



Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

“DISEÑO DE UN MODELO PREDICTIVO DE RUIDO URBANO PARA EL DMQ, POR LINEALIZACIÓN DE UNA FUNCIÓN NO LINEAL Y ANÁLISIS MULTIVALENTE CON DATOS HISTÓRICOS DESDE EL AÑO 2012 AL 2015”

TANIA MIREYA MOROMENACHO OÑA

ING. KATTY CORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales

Universidad Internacional SEK

Quito, Febrero de 2016

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, TANIA MIREYA MOROMENACHO OÑA, con cédula de identidad # 1722298690, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Tania Mireya Moromenacho Oña

C.C.: 1722298690

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“Diseño de un modelo predictivo de ruido urbano para el DMQ, por linealización de una función no lineal y análisis multivalente con datos históricos desde el año 2012 al 2015”

Realizado por:

TANIA MIREYA MOROMENACHO OÑA

Como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

ha sido dirigido por la profesora

ING. KATTY CORAL MSc

Quién considera que constituye un trabajo original de su autor



Ing. Katty Coral MSc

DIRECTORA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

ING. JORGE ESTEBAN OBVEDO

ING. ALONSO MORETA

ING. FABIO VILLALBA

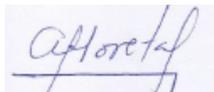
Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

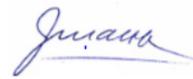
el tribunal examinador



Ing. Jorge Oviedo



Ing. Alonso Moreta



Ing. Fabio Villalba

Quito, 15 de Febrero de 2016

Agradecimientos

La vida es una catedra, llena de capítulos y cientos de hojas que cada día se van escribiendo con las experiencias vividas, eso sí, en conjunto con las personas que en el camino se va conociendo. Varios de ellos son fugases los conoces, aprendes de ellos y continuas la ruta, pero hay quienes se quedan a formar parte de mi vida seres humanos increíbles a quienes admiro y quiero mucho.

Por varias razones, yo creo en Dios, a quien agradezco por la fortaleza espiritual con la que he podido valor la vida en cada experiencia, comprendiendo que la mejor manera de ser feliz es vivir en el presente, disfrutar cada momento y querer a todos quienes forman parte de mi vida.

Agradezco inmensamente a mis padres (Manuel y Gladiz), personas increíbles y espectaculares, quienes con su apoyo y ayuda incondicional, ahora cumplo una meta de mi vida como persona y profesional. Además, quiero agradecer a mis hermanas (Karen y Génesis) por su apoyo incondicional.

A mis profesores de la facultad, quienes en las aulas no solo me enseñaron los temas de la catedra, sino que con su personalidad he aprendido a ver la combinación entre lo profesional, lo humano y el humor.

A mi tribunal (Katty Coral, Esteban Oviedo, Alonso Moreta y Fabio Villalba), que a más de ser mis profesores son amigos, gracias por su confianza y guía para ser posible el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mis compañeros de curso (Juanjo, Pao, Jaime, Josué, Mario y Gaby), por ser la chispa del buen humor, complicidad y ante todo personas increíbles con la que cada día era y será un gusto compartir.

CAPÍTULO I	11
INTRODUCCIÓN	11
1.1. DESCRIPCIÓN DEL TEMA	11
1.2. ANTECEDENTES GENERALES	12
1.3. IMPORTANCIA	13
1.4. OBJETIVOS	14
1.4.1. Objetivo General:	14
1.4.2. Objetivos Específicos:	14
1.5. CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DEL PROYECTO	15
Distribución territorial.	15
1.5.1.	15
1.5.2. Administraciones Zonales	15
1.5.3. Datos estadísticos y demográficos.	16
1.5.4. Red de monitoreo ambiental	17
1.5.5. Movilidad vehicular	17
1.5.6. Pico y placa	18
MARCO TEÓRICO	19
2.1. EL RUIDO, UN FENÓMENO DE MOLESTIA A LO LARGO DE LA HISTORIA	19
2.2. EL RUIDO COMO UN CONTAMINANTE AMBIENTAL	19
2.3. MODELOS PREDICTIVOS INTERACIONALES PARA RUIDO DE TRÁFICO VEHICULAR.	20
2.4. MODELOS PREDICTIVOS DE RUIDO VEHICULAR EN SUDAMÉRICA	22
2.5. MODELACIÓN ACÚSTICA MEDIANTE SOFTWARE	23
2.6. CAMPAÑAS DE MONITOREO DE RUIDO VEHICULAR EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (DMQ).	23
2.6.1. Campañas de monitoreo de ruido vehicular año 2009-2011	23
2.6.1.1. Validación con el modelo predictivo de CoRN y Sánchez	25
2.6.2. Validación de modelos predictivos año 2013-2015	25
2.6.2.1. Metodología utilizada en las campañas 2013-2015	26
2.7. MARCO LEGAL	28
2.7.1. Marco Legal- Internacional	28
2.7.1.1. Límites establecidos por la OMS	29
2.7.1.2. Criterios internaciones de evaluación ambiental	29
2.7.2. Estructura Legal Nacional	30

2.7.2.1.	Constitución Política del Ecuador _____	30
2.7.2.2.	Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017 _____	31
2.7.2.3.	Ley de Gestión Ambiental _____	31
2.7.2.4.	Acuerdo ministerial N° 061 Reforma del libro VI del Texto Unificado Legislación Secundaria del libro VI. 32	
2.7.2.5.	Resolución N° 002: Expedir las Normas Técnicas para la Aplicación de las Ordenanzas Metropolitanas Sustitutiva del Título V, "Del Medio Ambiente" Libro Segundo del Código Municipal __	33
2.7.2.6.	Reglamento general para la aplicación de la Ley orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial – Capítulo V "De los Límites de Velocidad" _____	34
2.8.	MARCO CONCEPTUAL _____	35
2.8.1.	Ruido ambiental _____	35
2.8.2.	Modelo de regresión lineal _____	38
2.8.3.	Análisis multivariante _____	40
2.8.4.	Coeficiente de correlación (R^2) _____	40
2.8.4.1.	Intervalo de confianza _____	41
2.8.4.2.	Análisis ANOVA de un factor. _____	42
CAPÍTULO III _____		43
METODOLOGÍA _____		43
3.1.	REVISIÓN DE LA LITERATURA _____	43
3.1.1.	Información complementaria _____	43
3.2.	METODOLOGÍA PARA ELABORAR LA BASE DE DATOS _____	44
3.2.1.	Información descriptiva _____	44
3.2.2.	Organización de los datos numéricos _____	44
3.2.3.	Delimitación de las Zonas de estudio. _____	45
3.1.	TABULACIÓN DE DATOS _____	45
3.1.1.	Análisis de frecuencia de los datos numéricos. _____	45
3.1.2.	DISEÑO DEL MODELO MATEMÁTICO PREDICTIVO DE RUIDO URBANO PARA LA CIUDAD DE QUITO	46
3.1.3.	Determinación del Coeficiente de Correlación Lineal Simple (r). _____	47
3.1.4.	Modelo Matemático predictivo de ruido urbano a partir de Regresión Lineal. _____	47
3.1.5.	Análisis Multivalente _____	50
3.1.6.	Validación de los modelos determinados _____	51
3.1.6.1.	Análisis de Intervalo de confianza _____	51
3.1.6.2.	Análisis ANOVA _____	53

CAPÍTULO IV	55
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
4.1. BASE DE DATOS	55
4.1.1. Información descriptiva	55
4.1.2. Información numérica	56
4.2. COMPORTAMIENTO DEL RUIDO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (DMQ)	56
4.2.1. Zona Sur	56
4.2.1.1. Comportamiento del ruido en la ZONA SUR	57
4.2.2. Zona Centro	61
4.2.2.1. Comportamiento del ruido en la ZONA CENTRO	61
4.2.3. Zona Norte	64
4.2.3.1. Comportamiento del ruido en la ZONA NORTE	65
4.3. ANÁLISIS GENERAL DEL RUIDO EN EL DMQ	67
4.3.1. Volumen de vehículos	69
4.4. DISEÑO DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL Y ANÁLISIS MULTIVARIANTE.	69
4.4.1. Modelo predictivo de ruido para la ZONA SUR	69
4.4.1.1. Regresión lineal Zona SUR	70
4.4.1.2. Análisis Multivariante ZONA SUR	70
4.4.1.3. Descripción de los modelos de la ZONA SUR	70
4.4.2. Modelo predictivo de ruido para la ZONA CENTRO	70
4.4.2.1. Regresión lineal Zona SUR	70
4.4.2.2. Modelo de Análisis Multivariante ZONA CENTRO	70
4.4.3. Modelo predictivo de ruido para la ZONA NORTE	70
4.4.3.1. Regresión lineal Zona SUR	70
4.4.3.2. Descripción de los modelos RL y AM de la ZONA CENTRO	70
4.4.3.3. Modelo de Análisis Multivariante ZONA NORTE	70
4.4.3.4. Descripción de los modelos RL y AM de la ZONA NORTE	70
4.4.4. Modelo predictivo integral de ruido para el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)	70
4.4.4.1. Regresión lineal DMQ	70
4.4.4.2. Análisis Multivariante	70
4.5. ANÁLISIS DE VALIDACIÓN DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL Y ANÁLISIS MULTIVARIANTE.	70
4.5.1. Validación ZONA SUR	70
4.5.2. Validación ZONA CENTRO	70
4.5.3. Validación ZONA NORTE	70

CAPÍTULO V	70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
5.1. CONCLUSIONES	70
5.2. RECOMENDACIONES	70
CAPÍTULO VI	70
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA	70
6. Bibliografía	70

Índice de Tablas

Tabla 1 Modelos matemáticos de ruido de países internacionales.....	21
Tabla 2 Modelos matemáticos de ruido países de Sur América	22
Tabla 3 Monitoreo realizado en el DMQ 2009-2011	24
Tabla 4 Estudios de validación y modelación desarrollados por la UISEK.....	25
Tabla 5 Validaciones del Modelo Predictivo ZONA NORTE.....	27
Tabla 6 Validación modelo predictivo Zona CENTRO 2013-2014	28
Tabla 7 Validación modelo predictivo Zona SUR 2013-2014.....	28
Tabla 8 Objetivo de Calidad Acústica para el Ruido Ambiental Exterior; Error! Marcador no definido.	
Tabla 9 Niveles Máximos de Emisión para Fuentes Móviles de Ruido	34
Tabla 10 Valores Guía para Ruido en la Comunidad en Ambientes Específicos.	35
Tabla 11 Índices de evaluación Ambiental	35
Tabla 12 Base de datos descriptiva	44
Tabla 13 Base de datos numérica	44
Tabla 14 Frecuencia de los datos	45
Tabla 15 Tabla de resultados Regresión Lineal	49
Tabla 16 Tabla de resultados Regresión Multivariante.....	51
Tabla 17 Tabla de Validación de los Modelos	54
Tabla 18 Análisis de regresión lineal ZONA SUR	70
Tabla 19 Coeficientes de correlación modelo de regresión lineal ZONA SUR.....	70

Tabla 20 Coeficiente del modelo de regresión lineal ZONA SUR	70
Tabla 21 Análisis multivariante ZONA SUR.....	70
Tabla 22 Coeficiente de correlación Análisis Multivariante ZONA SUR.....	70
Tabla 23 Coeficientes del Análisis Multivariante ZONA SUR	70
Tabla 24 Validación de los modelos RL y AM para la ZONA SUR; Error! Marcador no definido.	
Tabla 25 Error de predicción por periodos del día ZONA SUR; Error! Marcador no definido.	
Tabla 26 Análisis de regresión lineal ZONA CENTRO	70
Tabla 27 Coeficiente de correlación modelo de regresión lineal ZONA CENTRO	70
Tabla 28 Coeficiente del modelo de regresión lineal ZONA CENTRO	70
Tabla 29 Ecuación de Análisis Multivariante ZONA CENTRO del DMQ	70
Tabla 30 Coeficiente de correlación Análisis Multivariante ZONA CENTRO.....	70
Tabla 31 Coeficiente del Análisis Multivariante ZONA CENTRO.....	70
Tabla 32 Validación de los modelos de RL y AM para la ZONA CENTRO; Error! Marcador no definido.	
Tabla 16 Error de predicción por periodos del día ZONA CENTRO.....	70
Tabla 34 Análisis de regresión lineal ZONA NORTE.....	70
Tabla 35 Coeficiente de correlación modelo de regresión lineal ZONA NORTE.....	70
Tabla 36 Coeficiente del modelo de regresión lineal ZONA NORTE	70
Tabla 37 Análisis multivariante ZONA NORTE	70
Tabla 38 Coeficiente de correlación Análisis Multivariante ZONA NORTE	70
Tabla 39 Coeficiente del Análisis Multivariante ZONA NORTE	70
Tabla 40 Validación de los modelos RL y AM para la ZONA NORTE; Error! Marcador no definido.	
Tabla 39 Error de predicción para periodos del día ZONA NORTE.....	70
Tabla 40 Análisis de regresión lineal para el DMQ	70
Tabla 43 Coeficientes de correlación modelo de regresión lineal para el DMQ	70
Tabla 44 Coeficiente del modelo de regresión lineal para el DMQ.....	70
Tabla 44 Análisis multivariante para el DMQ	70
Tabla 44 Coeficiente de correlación Análisis Multivariante DMQ	70

Tabla 45 Coeficiente del Análisis Multivariante DMQ	70
Tabla 45 Validación modelo RL y AM integral del DMQ	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 46 Validación del modelo lineal integral del DMQ	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 47 Validación modelos multivariante integral del DMQ por zonas	¡Error! Marcador no definido.

Índice de Gráficos

Gráfico 1 Frecuencias del nivel de ruido (Leq) Zona SUR.....	57
Gráfico 2 Comportamiento comparativo del nivel de ruido equivalente y el flujo vehicular en el día	60
Gráfico 3 Distribución de los residuos de regresión lineal ZONA SUR	¡Error! Marcador no definido.
Gráfico 4 Comparación Niveles medidos y calculados del modelo Regresión Lineal de la ZONA SUR	70
Gráfico 5 Comparación Niveles medidos y calculados del modelo Multivariante de la ZONA SUR	70
Gráfico 6 Frecuencia del nivel de ruido (Leq) Zona CENTRO	62
Gráfico 7 Comportamiento comparativo del nivel de ruido equivalente y el flujo vehicular en el día Zona CENTRO	64
Gráfico 8 Distribución de los residuos de regresión lineal ZONA CENTRO	¡Error! Marcador no definido.
Gráfico 9 Comparación de Niveles Medido y calculados del modelo de Regresión Lineal de la ZONA CENTRO	70
Gráfico 10 Comparación Niveles medidos y calculados del modelo Multivariante de la ZONA CENTRO	70
Gráfico 11 Frecuencia del nivel de ruido (Leq) Zona NORTE.....	65
Gráfico 12 Comparación comparativo del nivel de ruido equivalente y el flujo vehicular en el día ZONA NORTE.....	67
Gráfico 13 Distribución de los residuos de regresión lineal ZONA NORTE	¡Error! Marcador no definido.

Gráfico 12 Comparación de niveles medidos y calculados del modelo Regresión Lineal de la ZONA NORTE	70
Gráfico 13 Comparación de niveles medidos y calculados del Análisis Multivariante de la ZONA NORTE	70
Gráfico 9 Distribución de los residuos de regresión lineal para el DMQ; Error! Marcador no definido.	
Gráfico 15 Relación valor pronosticado y experimental AM zona SUR; Error! Marcador no definido.	
Gráfico 16 Relación valor pronosticado y experimental AM zona NORTE; Error! Marcador no definido.	
Gráfico 17 Relación valor pronosticado y experimental AM zona CENTRO..... ; Error! Marcador no definido.	

Índice de Imágenes

Imagen 1 Medición de Ruido para FMR.....	34
Imagen 2 Límites de Velocidad.....	35
Imagen 3 Regresión lineal.....	38
Imagen 4 Tipos de correlaciones lineales.....	41
Imagen 5 Zona SUR del DMQ.....	57
Imagen 6 Zona NORTE del DMQ	65
Imagen 7 Zona Centro del DMQ.....	61

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Regresión lineal ZONA SUR	70
Ecuación 2 Análisis multivariante ZONA SUR.....	70
Ecuación 3 Regresión Lineal ZONA CENTRO.....	70
Ecuación 4 Análisis multivariante ZONA CENTRO.....	70
Ecuación 5 Regresión lineal ZONA NORTE.....	70
Ecuación 6 Análisis multivariante ZONA NORTE	70

RESUMEN

La gestión del ruido generado por el flujo vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se ha tratado de forma indirecta, es decir únicamente como medida de control de la calidad de aire, lo cual no está mal. Sin embargo, se ha dejado de lado el estudio para evaluar los efectos generados en la población y la magnitud del contaminante en la ciudad ocasionado por el crecimiento desmedido del parque automotor del 12% anual, hecho que satura las vías e incrementan la contaminación acústica. Por tal razón, el presente proyecto tuvo por objetivo diseñar un modelo matemático de ruido de tráfico rodado en el DMQ con datos históricos del 2013-2015, aplicando el análisis de regresión lineal univariante y multivariante. Para lo cual se procedió a realizar una base de datos y un análisis del comportamiento del ruido en los últimos años influenciado por el flujo vehicular en la ciudad, estableciendo la relación entre la cantidad de vehículos y el ruido equivalente. Finalmente se realizó la validación y evaluación del modelo matemático mediante estadísticos como el coeficiente de correlación, T-student y la evaluación estadística ANOVA que permitieron determinar la magnitud de relación entre las variables y la efectividad del modelo. El resultado de la investigación determinó que el ruido mantiene una tendencia variante, la cual puede estar relacionada con la incertidumbre de la metodología utilizada en el conteo de vehículos y medición de la velocidad, sin embargo es evidente que durante el día el ruido mantiene variantes de forma constante hasta las 6 de tarde, y a partir de las 7 de la noche el ruido decrece en función a la disminución de los vehículos, por tal razón los modelos de regresión lineal así como el multivariante se ajustan perfectamente a las condiciones de la Zona urbana Sur, Centro y Norte del Distrito Metropolitano de Quito.

Palabras clave: Ruido de tráfico vehicular; Modelo de regresión lineal; Análisis multivariante; Coeficiente de correlación (R^2); Intervalo de confianza

ABSTRACT

The management of the traffic noise within Metropolitan District of Quito has tried to indirectly, as an indicator of air pollution control. However, these studies have forgotten the evaluation of human health effects and magnitude of polluting agent in the city. Besides this, the increase of vehicles of 12% annually have saturated the roads and the traffic noise is more in urban zone at the District. In the project a road traffic noise prediction model for DMQ is developed using univariable and multivariable regression analysis with historical information of years 2013-2015. Therefore, the information collected has been saved in database and analyzed variation of sound intensity with the vehicular traffic in last years. Finally, the mathematical model were evaluating efficiency and the relationship between the variables with the interpretation of statistical data like: correlation coefficient, T-student and ANOVA test. After comparison of result it was observed that the sound intensity changed during the day, one reason could be for speed and flow traffic methodology because it has uncertainty. However, the traffic noise at DMQ is constant during the day since 6 am to 6 pm, while at 7 pm it decreased with the flow traffic, consequently the sound model prediction for urban area adjusted perfectly to condition of Sur, Norte and Centro zone.

Key words: Traffic noise; linear regression model; Multivariate analysis; Correlation coefficient; Confidence interval

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL TEMA

El ruido es un sonido desagradable para quien lo percibe (Lamarque, 1975) y que de acuerdo al tiempo de exposición puede causar efectos fisiológicos, psicológicos y sociales no deseados. Convirtiéndose en un contaminante acústico que tiende a perturbar las distintas actividades humanas como el sueño, el descanso entre otros; creando un estado de cansancio y tensión, degradando la calidad de vida y salud de las personas (Sanz, 2015).

De acuerdo a las estadísticas de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2003), la sordera es un efecto común de la exposición al ruido, ya que este contaminante únicamente se percibe con un solo sentido, el oído. Aun cuando depende de la percepción de cada individuo, al llegar a un volumen determinado las personas presentan molestias e irritación.

El impacto ambiental generado por el ruido vehicular generalmente pasa de ser percibido por las autoridades ambientales, principalmente por la propiedad emergente de sus efectos (Cavas y Caballero, 2006). De acuerdo a las investigaciones realizadas en varios países, se ha demostrado que la principal fuente de contaminación acústica, proviene del transporte vehicular, producto de la movilización diaria de las personas desde sus hogares hacia su sitio de trabajo o estudio, sobrepasando la capacidad de las vías y llegando a alcanzar niveles de ruido entre 80 y 90 dB(A), sonido comparable con la de un taladro neumático (Berglunt, 1999).

La Universidad Internacional SEK ha realizado diferentes investigaciones de medición y evaluación del ruido desde el año 2009 generando una amplia cantidad de datos del ruido vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito, en diferentes puntos de muestro. El equipo utilizado para muestrear el ruido fue el sonómetro, este permitió medir la intensidad de ruido a escala logarítmica, lo que representa la percepción y sensibilidad del oído humano; la medida es el decibelio (dB) (Cavas y Caballero, 2006). Esta información existente es primordial para el desarrollo del presente trabajo.

Este estudio se enfoca en determinar la ecuación de ruido para las zona Sur, Centro y Norte del Distrito Metropolitano de Quito e incluso en la determinación de un modelo integral para la ciudad de Quito, capaz de evaluar el ruido con respecto a la influencia de las variables independientes velocidad, flujo vehicular liviano y pesado. Para llegar a cumplir con el objetivo principal, este trabajo inició con la recopilación de información desde el año 2012 hasta el 2015 diseñando una base de datos dividida en dos secciones la parte descriptiva y la cuantitativa correspondientes a los valores numéricos. Con los datos evaluados se procedió a realizar el modelo matemático mediante el método de regresión lineal y análisis multivariante cuyo indicador radica en el coeficiente de correlación entre el ruido medido y las variables de flujo vehicular y velocidad. Este proceso se realizó con el apoyo de las herramientas estadísticas del software informático de Microsoft Excel.

1.2. ANTECEDENTES GENERALES

El ruido es considerado un problema que atenta al confort y bienestar de la sociedad desde la antigua Roma, por tanto las medidas de control que aplicaban fueron los primeros indicios de mejorar la calidad de vida, ya que prohibían la ejecución de ciertas actividades en horas de descanso (Berglunt, 1999). Este ejemplo lo siguieron varios países de la Unión Europea, y para el caso de España y Alemania en el año de 1960 fueron los primeros países que aprobaron Ordenanzas Municipales con límites de control de emisión, las cuales sirvieron de guía para otros ayuntamientos (Muscar, 2000).

El termino ruido ambiental fue declarado oficialmente como un contaminante en el congreso de Estocolmo celebrado en 1972, esto despertó interés y preocupación a nivel mundial. Las primeras acciones para determinar el nivel de contaminación y las zonas vulnerables a este fenómeno fueron la elaboración de mapas de ruido en poblaciones menores a 100 mil habitantes (Peña Juan, 2012). La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la agencia de protección ambiental norteamericana son entidades que se han encargado de realizar estudios de ruido a nivel mundial, de tal forma que establecen índices y límites máximos permisibles que una persona puede tolerar sin alterar la calidad de vida e incluso la OMS tiene definido el nivel sonoro para Ambientes específicos (Miyara, 2001).

Los primeros modelos enfocados a medir y predecir el ruido generado por los vehículos fueron diseñados en países desarrollados de la Unión Europea. Varios de ellos, han servido de guía para países de América Latina como el Modelo RLS-90 (Alemania), Modelo CERTU (Francia), Modelo STL-86 (Suiza), Modelo CORTN (Gran Bretaña), Modelo SÁNCHEZ (España). En el caso específico del Distrito Metropolitano de Quito, los dos últimos modelos fueron validados en los años 2012 mediante investigaciones realizadas por la Universidad Internacional SEK.

Tabla 1 Estudios previos sobre el diseño del modelo de ruido del Distrito Metropolitano de Quito

Autor	Año	Estudio	Conclusión
Lombeida, M.	2012	Realización de un Modelo Matemático Predictivo de Ruido Urbano, para la ciudad de Quito, basado en el Modelo de Predicción de Sánchez.	Las dos investigaciones concluyeron con que se debe generar un modelo propio para el DMQ, ya que en estos modelos existen sentencias y condiciones que eliminan parámetros, como la velocidad o sobre entiende el material de la calles, las cuales son características propias del lugar.
Moreno, D.	2012	Realización de un Modelo Matemático Predictivo para Ruido Urbano de la ciudad de Quito y comparación con el modelo CoRTN.	

La Universidad Internacional SEK realiza monitoreo de ruido en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) desde el año 2009, en el que se diferencian dos fases: la que abarca el periodo 2009- 2012, campañas realizada en conjunto con CORPAIRE, con el objetivo de identificar los puntos factibles para colocar la Red de Monitoreo Ambiental acompañados por mapas de ruido, y la fase desarrollada a partir del 2013, estudios que se enfocan en validar los modelos predictivos de ruido determinados mediante regresión lineal de una función no lineal y análisis multivariante.

1.3. IMPORTANCIA

El estudio del ruido es complejo en relación a otros contaminantes, porque no presenta efecto acumulativo en el medio, no se traslada a través de los sistemas naturales, e incluso no deja residuos. Sin embargo mediante los muestreos consecutivos y los datos recopilados se ha comprobado que usando conceptos estadísticos se pudo llegar a determinar modelos predictivos

de ruido, que permitan simular la realidad del lugar mediante una ecuación matemática, sin la necesidad de tomar datos “*in situ*”, y principalmente generando un ahorro de recursos económicos considerable (González Alice, 2005).

De acuerdo a la realidad del Distrito Metropolitano de Quito, los niveles de ruido máximos que se han medidos son de 78 dB, valor que supera los límites sugeridos por la OMS para ambientes exteriores de 60 dB. Esto significa que la calidad de vida en la ciudad no es óptima, además se conoce que el crecimiento del parque automotor es del 12% anual (Agencia Metropolitana de tránsito, 2015), los cuales saturan la capacidad de las vías y por consecuente el tráfico vehicular genera emisiones de ruido intensas. Pero suponer no define un diagnóstico certero del comportamiento del ruido ni tampoco se puede proyectar como será después de algunos años, por tal razón aplicar un modelo matemático con un coeficiente de correlación aceptables permite realizar análisis estadísticos que puedan simular la realidad local y definir el comportamiento de la variable dependiente (NPS) con relación a las variables independientes (velocidad y flujo vehicular).

