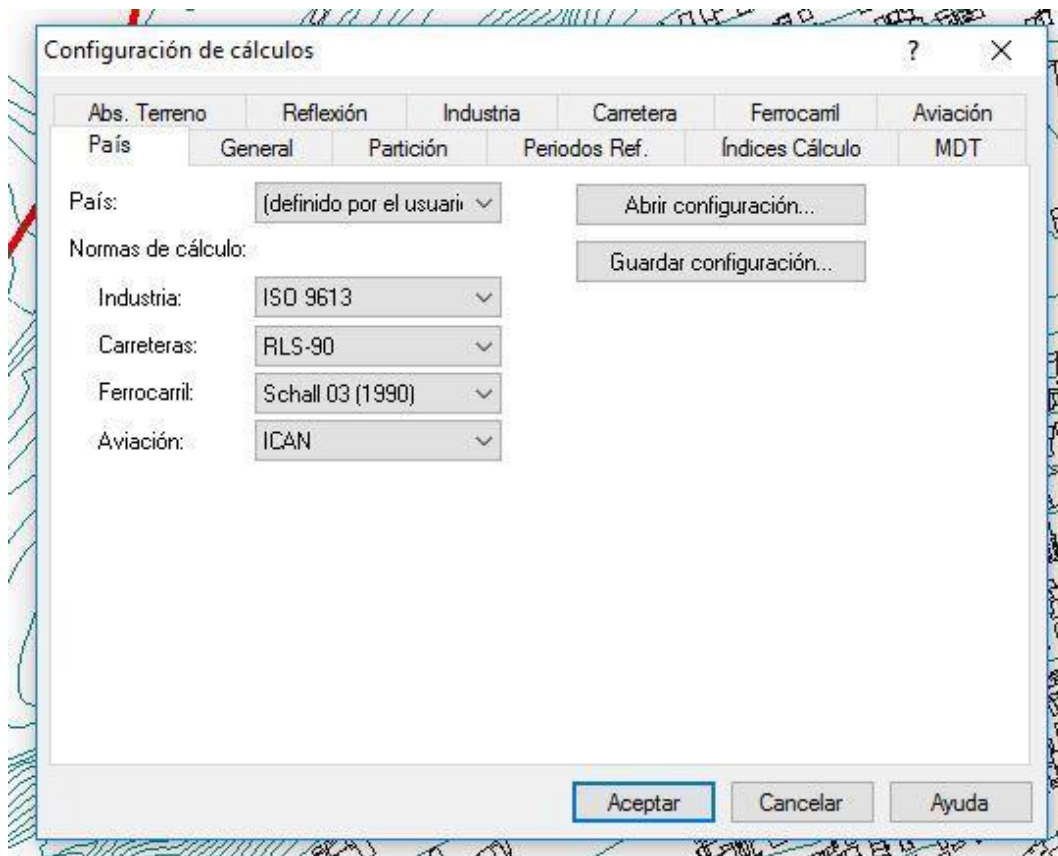


Figura 15. Ventana de configuración de cálculos en el software CADNA-A.

A) Selección del modelo predictivo (sección carreteras).

La selección del modelo predictivo se sustenta mediante la metodología de corta duración. Por otro lado, la metodología de larga duración estudia la influencia de fuentes distintas al ruido de tráfico vehicular en el medio, es decir: pitos, gritos, ladridos, aviones, entre otros.

Al respecto se cuenta con un mapa independiente por parroquia, mismos que fueron utilizados para la ubicación de los lugares ya mencionados. Cada mapa ya cuenta con la configuración vial y estructural de la zona, por lo que es necesario ingresar algunos datos de entrada de sus edificaciones durante la ubicación de los puntos receptores, ellos son: coordenadas (x, y), altura (z) y tipo de calzada.

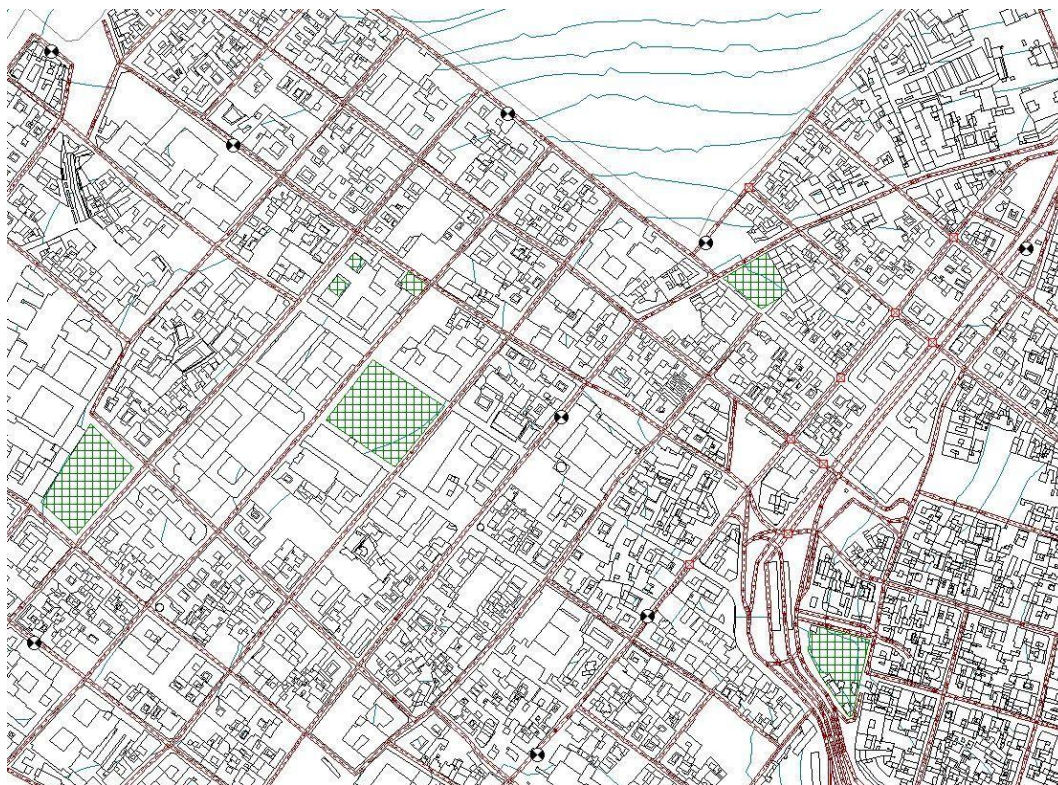


Figura 16. Fragmento del mapa de ruido del DMQ (CADNA-A).

A) Ubicación de puntos receptores.

Por último, y luego de ubicadas todas las localidades de la zona, CADNA-A calcula los descriptores acústicos (L_d , L_n y L_{dn}) en cada uno de los puntos receptores, de acuerdo a las propiedades del modelo de entrada.

3.6 Validación

La validación del mapa de ruido del DMQ (zona urbana), consiste básicamente en determinar la variación de los resultados modelados en comparación con los resultados de las mediciones.

Para ello se establece el error absoluto entre la diferencia de cada una de las mediciones con uno de los modelos en cada punto receptor, el proceso se debe realizar tanto para los valores obtenidos mediante mediciones de corta duración, como aquellos de larga duración. Cabe mencionar que aquellos valores con los que se trabaje el error deben ser valores absolutos, debido a que en este punto se considera únicamente la magnitud entre un valor y otro

sin importar su signo. Por otro lado se vio la necesidad de estimar, para los valores medidos, una media positiva y otra negativa.

$$x_{i\text{medido}}(L_d) - x_{i\text{modelo}}(L_d) = x_i(L_d) \quad (\text{Ecuación 16})$$

$$|x_i(L_d)| = y_i(L_d) \quad (\text{Ecuación 17})$$

$$\bar{Y}(L_d) = \frac{\sum f_i y_i(L_d)}{n} \quad (\text{Ecuación 18})$$

Una media positiva, representa aquellos valores en los cuales los descriptores obtenidos mediante el proceso de medición son mayores a los simulados por los modelos predictivos. Mientras que una media negativa, constituye aquellas cantidades en las cuales los descriptores obtenidos mediante el proceso de medición son menores a los simulados por los modelos predictivos.

Desviación Positiva

$$(+)\bar{X}(L_d) = \frac{\sum f_i(+)\bar{x}_i(L_d)}{n} > 0 \quad (\text{Ecuación 19})$$

Desviación Negativa

$$(-)\bar{X}(L_d) = \frac{\sum f_i(-)\bar{x}_i(L_d)}{n} < 0 \quad (\text{Ecuación 20})$$

Este proceso permite tener valores más precisos en cuanto al error absoluto, por descriptor y por modelo. Es necesario mencionar que se propone, respecto al error obtenido, manejar una tolerancia máxima de 6dB. Dentro del análisis numérico realizado para la validación, se manejan más de doscientos valores numéricos, por ello se requiere de un estudio estadístico que certifique la veracidad de los resultados.

La desviación estándar brinda la posibilidad de conocer cuánto se pueden alejar los resultados respecto al promedio, tomando en cuenta la cantidad de valores que se manejan en el análisis y la importancia que tiene el margen de error. Para ello, es necesario utilizar hojas de cálculo que permitan su

observación debido a la complejidad del cálculo manual, sin embargo, la filosofía de su cálculo en cualquier algoritmo depende de:

$$\text{desviación estándar} = \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n}} \quad (\text{Ecuación 21})$$

Donde:

- n = número de puntos de datos
- x = conjunto de datos
- \bar{x} = media de x

Si bien es cierto que la desviación estándar permite saber el comportamiento de una gran cantidad de valores dentro de un grupo, la mediana (*Me*) representa el valor ubicado en el medio de un conjunto de datos numéricos ordenados de acuerdo a su tamaño. Por otro lado, el coeficiente de Pearson mide la correlación entre diversas variables relacionadas linealmente. Para ello se analizan de manera comparativa dos variables, generando como resultados valores que oscilan entre -1 y +1, en donde el signo representa si la relación es directa (+) o inversa (-). Al respecto se determina la correlación existente entre los valores medidos y los simulados por los tres modelos predictivos considerados.

El rango inter cuartil o IQR, estima con fines estadísticos la dispersión de un grupo de valores numéricos se determina mediante la diferencia del primer y el tercer cuartil. Este término permite visualizar posibles irregularidades en los extremos. Se llama primer cuartil al grupo de valores que son igual o menor que el 25% del total de datos, mientras que el tercer cuartil representa aquellos valores igual o menor que el 75% del total de datos.

$$\text{IQR} = Q3 - Q1 \quad (\text{Ecuación 22})$$

Finalmente se estiman porcentajes, cálculos que visualizan el comportamiento de cada uno de los modelos respecto a la metodología de medición. El

porcentaje de puntos sobre estimados representa aquellos datos en los que la diferencia entre los modelos y las mediciones es positiva, es decir que el modelo predictivo simula valores más altos que aquellos medidos. También se comprueba el porcentaje, de aquellos puntos cuyo valor absoluto de la diferencia entre los valores medidos y los simulados por el modelo predictivo son igual o menores que 1 dB, mismos que representan un porcentaje de error mínimo debido a su reducida magnitud.

3.7 Otros

Una vez validado el modelo se requiere estudiar el comportamiento del mismo al utilizarlo en periodos prolongados, para ello se utiliza la metodología de larga duración (24 horas) y se estima el error absoluto por descriptor. Ello permite un análisis en periodos diurnos y nocturnos. En esta fase se puede estimar el comportamiento del modelo por tipo de vía, sin embargo, es importante considerar que no se tiene igual número de mediciones en todas las vías, razón por la cual no son comparables los resultados.

Por otro lado, el proceso de validación incluye una comparativa entre los conteos vehiculares obtenidos durante la fase de campo y aquellos establecidos por la Secretaría de Movilidad. Para ello, se efectúan conteos manuales durante intervalos de 20 y 15 minutos en distintas vías de la ciudad, de manera que se pueda apreciar la diferencia existente en cuanto a los resultados obtenidos en la realidad y las posibles variaciones en la simulación de CADNA-A. Para poder desarrollar el estudio también es necesario categorizar los automotores registrados en tres grupos: livianos, motos y pesados, siendo éstos últimos los que establecerán un porcentaje de estudio para análisis de datos en la presente validación.

4. RESULTADOS

4.1 Validación

4.1.1 Mediciones

Respecto a las mediciones destinadas a la validación, se obtuvieron 90 niveles por punto de monitoreo conforme al descriptor acústico Leq (dBA). A continuación, se presentan los resultados correspondientes al periodo diurno y a cada uno de los 90 puntos, durante la metodología de medición de corta duración:

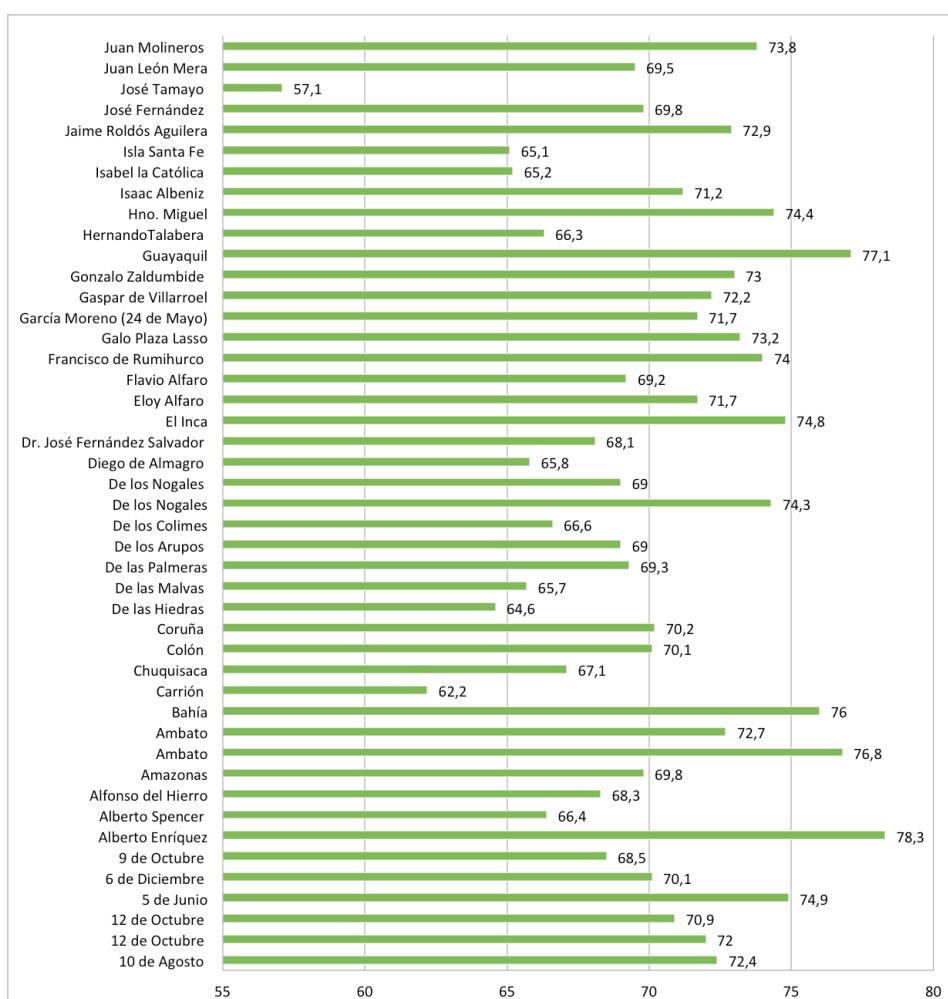


Figura 17. Resultados del descriptor acústico Leq (dBA), por punto de medición.