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General:

Diseñar el modelo matemático de ruido ambiental para el DMQ, mediante datos históricos desde el año 2012 al 2015.

1.4.2. Objetivos Específicos:

- Generar una base de datos con información preexistente desde el año 2012 al 2015
- Obtener la ecuación de ruido ambiental para cada zona muestreada: Sur, Centro y Norte del Distrito Metropolitano de Quito y una ecuación general para el DMQ, utilizando el método de Linearización de una función no lineal y Análisis Multivariante.

- Determinar el nivel de ajuste y aceptación del modelo matemático para que éste sea representado en un mapa de ruido.

1.5. CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DEL PROYECTO

1.5.1. Distribución territorial.

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se localiza en la provincia de Pichincha, región norte del Ecuador. Los límites son: al Norte la Provincia de Imbabura; al Sur con los Cantones Rumiñahui y Mejía; al Este con los Cantones Pedro Moncayo, Cayambe y la Provincia de Napo; y al Oeste con los Cantones Pedro Vicente Maldonado, San Miguel de los Bancos y la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Es importante resaltar que la ciudad de Quito, especialmente el Centro Histórico, fue reconocida nacional y mundialmente por la UNESCO como “Patrimonio Cultural de la Humanidad” lo que hace que sea un sitio atractivo para extranjeros y nacionales.

1.5.2. Administraciones Zonales

El DMQ cuenta con una extensión de 423.001 has divididas en 8 administraciones zonales que permiten descentralizar las funciones municipales y mejorar los sistemas de gestión. Consta de 65 parroquias distribuidas en 32 parroquias urbanas y 33 rurales. El área urbana cubre un superficie de 42.689,39 ha correspondientes al 10,09% (Atlas de Amenazas naturales y exposición de infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

Tabla 2 Administraciones zonales: Parroquias urbanas y suburbanas y rurales.

Tabla 5. Administraciones Zonales; Parroquias urbanas, Suburbanas y Rurales; y Número de Sectores Barriales.

N	ADMINISTRACIONES ZONALES	PARROQUIAS URBANAS	PARROQUIAS SUBURBANAS - RURALES	N. DE SECTORES BARRIALES
1	Zona Calderón		Calderón Llano Chico	73
2	Zona Manuela Sáenz (Centro)	Centro Histórico Ichimbia La Libertad Puengasí San Juan		81
3	Zona Valle de los Chillos		Alangasí Amaguaña Conocoto Guangopolo La Merced Pintag	261
4	Zona Eloy Alfaro (Sur)	Chilibulo Chimbacalle La Argeia La Ferroviaria La Magdalena La Mena San Bartolo Solanda	Llota	124
5	Zona La Delicia (Equinoccial)	Carcelén Comité del Pueblo Cotacollao El Condado Ponceano	Calacalí Guala Nanegal Naregallito Noro Pacto Pomasqui San Antonio	214
6	Zona Eugenio Espejo (Norte)	Belisario Quevedo Cochapamba Concepción Ifaquito Jipijapa Kennedy Mansical Sucre Rumpamba San Isidro del Inca	Atahualpa Chavezpamba Nayón Perucho Puéllaro San José de Minas Zambiza	192
7	Zona Quitumbe	Chillogallo Guamani La Ecuatoriana Quitumbe Turubamba		119
8	Zona Valle de Tumbaco		Checa Cumbayá *Guayllabamba Pifo Puebo El Quinche Tababela	173

Referencia: Atlas de riesgos naturales, 2015

1.5.3. Datos estadísticos y demográficos.

De acuerdo al último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC), Quito es la segunda ciudad con mayor población del Ecuador, cuenta con 2'239. 191 habitantes correspondientes al 15,5 % de la población nacional de las cuales 1'619,432 residen en el área urbana con un índice de crecimiento poblacional del 2, 2%. Siendo las administraciones zonales con mayor concentración de población Eugenio Espejo (Norte), Manuela Sáenz (Centro), Eloy Alfaro y Quitumbe (Sur).

De acuerdo a la proyección estimada en el Plan de Desarrollo 2012 -2022 (Municipio de Quito, 2012) se espera que para el año 2022, la población del DMQ será de 2,8 millones de habitantes de los cuales 68,7 % residirá en el área urbana.

1.5.4. Red de monitoreo ambiental

El DMQ cuenta con redes de monitoreo a cargo de la Subsecretaría de Calidad Ambiental y CORPAIRE, éstas tiene por objetivo gestionar la calidad del aire en la ciudad, para lo cual evalúan las concentraciones de los contaminantes primarios CO, NOX, SO₂, O₃, partículas PM₁₀ y PM_{2.5}, resultado de las emisiones vehiculares (Secretaria del Ambiente, 2015). Sin embargo, con respecto a la contaminación acústica, los controles se enfocan en las fuentes fijas como las industrias, comercio, etc.

Las estaciones de monitoreo pasivo de CORPAIRE, se encuentran distribuidas en valles (Tumbaco y Cumbayá) y a lo largo del DMQ siendo los sectores: La Marín, Carapungo, Cotocollao, Jipijapa, Av. América, Guamaní, el Camal, Tumbaco, Centro Histórico, Basílica, Cumbayá los lugares que presentan problema de contaminación por vehículos (Ubicación de las estaciones de monitoreo pasivo de la CORPAIRE, 2015).

1.5.5. Movilidad vehicular

De acuerdo a los datos de la Agencia Metropolitana de tránsito (2015), en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) circulan aproximadamente 465 000 vehículos, de los cuales el 77% corresponden al transporte liviano particular. El crecimiento vehicular en el DMQ oscila entre el 12% anual, esto significa que existe una coexistencia entre las diferentes zonas y las realidades físico espaciales del lugar, debido al movimiento poblacional desde los Valles (Los Chillos y Cumbayá) hacia el hipocentro de la ciudad de Quito, lugar en donde se encuentra las áreas educativas, residenciales, industriales y lo más importante el desarrollo del comercio (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, págs. 7-15).

El tiempo de trayecto según el Plan de Movilidad del DMQ (2015), menciona que las personas tardan aproximadamente 22,5 minutos con una velocidad de 19,9 km/h en trasladarse desde los hogares hasta el lugar de trabajo. Sin embargo en horas pico la velocidad disminuye a 14,4 km/h, incrementando el tráfico vehicular y por ende la emisión de ruido (Quito, 2015).

1.5.6. Pico y placa

El pico y placa es una medida de control para el flujo vehicular en las horas pico de la mañana y de la tarde en función del último número de la placa, la cual se encuentra normada en la Ordenanza reformativa 001 de la Ordenanza Metropolitana N° 305 en el Art. I 473 (4). Ésta fue implementada el 3 de mayo del 2010, en la que se menciona la restricción para vehículos principalmente particulares, taxis y motos, mientras que los buses, los vehículos de emergencia, de seguridad y diplomáticos no tienen restricción de circulación. El objetivo principal de ejecutar esta disposición es disminuir la congestión vehicular, incentivar el uso del transporte público y reducir el la contaminación ambiental, con una proyección de reducción del 20% de los vehículos en circulación. Sin embargo esta medida no tiene un estudio de factibilidad previo por lo tanto a pesar de la iniciativa este presenta falencias en el control y vigilancia del cumplimiento. El perímetro del pico y placa de acuerdo a la (Agencia Metropolitana de tránsito, 2015) es el siguiente:

Imagen 1 Perímetro aplicado para el pico y placa del DMQ



Referencia: Agencia metropolitana de tránsito, 2015.

CAÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. EL RUIDO, UN FENÓMENO DE MOLESTIA A LO LARGO DE LA HISTORIA

Desde la antigua Roma, el ruido fue considerado un problema, no necesariamente ambiental pero si como un fenómeno que distorsiona el confort y descanso de las personas; y aun cuando en esos tiempos no se pudiese medir ni tampoco definir en decibeles (dB) la intensidad de ruido emitida, las medidas de control se direccionaban a prohibir la ejecución de ciertas actividades en determinadas horas del día. Por ejemplo, la prohibición de circular con carruajes pasada la media noche evitaba la emisión de ruido generada por las ruedas de hierro e incluso cabalgar era prohibido durante la noche con el fin de garantizar el descanso de la población (Berglunt, 1999).

2.2. EL RUIDO COMO UN CONTAMINANTE AMBIENTAL

El término ruido fue caracterizado por la American Standard Association en 1951: “como un sonido no deseado”; en 1964 el concepto fue ampliado por René Chocholle definiéndolo como: “*el ruido es un fenómeno acústico productor de una sensación auditiva desagradable, y en su aspecto físico es un sonido, y son las circunstancias subjetivas de los receptores quienes determinan la clasificación de un sonido como ruido*” (Muscar, 2000).

La definición de ruido ambiental según la Directiva del Parlamento Europeo (2002), es que es un sonido no deseado producto de las actividades humanas, en la que destaca el ruido emitido por el parque automotor (Harris, 1998).

En 1972, el ruido fue oficialmente considerado un contaminante ambiental en el Congreso del Medio Ambiente de las Naciones Unidas celebrado en Estocolmo. Sin embargo, en países como el Reino Unido, Alemania y España, la concepción de “medio ambiente sonoro” era un tema

que preocupaba tanto a las autoridades como a la sociedad, ya que el vivir en zonas ruidosas causaba molestias. Por tal razón, el 30 de abril de 1960 el ayuntamiento de Madrid aprobó la Ordenanza Municipal que fijaba los límites permisibles (Muscar, 2000).

En los años 70 y 80, la elaboración de Mapas de ruido por tráfico vehicular en poblaciones menores a 100 mil habitantes (Peña Juan, 2012), permitió representar gráficamente las áreas de mayor o menor exposición y así poder cuantificar la población expuesta a los diversos valores de Nivel de Presión Sonora (NPS), usando diferentes colores para representar dichos rangos.

En 1980, la Organización Mundial de la Salud (OMS) aborda al ruido urbano como un problema para la salud de las personas, haciendo referencia a los aspectos claves de manejo para reducirlo (Gómez José y Gordillo Javier, 2006), éste fue el inicio para que en 1995, después de la reunión convocada por la OMS para Europa, el *Karolinska Institutet* de Estocolmo publicara las “Guías para el ruido urbano” aplicable para todo el mundo, la cual fue concluida en marzo de 1999 en Londres, Reino Unido (Organización Mundial de la Salud, 1999).

En el documento publicado por la Agencia de Protección Ambiental norteamericana (EPA), en 1974, menciona los niveles de ruido aceptables para proteger la salud e incluso describe los daños auditivos y las molestias que genera. Éstas fueron las primeras consideraciones específicas, que permitieron definir al nivel equivalente (L_{Aeq}) como un indicador (Miyara, 2001)

2.3. MODELOS PREDICTIVOS INTERACIONALES PARA RUIDO DE TRÁFICO VEHICULAR.

El ruido generado por el tráfico vehicular fue objeto de estudio a partir de los años 70 por entidades internacionales como la EPA. En América Latina los estudios que destacan en valorar el ruido y establecer medidas para controlar son los realizados en el Instituto Mexicano del Transporte, quienes elaboraron propuestas de control y normativa de regulación, mientras que en Argentina destaca el trabajo de Miraya (2000), en cuanto a modelización de ruido de tráfico rodado.

Los modelos predictivos de ruido tratan de calcular el nivel de ruido mediante ciertas variables características del lugar. Se conforman por ecuaciones matemáticas resultado de la integración del modelo de propagación con el modelo de fuente. Este último, describe la generación de ruido desde la fuente móvil haciendo referencia al *Vehículo* y a la *Carretera*.

- La referencia *Vehículo*, describe la generación de ruido desde la fuente móvil, es decir intenta explicar el conjunto del tráfico mediante la emisión acústica de un solo vehículo en la vía. Los modelos que destacan en esta clasificación son FHWA y el CERTU (Peña Juan, 2012).
- La referencia *Carretera* es considerada como una fuente lineal de ruido, donde existe un desfase aleatorio en la emisión de ruido de cada vehículo. Para lo cual, establece potencias acústicas en función de la circulación y de la vía, tales como la densidad, la velocidad, la pendiente de la vía, la composición del tráfico entre otros. Los modelos que se identifican con estas características son el STL-86 (Suiza), el RLS-90 (Alemania), el CoRTN (Inglaterra).

A continuación se mencionan los modelos que por su asertividad han sido aplicados en la vida real.

Tabla 3 Modelos matemáticos de ruido de países internacionales

Modelo	Ecuación	País de origen (Año)
RLS-90	$LME = L_{25} + C_{vel} + C_{pav}$	Alemania
Statens Planverk 48	$L_{Aeq,10m(pesados)} = L_{AE,10m(pesados)} + 10 \cdot \log\left(\frac{Q_p}{T}\right)$	Países nórdicos (1992)
CERTU	$L_{eq} = 20 + 10 \cdot \log(Q_i + E \cdot Q_p) + 20 \cdot \log(V) - 12 \cdot \log\left(d + \frac{I}{3}\right)$	Francia
CORTN	$LRE = 42,2 + 10 \cdot \log(q_l) + C_{vel} + C_{low}$	Gran Bretaña (1988)
STL-86	$LRE = 42 + 10 \cdot \log\left[\left(1 + \left[\frac{v}{50}\right]^4\right) \cdot \left(1 + 20 \cdot p \cdot \left(1 - \frac{v}{150}\right)\right)\right] + 10 \cdot \log I$	Suiza
Modelo FHWA	$LRE = 10 \cdot \log\left[10^{\left(\frac{L_{eq}}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{L_{max}}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{L_{min}}{10}\right)}\right]$	Estados Unidos
FAGOTTI	$L_{eq} = 10 \cdot \log(Q_i + Q_m + 8 \cdot Q_p + 88 \cdot Q_b) + 33,5$	Italia
SÁNCHEZ	$LRE = 35,1 + 10 \cdot \log(Q_i + 8 \cdot Q_p) + C_{vel} + C_{pav}$	España

Elaborado por: Tania Moromenacho, Recopilación de varios autores, 2016

2.4. MODELOS PREDICTIVOS DE RUIDO VEHICULAR EN SUDAMÉRICA

Los modelos publicados, de acuerdo a la experiencia de los países de Sur América, son pocos con respecto a los diseñados en países desarrollados, esta diferencia es significativa, algunos de ellos se han usado para la generación de software.

Tabla 4 Modelos matemáticos de ruido países de Sur América

Modelo	Ecuación	País de origen (Año)
GONZÁLEZ	$L_{eq} = 49,4 + 10 \cdot \log(A + 2,33 \cdot M + 9,01 \cdot O + 6,84 \cdot C) - 10 \cdot \log(d)$	Uruguay
CONAMA	$L_{eq} = 60 + 10 \cdot \log(FVE) - 14 \cdot \log(d) + 0,2 \cdot (VMA - 50)$	Chile (1996)
VALDIVIA	$LRE = 33,6 + 10 \cdot \log(Q_i + 9,2 \cdot Q_p + 6,0 \cdot Q_b) + C_{vel} + C_{pav}$	Chile (1996)
CONAMA	$N_{eq} = 10 \cdot \log\left(10^{\left(\frac{L_{eq}(trasmov)}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{L_{eq}(moderada)}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{L_{eq}(pesada)}{10}\right)}\right)$	Chile (2001)

Elaborado por: Tania Moromenacho, Recopilación de varios autores, 2016

2.5. MODELACIÓN ACÚSTICA MEDIANTE SOFTWARE

Los modelos que destacan en precisión son Soundplan y Carda/a, software informático que permiten mejorar la precisión del comportamiento del ruido desde un ambiente cerrado como una industria, hasta ambientes abiertos como el generado por el tráfico vehicular. Cabe mencionar que el fundamento principal que manejan es la combinación de modelos internacionales en los que destacan el RLS 90 de Alemania, CoRN de Gran Bretaña entre otros, la razón por la cual son los preferidos para estos sistemas es porque son el resultado de varios años de investigación, validados y ajustados. Sin embargo, el impedimento para aplicarlos en países subdesarrollados es el factor económico (Cavas y Caballero, 2006).

2.6. CAMPAÑAS DE MONITOREO DE RUIDO VEHICULAR EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (DMQ).

Varias publicaciones desde 1994 mencionan al ruido como un contaminante de gran influencia en las principales ciudades del Ecuador, siendo éstas Quito, Guayaquil y Cuenca. Se puede mencionar al libro *“Ruido como parte de la contaminación ambiental de Quito”* de Revelo publicado en 1994 y *“Contaminación Ambiental por ruido y estrés en el Ecuador”* de Cesar Augusto Burneo editado en el 2007 (Amores Obando, 2010).

En la ciudad de Quito, la preocupación por la contaminación acústica dio inicio en el año 2007, en el que la Corporación Municipal de Mejoramiento de la Calidad de Aire de Quito, más conocida como CORPAIRE inició el monitoreo de 76 puntos de muestreo distribuidos a lo largo del DMQ a cargo de la empresa consultora DECIBEL (Izurieta, 2009), la cual tuvo como objetivo, determinar los puntos estratégicos para colocar la red de monitoreo ambiental.

2.6.1. Campañas de monitoreo de ruido vehicular año 2009-2011

La Universidad Internacional SEK ha realizado campañas de monitoreo continuos de ruido en la ciudad de Quito, de la forma que para los años 2009 al 2011 las investigaciones tuvieron por objetivo elaborar Mapas de Ruido Ambiental para identificar los puntos estratégicos de la Red

de Monitoreo Ambiental en el DMQ, e incluso se pudo definir las zonas acústicamente contaminadas por el ruido del parque automotor.

Tabla 5 Monitoreo realizado en el DMQ 2009-2011

Autor	Año	Tema de investigación
Vásquez N	2009	Elaboración de un Mapa de Ruido Ambiental y Estudio de Factibilidad para la Ubicación de los Puntos de Monitoreo de la Red de Monitoreo Ambiental en el Distrito Metropolitano de Quito Zona Norte
Izurieta A	2009	Elaboración de un Mapa de Ruido Ambiental y Estudio de Factibilidad de la Ubicación de los Puntos de Monitoreo para la Red de Monitoreo de Ruido Ambiental en el Distrito Metropolitano de Quito Zona 4 (Norte de Quito)
Díaz J	2009	Elaboración de un Mapa de Contaminación Acústica del Distrito Metropolitano de Quito – Sur
Rubianes F	2009	Elaboración de un Mapa de Ruido Ambiental para Determinar la Ubicación de los más Apropriados de los Puntos de Monitoreo para la Red Mínima de Monitoreo del Ruido Ambiental en el Distrito Metropolitano de Quito Zona 2 Calderón, Carapungo, Centro, Los Chillos y Tumbaco
Rojas C	2010	Diseño del Mapa de Ruido Ambiental de los Sectores: Cofavi, Jipijapa, Estación Norte y Belisario en el Distrito Metropolitano de Quito, Provincia de Pichincha - Ecuador
Amores J	2010	Elaboración de un Mapa de Ruido del Distrito Metropolitano de Quito – Zona Sur
Mora P	2010	Diseño de un Mapa de Ruido de la Contaminación Acústica de la Zona Urbana Norte (Carapungo, Calderón, Cotocollao, La Delicia, Pablo Arturo Suárez) de la Ciudad de Quito
Villafuerte D	2011	Elaboración de un Mapa de Ruido del Distrito Metropolitano de Quito, Zona Sur, Quito – Pichincha, Ecuador
Peña E Rodríguez L	2011	Elaboración de un Mapa de Ruido de la Red Vial del Distrito Metropolitano de Quito, Zona Centro – Norte
Ochoa W	2011	Generación del Mapa de Ruido de la Red Vial Anillo Urbano del Distrito Metropolitano de Quito, Zona Centro
Andrade C	2011	Elaboración de Mapa de Ruido de la Red Vial del Distrito Metropolitano de Quito: Zona Norte 1
Salazar D	2011	Elaboración de un Mapa de Ruido del Distrito Metropolitano de Quito – Zona Norte 2

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

2.6.1.1. Validación con el modelo predictivo de CoRN y Sánchez

Al validar estos modelos internacionales, se pudo concluir que, aun cuando tienen una correlación aceptable a la realidad del DMQ, no logran representar el comportamiento de ruido en la ciudad, por lo tanto los estudios recomiendan diseñar un modelo propio y específico para el DMQ, incluyendo los parámetros como la velocidad, que fueron dejados de lado al querer acoplar el modelo a uno ajeno a la ciudad (Lombeida, 2012).

Tabla 6 Estudios de validación y modelación desarrollados por la UISEK

Autor	Año	Estudio
Lombeida, M.	2012	Realización de un Modelo Matemático Predictivo de Ruido Urbano, para la ciudad de Quito, basado en el Modelo de Predicción de Sánchez.
Moreno, D.	2012	Realización de un Modelo Matemático Predictivo para Ruido Urbano de la ciudad de Quito y comparación con el modelo CoRTN.

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

2.6.2. Validación de modelos predictivos año 2013-2015

En este periodo, el monitoreo de ruido en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), fue indispensable para validar la ecuación determinada por Lombeida y Moreno (2012). Las investigaciones realizadas y la experiencia adquirida permitieron realizar modificaciones en la metodología de campo, uno de los cambios, fue la determinación de los puntos de monitoreo con el criterio de evitar los obstáculos y apantallamiento que distorsionen los valores experimentales de ruido, dejando de lado la metodología de los cuartiles usada en años anteriores.

2.6.2.1. Metodología utilizada en las campañas 2013-2015

La metodología utilizada en este periodo se conforma de dos fases: una de campo y otra de tratamiento de datos (oficina).

2.6.2.1.1. Fase de oficina:

- **Caracterización del sitio:** consiste en describir la zona con las coordenadas, ubicación, lugares de referencia, altitud y pendiente. Además se incluye información general de las fuentes principales de emisión de ruido.
- **Cálculo del tamaño de la muestra:** se trata de calcular el número de muestreos que se debe realizar.
- **Tabulación de los datos:** es el tratamiento que se da, para realizar los cálculos correspondientes.

2.6.2.1.2. Fase de campo

Parámetros evaluados

- **Nivel de ruido equivalente:** son los decibeles equivalentes A, se cuantifican con el sonómetro integrador.
- **Flujo vehicular:** los investigadores realizan un conteo del número de vehículos livianos y pesados en un periodo de 5 minutos, para posteriormente extrapolarlos a una hora.
- **Velocidad promedio:** la metodología se fundamenta en delimitar una distancia de recorrido de los vehículos (100m) y se mide el tiempo que tarde en pasar para luego aplicar la fórmula de distancia sobre tiempo.

Equipos de protección personal.

- Auriculares protectores – orejeras

- Chaleco reflectivo
- Mascarilla de protección: respirador de dos filtros para gases de combustión

Equipos principales de monitoreo

- Cámara de fotos
- GPS
- Sonómetro integrador (EXTECH – Modelo 407780).

Tabla 7 Validaciones del Modelo Predictivo ZONA NORTE

AUTOR	AÑO	ESTUDIO
VEGA,S.	2013	Validación de los modelos matemáticos predictivos de ruido urbano UISEK por análisis multivariante y linealización de una función no lineal en la zona extremo norte de Quito.
ZAMBRANO, N.	2013	Validación de los modelos matemáticos predictivos de ruido urbano UISEK de linealización de una función no lineal y análisis multivariante en la zona nororiental de la ciudad de Quito. 2012 – 2013
PALACIOS, W.	2013	Validación de los modelos matemáticos predictivos de ruido urbano UISEK por análisis multivariante y linealización de una función no lineal en la zona noroccidental de Quito. año 2013
VALVERDE,J.	2014	Validación de los modelos matemáticos de linealización de una función no lineal y análisis multivariante para el ruido ambiental urbano en la zona nororiente de Quito año 2013
PADRON, R.	2014	Validación de modelos matemáticos de linealización de una función no lineal y análisis multivariante para ruido ambiental urbano en la zona Noroccidente de Quito
MOSQUERA,J.	2014	Validación de los modelos matemáticos predictivos de ruido urbano por linealización de una función no lineal y análisis multivariante en la zona noroccidente de Quito.
TAPIA,F.	2015	Validación de modelos matemáticos predictivos de ruido urbano UISEK a través de la linealización de una función no lineal y análisis multivariante en el sector noroccidente de Quito.

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

Tabla 8 Validación modelo predictivo Zona CENTRO 2013-2014

AUTOR	AÑO	ESTUDIO
TIPÁN, X.	2013	Validación de los modelos matemáticos de ruido urbano UISEK de linearización de una función no lineal y análisis multivariante, en el sector centro oriental de la ciudad de Quito, en el periodo 2012-2013
VÉLEZ, M.	2013	Validación de los modelos matemáticos de ruido urbano UISEK de linearización de una función no lineal y análisis multivariante en el sector centro occidente de la ciudad de Quito.
CAMPAÑA, E.	2014	Validación de los modelos matemáticos predictivos de ruido urbano por linearización de un función no lineal y análisis multivariante de la zona centro oriente de Quito.
BALLESTEROS, C.	2014	Validación de los modelos matemáticos predictivos de ruido urbano por linearización de una función no lineal y análisis multivariante en la zona centro occidente de Quito para el año 2014.

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

Tabla 9 Validación modelo predictivo Zona SUR 2013-2014

Autor	Año	Tema
KATTÁN, F.	2013	Validación de los modelos matemáticos de ruido urbano UISEK de linearización de una función no lineal y análisis multivariante en el sector sur-oriental de la ciudad de Quito.
SERRANO, G.	2013	Validación de los modelos matemáticos de linearización de una función no lineal y análisis mutivariante UISEK para el ruido urbano en la zona sur occidental de Quito.
SÁNCHEZ, O.	2014	Validación de los modelos matemáticos de linearización de una función no lineal y análisis multivariante para ruido ambiental urbano en la zona sur-occidente de Quito año 2014.

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

2.7. MARCO LEGAL

2.7.1. Marco Legal- Internacional

2.7.1.1. Límites establecidos por la OMS

Tabla 10 Valores Guía para Ruido en la Comunidad en Ambientes Específicos.

Ambiente Específico	Efecto(s) crítico(s) sobre la salud	L_{Aeq} [dB(A)]	Tiempo [horas]	L_{max} fast [dB]
Exteriores	Molestia grave en el día y al anochecer	55	16	-
	Molestia moderada en el día y al anochecer	50	16	-
Interior de la vivienda, dormitorios	Interferencia en la comunicación oral y molestia moderada en el día y al anochecer	35	16	
	Trastorno del sueño durante la noche	30	8	45
Fuera de los dormitorios	Trastorno del sueño, ventana abierta (valores en exteriores)	45	8	60
Salas de clase e interior de centros preescolares	Interferencia en la comunicación oral, disturbio en el análisis de información y comunicación del mensaje	35	Durante clases	-
Dormitorios de centros preescolares, interiores	Trastorno del sueño	30	Durante el descanso	45
Escuelas, áreas exteriores de juego	Molestia (fuente externa)	55	Durante el juego	-
Hospitales, pabellones, interiores	Trastorno del sueño durante la noche	30	8	40
	Trastorno del sueño durante el día y al anochecer	30	16	-
Hospitales, salas de tratamiento, interiores	Interferencia en el descanso y la recuperación	#1		
Áreas industriales, comerciales y de tránsito, interiores y exteriores	Deficiencia auditiva	70	24	110
Ceremonias, festivales y eventos de entretenimiento	Deficiencia auditiva (patrones: < 5 veces/año)	100	4	110
Discursos públicos, interiores y exteriores	Deficiencia auditiva	85	1	110
Música y otros sonidos a través de audífonos o parlantes	Deficiencia auditiva (valor de campo libre)	85 #4	1	110
Sonidos de impulso de juguetes, fuegos artificiales y armas	Deficiencia auditiva (adultos)	-	-	140 #2
	Deficiencia auditiva (niños)	-	-	120 #2
Exteriores de parques de diversión y áreas de conservación	Interrupción de la tranquilidad	#3		

2.7.1.2. Criterios internacionales de evaluación ambiental

Tabla 11 Índices de evaluación de ruido

Fuente	Efecto	Valor (dBA)
EPA (Environmental Protection Agency) Índice de valorización: Leq24	Riesgo nulo	Leq24>70
	Riesgo leve	70<Leq24<75
	Riesgo medio	75<Leq24<80
	Riesgo alto	Leq24>80
EEA (Agencia Ambiental Europea) Índice de valorización: Leq24	Sin efecto	Leq24<55
	Molestia y perturbación del sueño	55<Leq24<65
	Impacto seriamente apreciado	65<Leq24<75
	Inaceptable	Leq24>75
OMS (Organización Mundial de la Salud) Índice de valorización: Ld y Ln	Sin efecto	Ld<50
	Molestia moderada	50<Ld<55
	Molestia seria	Ld>55
	Sin efecto Perturbación del sueño	Ln<45 Ln>45
OECD Índice de valorización: Ld y Ln Recomienda Ld<65 para zonas residenciales existentes y Ld<55 para zonas residenciales nuevas	Aceptable	Ld<65
	Inaceptable	Ld>65
	Peligroso	Ld>75
	Aceptable	Ln<55
	Inaceptable	Ln>55

Fuente: Suárez, 2008

2.7.2. Estructura Legal Nacional

El Ecuador, en temas ambientales, se caracteriza por ser el único país en el mundo que reconoce a la naturaleza como sujeto de derechos, y por tanto la ampara constitucionalmente (Burneo, 2015). Y en este caso, el análisis del marco legal sobre el ruido urbano, en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), se rige al orden jerárquico del sistema jurídico de acuerdo a la pirámide de Kelsen.

2.7.2.1. Constitución Política del Ecuador

El primer nivel es la Constitución Política del Ecuador, de la que cabe recalcar los artículos en que se garantiza vivir en un lugar libre de contaminación.

Art. 14:

... “Planificar el desarrollo nacional, erradicar la pobreza, promover el desarrollo sustentable y la redistribución equitativa de los recursos y la riqueza, para acceder al buen vivir”

Art. 14:

*... “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*”*

Art. 74:

... “Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir”.

Art. 395:

...“Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional”

2.7.2.2. Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017

El objetivo 3 establece: *“Mejorar la calidad de vida de las población”* y el objetivo 7: *“Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global”.*

2.7.2.3. Ley de Gestión Ambiental

Para cumplir con este fin, la normativa jurídica ambiental conocida como Ley de Gestión Ambiental en el TÍTULO I, Art. 1 declara: **“La presente Ley establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles**

de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia”

Art. 2:

...“Coordinar con los organismos competentes para expedir y aplicar normas técnicas, manuales y parámetros generales de protección ambiental, aplicables en el ámbito nacional; el régimen normativo general aplicable al sistema de permisos y licencias de actividades potencialmente contaminantes, normas aplicables a planes nacionales y normas técnicas relacionadas con el ordenamiento territorial”

Art. 9:

..” Coordinar con los organismos competentes sistemas de control para la verificación del cumplimiento de las normas de calidad ambiental referentes al aire, agua, suelo, ruido, desechos y agentes contaminantes”

2.7.2.4. Acuerdo ministerial N° 061 Reforma del libro VI del Texto Unificado

Legislación Secundaria del libro VI.

Esta normativa se dictó como reforma al Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA) en mayo del 2015, la cual abarca los límites máximos permisibles de emisión de ruido con sus respectivos parámetros de control. Sin embargo la norma técnica no cambió con respecto a los límites permisibles de ruido.

PARÁGRAFO V.- RUIDO

Art. 224. De la evaluación, control y seguimiento.-

...”la evaluación de la calidad ambiental por medio de muestreos del ruido ambiente y/o de fuentes de emisión de ruido que se establezcan en los mecanismos de evaluación y control ambiental. Para la determinación de ruido en fuentes fijas o móviles por medio de monitoreos programados...”

Art. 225. De las normas técnicas.-

... "las normas técnicas para el control de la contaminación ambiental por ruido, estipuladas en el Anexo V o en las normas técnicas correspondientes. Estas normas establecerán niveles máximos permisibles de ruido según el uso del suelo y fuente, además indicará los métodos y procedimientos destinados a la determinación de los niveles de ruido en el ambiente, así como disposiciones para la prevención y control de ruidos".

2.7.2.4.1. Límites máximos permisibles de ruido según el Acuerdo Ministerial 028-Sustituyente el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria

Tabla 12 Niveles máximos de emisión de ruido (L_{Keq}) para fuentes fijas de ruido

NIVELES MÁXIMOS DE EMISIÓN DE RUIDO PARA FFR		
Uso de suelo	L _{Keq} (dB)	
	Periodo Diurno 07:01 hasta 21:00 horas	Periodo Nocturno 21:01 hasta 07:00 horas
Residencial (RI)	55	45
Equipamiento de Servicios Sociales (EQ1)	55	45
Equipamiento de Servicios Públicos (EQ2)	60	50
Comercial (CM)	60	50
Agrícola Residencial (AR)	65	45
Industrial (ID 1/ID2)	65	55
Industrial (ID3/ID4)	70	65
Uso Múltiple	Cuando existan usos de suelo múltiple o combinados se utilizará el L _{Keq} más bajo de cualquiera de los usos de suelo que componen la combinación. Ejemplo: Uso de suelo: Residencial + ID2 L _{Keq} para este caso = Diurno 55 dB y Nocturno 45dB.	
Protección Ecológica (PE) Recursos Naturales (RN)	La determinación del L _{Keq} para estos casos se lo llevara a cabo de acuerdo al procedimiento descrito en el Anexo 4.	

Fuente: Acuerdo ministerial 028, TULAS, Libro VI- ANEXO 5, (2003)

2.7.2.5. Resolución N° 002: Expedir las Normas Técnicas para la Aplicación de las Ordenanzas Metropolitanas Sustitutiva del Título V, "Del Medio Ambiente" Libro Segundo del Código Municipal

Esta norma técnica hace referencia a los límites máximos permisibles (LMP) para fuentes móviles, sin embargo es aplicada netamente en la revisión vehicular.

En el Art.7 trata sobre la “Norma técnica para el control de la contaminación por ruido”, en la cual, describe tanto los procedimientos y métodos para determinar los niveles de ruido como los objetivos de calidad acústica para el ruido ambiente.

Tabla 13 Niveles Máximos de Emisión para Fuentes Móviles de Ruido

CATEGORÍA DE VEHICULO	DESCRIPCIÓN	NPS MÁXIMO (dBA)
	De hasta 200 cc	80
Motocicletas	Entre 200 y 500 cc.	85
	Mayores a 500 c. c.	86
Vehículos	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor.	80
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, y peso no mayor a 3,5 toneladas	81
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, y peso mayor a 3,5 toneladas.	82
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, peso mayor a 3,5 toneladas, y potencia de motor mayor a 200 HP.	85
Vehículo de Carga:	Peso máximo hasta 3,5 toneladas.	81
	Peso máximo de 3,5 toneladas hasta 12 toneladas	86
	Peso máximo mayor a 12 toneladas.	88

2.7.2.6. Reglamento general para la aplicación de la Ley orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial – Capítulo V “De los Límites de Velocidad”

Art. 191.

... “las Jefaturas Provinciales de Control y la Comisión de Tránsito del Guayas en sus jurisdicciones territoriales, determinarán los límites máximos de velocidad en las diferentes vías del país”

Imagen 2 Límites de Velocidad

1. Para vehículos livianos, motocicletas y similares:

Tipo de vía	Límite máximo	Rango moderado (Art. 142.g de la Ley)	Fuera del rango moderado (Art. 145.e de la Ley)
Urbana	50 Km/h	>50 Km/h - <60 Km/h	>60 Km/h
Perimetral	90 Km/h	>90 Km/h - <120 Km/h	> 120 Km/h
Rectas en carreteras	100 Km/h	>100 Km/h - <135 Km/h	> 135 Km/h
Curvas en carreteras	60 Km/h	>60 Km/h - <75 Km/h	> 75 Km/h

2. Para vehículos de transporte público de pasajeros:

Tipo de vía	Límite máximo	Rango moderado (Art. 142.g de la Ley)	Fuera del rango moderado (Art. 145.e de la Ley)
Urbana	40 Km/h	>40 Km/h - <50 Km/h	>50 Km/h
Perimetral	70 Km/h	>70 Km/h - <100 Km/h	> 100 Km/h
Rectas en Carreteras	90 Km/h	>90 Km/h - <115 Km/h	> 115 Km/h
Curvas en carreteras	50 Km/h	>50 Km/h - <65 Km/h	> 65 Km/h

3. Para vehículos de transporte de carga:

Tipo de vía	Límite máximo	Rango moderado (Art. 142.g de la Ley)	Fuera del rango moderado (Art. 145.e de la Ley)
Urbana	40 Km/h	>40 Km/h - <50 Km/h	>50 Km/h
Perimetral	70 Km/h	>70 Km/h - <95 Km/h	> 95 Km/h
Rectas en Carreteras	70 Km/h	>70 Km/h - <100 Km/h	> 100 Km/h
Curvas en carreteras	40 Km/h	>40 Km/h - <60 Km/h	> 60 Km/h

Referencia: Agencia Nacional de Tránsito, (2016)

2.8. MARCO CONCEPTUAL

2.8.1. Ruido ambiental

El ruido es un fenómeno físico que emite ondas sonoras, pero como contaminante atmosférico es la suma total de todas las fuentes emisoras propias de las ciudades: industrias, comercio,

construcciones, vehículos etc. La sensación auditiva del receptor puede provocar reacciones placenteras, neutras o agresivas en la que interfieren factores subjetivos de quien los percibe, siendo aceptable o despreciable (Muscar, 2000).

Las principales características del ruido son:

- **Frecuencia:** es un tono alto o bajo de sonido medios en Hertz (Hz). Las personas aproximadamente escuchan entre 20 a 20000 Hz, escala amplia para cuantificar la percepción del oído humano. Por tal razón se deja de lado esta escala y se utiliza una escala logarítmica llamada decibeles con un sistema de ponderación A, generalmente medido con un sonómetro (Cavas y Caballero, 2006).
- **Intensidad:** es el volumen con el que se escucha un sonido. La escala de medida es logarítmica equivalente a un rango de 0 a 140 dBA. El oído humano es más sensible a las variaciones de frecuencia que la intensidad siendo 5 dBA un cambio significativo de percibir (Fuentes, 2008).
- **Tiempo:** esta característica hace referencia a la forma de manifestación del sonido en un periodo de tiempo, siendo éste: continuo, intermitente, impulsivo o influente (García, 2014).
- **Timbre:** es la característica particular a un sonido y a cual, permite diferenciarlo de otros (Izurieta, 2009).

De acuerdo a la experiencia de otros países, la evaluación del ruido vehicular se realiza mediante descriptores que permiten evaluar la intensidad o el nivel de presión sonora, siendo los más utilizados:

- **Nivel de sonido equivalente con ponderación A (L_{eqA}):** este descriptor permite evaluar el ruido vehicular con las molestias expresada por las personas, en la que integra el conjunto de sonidos incluidos los niveles máximos y mínimos (Martínez, 2015).

Ecuación 1.

Nivel de ruido con ponderación A

$$L_{eq}(A) = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \int_{t_0}^t \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt \right]$$

- **Nivel equivalente mañana-tarde-noche (L_{den}):** descriptor originado por la Unión Europea para describir el comportamiento del ruido en los horarios de día, tarde y noche con una penalización correspondiente de 5 dB (A) para la tarde y 10 dB (A) para la noche (Berglunt, 1999)

Ecuación 2

Nivel Equivalente mañana-tarde-noche

$$L_{den} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_t+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right]$$

- **Nivel equivalente día-noche (L_{dn}):** este descriptor busca establecer los niveles L_{eqA} para el ciclo de 24 horas, al igual que la anterior, con una penalización para la noche de 10 dB (A). Aplicado en Estados Unidos con un horario de 7 am a 10 pm para el día y 10 pm a 7 am para la noche (Gómez y Gordillo, 2006).
- **Nivel equivalente noche (L_n):** descriptor usado para únicamente para lo noche y a diferencia de los anteriores, no se considera penalización alguna (Martínez, 2015).

La conceptualización del ruido y las diferentes formas de cuantificar permiten caracterizar el problema en el lugar, sin embargo es importante recalcar los elementos a considerar en la investigación del ruido:

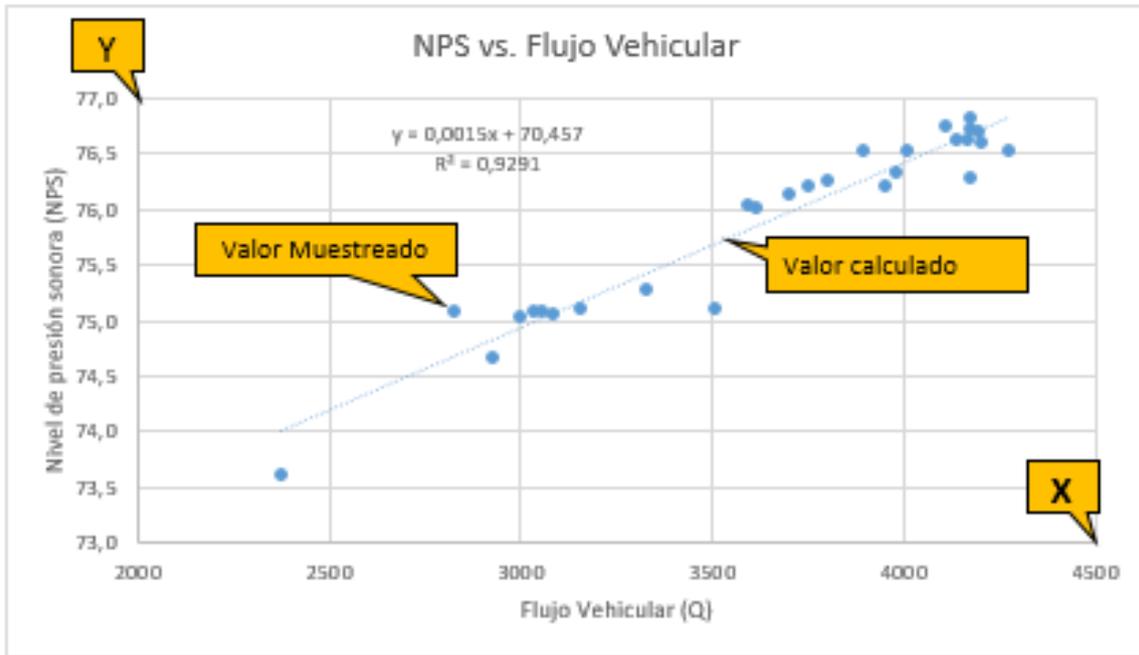
- **Fuente** son los elementos causantes de generar ruido y los datos recopilados son estadístico que varían en número y tiempo (López, Barrio, 2000).
- **Medio** es la forma de propagación del ruido hasta llegar al oído de las personas (López, Barrio, 2000).
- **Receptor**, son las personas o grupo de personas, que perciben el ruido y cuya sensibilidad depende de la percepción subjetiva de cada individuo, presentando efectos *psicosociales* y *culturales*.(López, Barrio, 2000).

2.8.2. Modelo de regresión lineal

El análisis por regresión lineal es una técnica estadística usada para estudiar la relación lineal entre variables aleatorias. Por tanto, el modelo busca identificar la relación lineal existente entre el nivel de ruido equivalente ($L_{eq}(A)$) y el flujo vehicular de los datos. Este tipo de análisis permite establecer la influencia del caudal de vehículos ($\log Q$) en el nivel de ruido ambiental medido (García, 2014).

Imagen 3

Regresión lineal



Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

Es decir, se trata básicamente de construir una recta de regresión entre $\log Q$ y L_{eq} (A) experimental, buscando la línea que logre agrupar la nube de datos con un grado de correlación positiva cercano a 1 (Rojo, 2007).

La ecuación general de una regresión lineal es:

Ecuación 3 : Forma general de Regresión Lineal

$$y = a + bX$$

Sin embargo la ecuación normal llevada a término de ruido es la siguiente:

Ecuación 4 : Regresión Lineal para ruido

$$L_{eq} = a + b \log Q$$

Dónde: a y b son constantes de regresión y Q es la densidad de tráfico (vehículos / hora).

2.8.3. Análisis multivariante

A diferencia de la regresión lineal, el análisis multivariante integra más de una variable como la velocidad (V_{prom}), el flujo vehicular liviano ($\log Ql$) y flujo vehicular pesado ($\log Qp$); las cuales pretenden calcular el nivel de ruido (Leq). La ventaja de integrar otras variables es que la representación del lugar mediante la ecuación es mejor.

El modelo de regresión lineal múltiple es idéntico al modelo de regresión lineal simple, con la única diferencia de que aparecen más variables explicativas (García, 2014). La ecuación generalizada es la siguiente:

Ecuación 5 : Forma general del Análisis Multivariante

$$Y = a + b_1(X_1) + b_2(X_2) + b_3(X_3) + b_4(X_4)$$

Mientras que la expresión utiliza en determinación de ruido es:

Ecuación 6 : Análisis Multivariante para ruido

$$Leq_{hora} = a + b \log Ql + c \log Qp + d V_{prom}$$

En donde:

a, b, c y d : son las coeficientes constantes correspondientes a cada variable.

Ql, Qp, y V_{prom} : son las variables independientes.

2.8.4. Coeficiente de correlación (R^2)

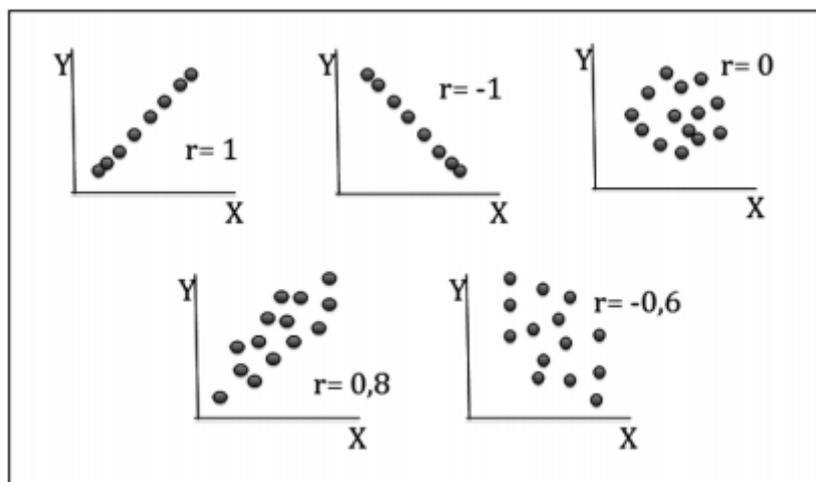
Es el parámetro que permite evaluar la intensidad de relación lineal entre las variables, es decir mide la dispersión de los puntos en torno a la línea de tendencia, cuyos valores oscilan entre -1 cuando es una correlación lineal inversa y +1 si la correlación es lineal directa, pero cuando es 0 esto significa que no existe correlación lineal.

Ecuación 7 : Coeficiente de correlación

$$-1 \leq r = \frac{Cov(X,Y)}{s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) * (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \leq +1$$

Por tanto, mientras más se acerque a 1, la relación entre X e Y es mayor. Para que esto ocurra, de acuerdo a los conceptos estadísticos el grupo de datos deben presentar una distribución normal, mientras más cerrada es la nube de datos, mayor es el valor de r (Dagnino, 2016).

Imagen 4 Tipos de correlaciones lineales



Referencia: Novales, (2010)

2.8.4.1. Intervalo de confianza

Es el estadístico que permite conocer entre que valores se encuentra el coeficiente de regresión de la población para un cierto grado de confianza, por lo tanto determina la incertidumbre en el cálculo de las estimaciones, que se podrá reflejar mediante intervalos de confianza para ambos valores, construidos bajo la hipótesis de normalidad de los residuos, mediante la expresión siguiente (Rojo, 2007):

Ecuación 8 : Intervalo de confianza

$$IC(1 - \alpha)\%(b) = \left(\hat{b} \pm t_{\alpha/2}^{n-2} \frac{S_{Tres}}{\sqrt{S_{xx}}} \right)$$

2.8.4.2. Análisis ANOVA de un factor.

Es un método estadístico enfocado en el análisis de las varianzas, busca comparar las medias de dos o más grupos resaltando la hipótesis nula (Otero et al. 2005). El indicador principal es el valor de significancia, es decir si es mayor al 0.05 % se acepta la hipótesis nula (Rojo, 2007).

- **Hipótesis nula:** las medias de los grupos son iguales
- **Hipótesis alternativa:** no todas las medias son iguales y por lo menos una de ellas difiere.

Tabla 14 Análisis de varianza (ANOVA)

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos			323.792		.002
Intra-grupos		21			
Total	1460.958				

La terminología clave para aplicar el estudio ANOVA de acuerdo a Otero et al. (2005), son los siguientes:

- **Suma de cuadrado:** es la sumatoria entre los datos observados y la media elevado al cuadrado.
- **Suma de cuadrados total:** es la diferencia entre los datos observados y la media total o media general de todos los grupos.
- **Grado de libertad total:** número de observaciones que son libres de variar (n-1).

- **Varianza:** es la suma de cuadrados dividida por el número de observaciones menos 1.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La principal fuente de investigación y consulta fue el repositorio de la Universidad Internacional SEK, del cual se extrajo los trabajos de fin de carrera relacionados con ruido ambiental desde el año 2009 al 2015. Estos documentos se clasificaron en 3 partes, desde el año 2009 al 2011, campañas que se enfocaron en la elaboración de mapas de ruido, del 2012, el diseño de un modelo predictivo realizado con la metodología de regresión lineal y análisis multivariante; y finalmente los datos del 2013 hasta el 2015 que fueron temas enfocados en la validación del modelo anteriormente determinado.

Después de haber generado un listado de los trabajos existentes se procedió a clasificar y separar la información en dos partes, la información descriptiva y la información numérica

3.1.1. Información complementaria

Con el fin de extraer información relevante del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se consultó bibliografía de las entidades públicas del Ecuador como los ministerios, el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), agencia metropolitana de tránsito, secretaría de seguridad y registro oficial para temas del marco legal.

Mientras que la información técnica sobre ruido se investigó en fuentes especializadas como las publicaciones de la Universidad de Chile, normativa aplicada en el Reino Unido e incluso documentos emitidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

3.2. METODOLOGÍA PARA ELABORAR LA BASE DE DATOS

La base de datos en esta investigación se divide en dos partes, la primera consta de información descriptiva de los puntos de muestreo, la cual se relaciona directamente con la segunda base de datos numéricas. En esta última se agrupan las variables (nivel de presión sonora (NPS), velocidad y flujo vehicular) por zonas, años y periodos del día, para lo cual se utilizó el programa informático Microsoft Excel.

3.2.1. Información descriptiva

Se extrajo información de cada estación (año, sector, autor y título del tema de investigación). Para lo cual se procedió a elaborar tablas en el programa Microsoft Excel 2013, con el fin de facilitar el manejo de información.

Posteriormente, se codificó cada punto de la siguiente manera: Año (inicial del apellido) para georeferenciar en el programa Google Earth, esto permitió que la información se organice y se pueda definir la agrupación de los datos por zonas.