A) Las categorías no son equiparables.

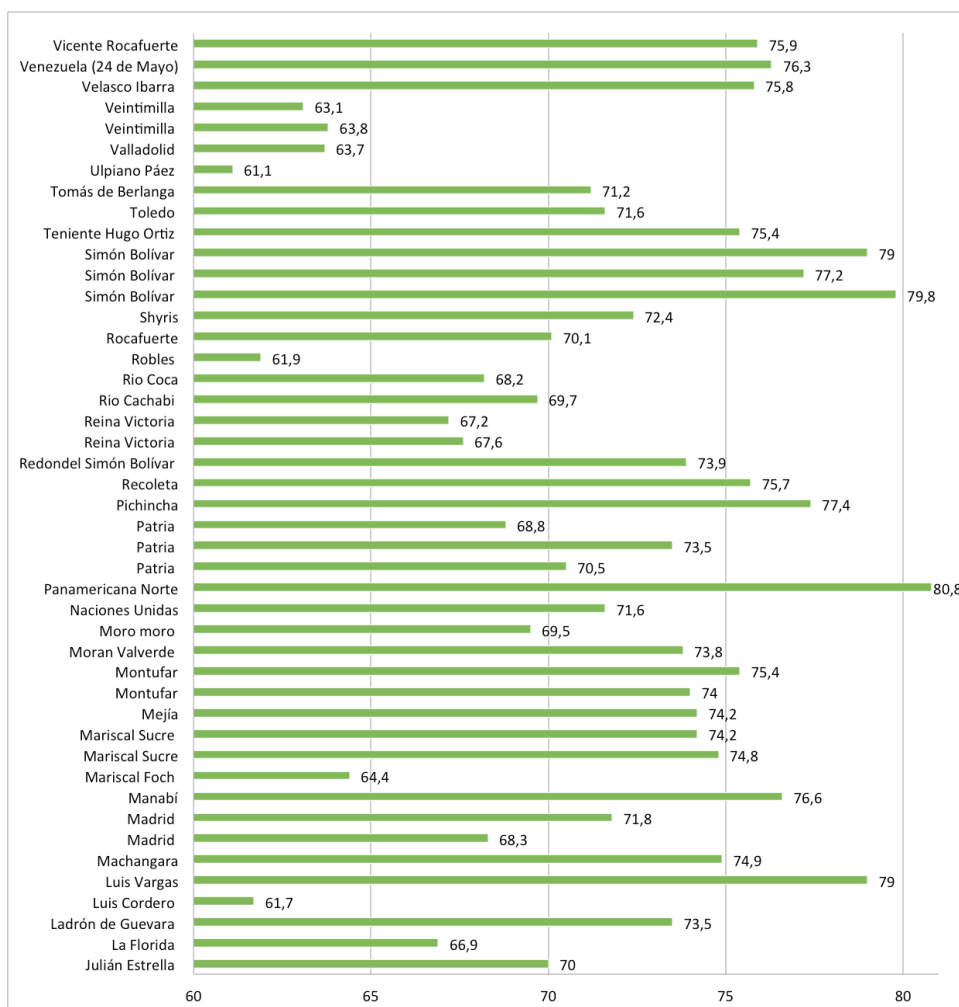


Figura 18. Resultados del descriptor acústico Leq (dBA), por punto de medición.

A) Las categorías no son equiparables.

Por otro lado se pueden apreciar los niveles mínimos y máximos medidos:

En cuanto a la avenida Panamericana Norte, ubicada en la parroquia Carcelén y llegando a los límites al norte de la zona urbana del DMQ, presenta un Leq máximo de 80,8 dBA. Se hace referencia a una avenida expresa, en donde el flujo vehicular es de doble sentido y está conformada por dos tramos, donde cada uno de ellos cuenta con tres carriles. Tipo de calzada: asfalto.

Por otro lado la calle José Tamayo, ubicada en la parroquia Mariscal Sucre al centro norte del DMQ, presenta un Leq mínimo de 57,1 dBA. El flujo en la calle es en un solo sentido y consta de un carril, además de estar asfaltada.

4.1.2 Modelo Predictivo

Los resultados de esta fase plantean tres resoluciones para cada punto de monitoreo, correspondientes a cada modelo predictivo referido (RLS-90, STL-86 y NMPB-08) y pertenecientes únicamente a la metodología de corta duración. A continuación se presentan, por tipo de vía, los niveles obtenidos en el proceso de simulación de cada una de las 90 localidades. Por otro lado algunas vías presentan más de un punto de medición en diferentes tramos, estas son:

- 12 de octubre
- Simón Bolívar
- Mariscal Sucre
- Patria
- Veintimilla
- Montufar
- Reina Victoria
- De los Nogales
- Ambato
- Madrid
- Vicente Rocafuerte

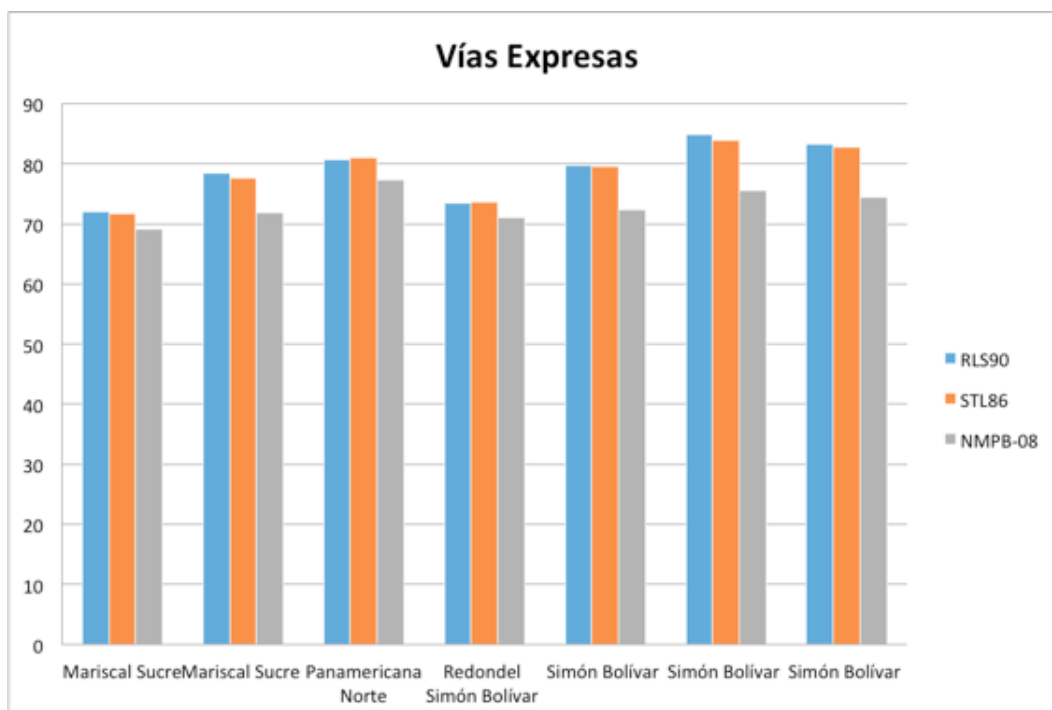


Figura 19. Resultados del descriptor acústico Leq (dBA), por punto de medición, para cada modelo predictivo. Categoría: vías expresas.

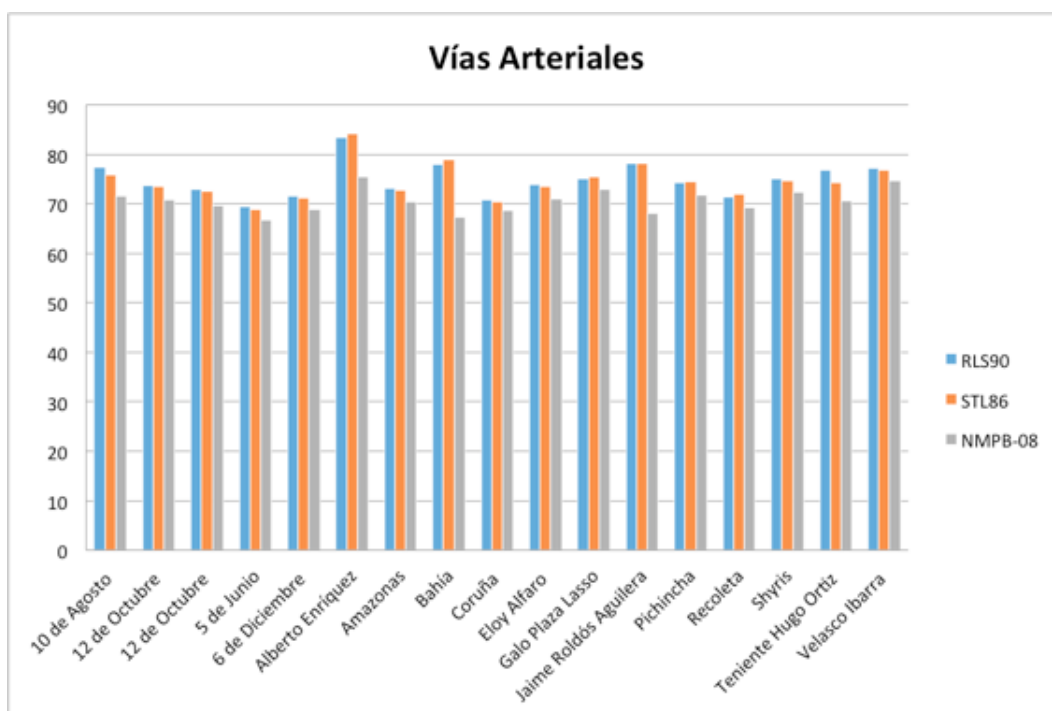


Figura 20. Resultados del descriptor acústico Leq (dBA), por punto de medición, para cada modelo predictivo. Categoría: vías arteriales.

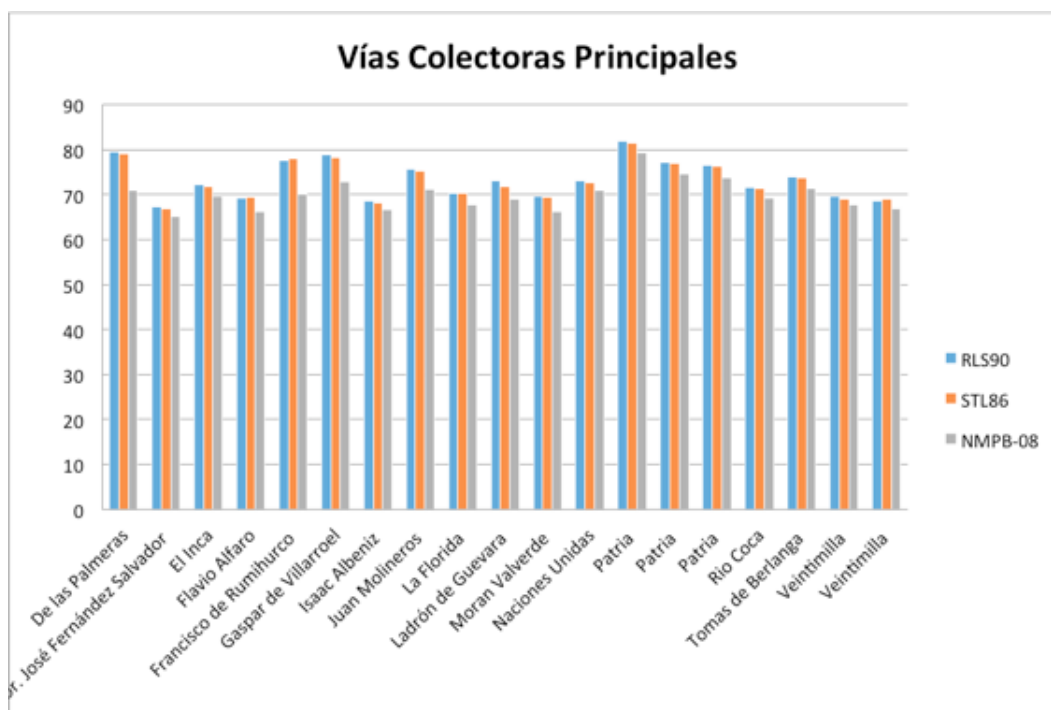


Figura 21. Resultados del descriptor acústico Leq (dBA), por punto de medición, para cada modelo predictivo. Categoría: vías colectoras principales.

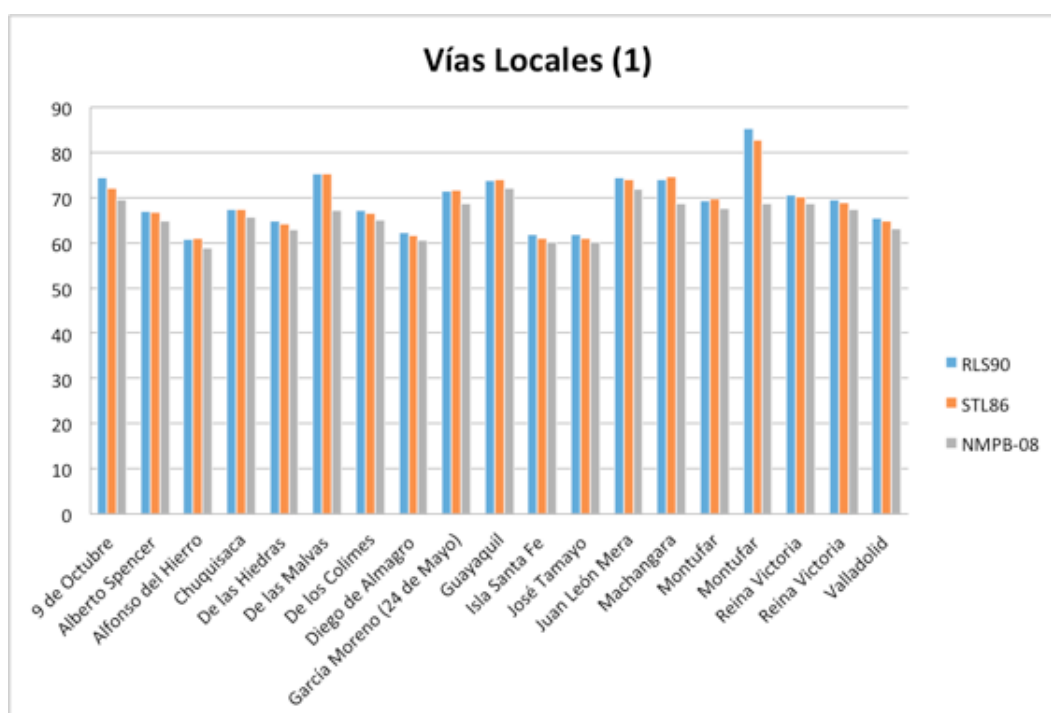


Figura 22. Resultados del descriptor acústico Leq (dBA), por punto de medición, para cada modelo predictivo. Categoría: vías locales, nivel 1.

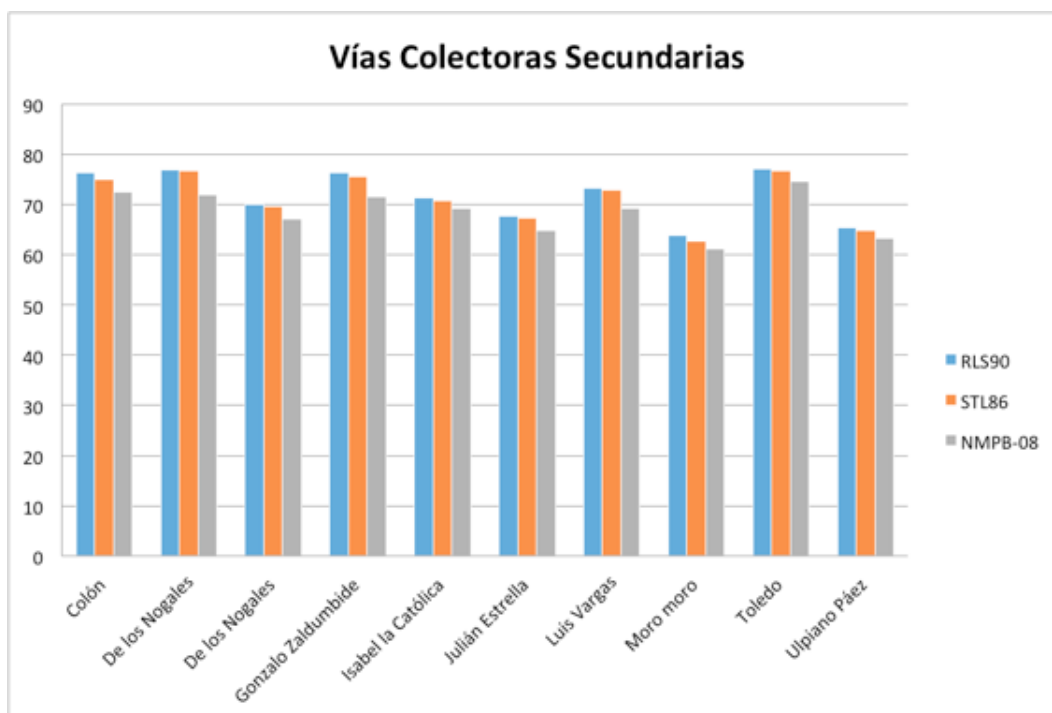


Figura 23. Resultados del descriptor acústico Leq (dBA), por punto de medición, para cada modelo predictivo. Categoría: vías colectoras secundarias.



Figura 24. Resultados del descriptor acústico Leq (dBA), por punto de medición, para cada modelo predictivo. Categoría: vías locales, nivel 2.

Por otro lado y respecto al modelo RLS-90, se puede observar que el Leq máximo obtenido (85,3 dBA) corresponde a la calle Montúfar, ubicada en el Centro Histórico de Quito. Uno de sus tramos es completamente adoquinado, mientras que otro ya se encuentra asfaltado; la calle está conformada por un solo carril, angosto y característico del centro del DMQ. En cuanto al Leq mínimo (60,7 dBA), pertenece a la calle Alfonso del Hierro ubicada en la parroquia de Cotocollao y forjada completamente de asfalto. El flujo en la calle es en doble sentido y consta de dos carriles.

Respecto al modelo STL-86 se puede estimar que el Leq mínimo (61 dBA), corresponde a la calle José Tamayo, misma que coincide con los resultados obtenidos durante el proceso de mediciones. En cuanto al Leq máximo obtenido (84,1 dBA), pertenece a la calle Alberto Enríquez situada en el Centro Histórico de Quito, toda la vía esta completamente asfaltada. La calle está conformada por dos carriles con circulación en una sola dirección.

Respecto al modelo NMPB-08 se puede considerar que el Leq mínimo (58,8 dBA), corresponde a la calle Alfonso del Hierro al igual que en el modelo predictivo RLS-90. Por otro lado, el Leq máximo obtenido (79,3 dBA), corresponde a la Av. Patria ubicada en la parroquia Mariscal Sucre al centro norte del DMQ, la avenida en su totalidad esta completamente asfaltada. El flujo vehicular es en doble sentido debido a que la avenida está conformada por dos tramos (Este y Oeste), cada tramo está formado por tres carriles.

4.1.3 Análisis

Luego de tener definidos cada uno de los valores numéricos a utilizar en el proceso de validación, se procede a efectuar el análisis estadístico entre los datos medidos y aquellos correspondientes a los modelos predictivos. Los resultados tienen una relación directa entre el flujo de tráfico vehicular y los niveles de ruido.

Tabla 4.

Resultados del estudio estadístico.

	RLS-90	STL-86	NMPB-08
Error Absoluto	3,54	3,35	3,48
Desviación Positiva	3,75	3,53	2,30
Desviación Negativa	-3,19	-3,11	-4,03
Desviación Estándar	2,52	2,46	2,66
Coefficiente de Pearson	0,71	0,72	0,65
Rango Inter-Cuartil	5,22	4,97	5,47
Mediana	1,90	1,35	-1,80
% Med. – Mod. < 1dB	19	20	18
Puntos sobreestimados (%)	69	66	27

Respecto al error absoluto, se puede evidenciar que existe una buena relación entre los valores medidos y los modelados, debido a que los resultados se encuentran dentro de la tolerancia máxima establecida (6dB). En cuanto al modelo predictivo STL-86 presenta el error absoluto más bajo (3,35), razón por la cual sus resultados son los más fiables, mientras que el error más alto corresponde al modelo predictivo RLS-90. Cabe mencionar que el error representa la distancia que existe entre los valores simulados respecto a los medidos, un margen de error alto considera el caso más crítico desde el punto de vista del receptor, condición que presentan tanto el modelo RLS-90, como el STL-86.

Si se comparan los resultados de la desviación positiva y la negativa, se puede apreciar que el pico máximo lo presenta el modelo RLS-90 (3,75), mientras que el pico mínimo lo presenta el modelo NMPB-08 (-4,03). Estos resultados demuestran que en el modelo RLS-90, la mayoría de los puntos receptores representan valores mayores a los medidos. Sin embargo, el modelo NMPB-08 supone un porcentaje mucho menor, siendo la minoría de los puntos simulados, valores menores a los medidos. Si se compara el modelo RLS-90 respecto al modelo STL-86, tienen un comportamiento muy similar, no

obstante, su desviación positiva es menor, mientras que la desviación negativa es tan solo unas décimas más alta.

Si se interpreta la desviación estándar como una medida del comportamiento de cada modelo, en cuanto a la variabilidad de los resultados por punto, se puede apreciar que entre los tres modelos hay un comportamiento muy similar, debido a que en todos existe la misma variedad de vías y de flujo vehicular. Sin embargo, la desviación estándar existente en los tres modelos es considerable, debido a que cada punto de medición presenta niveles de ruido totalmente diferentes. Al respecto el modelo que presenta la menor desviación estándar concierne al STL-86.

En cuanto al coeficiente de Pearson se sabe que el signo indica el tipo de correlación, al respecto los tres modelos tienen una correlación positiva. Por otro lado, rangos de correlación entre 0,7 y 0,8 revelan una correlación positiva alta (RLS-90 y STL-86), mientras que rangos de correlación entre 0,4 y 0,69 significan una correlación positiva moderada (NMPB-08) (Achen, 1982). Cabe mencionar que para la correlación, la primera variable considerada equivale a los valores medidos, mientras que la segunda variable corresponde a los valores de cada modelo predictivo.

También se estiman la cantidad de puntos por modelo en los que la diferencia entre los modelos y las mediciones es menor a 1dB, demostrando así la validez del proceso y la exactitud de los resultados obtenidos, para cada modelo predictivo en comparación al nivel de ruido real. Al respecto la diferencia entre cada modelo representa tan solo el 1%, resultando en un porcentaje muy similar para los tres modelos predictivos y siendo el más alto el correspondiente al modelo STL-86 (20%).

El siguiente diagrama de cajas y bigotes permite visualizar de manera estadística los valores máximos y mínimos, así como el rango inter-cuartil y la mediana de cada uno de los modelos. Al respecto se puede apreciar la

similitud entre el modelo predictivo RLS-90 y STL-86, así mismo el modelo NMPB-08 maneja valores mucho más bajos debido a la cantidad de puntos en los que la medición arrojó valores mayores al modelo predictivo.

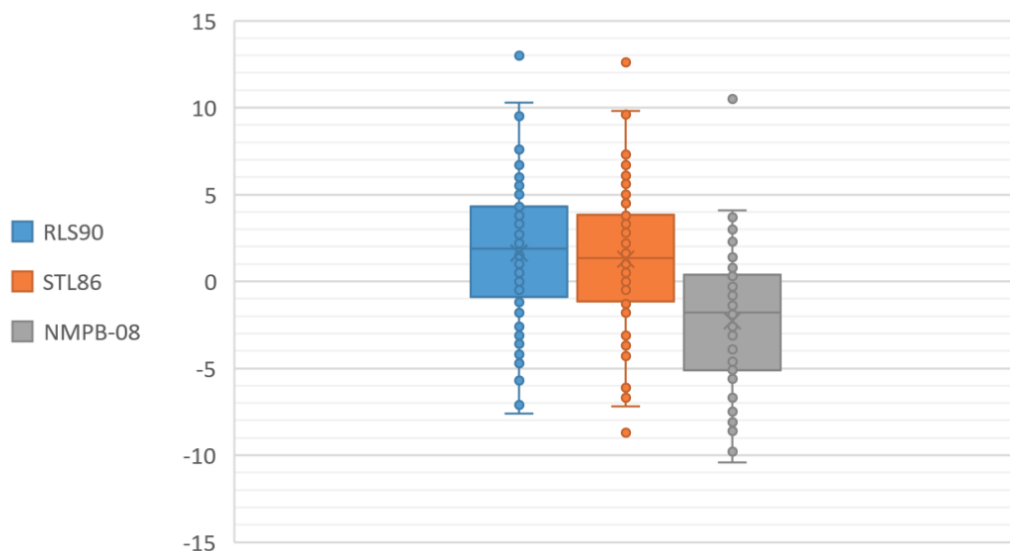


Figura 25. Diagrama de cajas para cada modelo de predicción.

A) Validación a corto plazo, Eje y: dB.

El rango inter-cuartil permite tener una idea de la dispersión de los datos utilizados durante la validación, mientras más alto sea el rango, más dispersos están los datos dentro del conjunto, en este caso se esperan valores altos (al igual que en la desviación estándar) conforme a las variables que diferencian cada categoría vial. De acuerdo a lo esperado el modelo que presenta menor rango inter-cuartil corresponde al modelo predictivo STL-86.

En cuanto a la mediana, se puede apreciar que los resultados de los modelos RLS-90 (1,9) y STL-86 (1,35) son muy cercanos, contando con una diferencia entre si de tan solo el 29%, además de ser positivos. Por otro lado el resultado que concierne al modelo NMPB-08 (-1,8), al ser negativo y distante respecto a los otros modelos, evidencia los datos obtenidos en las desviaciones positivas y negativas. Consecuentemente se debe entender que una mediana equitativa respecto a puntos positivos y negativos corresponde a 0, si la media

es positiva existen más puntos positivos, si la media es negativa existen más puntos negativos.

Finalmente se estudia el porcentaje de puntos en los que el comportamiento de cada modelo cumple con los parámetros antes descritos, es decir que el modelo simula valores más altos a los medidos. Respectivamente los resultados del modelo RLS-90 corresponden al 69% de puntos; por otro lado, y con valores realmente bajos el modelo que menos cumple con los parámetros propuestos corresponde al NMPB-08 con el 27% de puntos. El modelo STL-86 tiene porcentajes un tanto menores (66%) en comparación con el modelo RLS-90.

A pesar de que ambos modelos (RLS-90 y STL-86), se adaptan a las condiciones geográficas, topográficas y ambientales de la ciudad, uno de los criterios para seleccionar el algoritmo de cálculo RLS-90, como base para el actual mapa de ruido del DMQ, fue:

- La eficiencia computacional del modelo.
- Distintos escenarios latinoamericanos como, por ejemplo, Santiago de Chile, Ciudad de México, Río de Janeiro, Medellín y Valdivia (Suárez Y Barros, 2014; Bastián-Monarca Et Al., 2016; Rodríguez-Manzo Et Al., 2013; Murillo-Gómez Et Al., 2015; De Noronha Castro Pinto y Moreno Mardones, 2009) han utilizado este modelo predictivo.

Finalmente, y de acuerdo a lo expuesto, el proceso de validación demuestra que el modelo predictivo STL-86 presenta grandes ventajas, entre ellas:

- Mayor porcentaje $| \text{Med.} - \text{Mod.} | < 1\text{dB}$.
- Mayor coeficiente de Pearson.
- Menor error absoluto.
- Menor desviación positiva vs negativa.
- Menor desviación estándar.

- Menor mediana.
- Tendencia a sobreexposición, considerando el caso más crítico.