Tabla 15 Base de datos descriptiva

# DE ESTACIÓN	Autor	Año	Sector	Estación	Código de Imagen "Google Earth"
1	SANTIAGO VEGA	2013	NORTE DE QUITO	Frente a la Escuela Superior Militar "Eloy Alfaro" Av. Manuel Córdova Galarza	2013_(V1)
2	SANTIAGO VEGA	2013	NORTE DE QUITO	Estación la Ofelia y Estadio de Liga Av. Diego Vásquez de Cepeda	2013_(V2)
3	SANTIAGO VEGA	2013	NORTE DE QUITO	intersección de las avenidas Av. Diego Vásquez de Cepeda y Av. Mariscal Sucre	2013_(V3)
4	SANTIAGO VEGA	2013	NORTE DE QUITO	Terminal de Carcelén Eloy Alfaro	2013_(V4)
5	SANTIAGO VEGA	2013	NORTE DE QUITO	Vía Panamericana Santa María de Carapungo	2013_(V5)
6	NICOLÁS ZAMBRANO	2013	NORORIENTE	Intercambiador El Labrador, Av. Galo Plaza Lasso	2013_(Z1)
7	NICOLÁS ZAMBRANO	2013	NORORIENTE	redondel Av. Real Audiencia y Av. Luis Tufiño	2013_(Z2)
8	NICOLÁS ZAMBRANO	2013	NORORIENTE	Conjunto Habitacional Policía Nacional Av. Galo Plaza Lasso y Av. Del Maestro	2013_(Z3)
9	NICOLÁS ZAMBRANO	2013	NORORIENTE	Comité del Pueblo Av. Eloy Alfaro y Juan Molineros	2013_(Z4)
10	NICOLÁS ZAMBRANO	2013	NORORIENTE	Mecánica Aral Av. Eloy Alfaro, entre De Las Toronjas y De Las Fucsias	2013_(Z5)
11	WILLIAM PALACIOS	2013	NOROCCIDENTE	Parada Florida Av. De La Prensa y Av. La Florida	2013_(P1)
12	WILLIAM PALACIOS	2013	NOROCCIDENTE	Parada Vaca de Castro Av. De La Prensa y Av. Cristóbal Vaca de Castro	2013_(P2)

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

3.2.2. Organización de los datos numéricos

Se recopilaron datos experimentales sin promediar de nivel de presión sonora (NPS), velocidad promedio y flujo vehicular: Livianos, Pesados y Total desde el año 2013 al 2015, los cuales se caracterizan por ser 126 datos numéricos por cada variable, correspondientes a 18 horas diarias muestreadas (6 am a 24 pm) para cada día de la semana (de Lunes a Domingo). E incluso

Los valores numéricos de las variables (Velocidad, NPS y flujo vehicular) se organizaron en hojas de cálculo de Excel para cada zona (Sur, Centro y Norte), diferenciándolos entre los siete días de la semana (de Lunes a Domingo).

Tabla 16 Base de datos numérica

Investigador				SANTIAGO DANIEL VEGA_2013				
Código de Google Earth				ZONA EXTREMO NORTE DE QUITO				
Variables				2013_(V1)				
				a la Escuela Superior Militar "Eloy Alfaro" - Av. Manuel Córdova				
				Vehículos				
				NPS	Velocidad	Livianos	Pesados	Total
				dB (A)	km/h	Q (A/h)		
1	Lunes	06H00 - 06H59	Mañana	76,6	56,11	2460	540	3000
2	Lunes	07H00 - 07H59	Mañana	76,9	54,21	2790	680	3470
3	Lunes	08H00 - 08H59	Mañana	77,8	56,36	2670	640	3310

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2015

3.2.3. Delimitación de las Zonas de estudio.

Se limitaron las zonas de estudio de acuerdo a la distribución de los puntos monitoreados a lo largo de las calles principales del área urbana del Distrito Metropolitano de Quito definiendo los barrios urbanos que cruzan las calles conforme al mapa *Parroquias Rurales del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)* (Quito, 2015).

3.1. TABULACIÓN DE DATOS

El manejo de los datos se realizó minuciosamente y de forma selectiva para agruparlos de acuerdo a las zonas definidas anteriormente en el programa Microsoft Excel 2013, generando un archivo con datos experimentales de cada zona.

3.1.1. Análisis de frecuencia de los datos numéricos.

Se elaboraron tablas de frecuencia para cada zona con el fin de determinar el número de observaciones que más se repiten para interpretar el comportamiento del nivel de Presión Sonora (NPS) en el periodo 2013- 2015.

Tabla 17 Frecuencia del NPS (Base de datos 2013-2015)

Tabla de Frecuencia NPS_ZONA NORTE 2014-2015						
	Número de datos		4386			
	Máximo		81,7			
	Mínimo		57,00			
	Rango		24,7			
	Clases		8192			
	# de clases		13			
	Intervalo de clase		1,9			
	NPS eq (A)		frec. Abs.	Fre. Acum	Fre. Rel (decimales)	Frec. Rel (%)
	lim. inf	lim.sup				Punto Medio
1	57,00	58,9	1	1	0,0002	0,02%
2	58,9	60,8	1	2	0,0002	0,02%
3	60,8	62,7	4	6	0,0009	0,09%

- **Número de datos:** se procedió a calcular el total de datos con la función estadística “contar”.
- **Valor máximo y mínimo:** se con la función estadística “Max y Min” respectivamente
- **Rango:** se calculó mediante la diferencia entre el valor máximo y mínimo.
- **Clases:** se determinó buscando el número de la potencia, que al ser calculado el resultado de la operación es un valor mayor al número de datos. Por ejemplo $2^{13}=8192$, el resultado es mayor que 4386 el número de datos.
- **Número de clase:** es el valor del exponente determinado en las clases.
- **Intervalo de clase:** se calculó con la división del rango con el intervalo de clase.

3.1.2. DISEÑO DEL MODELO MATEMÁTICO PREDICTIVO DE RUIDO URBANO PARA LA CIUDAD DE QUITO

El proyecto se fundamenta en el análisis estadístico de las variables provenientes de la base de datos 2013-2105, este proceso se realiza con las herramientas estadísticas del programa Microsoft Excel. Para lo cual se utilizaron las siguientes variables:

- Vehículos pesados (Qp)
- Vehículos ligeros (Ql)

- Velocidad promedio (V_{prom})
- Nivel de presión sonora equivalente (L_{eq})

3.1.3. Determinación del Coeficiente de Correlación Lineal Simple (r).

Mediante este estadístico se analizó el grado de asociación lineal entre la variable del nivel de ruido y el flujo vehicular. Los valores que se evaluaron oscilan entre 1 y -1, el cual demuestra la asociación ya sea positiva o negativa según sea el caso, la principal observación que se consideró es que el valor determinado no sea cercano a 0, ya que significaría que no existe asociación lineal y por ende se descartaría la posibilidad de realizar el modelo lineal.

3.1.4. Modelo Matemático predictivo de ruido urbano a partir de Regresión Lineal.

Con las tablas consolidadas se procedió a diseñar el modelo matemático, para el cual se determinó las constantes a y b de la ecuación de regresión lineal.

Ecuación 9. Ecuación de regresión lineal

$$Y = a + b X_1$$

Donde:

Y = variable dependiente

X_1 = variable independiente

De acuerdo, a la bibliografía consultada y la experiencia de trabajos anteriores se considera que la ecuación de regresión lineal para ruido es la siguiente:

Ecuación 10. Regresión lineal para ruido

$$L_{eq} = a + b \log Q_t$$

Donde:

L_{eq} = es el nivel de ruido equivalente en dB (A)

a y b= constantes propias de la región.

Q_t = es el flujo vehicular total (suma vehículos livianos y vehículos pesados)

Con estos antecedentes, se procedió a realizar la regresión lineal univariante para cada zona (SUR, NORTE y CENTRO), identificando la ecuación ajustada y el porcentaje de correlación.

Los datos utilizados en la regresión lineal univariante fueron los siguientes:

- **Leq (A):** Nivel de ruido equivalente en dB A, consolidados e 8 datos por hora.
- **Qt:** la suma del número de vehículos livianos y pesados
- **Log Qt:** logaritmo base 10 del flujo vehicular

Tabla 18 Variables para la Regresión Lineal

REGRESIÓN LINEAL UNIVARIANTE (RL)				
Representación General		Y= a + b1 (X1)		
Ecuación RL				
		Promedio Leq Exp		Flujo Vehicular total
Observaciones	Periodo del día	Hora	dB (A)	Log Qt
1	Mañana	06:00 - 06:59		
2		07:00 - 07:59		
3		08:00 - 08:59		
4		09:00 - 09:59		
5		10:00 - 10:59		
6		11:00 - 11:59		
7	Tarde	12:00 - 12:59		
8		13:00 - 13:59		
9		14:00 - 14:59		
10		15:00 - 15:59		
11		16:00 - 16:59		
12	Noche	17:00 - 17:59		
13		18:00 - 18:59		
14		19:00 - 19:59		
15		20:00 - 20:59		
16		21:00 - 21:59		
17		22:00 - 22:59		
18		23:00 - 23:59		
Análisis Estadístico				
	Símbolo	Leq Exp	Log Qt	
Media	\bar{X}			
Desviación estandar	s			
Coefficiente de variación	CV			
Coefficiente de correlación	r			
<p>Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental Log Qt: logaritmo base 10 del número total de vehículos livianos y pesados por hora</p>				

3.1.5. Análisis Multivalente

El desarrollo del análisis multivalente consistió en realizar una regresión de 3 variables independientes (velocidad, flujo vehicular liviano y flujo vehicular pesado) y una variable dependiente (nivel de ruido). Para lo cual se consolidaron los datos 2013-2014, en una tabla resumen de 18 datos, esto permitió tener datos representativos con respecto al grupo de datos en estos años, e incluso se reduce el grado de dispersión de los datos al momento de desarrollar la regresión.

Los datos utilizados fueron:

- **Leq (A):** Nivel de ruido equivalente en dB A, consolidados a 8 datos por hora.
- **Ql:** número de vehículos livianos por hora.
- **Qp:** número de vehículos pesados (buses, camiones, etc.)
- **Log Ql y log Qp:** logaritmo base 10 del flujo vehicular
- **Vprom:** velocidad promedio (km/h)

manejaron en tablas generadas en Microsoft Excel e incluso los cálculos de los estadísticos descriptivos fueron factibles calcular con las herramientas de Microsoft Excel.

- **Media:** es la media aritmética de los niveles de presión sonora calculados y experimental (**PROMEDIO**).
- **Desviación Estándar:** permite determinar cuan alejados están los datos con respecto a la media. La fórmula utilizada fue (**DESVEST**).
- **Coefficiente de variación:** se determinó con la división entre la desviación estándar y la media.
- **Coefficiente de correlación:** se realizó aplicando la fórmula del coeficiente de correlación de dos grupos de datos (**COEF.DE.CORREL**), se comparó la relación existente entre el nivel de ruido experimental y las variables independientes de velocidad, flujo vehicular liviano, pesado y total.

Finalmente se determinó el grado de confianza del 95% para calcular el intervalo, de tal forma que se procedió a buscar el valor correspondiente a este porcentaje en la tabla T-de student y aplicar la siguiente ecuación:

Ecuación 11. Cálculo del Límite de confianza

$$\text{LÍMITES DE CONFIANZA} = \bar{X} \pm t_{n-1} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

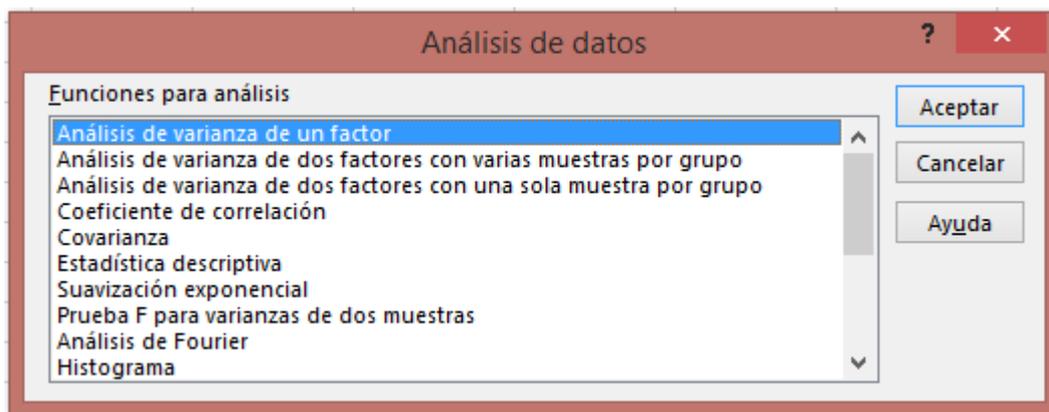
Donde:

- **X media** = dependiente de cada Estación
- **n número de datos** = para todos los casos 18 (horas)
- **S desviación estándar** = dependiente de cada Estación

- Nivel de confianza = 99% => $t_{n-1} = 2,8982$

3.1.6.2. Análisis ANOVA

El análisis de las varianzas se procedió a utilizar las herramientas estadísticas de Microsoft Excel *análisis de datos de variancias de un factor*.



- Se plantearon las dos hipótesis sugeridas por la metodología, la hipótesis nula hace énfasis a todas las medias son iguales y la hipótesis alternativa a que por lo menos una de las medias es diferente.
- El rango de entrada en este caso son: el valor experimental y los valores calculados. Con respecto al alfa se mantiene el 0,05.
- El análisis de las varianzas se realizó con el cuadro de resultados, en donde interesa recalcar el valor F y el grado de significancia $Sig.$

	Suma de cuadrados	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos			323.792		.002
Intra-grupos		21			
Total	1460.958				

Tabla 20. Validación de los Modelos

VALIDACIÓN DE MODELOS										
Representación General		Y= a + b1 (X1)+ b2 (X2)+ b3 (X3)+ b4 (X4)								
Ecuación RL										
Ecuación AM										
			Promedio Leq Exp	Leq pron RL	Leq pron AM	Flujo Vehicular total	Residuos RL	Residuos AM	Residuos RL	Residuos AM
Observaciones	Periodo del día	Hora	dB (A)	dB (A)	dB (A)	Log Qt	Leq exp - Leq pron		(Leq exp - Leq pron)^2	
1	Mañana	06:00 - 06:59								
2		07:00 - 07:59								
3		08:00 - 08:59								
4		09:00 - 09:59								
5		10:00 - 10:59								
6		11:00 - 11:59								
7	Tarde	12:00 - 12:59								
8		13:00 - 13:59								
9		14:00 - 14:59								
10		15:00 - 15:59								
11		16:00 - 16:59								
12		17:00 - 17:59								
13	Noche	18:00 - 18:59								
14		19:00 - 19:59								
15		20:00 - 20:59								
16		21:00 - 21:59								
17		22:00 - 22:59								
18		23:00 - 23:59								
Análisis Estadístico Validación de los modelos RL y AM						Suma				
	Símbolo	Promedio Leq Exp	Leq pron RL	Leq pron AM	Max					
Media	\bar{X}				Min					
Desviación estandar	s									
Coficiente de variación	CV									
Coficiente de correlación	r									
Tamaño de la muestra	√n									
Indice de correlación	IC 95%									
	IC RL [db (A)]		IC AM [db (A)]							

Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental
Leq pron RL: nivel de presión sonora equivalente calculado con la ecuación de regresión lineal univariante
Leq pron AM: nivel de presión sonora equivalente calculado con la ecuación de análisis multivariante
RL: regresión lineal univariante
AM: análisis multivariante

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. BASE DE DATOS

La base de datos se conforma de dos partes: la información descriptiva de los puntos muestreados y la información numérica que corresponden a los valores cualitativos. En total almacena 69 puntos muestreados a lo largo del área urbana del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) para el periodo 2013-2015 de los cuales 31 pertenecen a la zona Norte, 22 estaciones son del Centro y 16 corresponden al Sur.

La organización de los datos mantienen un formato, en el que la velocidad promedio se representa por (V_{prom}) y se expresa en km/h; el flujo vehicular (Q/h) es el número de vehículos contabilizados en una hora, la cual se disgrega en livianos (Q_l), pesados (Q_p) y los vehículos totales (Q_t) y finalmente el nivel sonoro (NPS) expresada en dB (A).

4.1.1. Información descriptiva

La información descriptiva cuenta con tres carpetas las cuales se dividen en Zona SUR, Zona CENTRO y Zona NORTE. Dentro de cada una, hay tres documentos: un archivo de Microsoft Excel, los puntos georeferenciados en Google Earth y un gráfico de los puntos.

En el archivo Excel, la información consta de: autor, año del estudio, sector monitoreado, dirección de la estación, título de la investigación y el código que hace referencia al punto en Google Earth. Se extrajo información de cada estación (año, sector, autor y título del tema de investigación). Para lo cual se procedió a elaborar tablas en el programa Microsoft Excel 2013, con el fin de facilitar el manejo de información.

Posteriormente, se codificó cada punto de la siguiente manera: Año (inicial del apellido) para georeferenciar en el programa Google Earth, esto permitió que la información se organice y se pueda definir la agrupación de los datos por zonas.

Tabla 15 Base de datos descriptiva.

4.1.2. Información numérica

Los datos recopilados en este procedimiento se organizan en tablas y en archivos de Microsoft Excel, que permitan facilitar el acceso y tabulación de los mismos. La información se organiza por cada estación monitoreada con sus respectivas variables de nivel de presión sonora (NPS), velocidad promedio y flujo vehicular: Livianos, Pesados y Total desde el año 2013 al 2015. Se recopilaron datos experimentales sin promediar de nivel de presión sonora (NPS), velocidad promedio y flujo vehicular: Livianos, Pesados y Total desde el año 2013 al 2015, los cuales se caracterizan por ser 126 datos numéricos por cada variable, correspondientes a 18 horas diarias muestreadas (6 am a 24 pm) para cada día de la semana (de Lunes a Domingo). E incluso

Los valores numéricos de las variables (Velocidad, NPS y flujo vehicular) se organizaron en hojas de cálculo de Excel para cada zona (Sur, Centro y Norte), diferenciándolos entre los siete días de la semana (de Lunes a Domingo).

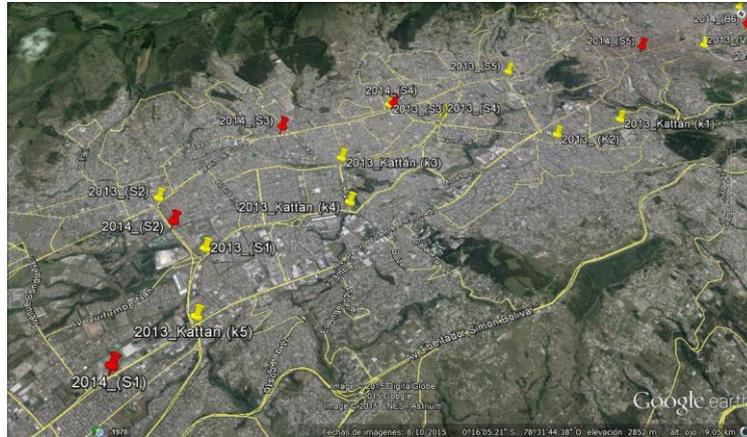
Tabla 16 Base de datos numérica.

4.2. COMPORTAMIENTO DEL RUIDO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (DMQ)

4.2.1. Zona Sur

De acuerdo a la distribución de los puntos muestreados en la Zona sur, correspondiente al periodo 2013-2015, se determinó como calles principales la Av. Mariscal sucre, Av. Morán Valverde y Av. Napo, considerando como punto delimitante la loma del Panecillo. Este tramo abarca los barrios urbanos La Magdalena, Chimbacalle, San Bartolo, La Ferroviaria, Solanda, La Argelia y Quitumbe.

Imagen 5 Zona SUR del DMQ

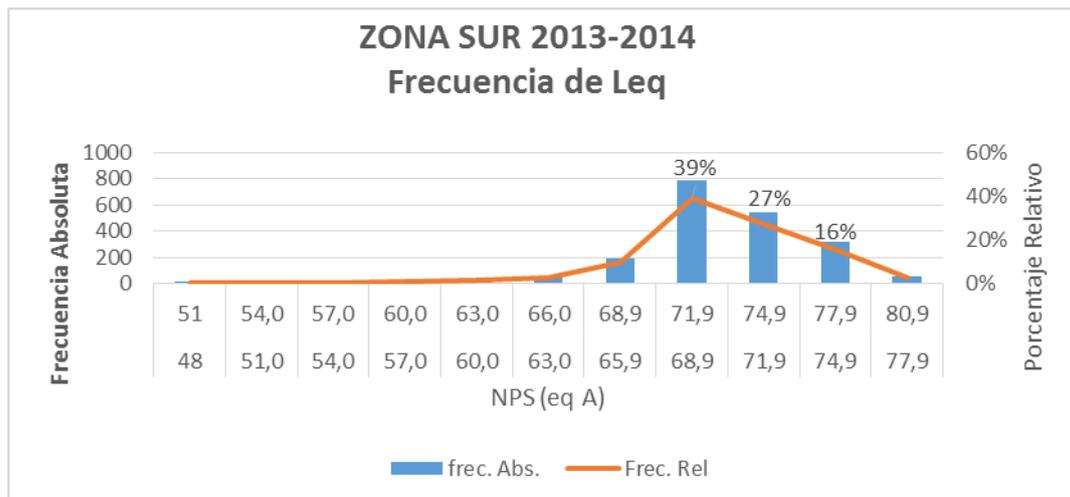


El total de datos tabulados para la zona Sur fueron de 2016 por cada variable, conformada por una variable dependiente (NPS) y cuatro variables independientes (Vprom, QI, Qp y Qt).

4.2.1.1. Comportamiento del ruido en la ZONA SUR

La descripción del ruido se realizó mediante tablas de frecuencia y el análisis de gráficas que resaltan la frecuencia de los datos relevantes como se muestra a continuación en el Gráfico 6.

Gráfico 1 Frecuencias del nivel de ruido (Leq) Zona SUR



Este gráfico permite resaltar los niveles de ruido relevantes durante el periodo 2013-2014. Se observa que no existen una cantidad de datos relevantes menores a 70 dB A, pero es frecuente encontrar valores mayores a 71,9 dB (A), siendo los más influyentes 71,9 dB (A) y 74, 9 dB

(A) representados por el 66% de los datos. Los valores que llegan a superar los 75 dB representan el 19%, esto significa que existe la posibilidad de incremento en la emisión de ruido en el sector con el tiempo y con el crecimiento del parque automotor.

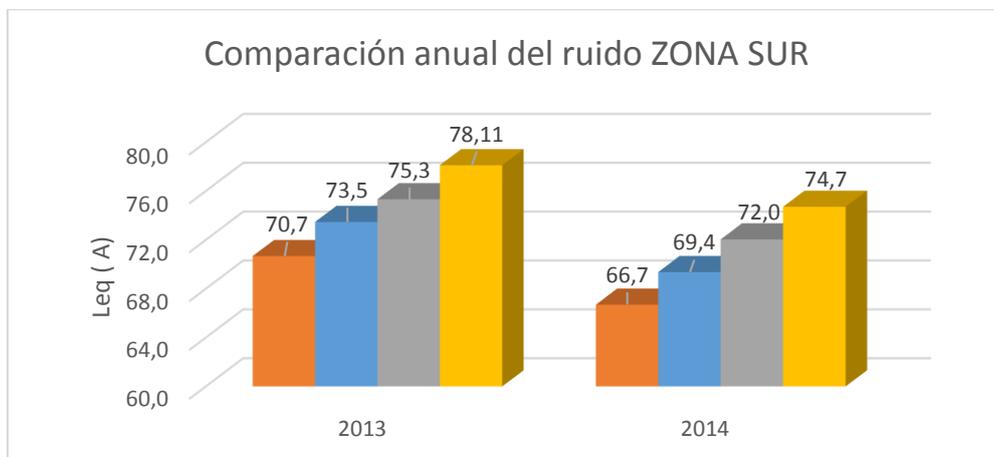
4.2.1.1.1. Comparación del ruido por años

La comparación del ruido por años permitió determinar el grado de incremento durante este periodo, por lo tanto se procedió a extraer los valores relevantes de las tablas de frecuencia para cada año.

Tabla 21 Frecuencia de datos ZONA SUR

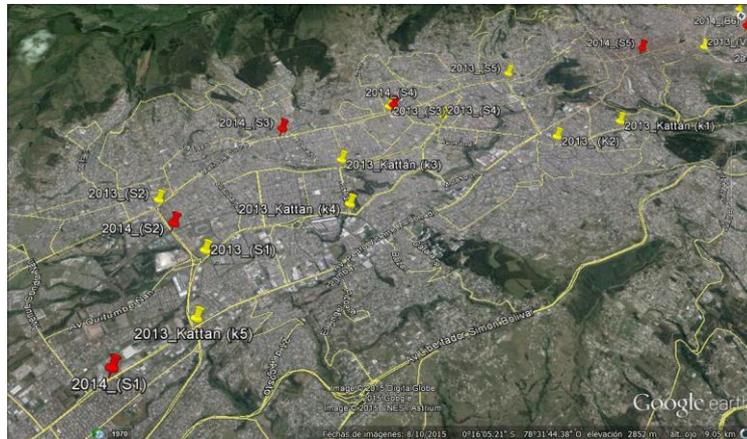
	AÑO	# de datos	Frecuencias relevantes del [Leq (A)]			
SUR	2013	1260	70,7	73,5	75,3	78,11
	2014	756	66,7	69,4	72,0	74,7

Gráfico 2 Comparación Anual de Leq (A) ZONA SUR



En la gráfica se observa los valores del nivel de ruido en la Zona sur para el año 2013 y 2014, en la que presenta una disminución de ruido de aproximadamente 4 dB (A). La razón radica en la desigual cantidad de datos observados en la **De acuerdo a la distribución de los** puntos muestreados en la Zona sur, correspondiente al periodo 2013-2015, se determinó como calles principales la Av. Mariscal sucre, Av. Morán Valverde y Av. Napo, considerando como punto delimitante la loma del Panecillo. Este tramo abarca los barrios urbanos La Magdalena, Chimbacalle, San Bartolo, La Ferroviaria, Solanda, La Argelia y Quitumbe.