En las siguientes figuras adjuntas se evidencian los mapas de ruido actuales del DMQ:

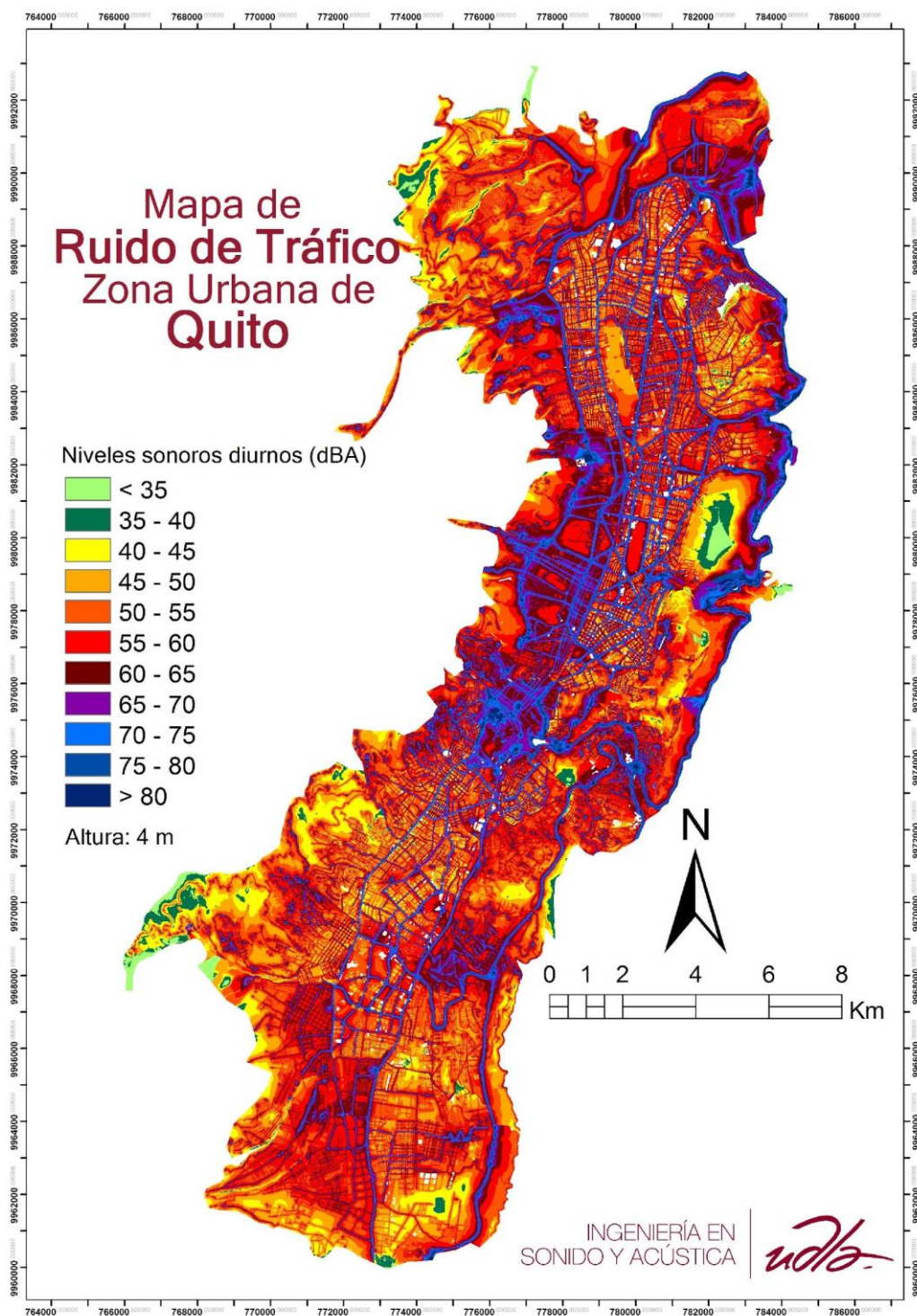


Figura 26. Mapa de Ruido de Tráfico de la Zona Urbana de Quito, periodo diurno.

Tomado de (Escuela de Ingeniería en Sonido y Acústica de la Universidad de las Américas, s.f.)

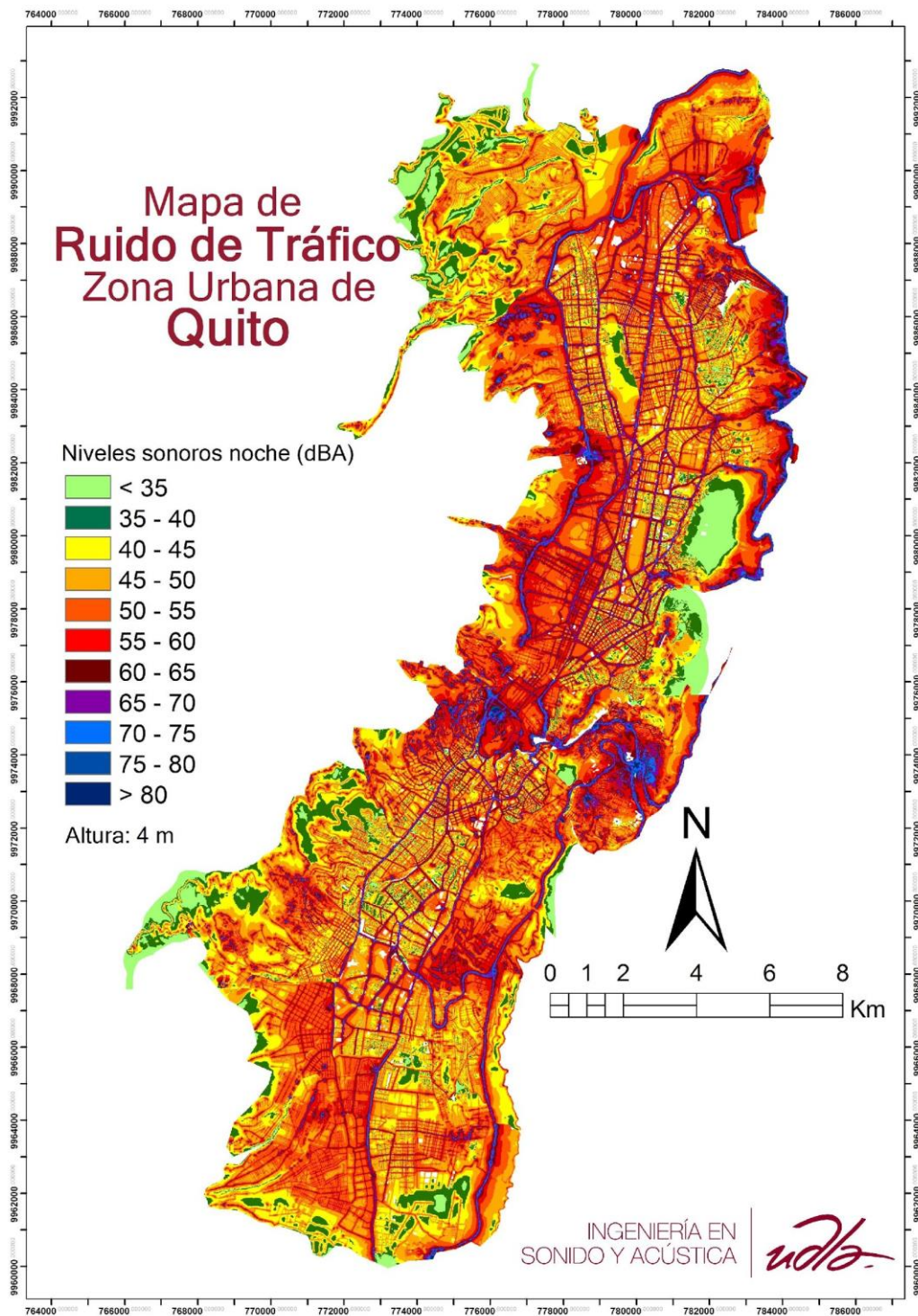


Figura 27. Mapa de Ruido de Tráfico de la Zona Urbana de Quito, periodo nocturno.

Tomado de (Escuela de Ingeniería en Sonido y Acústica de la Universidad de las Américas, s.f.)

4.2 Validación del Flujo Vehicular

Respecto a la validación del flujo vehicular, es necesario mencionar que, dadas las diferentes condiciones que cada tipo de vía presenta, los resultados finales estarán condicionados por factores como: el periodo del día en el que los conteos fueron efectuados, el estado de la calzada, clima y día de la semana, lo cual, eventualmente, refleja un cierto grado de incertidumbre.

En la Figura 28 se representa el comportamiento estadístico entre los valores de los conteos vehiculares realizados en días hábiles de la semana y periodos de tiempo distintos. También, se expone la correspondiente tabulación de cada categoría vial, en donde se puede evidenciar la magnitud de vehículos que circulan por ellas. Así mismo, es notoria la disminución de automotores en las vías locales, independientemente de su tipo. En cuanto a las vías arteriales existe una diferencia considerable en comparación con las vías colectoras, estas últimas tienen un comportamiento con diferencias mínimas entre sus tipos (principal y secundaria).

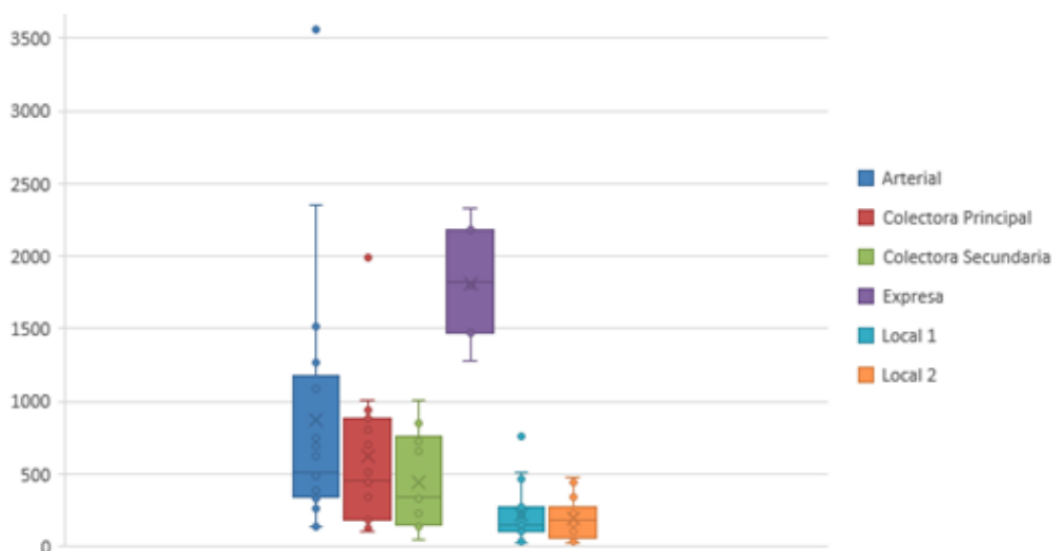


Figura 28. Diagrama de cajas por tipo de vía, flujo vehicular (v/h).

A) Eje X: Tipos de vías

B) Eje Y: Cantidad de vehículos.

Se presentan también los resultados de los conteos vehiculares, efectuados con la finalidad de verificar el flujo establecido por tipo de vía en el DMQ.

Tabla 5.

Resultados del estudio estadístico.

Distribución Vial	Flujo vehicular (Veh./h) EPMOP	Flujo vehicular (Veh./h) Conteos
Expresa	1300	1728
Arterial	1000	1170
Colectora	900	1128
Secundaria	600	541
Local (Alta demanda)	300	190
Local (Demanda media)	150	144

Respecto a las categorías expresas, arteriales, y colectoras principales, se puede evidenciar que la cantidad de vehículos estimados para un día resultan ser mayores que los datos proporcionados por la Secretaría de Movilidad. No obstante, las vías de tipo colectoras secundaria, local 1 y local 2 se encuentran dentro del número estimado.

Un análisis adicional se realizó en base a los resultados obtenidos de los conteos vehiculares, debido a que los distintos modelos de predicción utilizados son sensibles a diferentes variables de entrada, que pueden afectar a los resultados generados por los mismos (Oberreuter, 2012.). Se determinó únicamente la existencia de una variación de nivel equivalente de la simulación realizada por el software CADNA-A, en función de la incertidumbre del porcentaje de vehículos pesados registrados.

A continuación, se presentan las tablas tomadas como referencia para la presente observación (Figura 29), así como el porcentaje de incertidumbre obtenido para los vehículos pesados registrado durante los conteos vehiculares (Tabla 6).

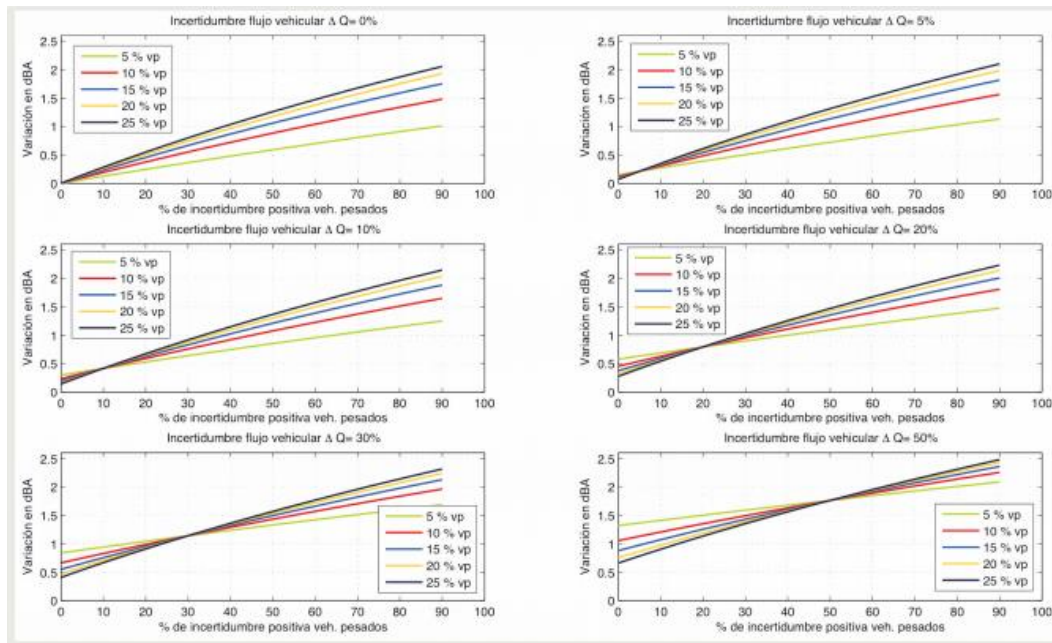


Figura 29. Variación de nivel equivalente en función de la incertidumbre del porcentaje de vehículos pesados.

Tomado de (Oberreuter, 2012)

Tabla 6.

Porcentaje de incertidumbre de vehículos pesados en las diferentes vías de medición.

Tipo de vía	Livianos		Pesados		
	Total	Promedio	Total %	Promedio %	Incertidumbre
Expresa	36295	1728	68.90%	3%	0.4%
Arterial	24636	1170	62.20%	2.96%	1%
Colectora	23632	1128	83.80%	3.99%	2%
Secundaria	10825	541	109.5%	5.21%	3%
Local (Alta demanda)	3982	190	159.6%	7.6%	6%
Local (Demanda media)	3022	144	222.8%	10.61%	9%

Para la obtención de los porcentajes de incertidumbre correspondientes a los diferentes tipos de vía, se partió de los datos recolectados durante la validación de los conteos vehiculares. Se tomaron 171 puntos de conteo. Los automotores fueron categorizados en 3 grupos: livianos, motos y pesados; siendo éstos últimos los más importantes de cara a la obtención del porcentaje de incertidumbre final. El tipo de vía también fue considerado, puesto que forma parte de la información de entrada para la simulación en CADNA-A. Posteriormente los valores registrados fueron sumados en un total correspondiente a cada categoría, esto con el fin de sacar un promedio global que pudiera ser contrastado con los datos proporcionados por la Secretaría de Movilidad y, por ende, verificar las diferencias existentes entre ambos. Seguidamente se procedió a obtener el porcentaje total de vehículos pesados y, gracias a esto, también conseguir sus respectivos valores promedio. Estos datos se convertirían en las variables de razón y de intervalo necesarias para la

obtención de la varianza, cuya raíz cuadrada daría como resultado el porcentaje de incertidumbre de vehículos pesados para cada tipo de vía.