Imagen 5 Zona SUR del DMQ

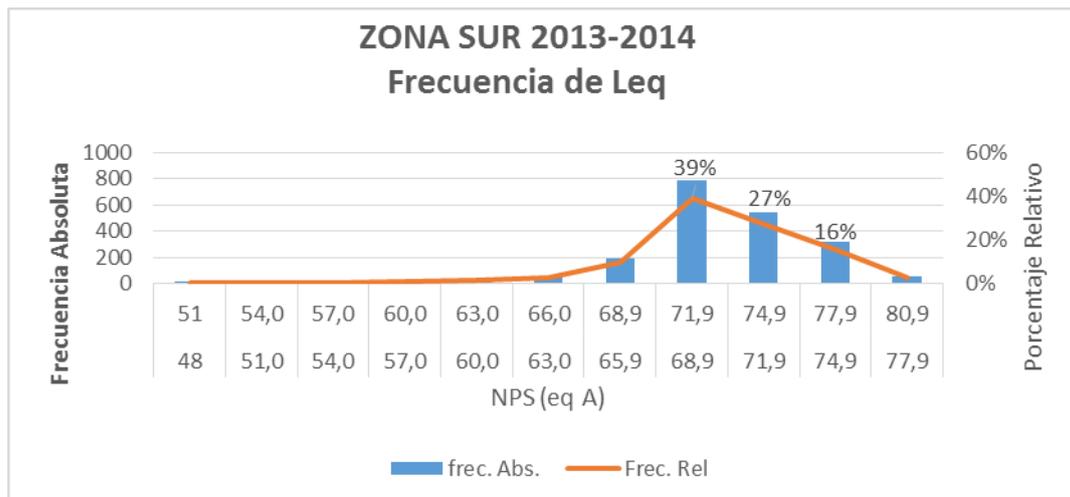


El total de datos tabulados para la zona Sur fueron de 2016 por cada variable, conformada por una variable dependiente (NPS) y cuatro variables independientes (Vprom, QI, Qp y Qt).

4.2.1.2. Comportamiento del ruido en la ZONA SUR

La descripción del ruido se realizó mediante tablas de frecuencia y el análisis de gráficas que resaltan la frecuencia de los datos relevantes como se muestra a continuación en el Gráfico 6.

Gráfico 1 Frecuencias del nivel de ruido (Leq) Zona SUR



Este gráfico permite resaltar los niveles de ruido relevantes durante el periodo 2013-2014. Se observa que no existen una cantidad de datos relevantes menores a 70 dB A, pero es frecuente encontrar valores mayores a 71,9 dB (A), siendo los más influyentes 71,9 dB (A) y 74, 9 dB

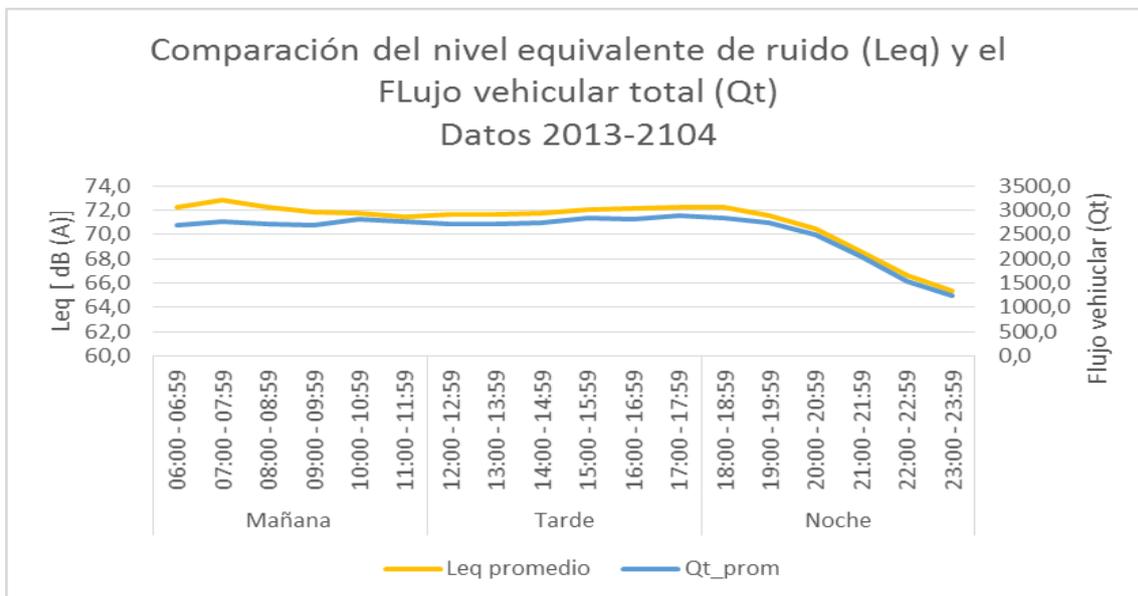
(A) representados por el 66% de los datos. Los valores que llegan a superar los 75 dB representan el 19%, esto significa que existe la posibilidad de incremento en la emisión de ruido en el sector con el tiempo y con el crecimiento del parque automotor.

4.2.1.2.1. Comparación del ruido por años

La comparación del ruido por años permitió determinar el grado de incremento durante este periodo, por lo tanto se procedió a extraer los valores relevantes de las tablas de frecuencia para cada año.

Tabla 21 Frecuencia de datos ZONA SUR, para el 2013 son 1260 mientras que en el 2014 son 756, esto significa que para este último año existe menos estudios realizados en esta zona y por ende menos información. Sin embargo, esto no quiere decir que los datos de este último año no sean comparable o que no sirvan, son importantes para entablar otras investigaciones complementarias que busquen las causas o factores económicos y sociales que pudieron causar la disminución del ruido.

Gráfico 3 Comportamiento comparativo del nivel de ruido equivalente y el flujo vehicular en el día



Nótese en la gráfica que el nivel de ruido en los periodos de la mañana y tarde mantiene una media de 72,9 dB (A), sin embargo para la noche este valor decrece a una media de 71,3 dB(A). Este fenómeno sucede por el horario laboral de 8 am a 5 pm, lo que significa el horario de

mayor congestión vehicular es de 6 am a 8 am, mientras que para la noche el tráfico se intensifica en el horario de 5 pm a 8 pm. Estos horarios se consideran importantes porque es el tiempo estimado para el desplazamiento de las personas desde sus casas hacia el lugar en donde desarrollan sus actividades laborales, y viceversa es de aproximadamente de 2 horas. Como es de esperarse tanto el tráfico vehicular como el nivel de ruido en la noche son menores en comparación al resto del día.

4.2.2. Zona Centro

El punto limitante es la Loma del Panecillo y las calles principales de monitoreo son Av. 12 de Octubre, Av. 10 de Agosto, Av. América y Av. 6 de Diciembre. La cuales cruzan los barrios urbanos Rumipamba, Ñaquito, Jipijapa, Belisario Quevedo y Mariscal Sucre.

Imagen 6 Zona Centro del DMQ

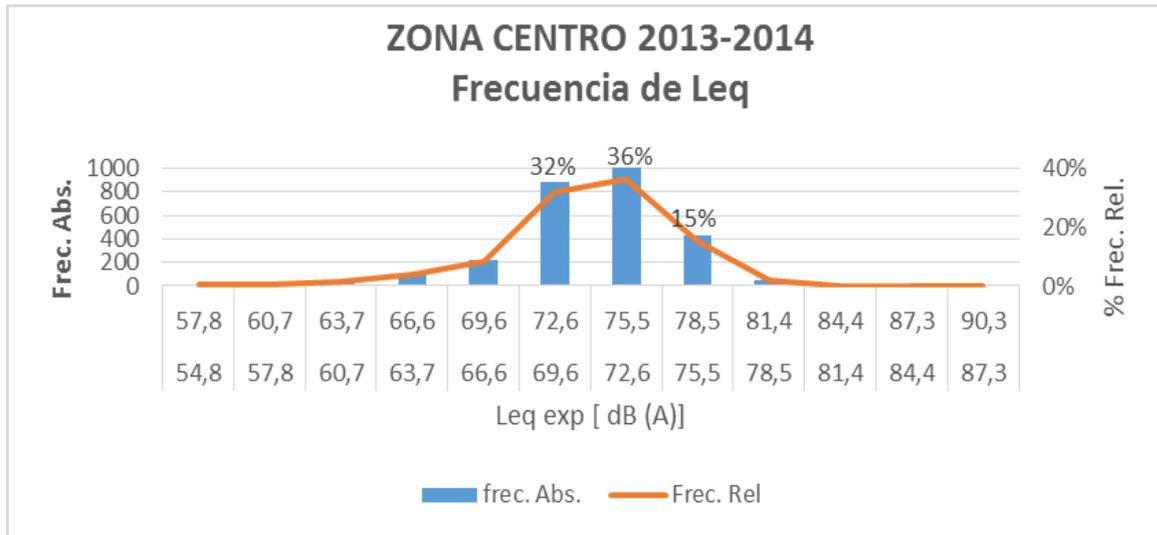


El total de datos tabulados para la zona centro fueron de 2772 por cada variable, conformada por una variable dependiente (NPS) y cuatro variables independientes (Vprom, Ql, Qp y Qt).

4.2.2.1. Comportamiento del ruido en la ZONA CENTRO

El análisis de ruido en la zona centro para el periodo 2013-2014 se realizó mediante las tablas de frecuencia y gráficos de análisis que permiten resaltar los datos relevantes como se muestra en el Gráfico 11.

Gráfico 4 Frecuencia del nivel de ruido (Leq) Zona CENTRO



Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

De acuerdo a los datos experimentales analizados, el ruido en la Zona CENTRO no presenta valores menores a 70 dB y es muy frecuente que existan valores mayores a 72,6 dB (A) pudiendo llegar a un máximo de 71,4 dB(A). Sin embargo los niveles de ruido influyentes oscilan entre 72,6 dB(A) y 75,5 dB(A) representados por el 68% de los datos, y existe un 15% que representan la existencia de valores mayores a 78,5 dB(A) este dato se justifica por el incremento de vehículos en horas pico.

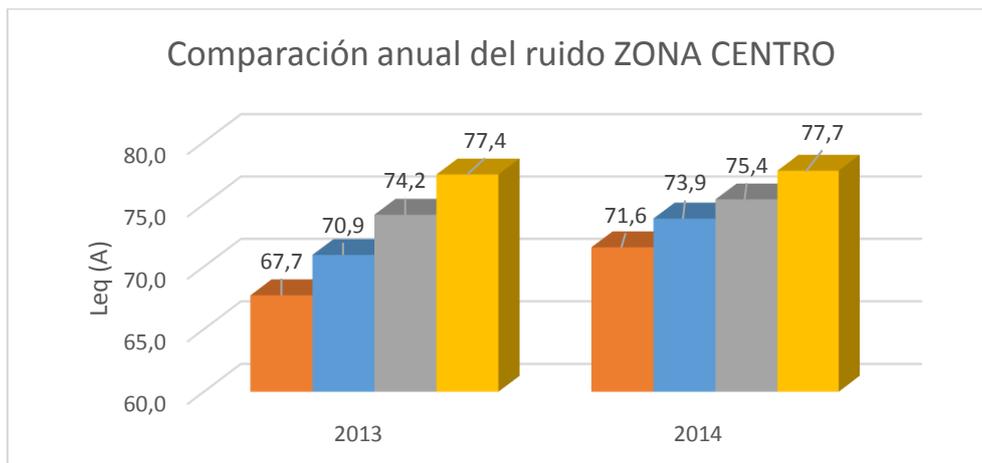
4.2.2.1.1. Comparación del ruido por años ZONA CENTRO

En la tabla 20, se presentan los valores relevantes de las tablas de frecuencia diseñadas para cada año. Las cuales son de ayuda para resaltar los datos característicos de la zona.

Tabla 22 Frecuencia de datos ZONA CENTRO

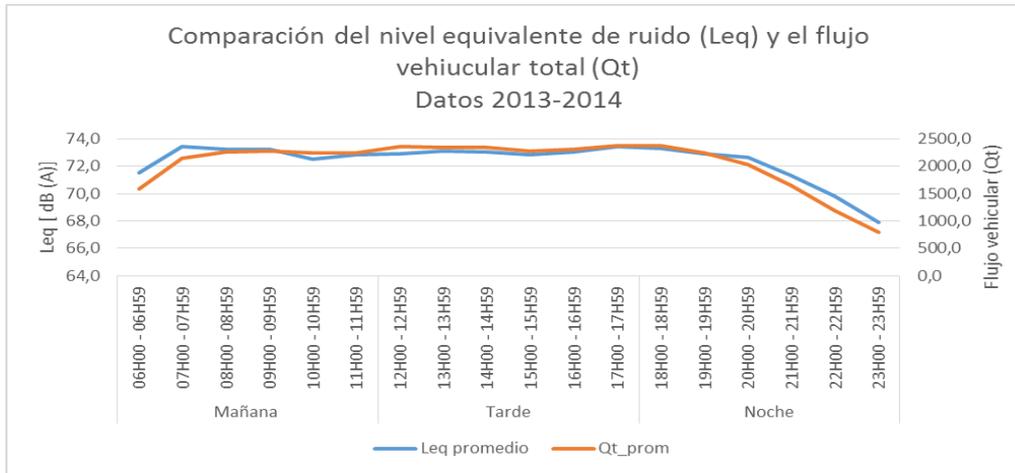
	AÑO	# de datos	Frecuencias relevantes del [Leq (A)]			
CENTRO	2013	1260	67,7	70,9	74,2	77,4
	2014	1512	71,6	73,9	75,4	77,7

Gráfico 5 Comparación Anual de Leq (A) ZONA CENTRO



De acuerdo a la información extraída de la tabla de frecuencias, los valores representativos del grupo de datos para la zona centro se representan en la Gráfico 5 Comparación Anual de Leq (A) ZONA CENTRO, en donde se puede observar un incremento promedio de 2,1dB(A). Este pronóstico es válido porque la cantidad de datos comparados son semejante y significativos para describir la emisión de ruido en esta zona, sin embargo es importante recalcar que aquí existió la influencia del ruido generado por el aeropuerto y por tal razón futuras investigaciones podrían comparar el impacto antes y después de trasladarse al sector de Tababela.

Gráfico 6 Comportamiento comparativo del nivel de ruido equivalente y el flujo vehicular en el día Zona CENTRO

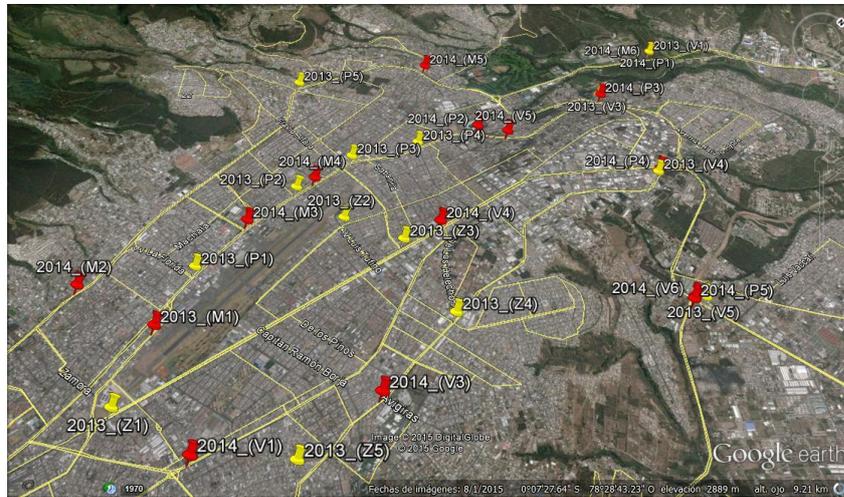


Esta tabla tiene el propósito de determinar la tendencia de comportamiento del ruido con respecto al flujo vehicular durante el día, y por tal razón se llega a la misma conclusión que para la Zona Sur, presenta niveles de ruido lineales con respecto al número de vehículo e incluso mantiene el comportamiento constante durante el día y en la noche a partir de las 8 pm tiende a decrecer. La media de ruido en la mañana y tarde es de 75,9 dB A, mientras que en la noche es de 74,3 dB A.

4.2.3. Zona Norte

Los barrios urbanos cubiertos en esta zona norte son La Concepción, en donde se encontraba el antiguo Aeropuerto de Quito Mariscal Sucre, abarcando los barrios Kennedy, San Isidro del Inca, El Condado, Cotocollao, Ponceano, Carcelén y Comité del Pueblo, tomando en cuenta los puntos de monitoreo realizados en las calles principales Av. 6 de Diciembre, Av. Eloy Alfaro, Panamericana Norte, Av. Diego de Vásquez Cepeda, Av. De La Prensa y Av. Antonio José de Sucre (Occidental).

Imagen 7 Zona NORTE del DMQ

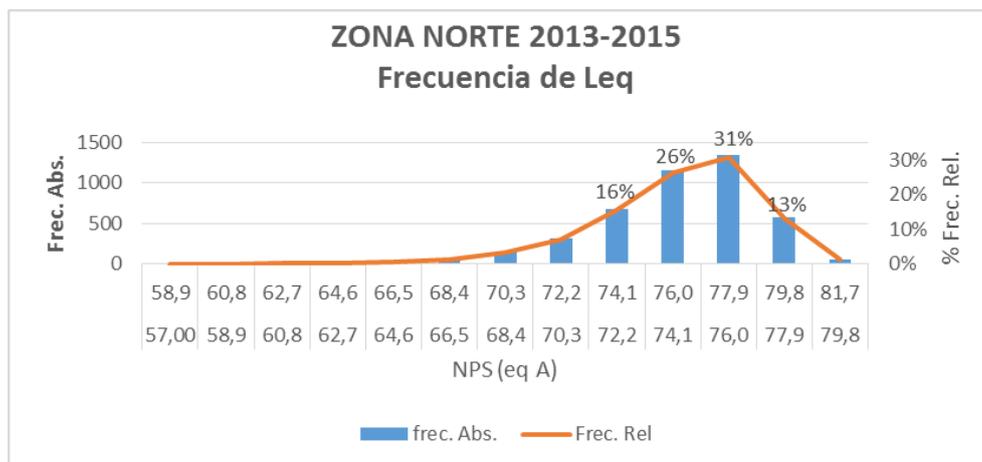


El total de datos tabulados para la zona NORTE fue de 4386 por cada variable, conformada por una variable dependiente (NPS) y cuatro variables independientes (Vprom, Ql, Qp y Qt).

4.2.3.1. Comportamiento del ruido en la ZONA NORTE

Al igual que las otras zonas se realizó tablas de frecuencia para cada año, cabe recalcar que el Norte de la ciudad de Quito tiene datos desde el 2013 al 2015.

Gráfico 7 Frecuencia del nivel de ruido (Leq) Zona NORTE



Los datos experimentales analizados para la Zona NORTE demuestran que no presenta valores menores a 70 dB y es muy frecuente que existan valores mayores a 77,9 dB(A) pudiendo llegar

a sobrepasar los 80 dB(A). Sin embargo los niveles de ruido influyentes oscilan entre 76 dB(A) y 77,9 dB(A) representados por el 57% de los datos, y existe un 13% que representan la existencia de valores mayores a 79,8 dB(A), estos datos pueden ser explicados por el incremento de vehículos en ciertas horas del día.

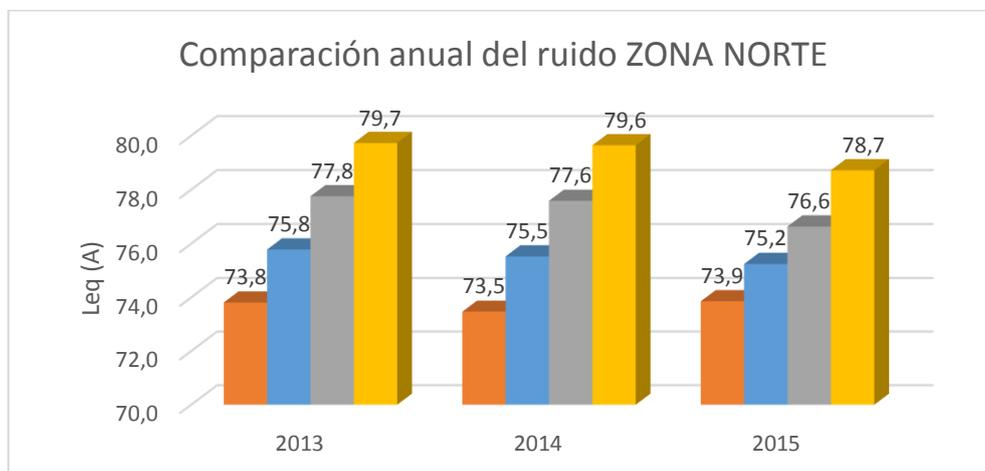
4.2.3.1.1. Comparación del ruido por años

La comparación del ruido por años permitió determinar el grado de incremento durante este periodo, por lo tanto se procedió a extraer los valores relevantes de las tablas de frecuencia para cada año.

Tabla 23 Frecuencia de datos ZONA NORTE

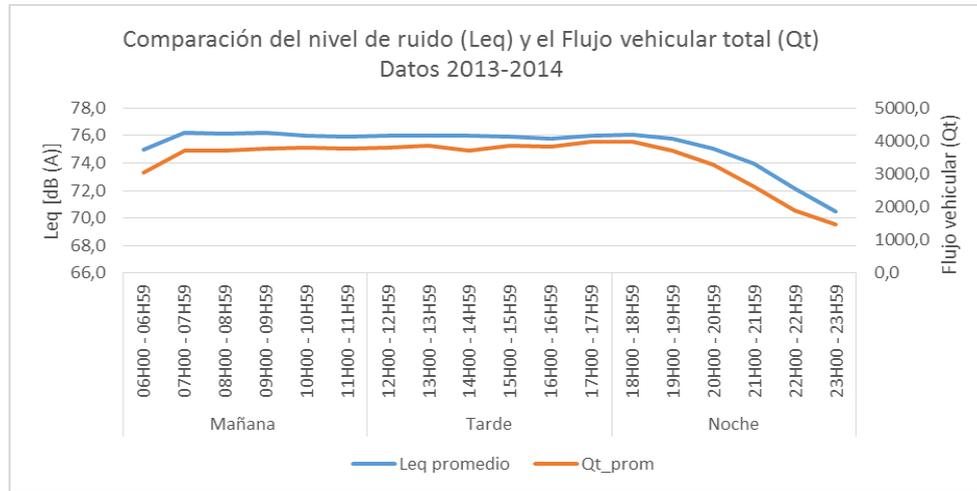
	AÑO	# de datos	Frecuencias relevantes del [Leq (A)]			
NORTE	2013	1257	73,8	75,8	77,8	79,7
	2014	2142	73,5	75,5	77,6	79,6
	2015	357	73,9	75,2	76,6	78,7

Gráfico 8 Comparación Anual de Leq (A) ZONA NORTE



En el gráfico se observa que los valores del nivel de ruido para la Zona Norte, no presentan variaciones significativas, por lo tanto se considera que la media de la zona es de 76,75 dB(A) con una desviación estándar de 2,2.

Gráfico 9 Comparación comparativo del nivel de ruido equivalente y el flujo vehicular en el día ZONA NORTE



Nótese en el gráfico que el nivel de ruido en los periodos de la mañana y de la tarde mantiene una media de 75,9 dB(A), sin embargo para la noche este valor decrece a una media de 74,1 dB(A). Este fenómeno puede ser explicado por el horario laboral de 8 am a 5 pm, y si comparamos el comportamiento del ruido con el flujo vehicular se puede constatar que el horario de mayor congestión vehicular ses de 6 am a 8 am, mientras que para la noche el tráfico se intensifica en el horario de 5 pm a 8 pm. Estos horarios se consideran importantes porque el tiempo estimado para el desplazamiento de las personas desde sus casas hacia el lugar en donde desarrollan sus actividades laborales, y viceversa es de aproximadamente 2 horas. Como es de esperarse tanto el tráfico vehicular como el nivel de ruido en la noche son menores en comparación al resto del día.

4.3. ANÁLISIS GENERAL DEL RUIDO EN EL DMQ

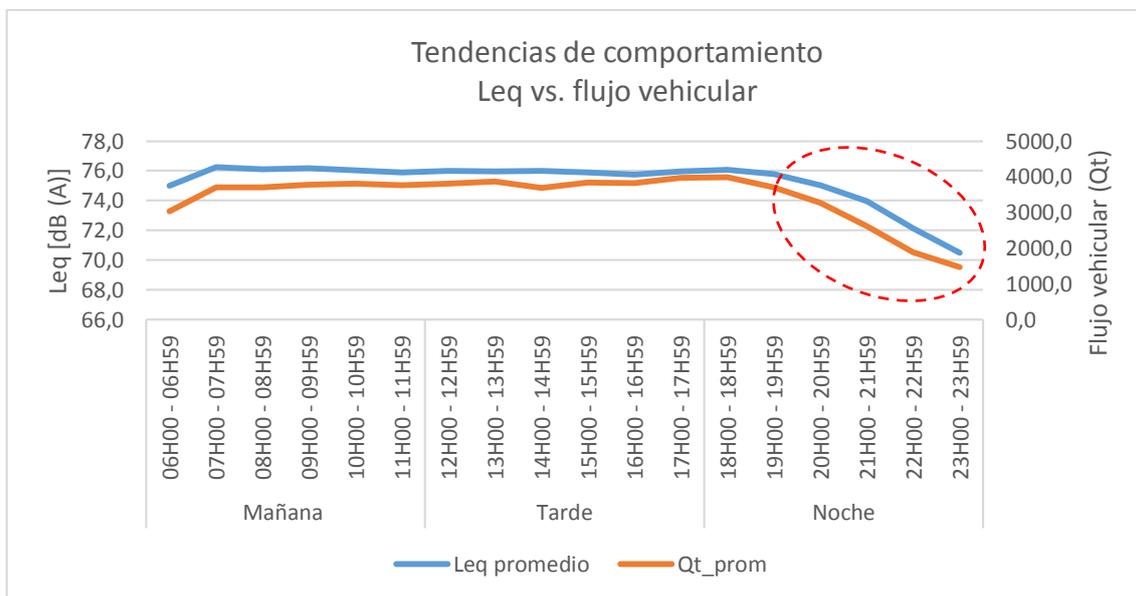
Con el análisis de cada zona se puede decir que el DMQ tienen un impacto sonoro de 78 dB(A), esto significa que la ciudad de Quito supera los valores recomendados por la OMS para ambientes exteriores diurnos de 55 Leq dB(A) y exteriores nocturnos 45 Leq dB (A) (Sánchez, 2006), e incluso de acuerdo a la Ordenanza N° 447 de Ordenamiento Territorial los valores para ruido ambiental exterior el máximo normado es 75 dB(A) correspondientes a las zonas industriales por tanto a simple análisis la contaminación acústica es alta.

Con esta información se determinó que las zonas de DMQ tienen un impacto sonoro de 78 dB(A), esto significa que la ciudad de Quito supera los valores recomendados por la OMS para ambientes exteriores diurnos de 55 Leq dB(A) y exteriores nocturnos 45 Leq dB (A) (Sánchez, 2006) e incluso de acuerdo a la Ordenanza N° 447 de Ordenamiento Territorial los valores para ruido ambiental exterior el máximo normado es 75 dB(A) correspondientes a las zonas industriales por tanto a simple análisis la contaminación acústica es alta.

- **Tendencia de comportamiento del ruido en el DMQ**

El gráfico de tendencia de comportamiento se realizó con la media aritmética de los datos semanales por cada hora, de tal forma que se pueda identificar el comportamiento global del ruido en el día.

Gráfico 10 Tendencia de Comportamiento del ruido DMQ

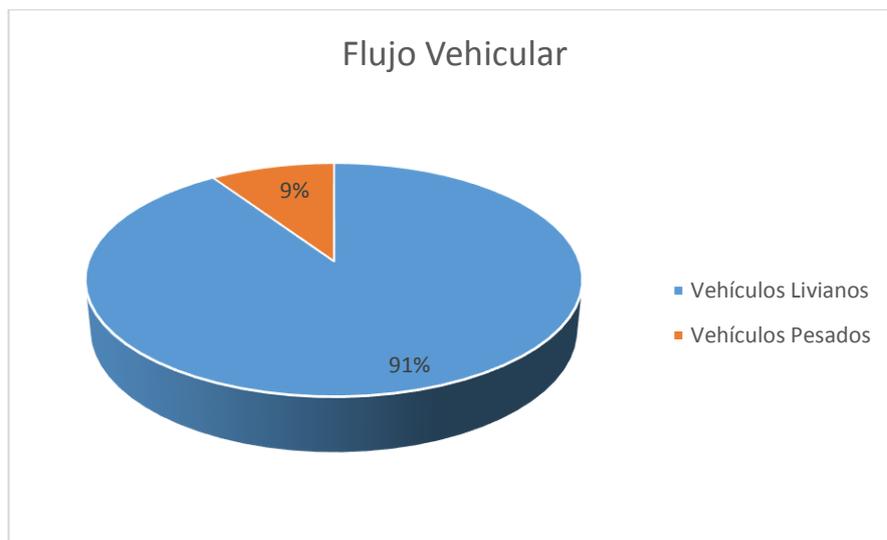


En el gráfico se observa que el ruido durante el día mantiene un comportamiento lineal y estable, pero a partir de las 7 de la noche decrece notoriamente hasta llegar al nivel mínimo promedio de 64 dB(A), valor que aún continua siendo alto con respecto al valor recomendado por la OMS para ambientes exteriores nocturnos de 45 Leq dB(A) (Sánchez, 2006). Incluso se observa la relación directa del nivel de ruido con respecto al número de vehículos, esto significa que el ruido generado por el parque automotor tiene influencia en la contaminación acústica. Esto

significa que las medidas de control para garantizar la calidad de vida de la población deben enfocarse en el control del flujo vehicular.

4.3.1. Volumen de vehículos

Gráfico 11 Relación porcentual del flujo vehicular



La relación porcentual del número de vehículos pesados con respecto a los vehículos livianos es de 1 a 10 aproximadamente, es decir que por cada 10 vehículos livianos hay un pesado. Este es un dato útil para el diseño del modelo predictivo e incluso es una herramienta para comparar con la tasa de crecimiento anual del parque automotor en Quito, que para el 2015 fue del 12 %.

4.4. DISEÑO DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL Y ANÁLISIS

MULTIVARIANTE.

De acuerdo a la metodología establecida para el trabajo, se definió modelar los datos para cada zona y un análisis integral de las tres zonas: Norte, Centro y Sur.

4.4.1. Modelo predictivo de ruido para la ZONA SUR

Los datos ingresados en el diseño de modelo matemático, fueron los promedios aritméticos de la base de datos para cada zona integrados en 18 valores correspondientes a cada hora. Es

importante considerar la sección de análisis estadístico, estos datos son básicos para futuros análisis.

Tabla 24 Datos consolidados de la ZONA SUR

ZONA SUR DATOS CONSOLIDADOS 2013-2014							
			Promedio Leq Exp	Promedio Velocidad	Promedio Flujo Vehicular Liviano	Promedio Flujo Vehicular Pesado	Flujo Vehicular total
Observaciones	Periodo del día	Hora	dB (A)	km/h	Ql	Qp	Qt
1	Mañana	06:00 - 06:59	72,2	38,4	2391	308	2699
2		07:00 - 07:59	72,8	37,3	2450	319	2769
3		08:00 - 08:59	72,2	37,8	2416	305	2721
4		09:00 - 09:59	71,8	37,0	2385	300	2685
5		10:00 - 10:59	71,8	37,3	2479	323	2802
6		11:00 - 11:59	71,5	36,5	2446	314	2760
7	Tarde	12:00 - 12:59	71,7	36,5	2420	302	2722
8		13:00 - 13:59	71,6	36,9	2402	306	2708
9		14:00 - 14:59	71,7	37,0	2446	303	2749
10		15:00 - 15:59	72,0	36,9	2504	326	2830
11		16:00 - 16:59	72,1	36,4	2503	313	2816
12		17:00 - 17:59	72,2	35,6	2573	305	2878
13	Noche	18:00 - 18:59	72,2	36,3	2551	298	2849
14		19:00 - 19:59	71,5	36,5	2471	256	2727
15		20:00 - 20:59	70,4	36,9	2294	207	2501
16		21:00 - 21:59	68,6	37,4	1917	146	2062
17		22:00 - 22:59	66,7	38,8	1463	79	1543
18		23:00 - 23:59	65,4	39,3	1192	57	1249
Análisis Estadístico							
	Símbolo	Leq Exp	Vprom	Ql	Qp	Qt	
Media	\bar{X}	71,0	37,2	2294,6	264,8	2559,5	
Desviación estandar	s	2,0524	0,9275	381,5580	84,7458	462,9557	
Coefficiente de variación	CV	0,0289	0,0250	0,1663	0,3200	0,1809	
Coefficiente de correlación	r		-0,6959	0,9790	0,9728	0,9850	
Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental Log Ql: logaritmo base 10 número total de vehículos livianos por hora Log Qp: logaritmo base 10 número total de vehículos pesados por hora Vprom: velocidad promedio							

Elaborada por Tania Moromenacho, 2016

4.4.1.1. Regresión lineal Zona SUR

Para el diseño del modelo matemático por regresión lineal se usaron los datos de nivel de ruido equivalente (Leq dBA) y el logaritmo base 10 del flujo vehicular total.

Tabla 25 Datos consolidados de la ZONA SUR

ZONA SUR DATOS CONSOLIDADOS 2013-2014							
			Promedio Leq Exp	Promedio Velocidad	Promedio Flujo Vehicular Liviano	Promedio Flujo Vehicular Pesado	Flujo Vehicular total
Observaciones	Periodo del día	Hora	dB (A)	km/h	Ql	Qp	Qt
1	Mañana	06:00 - 06:59	72,2	38,4	2391	308	2699
2		07:00 - 07:59	72,8	37,3	2450	319	2769
3		08:00 - 08:59	72,2	37,8	2416	305	2721
4		09:00 - 09:59	71,8	37,0	2385	300	2685
5		10:00 - 10:59	71,8	37,3	2479	323	2802
6		11:00 - 11:59	71,5	36,5	2446	314	2760
7	Tarde	12:00 - 12:59	71,7	36,5	2420	302	2722
8		13:00 - 13:59	71,6	36,9	2402	306	2708
9		14:00 - 14:59	71,7	37,0	2446	303	2749
10		15:00 - 15:59	72,0	36,9	2504	326	2830
11		16:00 - 16:59	72,1	36,4	2503	313	2816
12		17:00 - 17:59	72,2	35,6	2573	305	2878
13	Noche	18:00 - 18:59	72,2	36,3	2551	298	2849
14		19:00 - 19:59	71,5	36,5	2471	256	2727
15		20:00 - 20:59	70,4	36,9	2294	207	2501
16		21:00 - 21:59	68,6	37,4	1917	146	2062
17		22:00 - 22:59	66,7	38,8	1463	79	1543
18		23:00 - 23:59	65,4	39,3	1192	57	1249
Análisis Estadístico							
	Símbolo	Leq Exp	Vprom	Ql	Qp	Qt	
Media	\bar{x}	71,0	37,2	2294,6	264,8	2559,5	
Desviación estandar	s	2,0524	0,9275	381,5580	84,7458	462,9557	
Coefficiente de variación	CV	0,0289	0,0250	0,1663	0,3200	0,1809	
Coefficiente de correlación	r		-0,6959	0,9790	0,9728	0,9850	
Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental Log Ql: logaritmo base 10 número total de vehículos livianos por hora Log Qp: logaritmo base 10 número total de vehículos l pesados por hora Vprom: velocidad promedio							

Elaborada por Tania Moromenacho, 2016

4.4.1.2. Regresión lineal Zona SUR

Para el diseño del modelo matemático por regresión lineal se usaron los datos de nivel de ruido equivalente (Leq dBA) y el logaritmo base 10 del flujo vehicular total.

Tabla 26 Análisis de regresión lineal ZONA SUR

ZONA SUR REGRESIÓN LINEAL UNIVARIANTE (RL) DATOS 2013-2014				
Representación General		Y= a + b1 (X1)		
Ecuación RL		Leq hora = 2,63 +20,12 log Qt		
		Promedio Leq Exp		Flujo Vehicular total
Observaciones	Periodo del día	Hora	dB (A)	Log Qt
1	Mañana	06:00 - 06:59	72,2	3,43
2		07:00 - 07:59	72,8	3,44
3		08:00 - 08:59	72,2	3,43
4		09:00 - 09:59	71,8	3,43
5		10:00 - 10:59	71,8	3,45
6		11:00 - 11:59	71,5	3,44
7	Tarde	12:00 - 12:59	71,7	3,43
8		13:00 - 13:59	71,6	3,43
9		14:00 - 14:59	71,7	3,44
10		15:00 - 15:59	72,0	3,45
11		16:00 - 16:59	72,1	3,45
12		17:00 - 17:59	72,2	3,46
13	Noche	18:00 - 18:59	72,2	3,45
14		19:00 - 19:59	71,5	3,44
15		20:00 - 20:59	70,4	3,40
16		21:00 - 21:59	68,6	3,31
17		22:00 - 22:59	66,7	3,19
18		23:00 - 23:59	65,4	3,10
Análisis Estadístico				
	Símbolo	Leq Exp	Log Qt	
Media	\bar{X}	71,03	3,40	
Desviación estandar	s	2,0524	0,0999	
Coefficiente de variación	CV	0,0289	0,0294	
Coefficiente de correlación	r	0,9797		
Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental				
Log Qt: logaritmo base 10 del número total de vehículos livianos y pesados por hora				

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

El coeficiente de correlación del nivel de ruido equivalente con el flujo vehicular total es del 0,98, lo que significa una representación relevante.

Tabla 27 Coeficientes de determinación del modelo de regresión lineal ZONA SUR

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de determinación R ²	0,959798718
R ² ajustado	0,96
Error típico	0,42
Observaciones	18

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

Tabla 28 Coeficiente del modelo de regresión lineal ZONA SUR

VALORES DEL MODELO		
	Coeficientes	Error típico
Intercepción (a)	2,625865741	3,501059362
Log Qt (b)	20,1238726	1,029630589

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

La ecuación obtenida para el modelo de regresión lineal sigue el modelo de $Y = a + b X$, en donde “a” es el punto de intercepción y “b” la pendiente de la recta.

Ecuación 12. Regresión lineal ZONA SUR

$Leq \text{ hora} = 2,63 + 20,12 \log Qt$

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

4.4.1.3. Análisis Multivariante ZONA SUR

El análisis multivariante se realizó con los datos de flujo vehicular liviano y pesado, expresados en logaritmo base 10 y la velocidad promedio en (km/h).

Tabla 29 Análisis multivariante ZONA SUR

ZONA SUR ANÁLISIS MULTIVARIANTE (AM) DATOS 2013-2014						
Representación General		$Y = a + b_1(X_1) + b_2(X_2) + b_3(X_3) + b_4(X_4)$				
Ecuación AM		Leq hora = 24,12 + 7,13 log Ql + 6,77 log Qp + 0,18 Vprom				
			Promedio Leq Exp	Promedio Velocidad	Promedio Flujo Vehicular Liviano	Promedio Flujo Vehicular Pesado
Observaciones	Periodo del día	Hora	dB (A)	km/h	log Ql	log Qp
1	Mañana	06:00 - 06:59	72,2	38,4	3,38	2,49
2		07:00 - 07:59	72,8	37,3	3,39	2,50
3		08:00 - 08:59	72,2	37,8	3,38	2,48
4		09:00 - 09:59	71,8	37,0	3,38	2,48
5		10:00 - 10:59	71,8	37,3	3,39	2,51
6		11:00 - 11:59	71,5	36,5	3,39	2,50
7	Tarde	12:00 - 12:59	71,7	36,5	3,38	2,48
8		13:00 - 13:59	71,6	36,9	3,38	2,49
9		14:00 - 14:59	71,7	37,0	3,39	2,48
10		15:00 - 15:59	72,0	36,9	3,40	2,51
11		16:00 - 16:59	72,1	36,4	3,40	2,50
12		17:00 - 17:59	72,2	35,6	3,41	2,48
13	Noche	18:00 - 18:59	72,2	36,3	3,41	2,47
14		19:00 - 19:59	71,5	36,5	3,39	2,41
15		20:00 - 20:59	70,4	36,9	3,36	2,32
16		21:00 - 21:59	68,6	37,4	3,28	2,16
17		22:00 - 22:59	66,7	38,8	3,17	1,90
18		23:00 - 23:59	65,4	39,3	3,08	1,75
Análisis Estadístico						
		Símbolo	Leq Exp	Vprom	log Ql	log Qp
Media		\bar{X}	71,0	37,2	3,4	2,4
Desviación estandar		s	2,0524	0,9275	0,0901	0,2215
Coefficiente de variación		CV	0,0289	0,0250	0,0269	0,0929
Coefficiente de correlación		r		-0,6959	0,9735	0,9863
Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental Log Ql: logaritmo base 10 número total de vehículos livianos por hora Log Qp: logaritmo base 10 número total de vehículos l pesados por hora Vprom: velocidad promedio						

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

La tabla de análisis multivariante, en la sección correspondiente al análisis estadístico, se encuentra el estadístico coeficiente de correlación, este permite identificar de forma cualitativa la variable que influye más en el nivel de ruido equivalente (Leq). En el caso de la Zona SUR el número de vehículos pesados por hora (Qp) tiene un coeficiente de 0,98, seguido por el 0,97

del flujo vehicular liviano (Ql), pero algo importante sucede con la velocidad promedio (Vprom) este es un valor negativo de $-0,70$, esto significa que la relación es inversamente proporcional y además al ser menor con respecto a las otras variables se podría considerar que la intensidad se relaciona con el Leq es medianamente significativa.

Tabla 30 Coeficiente de correlación Análisis Multivariante ZONA SUR

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,988767501
Coefficiente de determinación R ²	0,977661172
R ² ajustado	0,97
Error típico	0,33
Observaciones	18

Tabla 31 Coeficientes del Análisis Multivariante ZONA SUR

Valores del modelo AM		
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>
Intercepción (a)	24,12422588	21,03466141
log Ql (b1)	7,137295242	0,167505142
log Qp (b2)	6,765786629	6,404514614
Vprom (b3)	0,183952862	2,289901174

La ecuación obtenida para el modelo de regresión lineal sigue el modelo de $Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3$.

Ecuación 13. Análisis multivariante ZONA SUR

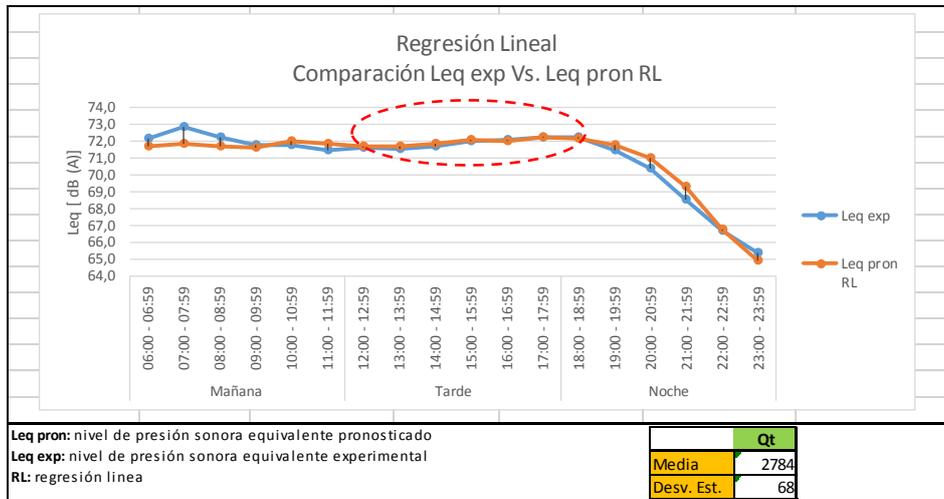
$$\text{Leq hora} = 24,12 + 7,13 \log Ql + 6,77 \log Qp + 0,18 Vprom$$

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

4.4.1.4. Descripción de los modelos de la ZONA SUR

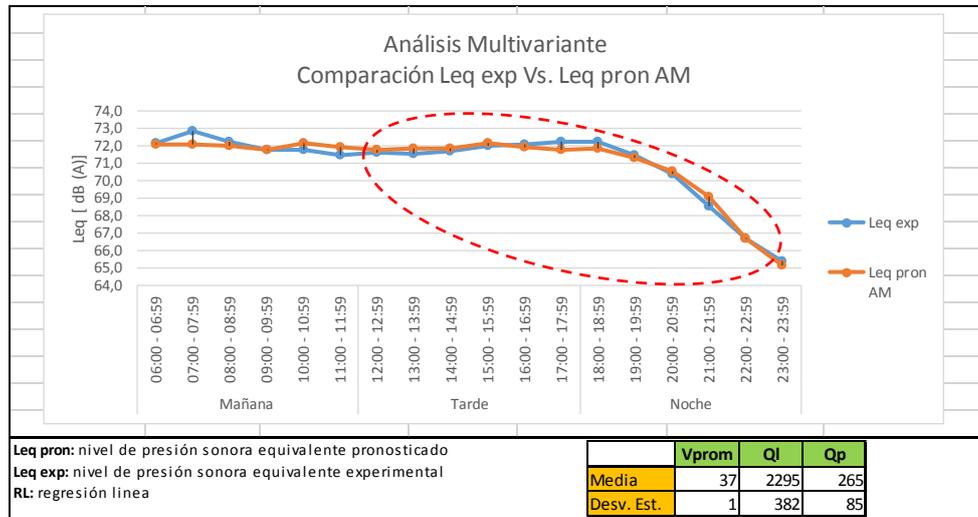
Se realizó un ajuste entre los valores ingresados para el diseño del modelo y los valores pronosticados con la y , de esta forma se determina las condiciones en que funciona el modelo.

Gráfico 12 Comparación Niveles medidos y calculados del modelo Regresión Lineal de la ZONA SUR



En la gráfica se observa que los datos calculados con la **regresión lineal** presenta una mejor predicción de los valores en el periodo de la tarde de 12 a 18 horas, además el error de predicción de la **regresión lineal** No se encuentra el origen de la referencia. **indica** que para este periodo es 0. Es decir que el modelo de predicción lineal univariante se ajusta mejor con valores promedio de flujo vehicular de 2784 con un desviación estándar de 68.

Gráfico 13 Comparación Niveles medidos y calculados del modelo Multivariante de la ZONA SUR



Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

Los datos calculados con la , se ajusta de forma global a las condiciones de la Zona SUR. Sin embargo al integrar tres variables, el método de ajuste demanda mayor trabajo y condicionamientos estrictos para cada variable. De tal forma que la velocidad debe estar dentro del rango 37-38 km/h, el flujo vehicular liviano (Ql) de 1913-2677 vehículos livianos por hora y el transporte pesado (Qp) de 180 y 350 vehículos pesados por hora.

4.4.2. Modelo predictivo de ruido para la ZONA CENTRO

Al igual que el anterior modelo, se realizó el análisis de los datos consolidados en 18 valores representativos para el día.

Tabla 32 Datos consolidados ZONA CENTRO

ZONA CENTRO DATOS CONSOLIDADOS 2013-2014							
Observaciones	Periodo del día	Hora	Promedio Leq Exp dB (A)	Promedio Velocidad km/h	Promedio Flujo Vehicular Liviano Ql	Promedio Flujo Vehicular Pesado Qp	Flujo Vehicular total Qt
1	Mañana	06:00 - 06:59	71,5	36,0	1433	141	1574
2		07:00 - 07:59	73,4	34,6	1970	173	2143
3		08:00 - 08:59	73,2	34,0	2096	156	2252
4		09:00 - 09:59	73,2	33,4	2108	159	2267
5		10:00 - 10:59	72,5	33,0	2084	161	2245
6		11:00 - 11:59	72,9	32,6	2073	160	2232
7	Tarde	12:00 - 12:59	72,9	32,0	2199	161	2360
8		13:00 - 13:59	73,1	32,4	2183	163	2346
9		14:00 - 14:59	73,1	33,6	2168	168	2336
10		15:00 - 15:59	72,9	33,2	2112	162	2274
11		16:00 - 16:59	73,0	32,5	2149	155	2304
12		17:00 - 17:59	73,4	32,0	2215	165	2380
13	Noche	18:00 - 18:59	73,3	31,5	2200	175	2375
14		19:00 - 19:59	72,9	33,5	2099	146	2245
15		20:00 - 20:59	72,6	35,9	1922	111	2032
16		21:00 - 21:59	71,3	37,6	1575	78	1654
17		22:00 - 22:59	69,8	39,2	1121	62	1182
18		23:00 - 23:59	67,9	43,1	740	57	797
Análisis Estadístico							
	Símbolo	Leq Exp	Vprom	log Ql		log Qp	
Media	\bar{X}	72,4	34,5	1913,6		141,8	2055,4
Desviación estandar	s	1,4445	2,9770	420,0599		37,9282	454,0710
Coficiente de variación	CV	0,0200	0,0864	0,2195		0,2675	0,2209
Coficiente de correlación	r		-0,9357	0,9670		0,8965	0,9694
Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental Log Ql: logaritmo base 10 número total de vehículos livianos por hora Log Qp: logaritmo base 10 número total de vehículos l pesados por hora Vprom: velocidad promedio							

Elaborada por Tania Moromenacho, 2016

4.4.2.1. Regresión lineal Zona SUR

Para el diseño del modelo matemático por regresión lineal se usaron los datos de nivel de ruido equivalente (Leq dBA) y el logaritmo base 10 del flujo vehicular total.

Tabla 33 Análisis de regresión lineal ZONA CENTRO

ZONA CENTRO REGRESIÓN LINEAL UNIVARIANTE (RL) DATOS 2013-2014				
Representación General		Y= a + b1 (X1)		
Ecuación RL		Leqhora=35,57 + 11,16 log Qt		
		Promedio Leq Exp		Flujo Vehicular total
Observaciones	Periodo del día	Hora	dB (A)	Log Qt
1	Mañana	06:00 - 06:59	71,5	3,20
2		07:00 - 07:59	73,4	3,33
3		08:00 - 08:59	73,2	3,35
4		09:00 - 09:59	73,2	3,36
5		10:00 - 10:59	72,5	3,35
6		11:00 - 11:59	72,9	3,35
7	Tarde	12:00 - 12:59	72,9	3,37
8		13:00 - 13:59	73,1	3,37
9		14:00 - 14:59	73,1	3,37
10		15:00 - 15:59	72,9	3,36
11		16:00 - 16:59	73,0	3,36
12		17:00 - 17:59	73,4	3,38
13	Noche	18:00 - 18:59	73,3	3,38
14		19:00 - 19:59	72,9	3,35
15		20:00 - 20:59	72,6	3,31
16		21:00 - 21:59	71,3	3,22
17		22:00 - 22:59	69,8	3,07
18		23:00 - 23:59	67,9	2,90
Análisis Estadístico				
	Símbolo	Leq Exp	Log Qt	
Media	\bar{X}	72,39	3,30	
Desviación estandar	s	1,4445	0,1273	
Coefficiente de variación	CV	0,0200	0,0386	
Coefficiente de correlación	r	0,9842		
Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental				
Log Qt: logaritmo base 10 del número total de vehículos livianos y pesados por hora				

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

El coeficiente de correlación del nivel de ruido equivalente con el flujo vehicular total es de 0,98, lo que significa una representación relevante.

Tabla 34 Coeficiente de correlación modelo de regresión lineal ZONA CENTRO

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de determinación R ²	0,96870686
R ² ajustado	0,97
Error típico	0,26
Observaciones	18

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

Tabla 35 Coeficiente del modelo de regresión lineal ZONA CENTRO

VALORES DEL MODELO		
	Coeficientes	Error Típico
Intercepción (a)	35,5651219	1,65571294
log Qt (b)	11,1637456	0,501624

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

La ecuación obtenida para el modelo de regresión lineal sigue el modelo de $Y = a + b X$, en donde “a” es el punto de intercepción y “b” la pendiente de la recta.

Ecuación 14. Modelo por Regresión Lineal par la ZONA CENTRO

$$Leq_{hora} = 35,57 + 11,16 \log Qt$$

4.4.2.2. Modelo de Análisis Multivariante ZONA CENTRO

El análisis multivariante se realizó con los datos de flujo vehicular liviano y pesado, expresados en logaritmo base 10 y a velocidad promedio en (km/h).