Se observa que el porcentaje de incertidumbre de los vehículos pesados registrados en los conteos realizados, en comparación con los expuestos en la Tabla 29, resulta ser mínimo en valores porcentuales. De ello se puede evidenciar que los niveles en dBA generados por el CADNA-A, no tienen una variación de error muy amplia puesto que la incertidumbre es mínima y no afecta en una suma logarítmica de gran magnitud.

Es necesario acotar que, los conteos realizados para el presente estudio consideran un margen de años considerable con respecto a los proporcionados por la secretaría de movilidad, por lo que se puede analizar en base al estudio: “Influencia de la incertidumbre en los datos de entrada” (Oberreuter, 2012), que las variaciones de nivel generadas por CADNA-A tampoco tendrán un aumento significativo. Sin embargo, al comparar los valores con las gráficas de la Tabla 28 se puede observar que dicha variación de nivel en dBA es mínima, lo cual significa que los datos simulados no influirán en gran medida.

4.3 Influencia de Otras Fuentes

A pesar de que los resultados de la validación presentan al modelo STL-86 como el más apropiado, surgió la necesidad de estudiar el comportamiento del modelo predictivo utilizado en el actual mapa de ruido de flujo vehicular del DMQ. Razón por la cual en esta fase se omiten los otros 2 modelos predictivos (STL-86 y NMPB-08). El proceso se desarrolló, bajo periodos de tiempo prolongados (24 horas), en los que se desconoce la influencia de focos de ruido distintos al ruido de tráfico vehicular, cabe mencionar que la probabilidad de la presencia de tales fuentes es realmente alta. De cualquier forma, para poder realizar un análisis, es necesario examinar el error absoluto entre la metodología de medición y la simulación, además durante esta etapa se utilizan los descriptores Ld, Ln y Ldn.

Los resultados que se presentan a continuación corresponden a los descriptores acústicos obtenidos durante la etapa de medición (proceso de larga duración). En ellos se puede apreciar la diferencia de los niveles de ruido presentes durante el día y su depreciación respecto a la jornada nocturna.

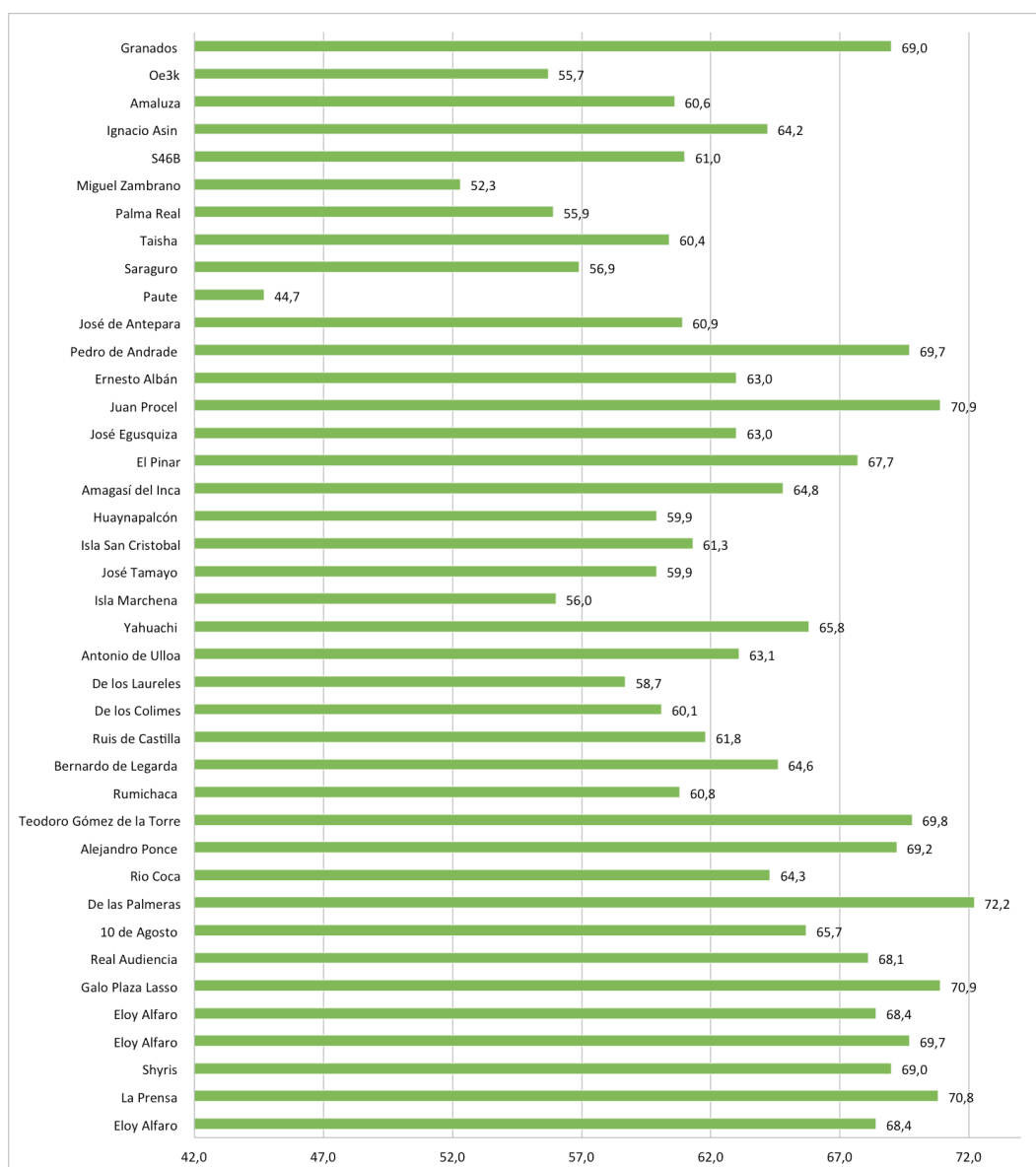


Figura 30. Resultados de los descriptores acústicos L_d (dBA) para el modelo predictivo RLS-90, obtenidos durante la etapa de medición.

A) Las categorías no son equiparables.

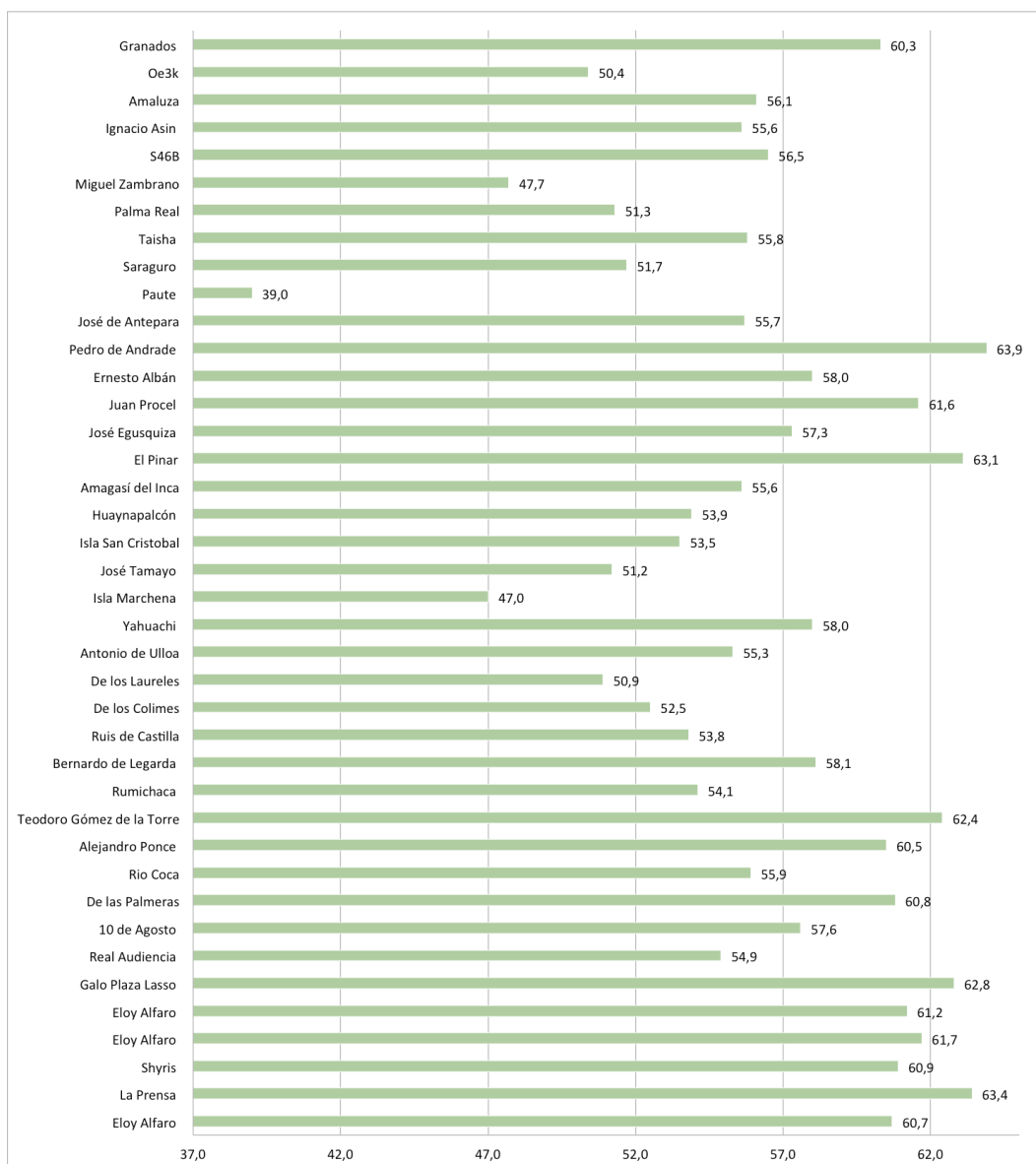


Figura 31. Resultados de los descriptores acústicos Ln (dBA) para el modelo predictivo RLS-90, obtenidos durante la etapa de medición.

A) Las categorías no son equiparables.

A continuación, se presentan, en referencia al modelo predictivo RLS-90 y al tipo de vía, los niveles obtenidos (Ld, Ln y Ldn) en el proceso de simulación de cada una de las localidades (40), en las que se cumplió con la metodología de medición de larga duración. Consecuentemente es necesario realizar un estudio por categorías, en este caso el modelo se divide en dos categorías y a su vez en sub apartados que permiten un análisis exacto de los resultados:

Descriptores (Ld, Ln y Ldn) y Tipo de Vía (Arterial, colectora principal y secundaria, local 1,2 y 3, pasaje y semi expresa).

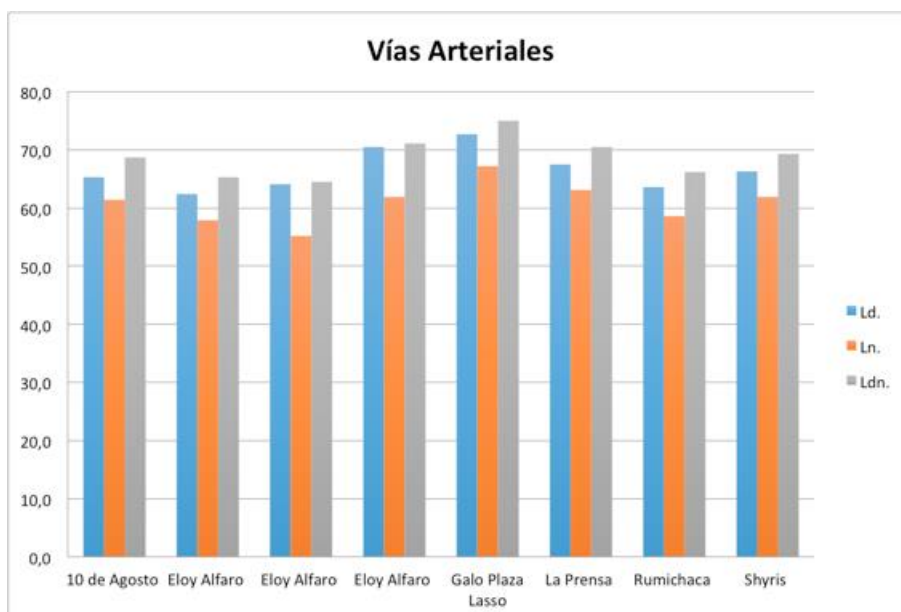


Figura 32. Resultados de los descriptores acústicos Ld, Ln y Ldn (dBA), por punto de medición correspondiente a la categoría: vías arteriales.

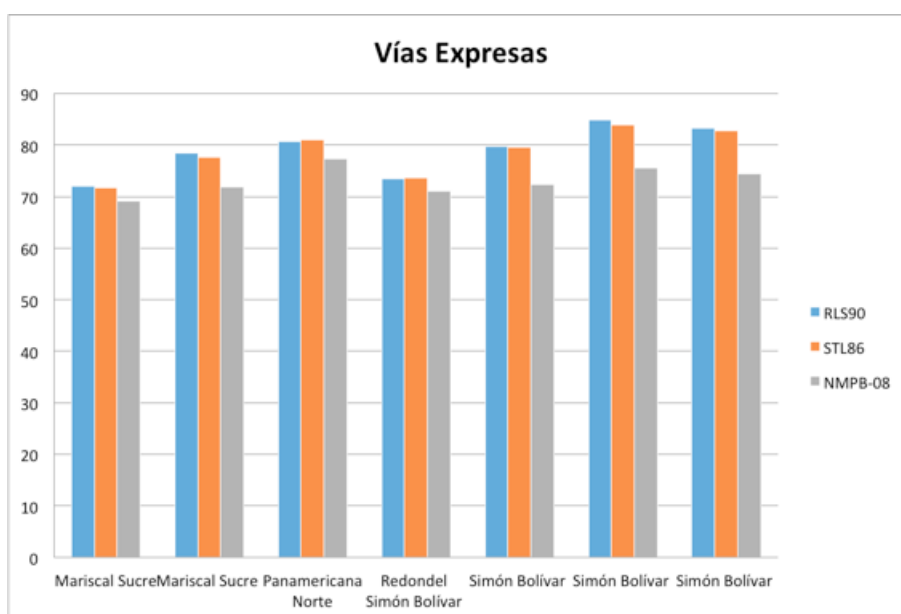


Figura 33. Resultados de los descriptores acústicos Ld, Ln y Ldn (dBA), por punto de medición correspondiente a la categoría: vías expresas.