Tabla 36 Ecuación de Análisis Multivariante ZONA CENTRO del DMQ

ZONA CENTRO ANÁLISIS MULTIVARIANTE (AM) DATOS 2013-2014						
Representación General		Y= a + b ₁ (X ₁) + b ₂ (X ₂) + b ₃ (X ₃) + b ₄ (X ₄)				
Ecuación AM		Leq _{hora} =21,33 + 11,58 log Ql + 3,32 log Qp + 0,18 Vprom				
			Promedio Leq Exp dB (A)	Promedio Velocidad km/h	Promedio Flujo Vehicular Liviano log Ql	Promedio Flujo Vehicular Pesado log Qp
Observaciones	Periodo del día	Hora				
1	Mañana	06:00 - 06:59	71,5	36,0	3,16	2,15
2		07:00 - 07:59	73,4	34,6	3,29	2,24
3		08:00 - 08:59	73,2	34,0	3,32	2,19
4		09:00 - 09:59	73,2	33,4	3,32	2,20
5		10:00 - 10:59	72,5	33,0	3,32	2,21
6		11:00 - 11:59	72,9	32,6	3,32	2,20
7	Tarde	12:00 - 12:59	72,9	32,0	3,34	2,21
8		13:00 - 13:59	73,1	32,4	3,34	2,21
9		14:00 - 14:59	73,1	33,6	3,34	2,23
10		15:00 - 15:59	72,9	33,2	3,32	2,21
11		16:00 - 16:59	73,0	32,5	3,33	2,19
12		17:00 - 17:59	73,4	32,0	3,35	2,22
13	Noche	18:00 - 18:59	73,3	31,5	3,34	2,24
14		19:00 - 19:59	72,9	33,5	3,32	2,16
15		20:00 - 20:59	72,6	35,9	3,28	2,04
16		21:00 - 21:59	71,3	37,6	3,20	1,89
17		22:00 - 22:59	69,8	39,2	3,05	1,79
18		23:00 - 23:59	67,9	43,1	2,87	1,75
Análisis Estadístico						
	Símbolo	Leq Exp	Vprom	log Ql	log Qp	
Media	\bar{X}	72,4	34,5	3,3	2,1	
Desviación estandar	s	1,4445	2,9770	0,1267	0,1541	
Coefficiente de variación	CV	0,0200	0,0864	0,0388	0,0723	
Coefficiente de correlación	r		-0,9357	0,9812	0,9227	
<small>Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental Log Ql: logaritmo base 10 número total de vehículos livianos por hora Log Qp: logaritmo base 10 número total de vehículos l pesados por hora Vprom: velocidad promedio</small>						

Al igual que las anteriores tablas de validación esta cuenta con la sección correspondiente al análisis estadístico, dentro de la cual se encuentra el estadístico coeficiente de correlación que permite identificar de forma cualitativa la variable que influye más en el nivel de ruido equivalente (Leq). En el caso de la Zona CENTRO el número de vehículos pesados por hora (Qp) tiene un coeficiente de 0,92, seguido por el 0,98 del flujo vehicular liviano (Ql), pero algo importante sucede con la velocidad promedio (Vprom) este es un valor negativo de -0,93, esto significa que la relación es inversamente proporcional. Por tanto las tres variables tienen una intensidad de relación significativa.

Tabla 37 Coeficiente de correlación Análisis Multivariante ZONA CENTRO

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0,989737567
Coeficiente de determinación R ²	0,979580451
R ² ajustado	0,98
Error típico	0,23
Observaciones	18

Tabla 38 Coeficiente del Análisis Multivariante ZONA CENTRO

VALORES DEL MODELO		
	<i>Coeficientes</i>	<i>Error Típico</i>
Intercepción	21,32522704	7,9298275
log Ql	11,58159346	1,52200062
log Qp	3,32014233	0,98663594
Velprom	0,178409025	0,07891054

La ecuación obtenida para el modelo de regresión lineal sigue el modelo de $Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3$.

Ecuación 15. Modelo de Análisis multivariante ZONA CENTRO

$$Leq_{hora} = 21,33 + 11,58 \log Ql + 3,32 \log Qp + 0,18 Vprom$$

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

4.4.3. Modelo predictivo de ruido para la ZONA NORTE

Los datos ingresados en el diseño de modelo matemático, fueron los promedios aritméticos de la base de datos para cada zona integrados en 18 valores correspondientes a cada hora. Es importante considerar la sección de análisis estadístico, estos datos son básicos para futuros análisis.

Tabla 39 Datos consolidados ZONA NORTE

ZONA NORTE DATOS CONSOLIDADOS 2013-2015							
Observaciones	Periodo del día	Hora	Promedio Leq Exp dB (A)	Promedio Velocidad km/h	Promedio Flujo Vehicular Liviano Ql	Promedio Flujo Vehicular Pesado Qp	Flujo Vehicular total Qt
1	Mañana	06:00 - 06:59	75,0	51,2	2654	376	3030
2		07:00 - 07:59	76,2	49,9	3323	385	3708
3		08:00 - 08:59	76,1	49,0	3285	417	3702
4		09:00 - 09:59	76,2	49,4	3299	473	3772
5		10:00 - 10:59	76,0	48,8	3366	441	3807
6		11:00 - 11:59	75,9	49,4	3322	443	3765
7	Tarde	12:00 - 12:59	76,0	49,8	3355	456	3811
8		13:00 - 13:59	76,0	50,0	3410	450	3861
9		14:00 - 14:59	76,0	49,8	3307	430	3693
10		15:00 - 15:59	75,9	49,9	3412	433	3845
11		16:00 - 16:59	75,7	50,0	3404	421	3825
12		17:00 - 17:59	76,0	49,1	3574	392	3966
13	Noche	18:00 - 18:59	76,1	49,1	3603	386	3988
14		19:00 - 19:59	75,8	48,8	3377	331	3708
15		20:00 - 20:59	75,0	49,8	3010	265	3275
16		21:00 - 21:59	74,0	51,2	2406	215	2621
17		22:00 - 22:59	72,1	52,8	1724	158	1882
18		23:00 - 23:59	70,5	51,5	1345	125	1470
Análisis Estadístico							
	Símbolo	Leq Exp	Vprom	log Ql		log Qp	
Media	\bar{X}	75,2	50,0	3065,4	366,5	3429,4	
Desviación estandar	s	1,5606	1,0631	633,9986	105,6676	727,8411	
Coficiente de variación	CV	0,0207	0,0213	0,2068	0,2883	0,2122	
Coficiente de correlación	r		-0,8059	0,9741	0,9070	0,9785	
Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental Log Ql: logaritmo base 10 número total de vehículos livianos por hora Log Qp: logaritmo base 10 número total de vehículos l pesados por hora Vprom: velocidad promedio							

Elaborada por Tania Moromenacho, 2016

4.4.3.1. Regresión lineal Zona SUR

Para el diseño del modelo matemático por regresión lineal se usaron los datos de nivel de ruido equivalente (Leq dBA) y el logaritmo base 10 del flujo vehicular total.

Tabla 40 Análisis de regresión lineal ZONA NORTE

ZONA NORTE				
REGRESIÓN LINEAL UNIVARIANTE (RL)				
DATOS 2013-2015				
Representación General		Y= a + b1 (X1)		
Ecuación RL		Leq _{hora} =29,82 + 12,90 log Qt		
		Promedio Leq Exp		Flujo Vehicular total
Observaciones	Periodo del día	Hora	dB (A)	Log Qt
1	Mañana	06:00 - 06:59	75,0	3,48
2		07:00 - 07:59	76,2	3,57
3		08:00 - 08:59	76,1	3,57
4		09:00 - 09:59	76,2	3,58
5		10:00 - 10:59	76,0	3,58
6		11:00 - 11:59	75,9	3,58
7	Tarde	12:00 - 12:59	76,0	3,58
8		13:00 - 13:59	76,0	3,59
9		14:00 - 14:59	76,0	3,57
10		15:00 - 15:59	75,9	3,58
11		16:00 - 16:59	75,7	3,58
12		17:00 - 17:59	76,0	3,60
13	Noche	18:00 - 18:59	76,1	3,60
14		19:00 - 19:59	75,8	3,57
15		20:00 - 20:59	75,0	3,52
16		21:00 - 21:59	74,0	3,42
17		22:00 - 22:59	72,1	3,27
18		23:00 - 23:59	70,5	3,17
Análisis Estadístico				
	Símbolo	Leq Exp	Log Qt	
Media	\bar{X}	75,25	3,52	
Desviación estandar	s	1,5606	0,1200	
Coefficiente de variación	CV	0,0207	0,0341	
Coefficiente de correlación	r	0,9919		
Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental				
Log Qt: logaritmo base 10 del número total de vehículos livianos y pesados por hora				

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

El coeficiente de correlación del nivel de ruido equivalente con el flujo vehicular total es del 0,99 lo que significa una representación relevante.

Tabla 41 Coeficiente de correlación modelo de regresión lineal ZONA NORTE

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de determinación R ²	0,98377353
R ² ajustado	0,98
Error típico	0,20
Observaciones	18

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

Tabla 42 Coeficiente del modelo de regresión lineal ZONA NORTE

VALORES DEL MODELO		
	Coeficientes	Error Típico
Intercepción	29,8162788	1,45945477
log Qt	12,8985852	0,41413935

Ecuación 16. Regresión lineal ZONA NORTE

$$Leq_{hora} = 29,82 + 12,90 \log Qt$$

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

4.4.3.2. Descripción de los modelos RL y AM de la ZONA CENTRO

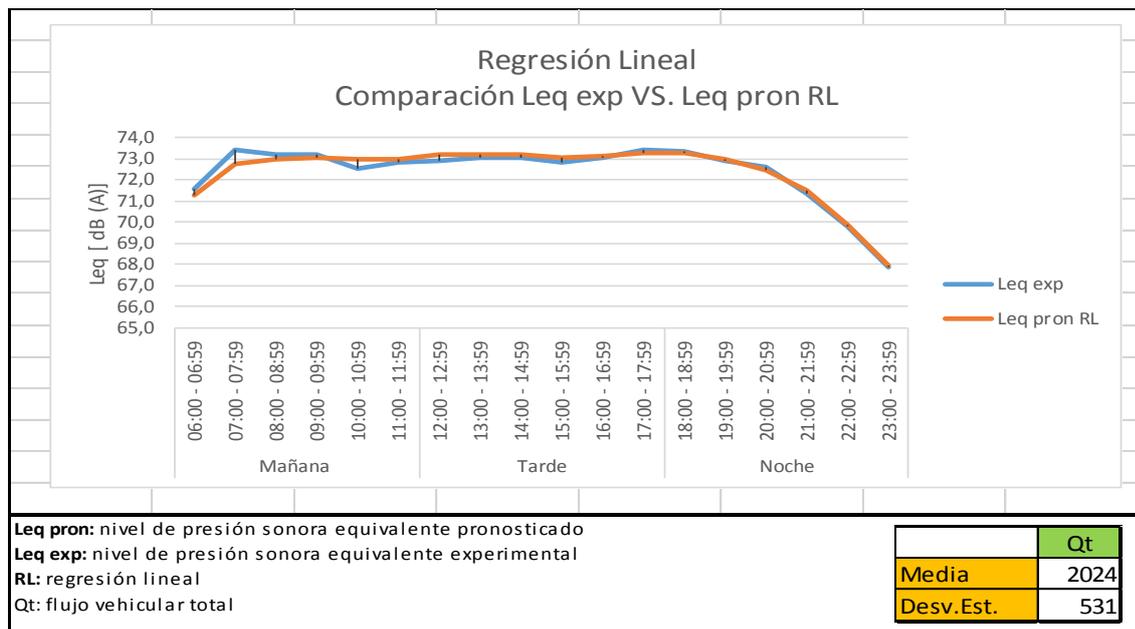
La suma de los cuadrados para el modelo de regresión lineal univariable (RL) es de 1,1 mientras que el error de predicción del análisis multivariante (AM) es de 0,7. Esto significa que para la Zona CENTRO las dos ecuaciones se ajustan.

Tabla 43 Error de predicción por periodos del día ZONA CENTRO

Error de Predicción		
	Residuos RL	Residuos AM
	(Leq exp - Leq pron) ²	
Mañana	0,9	0,4
Tarde	0,2	0,2
Noche	0,1	0,1

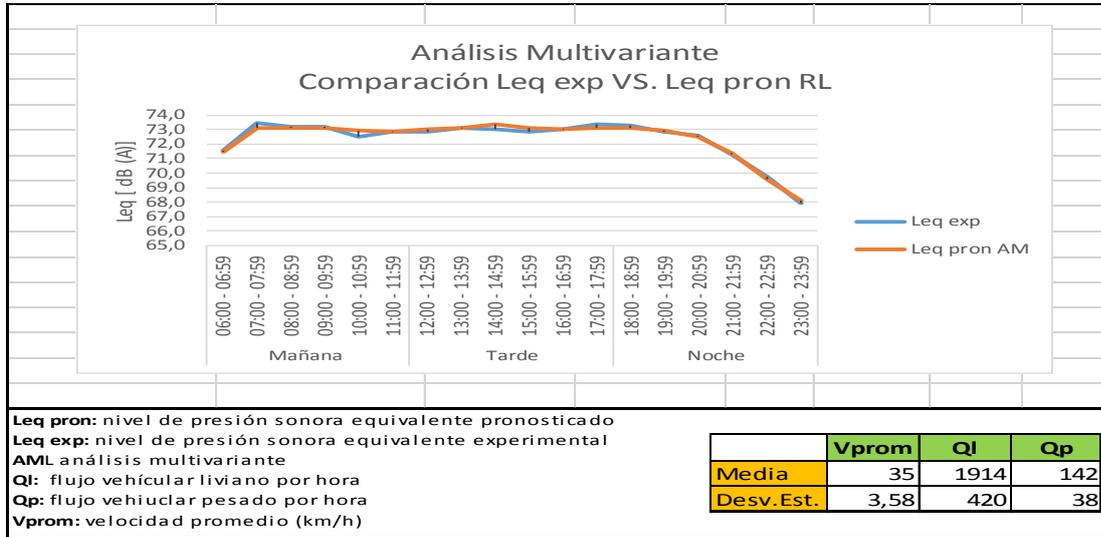
En la tabla se resume los promedios por cada periodo del día, y se observa que los valores calculados con la Q_t está más próxima a determinar los valores reales de la zona; mientras los valores pronosticados con la Q_t tienen menos error de predicción para el periodo tarde-noche.

Gráfico 14 Comparación de Niveles Medido y calculados del modelo de Regresión Lineal de la ZONA CENTRO



En la gráfica se observa que los datos calculados con la Q_t presenta una mejor predicción de los valores en el periodo de la tarde y noche, además el error de predicción de la Q_t indica que para estos periodos es 0,2 y 0,1 respectivamente. Es decir que el modelo de predicción lineal univariante se ajusta mejor con valores promedio de flujo vehicular de 2024 con un desviación estándar de 531.

Gráfico 15 Comparación Niveles medidos y calculados del modelo Multivariante de la ZONA CENTRO



Los datos calculados con la , se ajusta de forma global a las condiciones de la Zona CENTRO, y el grado oscila entre 0,1 y 0.

4.4.3.3. Modelo de Análisis Multivariante ZONA NORTE

El análisis multivariante se realizó con los datos de flujo vehicular liviano y pesado, expresados en logaritmo base 10 y a velocidad promedio en (km/h).

Tabla 44 Análisis multivariante ZONA NORTE

ZONA NORTE ANÁLISIS MULTIVARIANTE (AM) DATOS 2013-2015						
Representación General		$Y = a + b_1 (X_1) + b_2 (X_2) + b_3 (X_3) + b_4 (X_4)$				
Ecuación AM		$Leq_{hora} = 31,18 + 10,23 \log Ql + 2,52 \log Qp + 0,04 Vprom$				
			Promedio Leq Exp	Promedio Velocidad	Promedio Flujo Vehicular Liviano	Promedio Flujo Vehicular Pesado
Observaciones	Periodo del día	Hora	dB (A)	km/h	log Ql	log Qp
1	Mañana	06:00 - 06:59	75,0	51,2	3,42	2,57
2		07:00 - 07:59	76,2	49,9	3,52	2,59
3		08:00 - 08:59	76,1	49,0	3,52	2,62
4		09:00 - 09:59	76,2	49,4	3,52	2,68
5		10:00 - 10:59	76,0	48,8	3,53	2,64
6		11:00 - 11:59	75,9	49,4	3,52	2,65
7	Tarde	12:00 - 12:59	76,0	49,8	3,53	2,66
8		13:00 - 13:59	76,0	50,0	3,53	2,65
9		14:00 - 14:59	76,0	49,8	3,52	2,63
10		15:00 - 15:59	75,9	49,9	3,53	2,64
11		16:00 - 16:59	75,7	50,0	3,53	2,62
12		17:00 - 17:59	76,0	49,1	3,55	2,59
13	Noche	18:00 - 18:59	76,1	49,1	3,56	2,59
14		19:00 - 19:59	75,8	48,8	3,53	2,52
15		20:00 - 20:59	75,0	49,8	3,48	2,42
16		21:00 - 21:59	74,0	51,2	3,38	2,33
17		22:00 - 22:59	72,1	52,8	3,24	2,20
18		23:00 - 23:59	70,5	51,5	3,13	2,10
Análisis Estadístico						
		Símbolo	Leq Exp	Vprom	log Ql	log Qp
Media		\bar{X}	75,2	50,0	3,5	2,5
Desviación estandar		s	1,5606	1,0631	0,1161	0,1677
Coefficiente de variación		CV	0,0207	0,0213	0,0334	0,0661
Coefficiente de correlación		r		-0,8059	0,9881	0,9567
Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental Log Ql: logaritmo base 10 número total de vehículos livianos por hora Log Qp: logaritmo base 10 número total de vehículos l pesados por hora Vprom: velocidad promedio						

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

La tabla de análisis multivariante tiene una sección correspondiente al análisis estadístico, dentro de la cual se encuentra el estadístico coeficiente de correlación que permite identificar de forma cualitativa la variable que influye más en el nivel de ruido equivalente (Leq). En el caso de la Zona NORTE el número de vehículos pesados por hora (Qp) tiene un coeficiente de

0,96, seguido por el 0,99 del flujo vehicular liviano (Ql), pero algo importante sucede con la velocidad promedio (Vprom) este es un valor negativo de $-0,81$, esto significa que la relación es inversamente proporcional.

Tabla 45 Coeficiente de correlación Análisis Multivariante ZONA NORTE

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,993353449
Coefficiente de determinación R ²	0,986751074
R ² ajustado	0,98
Error típico	0,20
Observaciones	18

Tabla 46 Coeficiente del Análisis Multivariante ZONA NORTE

VALORES DEL MODELO		
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error Típico</i>
Intercepción (a)	31,17892667	6,88409796
log Ql (b1)	10,22925513	1,37220287
log Qp (b2)	2,515122422	0,79180446
Vprom (b3)	0,042896912	0,08224344

La ecuación obtenida para el modelo de regresión lineal sigue el modelo de $Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3$.

Ecuación 17 Análisis multivariante ZONA NORTE

$Leq_{hora} = 31,18 + 10,23 \log Ql + 2,52 \log Qp + 0,04 Vprom$
--

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

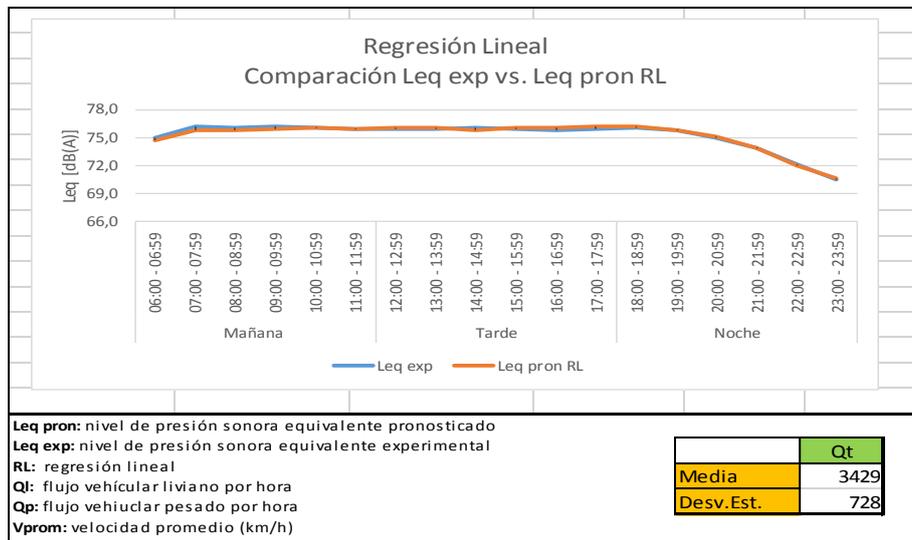
4.4.3.4. Descripción de los modelos RL y AM de la ZONA NORTE

La suma de los cuadrados para el modelo de regresión lineal univariable (RL) es de 0,7 mientras que el error de predicción del análisis multivariante (AM) es de 0,5. Esto significa que ambas ecuaciones se ajustan correctamente para representar el comportamiento del ruido en la Zona NORTE.

Tabla 47 Error de predicción para periodos del día ZONA NORTE

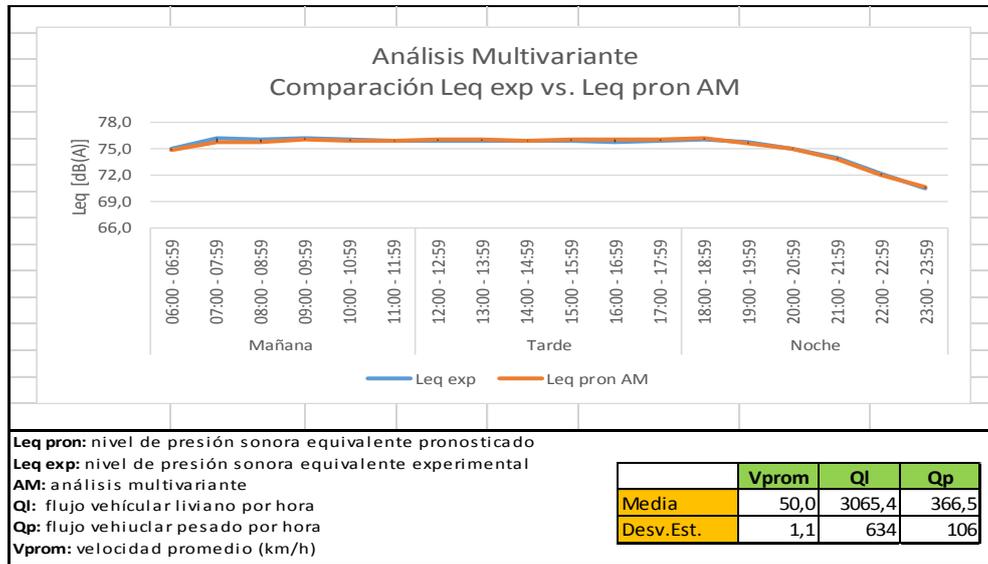
Error de Predicción		
	Residuos RL	Residuos AM
	$(Leq\ exp - Leq\ pron)^2$	
Mañana	0,4	0,3
Tarde	0,2	0,2
Noche	0,1	0,1

Gráfico 16 Comparación de niveles medidos y calculados del modelo Regresión Lineal de la ZONA NORTE



En la gráfica se observa que los datos calculados con la presenta valores de predicción muy cercanos a los experimentales, por lo tanto la ecuación tiene un grado de aceptación alta.

Gráfico 17 Comparación de niveles medidos y calculados del Análisis Multivariante de la ZONA NORTE



Los datos calculados con la , al igual que el modelo de regresión se ajusta de forma global a las condiciones de la Zona NORTE. La razón por la cual el modelo se ajusta mejor para este sector del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) es por la cantidad de datos existentes.

4.4.4. Modelo predictivo integral de ruido para el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)

Los datos ingresados para el diseño del modelo matemático integral del DMQ, fueron los promedios aritméticos de las zonas Centro, Norte y Sur integrados en 18 valores correspondientes a cada hora. Es importante considerar la sección de análisis estadístico, estos datos son básicos para futuros análisis.

Tabla 48 Datos consolidados del DMQ

DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO DATOS CONSOLIDADOS 2013-2015							
			Promedio Leq Exp	Promedio Velocidad	Promedio Flujo Vehicular Liviano	Promedio Flujo Vehicular Pesado	Flujo Vehicular total
Observaciones	Periodo del día	Hora	dB (A)	km/h	Ql	Qp	Qt
1	Mañana	06:00 - 06:59	72,9	41,8	2160	275	2435
2		07:00 - 07:59	74,2	40,6	2581	292	2873
3		08:00 - 08:59	73,9	40,3	2599	293	2892
4		09:00 - 09:59	73,7	39,9	2597	311	2908
5		10:00 - 10:59	73,4	39,7	2643	308	2951
6		11:00 - 11:59	73,4	39,5	2613	306	2919
7	Tarde	12:00 - 12:59	73,5	39,4	2658	306	2964
8		13:00 - 13:59	73,5	39,8	2665	307	2972
9		14:00 - 14:59	73,6	40,1	2640	301	2926
10		15:00 - 15:59	73,6	40,0	2676	307	2983
11		16:00 - 16:59	73,6	39,6	2685	297	2982
12		17:00 - 17:59	73,9	38,9	2788	287	3075
13	Noche	18:00 - 18:59	73,9	39,0	2785	286	3071
14		19:00 - 19:59	73,4	39,6	2649	244	2893
15		20:00 - 20:59	72,7	40,9	2409	194	2603
16		21:00 - 21:59	71,3	42,1	1966	146	2112
17		22:00 - 22:59	69,5	43,6	1436	100	1536
18		23:00 - 23:59	67,9	44,6	1092	79	1172
Análisis Estadístico							
	Símbolo	Leq Exp	Vprom	log Ql		log Qp	
Media	\bar{X}	72,9	40,5	2424,5		257,7	2681,4
Desviación estandar	s	1,6567	1,5642	472,9682		75,1057	542,3498
Coefficiente de variación	CV	0,0227	0,0386	0,1951		0,2914	0,2023
Coefficiente de correlación	r		-0,9267	0,9768		0,9380	0,9810
Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental Log Ql: logaritmo base 10 número total de vehículos livianos por hora Log Qp: logaritmo base 10 número total de vehículos l pesados por hora Vprom: velocidad promedio							

4.4.4.1. Regresión lineal DMQ

Para el diseño del modelo matemático por regresión lineal se usaron los datos de nivel de ruido equivalente (Leq dBA) y el logaritmo base 10 del flujo vehicular total.