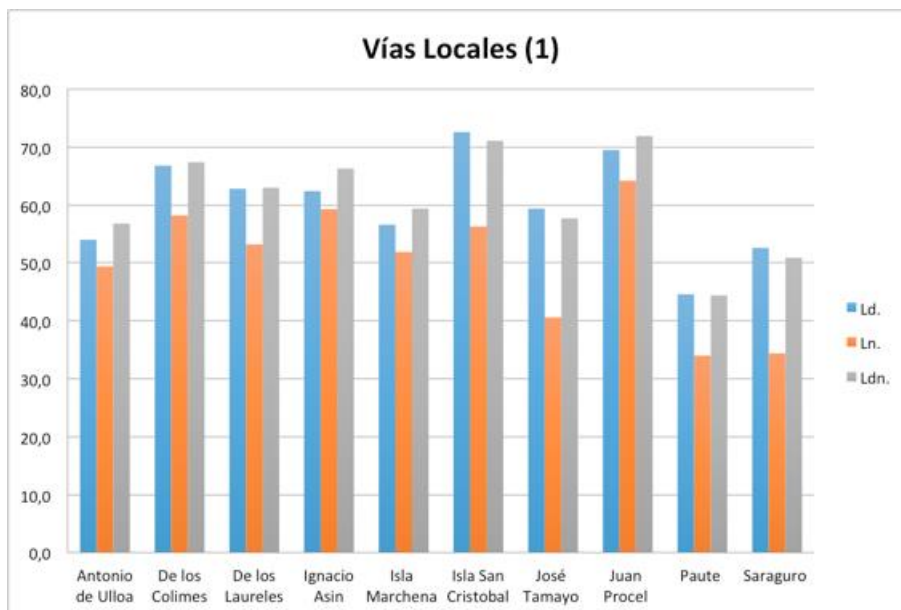


Figura 34. Resultados de los descriptores acústicos Ld, Ln y Ldn (dBA), por punto de medición correspondiente a la categoría: vías locales, nivel 1.

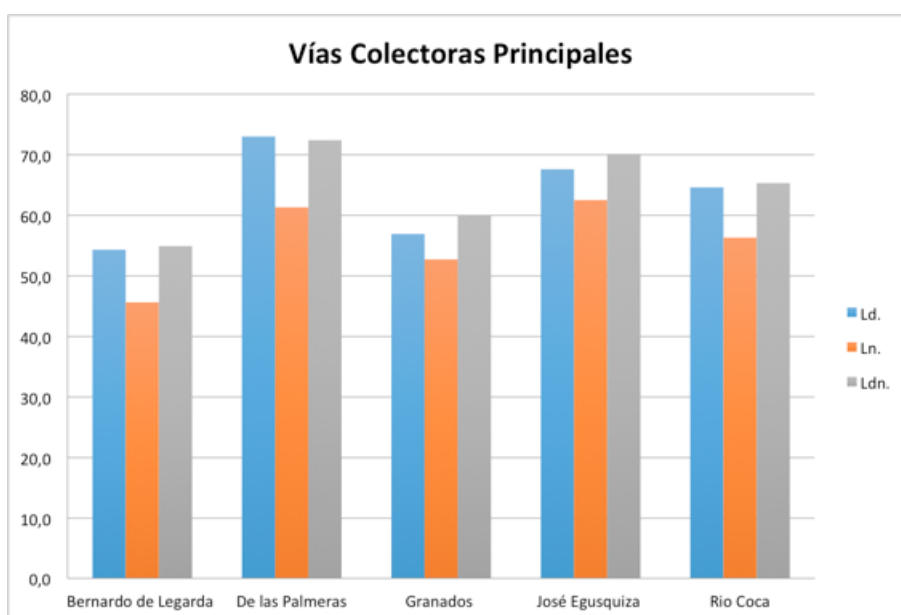


Figura 35. Resultados de los descriptores acústicos Ld, Ln y Ldn (dBA), por punto de medición correspondiente a la categoría: vías colectoras principales.

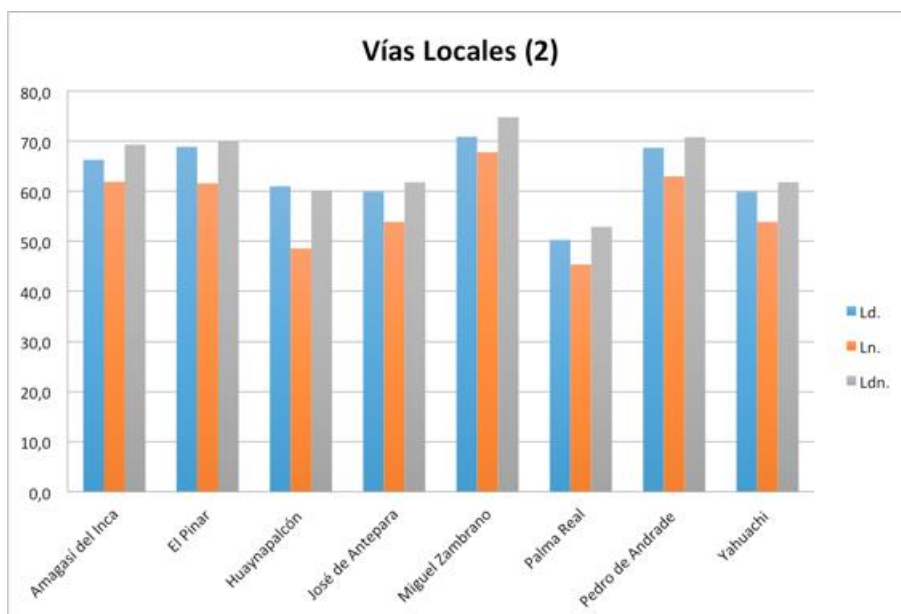


Figura 36. Resultados de los descriptores acústicos Ld, Ln y Ldn (dBA), por punto de medición correspondiente a la categoría: vías locales, nivel 2.

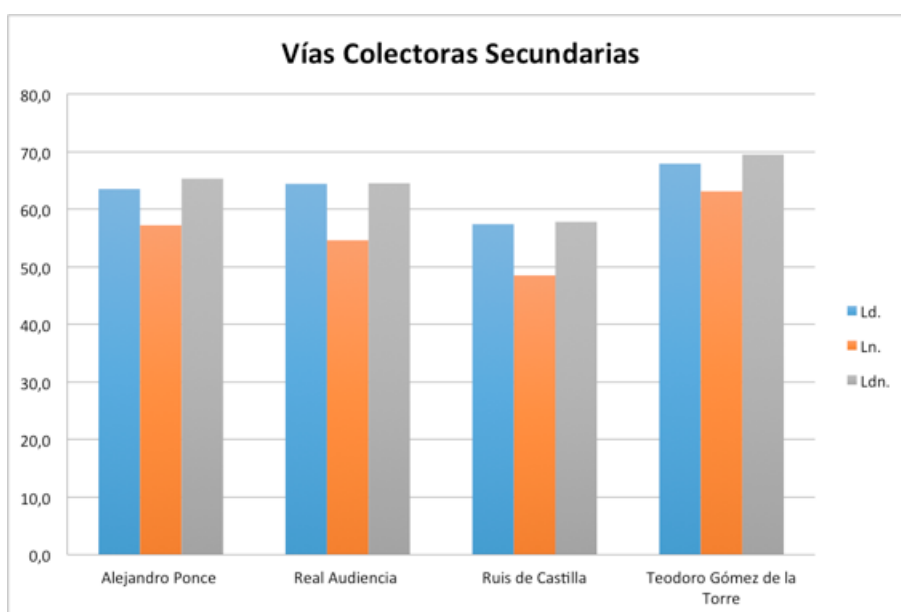


Figura 37. Resultados de los descriptores acústicos Ld, Ln y Ldn (dBA), por punto de medición correspondiente a la categoría: vías colectoras secundarias.

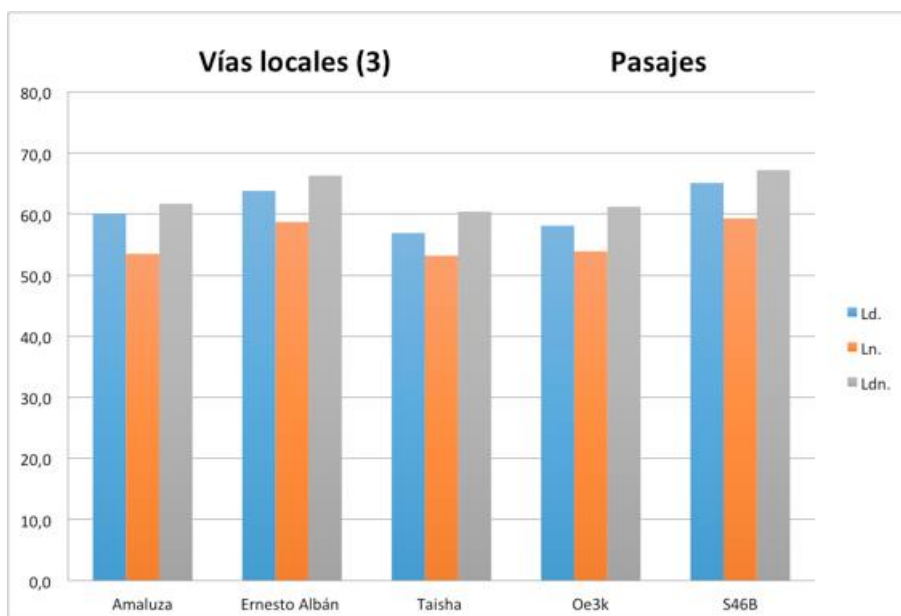


Figura 38. Resultados de los descriptores acústicos Ld, Ln y Ldn (dBA), por punto de medición correspondiente a la categoría: vías locales, nivel 3 y pasajes.

En cuanto a los tipos de vía, se realiza de manera individual, un estudio descriptivo del comportamiento del nivel de ruido proveniente del flujo vehicular, mediante un diagrama de cajas y bigotes. Ello, debido a que ninguna de las categorías cuenta con el mismo número de lugares de medición, al respecto los resultados de cada categoría no se pueden comparar. Sin embargo, si se pueden apreciar las diferencias respecto al tipo de vía en comparación con el descriptor acústico evaluado, es decir: Ld y Ln.

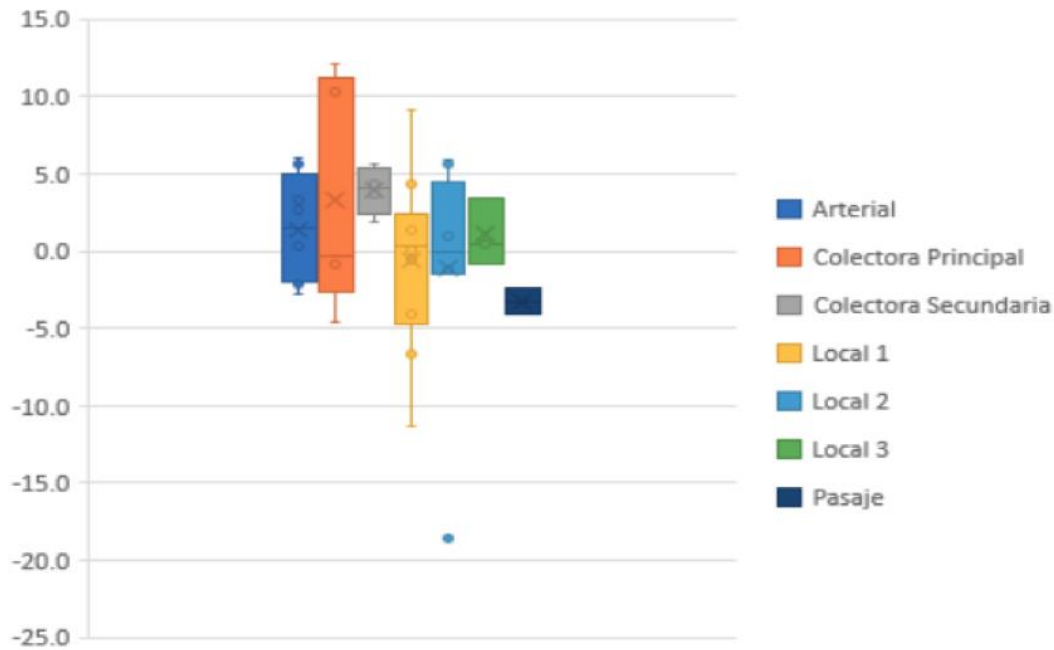


Figura 39. Diagrama de cajas y bigotes por tipo de vía, descriptor acústico Ld.
A) Metodología a largo plazo, eje y: dB.

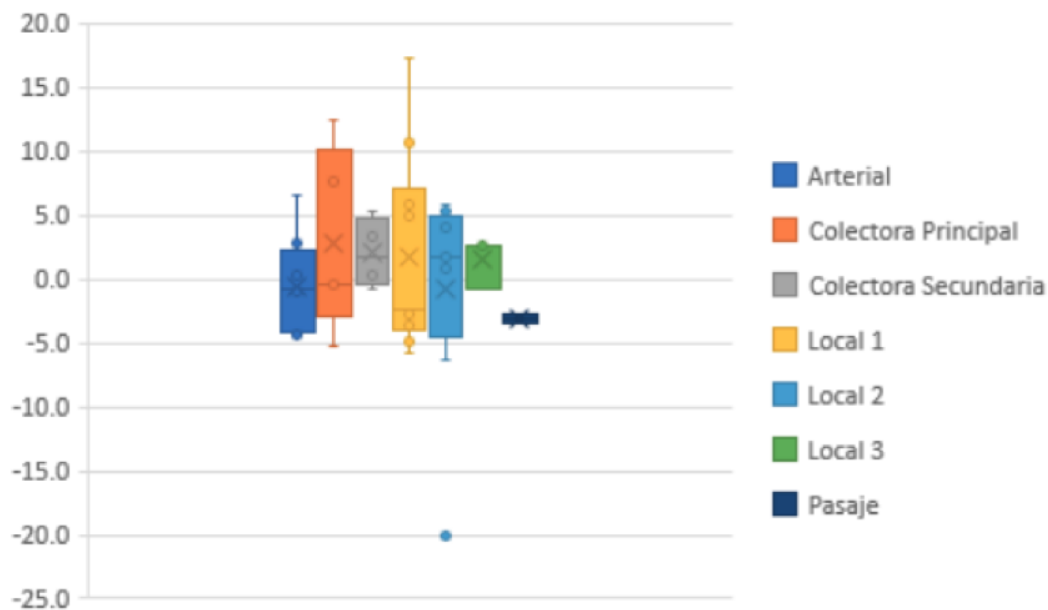


Figura 40. Diagrama de cajas y bigotes por tipo de vía, descriptor acústico Ln.
A) Metodología a largo plazo, eje y: dB.

Al comparar las gráficas se puede estudiar, la diferencia estadística de los niveles de ruido de tráfico de flujo vehicular, generados durante el día y durante

la noche. Respectivamente, se puede apreciar una disminución considerable de nivel en el periodo nocturno en las categorías: colectora secundaria, local 3 y pasaje. Llama la atención el comportamiento de los resultados en las categorías arterial, colectora principal y local 2, dado que los niveles durante el periodo nocturno llegan a presentar picos más altos o iguales que aquellos generados durante el periodo diurno. Se presume que durante el periodo nocturno pudo suceder algún suceso ruidoso inesperado, debido a que los picos ocurren en los niveles máximos, sin embargo, los niveles mínimos son más bajos que los generados durante el periodo diurno, de acuerdo a lo esperado. Al contrario de la categoría Local 1, en donde no solo ocurren picos en los máximos, el nivel mínimo durante la noche es el doble de ruidoso que aquel generado durante el día.

A continuación, se presenta el diagrama de cajas del descriptor Ldn, mismo que considera valores día y noche.

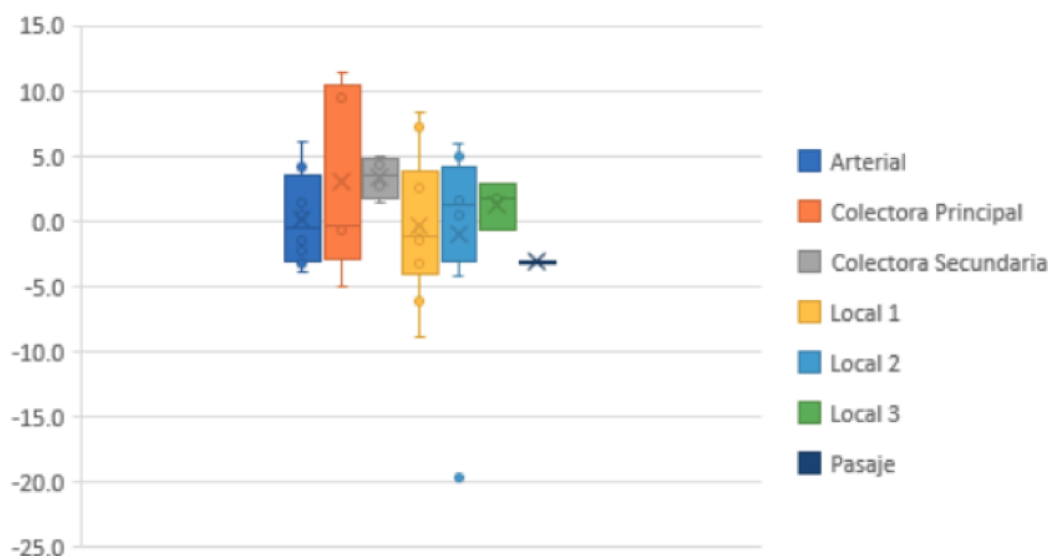


Figura 41. Diagrama de cajas por tipo de vía, descriptor acústico Ldn.

A) Metodología a largo plazo, eje y: dB.

4.4. Resumen de Resultados

En la etapa de monitoreo, se ejecutaron 90 mediciones de corta duración durante un periodo diurno, posteriormente se efectuó un estudio en el software

de simulación CADNA-A del comportamiento de tres modelos predictivos para cada punto (RLS-90, STL-86, NMPB-08). Se obtuvieron resultados concretos en cuanto a la relación directa del flujo vehicular y los niveles de ruido, entre ellos están:

- RLS-90 = Error absoluto más alto.
- RLS-90 = 69% puntos simulados > puntos medidos.
- STL-86 = Desviación estándar más baja.
- STL-86 y RLS-90 = Correlación positiva alta (0,7).
- STL-86 = Rango inter cuartil más bajo.
- Mediana RLS-90, 29% > mediana STL-86.
- STL-86 = Mayor porcentaje $| \text{Med.} - \text{Mod.} | < 1\text{dB}$
- NMPB-08 = 27% puntos simulados > puntos medidos.

En cuanto al modelo que menos cumple con los parámetros propuestos corresponde al NMPB-08, debido a la diferencia notoria que existe entre los valores simulados y los medidos, siendo estos últimos mayores. Por otro lado, el comportamiento de los modelos STL-86 y RLS-90 son bastante similares, razón por la cual, ambos podrían adaptarse bastante bien al entorno urbanístico del DMQ. No obstante, otras ciudades de Latinoamérica, como Santiago de Chile, Ciudad de México, Río de Janeiro, Medellín y Valdivia, han empleado el modelo de predicción alemán (RLS-90), además de tomar en cuenta su eficiencia computacional. Sin embargo y, finalmente, si se trata de seleccionar un solo modelo entre el RLS-90 y STL-86, aquel que presenta más estabilidad debido a sus bajos porcentajes de error, por más mínima que sea, corresponde al modelo de predicción STL-86.

La validación del flujo vehicular se efectuó mediante conteos vehiculares comprendidos en periodos de tiempo de 20 minutos y extrapolados a 1 hora en distintos puntos de la ciudad, tomando a consideración que el proceso habría de contemplar la excepción de días feriados u horas pico. Se categorizaron los distintos automotores registrados durante los conteos, de manera que al

analizar los datos se pudieran manejar solamente 3 tipos: livianos, pesados y motos. Ello con la finalidad de obtener un porcentaje de vehículos pesados del total de cada vía y, posteriormente, obtener los valores de incertidumbre para futuras comparaciones, así como la validación de su incidencia en la simulación de nivel en dBA de los distintos modelos predictivos en CADNA-A.

Al estudiar la influencia de otras fuentes en el comportamiento del modelo predictivo RLS-90 en el DMQ, fue necesario realizar mediciones de ruido de flujo vehicular por categorías. Consecuentemente, del periodo nocturno se aprecia una disminución de nivel en comparación con el periodo diurno, para las vías colectoras secundarias, local 3 y pasaje. Se presume que las categorías viales restantes se vieron afectadas por algún suceso ruidoso inesperado, sin embargo, se presume que la vía local 1 se ve, con frecuencia, seriamente influenciada por otras fuentes. Ello debido a que los resultados del análisis estadístico demuestran que, el nivel mínimo durante la noche es el doble de ruidoso que el generado durante el día.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Considerando la dispersión geográfica del territorio urbano correspondiente al DMQ, se han evaluado y seleccionado puntos estratégicos para efectuar las mediciones de ruido de tráfico vehicular en las zonas Norte, Centro y Sur, teniendo al menos un punto por parroquia a excepción de Chillogallo y Guamaní. En parroquias como por ejemplo la Jipijapa, fueron escogidas más de diez locaciones, considerando que mientras más puntos se tenga, menor será el margen de error estadístico. Ninguno de los puntos seleccionados estuvo cerca de sitios o factores que de alguna manera pudieran incrementar el nivel real tanto en las mediciones de largo como las de corto plazo.

En vista de las condiciones del DMQ (climatológicas, geográficas, territoriales y poblacionales), se logró satisfacer algunos de los requerimientos estipulados en la norma ISO 1996-2 para el proceso de medición como, por ejemplo: Ausencia de lluvias, el operador debe ubicarse a una distancia mayor a 0,5m del sonómetro, la altura mínima requerida entre el suelo y el sonómetro es de 1,5m, para las mediciones de corta duración se tomaron en cuenta condiciones de campo abierto, es decir en exteriores, calibración apropiada de los instrumentos de medición, los puntos restantes de la norma por cumplir, no se tomaron a consideración debido a la falta de una estación fija de medición y seguridad para los instrumentos de medición y personal.

Gracias a los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se pudieron obtener las coordenadas exactas de los puestos de medición, de manera que en los mapas del software de simulación los puntos receptores fueran precisos. Gracias a ello, CADNA-A permitió modelar niveles de ruido para las locaciones escogidas, mediante los modelos predictivos RLS-90, STL-86 y NMPB-08. Para el proceso de predicción del software, se tomaron en cuenta variables como tipo de asfalto y altura.

En conformidad con el análisis estadístico obtenido en la etapa comparativa de datos modelados respecto a los medidos, bajo la metodología de corto plazo, se pudo evidenciar que tanto el modelo RLS-90 como el STL-86 funcionan de manera apropiada, adaptándose a las características del DMQ. Al respecto para ambos modelos, la mayor parte de los valores modelados son mayores respecto a los medidos. Respecto al modelo NMPB-08, éste no cumplió con los criterios considerados para la validación, debido a que sus predicciones son menores comparados con los datos correspondientes a los niveles reales medidos.

En vista de que tanto el modelo RLS90 como el STL-86 se adaptan los criterios considerados para la validación, se busca un juicio adicional que permita diferenciarlos. Al respecto se considera que otros escenarios latinoamericanos, similares a la capital ecuatoriana, como Ciudad de México, Medellín, Valdivia, Santiago de Chile y Río de Janeiro; utilizan el algoritmo de cálculo RLS-90, motivo por el cual se considera válido la implementación del mismo en la elaboración del actual mapa de ruido de tráfico de la zona urbana del DMQ. Por otro lado, el análisis estadístico permitió apreciar las grandes ventajas que presenta el modelo predictivo SLT-86, entre ellas: Tendencia a sobre exposición tomando en cuenta el caso más crítico, menor error absoluto, menor dispersión, mayor coeficiente de Pearson y mayor porcentaje $|Med.-Mod.| < 1dB$.

Dentro de las nueve categorías viales proporcionadas por la EPMMOP, existe una en la que el comportamiento del modelo predictivo alemán durante la noche es mayor en cuanto a nivel en comparación con el día, ésta corresponde a la de tipo Local 1. Con respecto a la validación del flujo vehicular, se pudieron encontrar diferencias en cuanto a la información proporcionada por la Secretaría de Movilidad, en contraste con los datos registrados durante la etapa de conteos lo cual, después de categorizar los automotores en grupos livianos, motos y pesados; sirvieron para obtener porcentajes de incertidumbre de éstos últimos y analizar la variación de nivel en dBA generada por la simulación de CADNA-A, mismos que no tuvieron un aumento significativo, lo

que indica a su vez que los datos simulados no influirán en gran medida a los tazados durante los conteos.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda que, tomando en cuenta la presente validación, se analice el mapa actual de ruido del DMQ con el fin de emitir ciertas normativas y leyes que aseguren el bienestar de la población quiteña urbana frente a posibles afecciones auditivas generadas por el ruido de flujo vehicular, en vista de que durante la etapa de medición se obtuvieron valores que sobrepasan los límites establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana.

Para un proceso de validación óptimo sería preciso contar con estaciones de medición fijas que abarquen una dispersión geográfica extensa dentro de los límites de interés. Ello, puesto que las condiciones climáticas del DMQ son, en su mayoría, inciertas, además de la inseguridad actual existente y la mala planificación urbana de la capital ecuatoriana.

Sería ideal que el DMQ contara con su propio modelo predictivo que considere, sobre todo, su realidad topográfica, debido a la gran cantidad de pendientes presentes en las calles y avenidas, atribuidas a su posición dentro de una cordillera, además del mal diseño acústico-arquitectónico en ciertos sectores.

REFERENCIAS

- Achen, C. H. (1982). *Interpreting and using regression*, Londres. Sage. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=bd82ZBsSI51C&oi=fnd&pg=PA5&dq=Achen,+C.+H.+\(1982\).+Interpreting+and+using+regression,+Londres.+Sage.&ots=sIXnoMfPIr&sig=wKeKwnXo1jxwjAo5aOJwZiRE-BE#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=bd82ZBsSI51C&oi=fnd&pg=PA5&dq=Achen,+C.+H.+(1982).+Interpreting+and+using+regression,+Londres.+Sage.&ots=sIXnoMfPIr&sig=wKeKwnXo1jxwjAo5aOJwZiRE-BE#v=onepage&q&f=false).
- Alcaldía de Quito. (s.f.). Dirección Metropolitana de Parroquias Rurales, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de <http://www.quito.gob.ec/index.php/secretarias/secretaria-de-inclusion-social/66-secretarias/206-direccion-metropolitana-de-parroquias-rurales#comité-rural>.
- Alcaldía de Quito. (s.f.). Red Verde Urbana. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de <http://sthv.quito.gob.ec/portfolio/red-verde-urbana/>.
- Alonso, J. (2014). Discriminación Del Estado De La Carretera Mediante Procesado Acústico En Vehículo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de http://oa.upm.es/33529/1/JESUS_ALONSO_FERNANDEZ.pdf.
- Atlas ambiental del Distrito Metropolitano de Quito. (2016). El clima en el Distrito Metropolitano de Quito. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de http://www.usfq.edu.ec/programas_academicos/colegios/cociba/quitoambiente/temas_ambientales/cambio_climatico/Documents/DC2AC1_atlas_ambiental_dmq_clima.pdf.
- Ausejo, M., Recuero, M., Asensio, C., Pavón, I., y López, J. M. (2010). *Study of precision, deviations and uncertainty in the design of the strategic noise map of the macrocenter of the city of Buenos Aires, Argentina. Environmental Modeling and Assessment*, 15(2), 125–135. <https://doi.org/10.1007/s10666-009-9191-9>.
- Bastián-Monarca, N. A., Suárez, E., y Arenas, J. P. (2016). *Assessment of*

methods for simplified traffic noise mapping of small cities: Casework of the city of Valdivia, Chile. Science of The Total Environment, 550, 439–448. <https://doi:10.1016/j.scitotenv.2016.01.139>.

Bartí, R. (2010). *Acústica Medioambiental Vol. I*, San Vicente, Alicant. Editorial Club Universitario. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de <http://site.ebrary.com/bibliotecavirtual.udla.edu.ec/lib/udlasp/reader.a>

Casas, W. J. P., Cordeiro, E. P., Mello, T.C. y Zannin, F. (2015). *Noise Mapping as a toll for controlling industrial noise pollution. Journal of scientific and Industrial research, New Delhi*, Vol 73, No 4. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de <http://hdl.handle.net/10183/111669>.

Campello-Vicente, H. (2014). *Adaptación del modelo de predicción de ruido de tráfico rodado nmpb-routes 2008 a la presencia de vehículos eléctricos*, 1. Tesis Doctoral Escuela Politecnica Superior de Elche. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/1607/7/TESIS%20DOCTORAL%20H%C3%89CTOR%20CAMPELLO.pdf>.

Comision Europea (1996). *Política Futura De Lucha Contra El Ruido. Libro Verde*, Recuperado el 4 de Enero de 2018 de <http://www.juristasruidos.org/Documentacion/ruidolibroverde.pdf>.

De Noronha Castro Pinto, F. A., y Moreno Mardones, M. D. (2009). *Noise mapping of densely populated neighborhoods, example of Copacabana, Rio de Janeiro, Brazil. Environmental Monitoring and Assessment*, 155 (1–4), 309–318. <https://doi:10.1007/s10661-008-0437-9>.

Environmental Noise Directive, END. (2002). *Evaluación y gestión del ruido ambiental. Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo*. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/dir2002-49-cee.html.

European Commission Working Group Assesment of Exposure to Noise. (2007). Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de

https://www.lfu.bayern.de/laerm/eg_umgebungs-laermrichtlinie/doc/good_practice_guide_2007.pdf.

- Fritschi, L., Brown, A. L., Kim, R., Schwela, D., y Kephelopoulos, S. (2011). *Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe*. World Health Organization. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf.
- González, A., (2013). Caracterización del paisaje sonoro y su interacción con el paisaje urbano, Madrid. Escuela técnica superior de ingenieros industriales. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de http://oa.upm.es/32533/7/ARTURO_RAUL_MARISTANY_GONZALEZ.pdf.
- Hernández-Molina, R., y Cueto-Ancela, J. (2007). Guías de buena práctica, 07 Guía Mapas de Ruido. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de <http://rodin.uca.es/xmlui/handle/10498/18220>.
- INEC. (2013). Quito, el cantón más poblado del Ecuador en el 2020. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/quito-el-canton-mas-poblado-del-ecuador-en-el-2020/>.
- Institute Of Medicine And National Research Council Of The National Academies Washington D.C.* (2017). *Review of the NIOSH Hearing Loss Research Program : Health and Medicine Division*. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de <http://nationalacademies.org/hmd/Activities/Research/HearingLossNIOSH.aspx>.
- Makarewicz, R., y Galuszka, M. (2011). *Empirical revision of noise mapping*. *Applied Acoustics*, 72(8), 578–581. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.10.012>.
- Mioduszewski, P., Ejsmont, J. A., Grabowski, J., y Karpiński, D. (2011). *Noise map validation by continuous noise monitoring*. *Applied Acoustics*, 72(8), 582–589. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.01.012>.

- Miyara, F. (2001). Análisis de la Legislación Sobre Ruido Y Vibraciones, 72, 1–97. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/legis.pdf>.
- Ministerios del Ambiente del Ecuador, MAE. (2015). Anexo 5: Niveles máximos de emisión de ruido y metodología de medición para fuentes fijas y fuentes móviles y niveles de vibraciones. 097-A Reforma al Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112184.pdf>.
- Murillo-Gómez, D. M., Gil-Carvajal, J. C., Zapata-Rodríguez, V., y Téllez-García, J. J. (2015). Assessment of the RLS 90 calculation method for predicting road traffic noise in Colombian conditions. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (75). <http://dx.doi.org/10.17533/udea.redin.n75a17>.
- Murphy, E., y King, E. A. (2014). *Environmental noise pollution : noise mapping, public health, and policy*. Newnes Elsevier. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=_bPrAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Environmental+noise+pollution+:+noise+mapping,+public+health,+and+policy.+Newnes+Elsevier.&ots=0tRYr7bnQx&sig=BrbdiJUBgeHE2mZw0COscJ7hWx8#v=onepage&q=Environmental%20noise%20pollution%20%3A%20noise%20mapping%2C%20public%20health%2C%20and%20policy.%20Newnes%20Elsevier.&f=false.
- INEN-ISO. 1996-2, (2014). Descripción, Medición y Evaluación del Ruido Ambiental, parte 2: Determinación de los Niveles de Ruido Ambiental (ISO 1996-2:2007, IDT). Recuperado el 4 de Enero de 2018 de http://www.normalizacion.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/JSI/nte_inen_iso_1996_2extracto.pdf
- MDMQ, (2016). Norma técnica para control de la contaminación por ruido (Nt003), Quito-Ecuador. Ordenanza Metropolitana No. 138. Recuperado el 4 de Enero 2018 de

http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Proyectos%20Ordenanzas/138/Ordenanza%20Metropolitana%20No.%20138.pdf.

- Oberreuter J. (2012). Influencia de la incertidumbre en los datos de entrada en la generación de mapas de ruido de grandes ciudades, Valdivia. Universidad Austral de Chile. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de <https://www.udla.edu.ec/ojs/index.php/sonac/article/view/43>.
- Planificación, G. D. E., y Movilidad, D. E. L. A. (2011). Tipos de Vías del Distrito Metropolitano de Quito. Gerencia de planificación de la movilidad, 45. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de http://www.quito.gob.ec/documents/rendicion_cuentas/AZC/Articulacion_politicas_publicas/PLAN_ORDENAMIENTO_TERRITORIAL2012.pdf.
- Quartieri, J., Mastorakis, N., Iannone, G., Guarnaccia, C., D'Ambrosio, S., Troisi, A., y Lenza, T. (2009). *A Review of Traffic Noise Predictive Models. Recent Advances in Applied and Theoretical Mechanics*, 72–80. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2009/tenerife/MECHANICS/MECHANICS-12.pdf>.
- Granell, A., (2010). El sistema electrónico de frenado, que es y como funciona, RO-DES. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de <https://www.ro-des.com/mecanica/sistema-electronico-de-frenado-que-es/>.
- Recuperado el 4 de Enero de 2018 de <http://www.franmass.com/2011/08/salud-y-niveles-de-ruido.html>.
- Rodriguez, F., (2015). Ruido ambiental, comunicación y normatividad en la ciudad de México, Mexico. Razón y Palabra. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de <http://www.redalyc.org/html/1995/199541387021/>.
- Romeu, J., Genesca, M., Pamies, T. y Jiménez, S., (2011). *Street categorization for the estimation of day levels using short-term measurements, Spain. Applied Acoustics*. [https://doi: 10.1016/j.apacoust.2010.09.012](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.09.012)
- Stoter, J., de Kluijver, H., y Kurakula, V. (2008). *3D noise mapping in urban areas. International Journal of Geographical Information Science*,

22(8), 907–924. <https://doi.org/10.1080/13658810701739039>

Suárez, E., y Barros, J. L. (2014). *Traffic noise mapping of the city of Santiago de Chile. Science of The Total Environment*. Recuperado el 4 de Enero de 2018 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971300781>.

ANEXOS

ANEXO 1

CARACTERÍSTICAS DE LAS LOCALIDADES PARA MEDICIONES DE CORTO PLAZO

PARROQUIA	VIA DE MEDICIÓN	TIPO DE VIA	MATERIAL	ALTURA
Itchimbia	Velasco Ibarra	Arterial	Asfalto	1,5
Comité Del Pueblo	Eloy Alfaro	Arterial	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	12 De Octubre	Arterial	Asfalto	1,5
Solanda	Teniente Hugo Ortiz	Arterial	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	10 De Agosto	Arterial	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	12 De Octubre	Arterial	Asfalto	1,5
Centro Histórico	Recoleta	Arterial	Asfalto	1,5
Centro Histórico	Pichincha	Arterial	Asfalto	1,5
Centro Histórico	Alberto Enríquez	Arterial	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Amazonas	Arterial	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Coruña	Arterial	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	6 De Diciembre	Arterial	Asfalto	1,5
Centro Histórico	5 De Junio	Arterial	Asfalto	1,5
Carcelén	Jaime Roldós Aguilera	Arterial	Asfalto	1,5
Centro Histórico	Bahía	Arterial	Asfalto	1,5
Jipijapa	Shyris	Arterial	Asfalto	1,5
Ponceano	Galo Plaza Lasso	Arterial	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Patria	Colectora Principal	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Patria	Colectora	Asfalto	1,5

		Principal		
Concepción	Isaac Albéniz	Colectora Principal	Asfalto	1,5
Ñaquito	Gaspar De Villarroel	Colectora Principal	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Patria	Colectora Principal	Asfalto	1,5
Ñaquito	Naciones Unidas	Colectora Principal	Asfalto	1,5
Jipijapa	Rio Coca	Colectora Principal	Asfalto	1,5
Quitumbe	Moran Valverde	Colectora Principal	Asfalto	1,5
Concepción	Dr. José Fernández Salvador	Colectora Principal	Asfalto	1,5
Jipijapa	Tomas De Berlanga	Colectora Principal	Asfalto	1,5
Jipijapa	De Las Palmeras	Colectora Principal	Asfalto	1,5
Kennedy	Juan Molineros	Colectora Principal	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Ladrón De Guevara	Colectora Principal	Asfalto	1,5
Concepción	La Florida	Colectora Principal	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Veintimilla	Colectora Principal	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Veintimilla	Colectora Principal	Asfalto	1,5
Condado	Francisco De Rumihurco	Colectora Principal	Adoquín	1,5
Cotocollao	Flavio Alfaro	Colectora Principal	Adoquín	1,5
Kennedy	El Inca	Colectora	Asfalto	1,5

		Principal		
Kennedy	De Los Nogales	Colectora Secundaria	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Colón	Colectora Secundaria	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Toledo	Colectora Secundaria	Asfalto	1,5
Solanda	Moro moro	Colectora Secundaria	Asfalto	1,5
La Mena	Julián Estrella	Colectora Secundaria	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Isabel La Católica	Colectora Secundaria	Asfalto	1,5
Centro Histórico	Luis Vargas	Colectora Secundaria	Asfalto	1,5
Kennedy	Gonzalo Zaldumbide	Colectora Secundaria	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Ulpiano Páez	Colectora Secundaria	Asfalto	1,5
San Isidro Del Inca	De Los Nogales	Colectora Secundaria	Asfalto	1,5
Carcelén	Panamericana Norte	Expresa	Asfalto	1,5
Iñaquito	Simón Bolívar	Expresa	Asfalto	1,5
Puengasí	Simón Bolívar	Expresa	Asfalto	1,5
Puengasí	Simón Bolívar	Expresa	Asfalto	1,5
San Isidro Del Inca	Redondel Simón Bolívar	Expresa	Asfalto	1,5
Solanda	Mariscal Sucre	Expresa	Asfalto	1,5
Ponceano	Mariscal Sucre	Expresa	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	9 De Octubre	Local 1	Asfalto	1,5
Centro Histórico	Machángara	Local 1	Asfalto	1,5
Jipijapa	De Las Malvas	Local 1	Adoquín	1,5
Jipijapa	Isla Santa Fe	Local 1	Asfalto	1,5

Solanda	Alberto Spencer	Local 1	Asfalto	1,5
Centro Histórico	Montufar	Local 1	Asfalto	1,5
Centro Histórico	Guayaquil	Local 1	Asfalto	1,5
Jipijapa	De Las Hiedras	Local 1	Adoquín	1,5
Mariscal Sucre	Reina Victoria	Local 1	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Reina Victoria	Local 1	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Juan León Mera	Local 1	Asfalto	1,5
Centro Histórico	García Moreno (24 De Mayo)	Local 1	Asfalto	1,5
Centro Histórico	Montufar	Local 1	Asfalto	1,5
Jipijapa	De Los Colimes	Local 1	Adoquín	1,5
Ponceano	Chuquisaca	Local 1	Asfalto	1,5
Cotocollao	Alfonso Del Hierro	Local 1	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Diego De Almagro	Local 1	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	José Tamayo	Local 1	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Valladolid	Local 1	Asfalto	1,5
Centro Histórico	Ambato	Local 2	Asfalto	1,5
Centro Histórico	Ambato	Local 2	Asfalto	1,5
Centro Histórico	Venezuela (24 De mayo)	Local 2	Adoquín	1,5
Mariscal Sucre	Madrid	Local 2	Asfalto	1,5
Centro Histórico	Vicente Rocafuerte	Local 2	Asfalto	1,5
Centro Histórico	Manabí	Local 2	Adoquín	1,5
Centro Histórico	Mejía	Local 2	Asfalto	1,5
Comité Del Pueblo	De Los Arupos	Local 2	Adoquín	1,5

La Mena	Hernando Talavera	Local 2	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Madrid	Local 2	Asfalto	1,5
San Juan	Hno. Miguel	Local 2	Asfalto	1,5
Centro Histórico	Vicente Rocafuerte	Local 2	Asfalto	1,5
Comité Del Pueblo	José Fernández	Local 2	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Mariscal Foch	Local 2	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Carrión	Local 2	Asfalto	1,5
Mariscal Sucre	Robles	Local 2	Asfalto	1,5
Condado	Rio Cachabi	Local 2	Adoquín	1,5
Mariscal Sucre	Luis Cordero	Local 2	Asfalto	1,5

ANEXO 2

CARACTERÍSTICAS DE LAS LOCALIDADES PARA MEDICIONES A LARGO PLAZO

PARROQUIA	VIA DE MEDICIÓN	TIPO DE VIA	MATERIAL	ALTURA
Iñaquito	Shyris	Arterial	Asfalto	7,5
Iñaquito	Eloy Alfaro	Arterial	Asfalto	6
Comité Del Pueblo	Eloy Alfaro	Arterial	Asfalto	10,5
Concepción	La Prensa	Arterial	Asfalto	4,5
Solanda	Rumichaca	Arterial	Asfalto	4,5
Kennedy	Galo Plaza Lasso	Arterial	Asfalto	10,5
Rumipamba	10 De Agosto	Arterial	Asfalto	1,5
Jipijapa	Eloy Alfaro	Arterial	Asfalto	6
Cotocollao	Bernardo De Legarda	Colectora Principal	Adoquín	13,5
Jipijapa	De Las Palmeras	Colectora Principal	Asfalto	6
Jipijapa	Rio Coca	Colectora	Asfalto	6

		Principal		
Chilibulo	José Egusquiza	Colectora Principal	Asfalto	1,5
Jipijapa	Granados	Colectora Principal	Asfalto	6
Belisario Quevedo	Ruiz De Castilla	Colectora Secundaria	Asfalto	10,5
Carcelén	Alejandro Ponce	Colectora Secundaria	Asfalto	4,5
San Bartolo	Teodoro Gómez De La Torre	Colectora Secundaria	Asfalto	7,5
Ponceano	Real Audiencia	Colectora Secundaria	Asfalto	10,5
Jipijapa	De Los Colimes	Local 1	Adoquín	6
Chimbacalle	Paute	Local 1	Asfalto	4,5
Condado	Juan Procel	Local 1	Asfalto	4,5
Jipijapa	Isla Marchena	Local 1	Adoquín	16,5
Mariscal Sucre	José Tamayo	Local 1	Asfalto	4,5
Cochapamba	Ignacio Asín	Local 1	Adoquín	4,5
La Argelia	Saraguro	Local 1	Asfalto	4,5
Jipijapa	De Los Laureles	Local 1	Asfalto	6
Jipijapa	Isla San Cristóbal	Local 1	Asfalto	6
Rumipamba	Antonio De Ulloa	Local 1	Asfalto	6
Itchimbia	Yahuachi	Local 2	Asfalto	4,5
La Libertad	Pedro De Andrade	Local 2	Asfalto	1,5
San Isidro Del Inca	Amagásí Del Inca	Local 2	Asfalto	1,5
San Juan	El Pinar	Local 2	Adoquín	7,5
Centro Histórico	José De Antepara	Local 2	Adoquín	4,5
La Magdalena	Huaynapalcón	Local 2	Asfalto	10,5
La Mena	Palma Real	Local 2	Asfalto	1,5
Puengasí	Miguel Zambrano	Local 2	Asfalto	1,5

La Mena	Taisha	Local 3	Adoquín	4,5
La Ecuatoriana	Ernesto Albán	Local 3	Adoquín	4,5
La Ferroviaria	Amaluza	Local 3	Asfalto	1,5
Quitumbe	Oe3k	Pasaje	Adoquín	4,5
Turubamba	S46b	Pasaje	Adoquín	4,5

ANEXO 3

AVENIDAS QUE PRESENTAN LOS NIVELES MÍNIMOS Y MÁXIMOS OBTENIDOS DURANTE LA ETAPA DE MEDICIONES.



Av. Panamericana Norte, Carcelén.



Calle José Tamayo, Mariscal Sucre.

ANEXO 4

AVENIDAS QUE PRESENTAN LOS NIVELES MÍNIMOS Y MÁXIMOS OBTENIDOS DURANTE LA ETAPA DE SIMULACIÓN.



Calle Montufar, Centro Histórico de Quito.



Calle Alfonso del Hierro, Cotocollao.



Calle Alberto Enríquez, Centro Histórico de Quito.



La patria, Mariscal Sucre.