Tabla 49 Análisis de regresión lineal para el DMQ

ECUACIÓN GENERALIZADA DEL DMQ REGRESIÓN LINEAL UNIVARIANTE (RL) DATOS 2013-2015				
Representación General		Y= a + b1 (X1)		
Ecuación RL		Leq _{hora} = 23,92 + 14,33 log Qt		
		Promedio Leq Exp		Flujo Vehicular total
Observaciones	Periodo del día	Hora	dB (A)	Log Qt
1	Mañana	06:00 - 06:59	72,9	3,39
2		07:00 - 07:59	74,2	3,46
3		08:00 - 08:59	73,9	3,46
4		09:00 - 09:59	73,7	3,46
5		10:00 - 10:59	73,4	3,47
6		11:00 - 11:59	73,4	3,47
7	Tarde	12:00 - 12:59	73,5	3,47
8		13:00 - 13:59	73,5	3,47
9		14:00 - 14:59	73,6	3,47
10		15:00 - 15:59	73,6	3,47
11		16:00 - 16:59	73,6	3,47
12		17:00 - 17:59	73,9	3,49
13	Noche	18:00 - 18:59	73,9	3,49
14		19:00 - 19:59	73,4	3,46
15		20:00 - 20:59	72,7	3,42
16		21:00 - 21:59	71,3	3,32
17		22:00 - 22:59	69,5	3,19
18		23:00 - 23:59	67,9	3,07
Análisis Estadístico				
	Símbolo	Leq Exp	Log Qt	
Media	\bar{X}	72,89	3,42	
Desviación estandar	s	1,6567	0,1143	
Coefficiente de variación	CV	0,0227	0,0334	
Coefficiente de correlación	r	0,9885		
Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental				
Log Qt: logaritmo base 10 del número total de vehículos livianos y pesados por hora				

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

El coeficiente de correlación del nivel de ruido equivalente con respecto al flujo vehicular total es del 0,99, lo que significa que existe correlación entre las variables.

Tabla 50 Coeficientes de correlación modelo de regresión lineal para el DMQ

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de determinación R ²	0,9770375
R ² ajustado	0,98
Error típico	0,26
Observaciones	18

El coeficiente de determinación a diferencia del coeficiente de correlación define el grado de ajuste del modelo y este es del 0,98 para la ecuación lineal del DMQ.

Tabla 51 Coeficiente del modelo de regresión lineal para el DMQ

VALORES DEL MODELO		
	<i>Coeficientes</i>	<i>Error Típico</i>
Intercepción	23,9209399	1,87760905
log Qt	14,3318141	0,54928171

La ecuación obtenida para el modelo de regresión lineal sigue el modelo de $Y = a + b X$, en donde “a” es el punto de intercepción y “b” la pendiente de la recta.

Ecuación 18. Modelo de Regresión lineal para el DMQ

$Leq_{hora} = 23,92 + 14,33 \log Qt$

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

4.4.4.2. Análisis Multivariante

El análisis multivariante se realizó con los datos promediados de las zonas Sur, Centro y Norte de cada variable: flujo vehicular liviano y pesado, expresados en logaritmo base 10 y la velocidad promedio en (km/h).

Para diseñar la ecuación multivariante se ingresaron los mismos datos del nivel de presión sonora y los siguientes datos extras:

- **Velocidad:** velocidad promedio (V_{prom})
- **Log Q:** el logaritmo base 10 del flujo vehicular liviano y pesado
- **Leq:** nivel de presión sonora equivalente.

Tabla 52 Análisis multivariante para el DMQ

ECUACIÓN GENERALIZADA DEL DMQ ANÁLISIS MULTIVARIANTE (AM) DATOS 2013-2015						
Representación General		$Y = a + b_1(X_1) + b_2(X_2) + b_3(X_3) + b_4(X_4)$				
Ecuación AM		$Leq_{hora} = 9,99 + 13,08 \log Ql + 3,47 \log Qp + 0,26 Vprom$				
			Promedio Leq Exp	Promedio Velocidad	Promedio Flujo Vehicular Liviano	Promedio Flujo Vehicular Pesado
Observaciones	Periodo del día	Hora	dB (A)	km/h	log Ql	log Qp
1	Mañana	06:00 - 06:59	72,9	41,8	3,33	2,44
2		07:00 - 07:59	74,2	40,6	3,41	2,47
3		08:00 - 08:59	73,9	40,3	3,41	2,47
4		09:00 - 09:59	73,7	39,9	3,41	2,49
5		10:00 - 10:59	73,4	39,7	3,42	2,49
6		11:00 - 11:59	73,4	39,5	3,42	2,49
7	Tarde	12:00 - 12:59	73,5	39,4	3,42	2,49
8		13:00 - 13:59	73,5	39,8	3,43	2,49
9		14:00 - 14:59	73,6	40,1	3,42	2,48
10		15:00 - 15:59	73,6	40,0	3,43	2,49
11		16:00 - 16:59	73,6	39,6	3,43	2,47
12		17:00 - 17:59	73,9	38,9	3,45	2,46
13	Noche	18:00 - 18:59	73,9	39,0	3,44	2,46
14		19:00 - 19:59	73,4	39,6	3,42	2,39
15		20:00 - 20:59	72,7	40,9	3,38	2,29
16		21:00 - 21:59	71,3	42,1	3,29	2,17
17		22:00 - 22:59	69,5	43,6	3,16	2,00
18		23:00 - 23:59	67,9	44,6	3,04	1,90
Análisis Estadístico						
		Símbolo	Leq Exp	Vprom	log Ql	log Qp
Media		\bar{X}	72,9	40,5	3,4	2,4
Desviación estandar		s	1,6567	1,5642	0,1092	0,1795
Coefficiente de variación		CV	0,0227	0,0386	0,0324	0,0753
Coefficiente de correlación		r		-0,9267	0,9840	0,9735
Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental Log Ql: logaritmo base 10 número total de vehículos livianos por hora Log Qp: logaritmo base 10 número total de vehículos l pesados por hora Vprom: velocidad promedio						

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

Tabla 53 Coeficiente de correlación Análisis Multivariante DMQ

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,9937646
Coefficiente de determinación R ²	0,98756808
R ² ajustado	0,98
Error típico	0,20
Observaciones	18

El coeficiente de correlación del análisis multivariante muestra que es de 0,99, esto se explica por la cantidad de variables que ingresan en el modelo lo cual permite caracterizar mejor el modelo de regresión múltiple.

Tabla 54 Coeficiente del Análisis Multivariante DMQ

VALORES DEL MODELO		
	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>
Intercepción (a)	9,99910278	10,8587305
Ql	13,0822102	2,27395769
Qp	3,46763973	0,89169002
Vprom	0,25873593	0,1172274

La ecuación obtenida para el modelo de regresión lineal sigue el modelo de $Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3$.

Ecuación 19. Modelo de Análisis multivariante DMQ

$$Leq_{hora} = 9,99 + 13,08 \log Ql + 3,47 \log Qp + 0,26 Vprom$$

Elaborado por: Tania Moromenacho, 2016

4.5. ANÁLISIS DE VALIDACIÓN DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL Y ANÁLISIS MULTIVARIANTE.

El proceso de validación se realizó con datos aleatorios de cada zona de la base de datos general, para lo cual se elaboró una tabla de las variables seleccionadas y se calculó el nivel de ruido con la ecuación de respectiva de la zona y con la ecuación integral del Distrito Metropolitano de Quito.

4.5.1. Validación ZONA SUR

Para validar las ecuaciones y la se procedió a extraer un punto aleatorio de la base de datos correspondiente a la zona sur. En este caso el punto es el S5 muestreado en el año 2013 del día martes.

Tabla 55 Dato aleatorio para la validación de los modelos en la ZONA SUR

ZONA SUR							
Datos para la validación de los modelos de RL y AM							
Dirección		Rodrigo de Chávez y Mariscal Sucre					
Código Google Earth		2013 (S5)					
Día		Martes					
		Promedio Leq Exp	Promedio Velocidad	Promedio Flujo Vehicular Liviano	Promedio Flujo Vehicular Pesado	Promedio Flujo Vehicular Total	
Observaciones	Periodo del día	Hora	dB (A)	km/h	Ql	Qp	Qt
1	Mañana	06:00 - 06:59	78,4	50,2	3900	360	4260
2		07:00 - 07:59	77,8	43,4	3300	720	4020
3		08:00 - 08:59	77,3	43,0	3420	660	4080
4		09:00 - 09:59	76,5	43,8	4680	420	5100
5		10:00 - 10:59	78,1	42,8	4380	780	5160
6		11:00 - 11:59	75,9	39,9	3480	660	4140
7	Tarde	12:00 - 12:59	76,7	41,1	3540	540	4080
8		13:00 - 13:59	77,2	45,0	3120	540	3660
9		14:00 - 14:59	76,1	41,4	2880	360	3240
10		15:00 - 15:59	76,4	41,1	3900	600	4500
11		16:00 - 16:59	76,3	36,2	3840	660	4500
12		17:00 - 17:59	78,8	43,1	4620	600	5220
13	Noche	18:00 - 18:59	77,6	39,9	3900	540	4440
14		19:00 - 19:59	77,8	41,4	3120	540	3660
15		20:00 - 20:59	76,6	41,9	3540	600	4140
16		21:00 - 21:59	73,7	45,9	2580	300	2880
17		22:00 - 22:59	70,6	44,9	2520	120	2640
18		23:00 - 23:59	69,2	49,6	1740	180	1920
Análisis Estadístico							
		Símbolo	Leq Exp	Vprom	Ql	Qp	Qt
Media		\bar{X}	76,2	43,0	3470,0	510,0	3980,0
Desviación estandar		s	2,5638	3,3596	752,5721	183,2067	877,4830
Coeficiente de variación		CV	0,0337	0,0781	0,2169	0,3592	0,2205
Coeficiente de correlación		r		-0,3692	0,7710	0,7619	0,8204
Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental Log Ql: logaritmo base 10 número total de vehículos livianos por hora Log Qp: logaritmo base 10 número total de vehículos l pesados por hora Vprom: velocidad promedio							

Elaborada por Tania Moromenacho, 2016

Con los datos del punto seleccionado, se procedió a calcular los estadísticos: media, desviación estándar, coeficiente de variación y coeficiente de correlación. Con este último, se determinó el grado de relación de las variables independientes de -0,37 para la velocidad, flujo vehicular liviano de 0,77 y pesado 0,76 con respecto a la variable dependiente, el nivel de ruido equivalente. Esto significa que la relación entre variables es aceptable para realizar el análisis

lineal tanto univariante como multivariante, después se calculó los niveles de ruido pronosticados con los valores de flujo vehicular y velocidad.

En la se determinó que el error de predicción mediante las diferencias entre los valores predichos y los valores reales calculados mediante la ecuación siguiente:

Ecuación 20 Error absoluto

$$e = Y - Y'$$

Donde:

- e: error de predicción o estimación
- Y: Valor reales de la variable a predecir
- Y': Predicción o estimación

Se determinó que este indicador devuelve valores negativos y positivos, y por tanto no se puede identificar la magnitud del error de predicción y se decidió realizar la suma de los cuadrados de la diferencia de los valores experimentales y valores estimados con la siguiente ecuación.

Ecuación 21 Suma de la diferencia del error al cuadrados

$$Q = \frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{N}$$

De acuerdo a la evaluación de los errores de pronóstico se determinó, que los valores calculados con la es de 37, con este primer acercamiento se observa que es el mejor modelo para aplicar en la Zona Sur. Pero para corroborar esta decisión se evaluó el intervalo de confianza para el modelo de análisis multivariante integral del DMQ, con esto se determinó que el promedio del valor real de 76,17 dBA se encuentra dentro del intervalo calculado con un 95% de asertividad de 75,8 – 77,4 dBA.

Con el análisis de la ANOVA se determinó que el error entre los niveles de ruido calculados con las ecuaciones y propias de la zona sur no son estadísticamente significantes, como se puede observar en la **propia de la ZONA SUR** el valor de la probabilidad es mayor al 5% y por tanto se ratifica que los promedios aritméticos no presentan diferencias estadísticamente significantes y por tanto se estimaría usarlas para el pronóstico del nivel de ruido.

Tabla 56. ANOVA con los datos calculados mediante la ecuación propia de la ZONA SUR

ZONA SUR						
Análisis de un factor varianza (ANOVA) con los valores calculados con la Ecuación propia de la ZONA SUR						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Leq Exp	17	1292,6	76,0	6,654		
Leq pron (RL)	17	1280,09721	75,3	2,641		
Leq pron (AM)	17	1299,912704	76,5	2,659		
ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	11,81272857	2	5,906364286	1,48225644	0,23733437	3,190727336
Dentro de los grupos	191,2661522	48	3,984711503			
Total	203,0788807	50				

De igual forma sucede con la y se determinó mediante el análisis de la ANOVA mostrada en la demuestran que la probabilidad de 0,16 supera al 5% y por ende las variaciones no son estadísticamente significantes.

Tabla 57 ANOVA con los datos calculados mediante la ecuación integral del DMQ

ZONA SUR						
Análisis de un factor varianza (ANOVA) con los valores calculados con la Ecuación integral del DMQ						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Promedio Leq Exp	18	1371	76,2	6,573		
Leq pron RL_integral	18	1356,02665	75,3	2,508		
Leq pron AM_integral	18	1378,793598	76,6	2,827		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	14,87546909	2	7,437734545	1,87383707	0,163951281	3,178799292
Dentro de los grupos	202,4319342	51	3,969253612			
Total	217,3074033	53				

Tabla 58 Validación de las Ecuaciones ZONA SUR

ZONA SUR																
VALIDACIÓN MEDIANTE EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN																
Representación General		$Y = a + b_1(X_1) + b_2(X_2) + b_3(X_3) + b_4(X_4)$														
Ecuación RL		Leq hora = 2,63 + 20,12 log Qt														
Ecuación AM		Leq hora = 24,12 + 7,13 log Ql + 6,77 log Qp + 0,18 Vprom														
Ecuación Integral RL		Leqhora = 23,92 + 14,33 log Qt														
Ecuación Integral AM		Leqhora = 9,99 + 13,08 log Ql + 3,47 log Qp + 0,26 Vprom														
Observaciones	Periodo del día	Hora	dB (A)	dB (A)	dB (A)	dB (A)	dB (A)	Qt	Error de Predicción Ec. ZONA SUR				Error de Predicción Ec. Integral DMQ			
									Residuos RL	Residuos AM	Residuos RL	Residuos AM	Residuos RL	Residuos AM	Residuos RL	Residuos AM
			Promedio Leq Exp	Leq pron RL_SUR	Leq pron AM_SUR	Leq pron RL_integral	Leq pron AM_integral	Flujo Vehicular total	Leq exp - Leq pron	(Leq exp - Leq pron)^2	Leq exp - Leq pron	(Leq exp - Leq pron)^2				
1	Mañana	06:00 - 06:59	78,4	75,7	76,1	75,9	78,9	4260	2,7	2,3	7,5	5,5	2,5	-0,5	6,1	0,2
2		07:00 - 07:59	77,8	75,1	76,4	75,6	77,2	4020	2,7	1,4	7,0	2,1	2,2	0,6	5,0	0,3
3		08:00 - 08:59	77,3	75,3	76,2	75,7	77,2	4080	2,0	1,1	4,1	1,3	1,6	0,1	2,7	0,0
4		09:00 - 09:59	76,5	77,2	75,9	77,0	78,5	5100	-0,7	0,6	0,5	0,3	-0,5	-2,0	0,3	3,9
5		10:00 - 10:59	78,1	77,3	77,4	77,1	78,8	5160	0,8	0,7	0,6	0,5	1,0	-0,7	1,0	0,5
6		11:00 - 11:59	75,9	75,4	75,6	75,8	76,5	4140	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	-0,6	0,0	0,3
7	Tarde	12:00 - 12:59	76,7	75,3	75,3	75,7	76,6	4080	1,4	1,4	2,0	1,9	1,0	0,1	1,1	0,0
8		13:00 - 13:59	77,2	74,3	75,6	75,0	76,9	3660	2,9	1,6	8,3	2,4	2,2	0,3	4,9	0,1
9		14:00 - 14:59	76,1	73,3	73,5	74,2	74,9	3240	2,8	2,6	8,1	6,5	1,9	1,2	3,5	1,5
10		15:00 - 15:59	76,4	76,1	75,9	76,3	77,3	4500	0,3	0,5	0,1	0,2	0,1	-0,9	0,0	0,8
11		16:00 - 16:59	76,3	76,1	75,3	76,3	76,1	4500	0,2	1,0	0,0	1,0	0,0	0,2	0,0	0,1
12		17:00 - 17:59	78,8	77,4	76,8	77,2	78,8	5220	1,4	2,0	1,9	3,9	1,6	0,0	2,6	0,0
13	Noche	18:00 - 18:59	77,6	76,0	75,4	76,2	76,8	4440	1,6	2,2	2,5	4,9	1,4	0,8	2,0	0,6
14		19:00 - 19:59	77,8	74,3	75,0	75,0	75,9	3660	3,5	2,8	12,1	7,9	2,8	1,9	7,9	3,4
15		20:00 - 20:59	76,6	75,4	75,8	75,8	76,9	4140	1,2	0,8	1,4	0,7	0,8	-0,3	0,7	0,1
16		21:00 - 21:59	73,7	72,2	73,5	73,5	75,2	2880	1,5	0,2	2,2	0,0	0,2	-1,5	0,0	2,1
17		22:00 - 22:59	70,6	71,5	70,5	73,0	73,4	2640	-0,9	0,1	0,8	0,0	-2,4	-2,8	5,5	7,7
18		23:00 - 23:59	69,2	68,7	71,4	71,0	73,1	1920	0,5	-2,2	0,3	4,9	-1,8	-3,9	3,1	15,2
Análisis Estadístico Validación de los modelos RL y AM								Suma	24,3	19,4	59,5	44,3	15,0	-7,8	46,5	37,0
		Símbolo	Promedio Leq Exp	Leq pron RL_SUR	Leq pron AM_SUR	Leq pron RL_integral	Leq pron AM_integral	Max			12,1	7,9			7,9	15,2
Media		\bar{X}	76,17	74,82	75,09	75,33	76,60	Min			0,0	0,0			0,0	0,0
Desviación estándar		s	2,5638	2,2236	1,7769	1,5837	1,6813									
Coeficiente de variación		CV	0,0337	0,0297	0,0237	0,0210	0,0219									
Coeficiente de correlación		r														
Tamaño de la muestra		Vn			4,2											
Índice de correlación		IC 95%				IC 95%										
		IC RL [dB (A)]		IC AM [dB (A)]		IC RL [dB (A)]		IC AM [dB (A)]								
		73,7	75,9	74,2	76,0	74,5	76,1	75,8	77,4							
		74,8		75,1		75,3		76,6								

Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental
Leq pron RL: nivel de presión sonora equivalente calculado con la ecuación de regresión lineal univariante
Leq pron AM: nivel de presión sonora equivalente calculado con la ecuación de análisis multivariante
RL: regresión lineal univariante
AM: análisis multivariante

4.5.2. Validación ZONA CENTRO

Los datos corresponden al punto VP3, del día viernes. Estos valores fueron elegidos aleatoriamente de la base general de datos.

El coeficiente correlación para la zona centro **corresponde al**

Tabla 59 Dato aleatorio para la validación de los modelos ZONA CENTRO

ZONA CENTRO							
Datos para la validación de los modelos de RL y AM							
Dirección	Av. 10 de Agosto y Colón						
Código Google Earth	2013_(VP3)						
Día	VIERNES						
			Promedio Leq Exp	Promedio Velocidad	Promedio Flujo Vehicular Liviano	Promedio Flujo Vehicular Pesado	Promedio Flujo Vehicular Total
Observaciones	Periodo del día	Hora	dB (A)	km/h	Ql	Qp	Qt
1	Mañana	06:00 - 06:59	75,5	35,7	1290	60	1350
2		07:00 - 07:59	76,3	32,8	1830	90	1920
3		08:00 - 08:59	77,8	38,3	1890	210	2100
4		09:00 - 09:59	79,1	44,2	3420	90	3510
5		10:00 - 10:59	77,1	36,0	4050	210	4260
6		11:00 - 11:59	78,6	34,6	3210	60	3270
7	Tarde	12:00 - 12:59	74,7	34,0	3720	60	3780
8		13:00 - 13:59	75,3	34,8	3210	140	3350
9		14:00 - 14:59	75,2	31,3	4110	80	4190
10		15:00 - 15:59	73,7	33,2	2730	80	2810
11		16:00 - 16:59	75,3	40,5	2040	120	2160
12		17:00 - 17:59	75,3	39,9	2340	150	2490
13	Noche	18:00 - 18:59	75,2	35,5	2132	120	2252
14		19:00 - 19:59	75,6	29,6	3510	90	3600
15		20:00 - 20:59	74,8	32,2	3510	80	3590
16		21:00 - 21:59	73,2	34,2	2010	109	2010
17		22:00 - 22:59	77,2	37,2	2070	113	2070
18		23:00 - 23:59	74,7	40,2	1920	60	1980
Análisis Estadístico							
	Símbolo	Leq Exp	Vprom	log Ql		log Qp	
Media	\bar{X}	75,8	35,8	2721,8	106,8	2816,2	
Desviación estandar	s	1,5997	3,7075	873,2794	46,2857	884,9515	
Coeficiente de variación	CV	0,0211	0,1036	0,3208	0,4335	0,3142	
Coeficiente de correlación	r		0,4088	0,1391	0,2508	0,1556	
Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental Log Ql: logaritmo base 10 número total de vehículos livianos por hora Log Qp: logaritmo base 10 número total de vehículos l pesados por hora Vprom: velocidad promedio							

Con los datos del punto seleccionado, se procedió a calcular los estadísticos: media, desviación estándar, coeficiente de variación y coeficiente de correlación. Con este último, se determinó el grado de relación de las variables independientes de 0,41 para la velocidad, flujo vehicular liviano de 0,14 y pesado 0,25 con respecto a la variable dependiente, el nivel de ruido equivalente. Esto significa que la relación entre variables, aun cuando la correlación es mínima esto puede ser por factores externos que influyen en las variaciones del nivel de ruido.

En la se determinó que el error de predicción mediante las diferencias entre los valores predichos y los valores reales calculados mediante la ecuación siguiente:

Ecuación 22 Error absoluto

$$e = Y - Y'$$

Donde:

- e: error de predicción o estimación
- Y: Valor reales de la variable a predecir
- Y': Predicción o estimación

Se determinó que este indicador devuelve valores negativos y positivos, y por tanto no se puede identificar la magnitud del error de predicción y se decidió realizar la suma de los cuadrados de la diferencia de los valores experimentales y valores estimados con la siguiente ecuación.

Ecuación 23 Suma de la diferencia del error al cuadrados

$$Q = \frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{N}$$

De acuerdo a la evaluación de los errores de pronóstico de la se determinó, que los valores calculados con la y es de 143 y 127 respectivamente, con este primer acercamiento se observa que los mejores modelo para aplicar en la Zona Norte son el propio de la zona. Pero para corroborar esta decisión se evaluó el intervalo de confianza para el modelo de análisis

multivariante y univariante de la zona norte, con esto se determinó aun cuando el promedio del valor real de 75,8 dBA no se encuentra dentro del intervalo calculado con un 95% de asertividad de 73 – 74,6 dBA para el modelo de RL y 73-74,8 dBA para el modelo de AM. En este caso el análisis de ANOVA se determinará si la diferencia del error es significativa.

Con el análisis de ANOVA en la se determinó que para la Zona norte la y la presenta una probabilidad menor al 5% de 1,69E-09 esto quiere decir que existe variaciones estadísticamente significativas y por tanto no predice de forma asertiva los valores del nivel de ruido en la ZONA NORTE. Sin embargo se debe realizar un análisis de la zona para validad y ajustar el modelo.

Tabla 60 ANOVA con los datos calculados mediante la ecuación propia de la ZONA CENTRO

ZONA CENTRO						
Análisis de un factor varianza (ANOVA) con los valores calculados con la Ecuación propia de la ZONA CENTRO						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Leq Exp	17	1288,89	75,8	2,712		
Leq pron (RL)	17	1258,428202	74,0	1,961		
Leq pron (AM)	17	1260,707016	74,2	2,150		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	33,87048444	2	16,93524222	7,44565998	0,001526204	3,190727336
Dentro de los grupos	109,1765711	48	2,274511898			
Total	143,0470555	50				

Tabla 61 ANOVA con los datos calculados mediante la ecuación integral del DMQ

ZONA CENTRO						
Análisis de un factor varianza (ANOVA) con los valores calculados con la Ecuación integral del DMQ						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
75,48	17	1288,89	75,8	2,712		
68,7776829	17	1246,072656	73,3	3,233		
66,12530695	17	1209,196689	71,1	2,887		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	187,1408981	2	93,57044907	31,78065349	1,61981E-09	3,190727336
Dentro de los grupos	141,3243928	48	2,944258182			
Total	328,4652909	50				

Tabla 62 Validación de las Ecuaciones ZONA CENTRO

ZONA CENTRO																
VALIDACIÓN MEDIANTE EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN																
Representación General		Y= a + b1 (X1)+ b2 (X2)+ b3 (X3)+ b4 (X4)														
Ecuación RL		Leqhora=35,57 + 11,16 log Qt														
Ecuación AM		Leqhora=21,33 + 11,58 log Ql + 3,32 log Qp + 0,18 Vprom														
Ecuación Integral RL		Leqhora= 23,92 + 14,33 log Qt														
Ecuación Integral AM		Leqhora= 9,99 + 13,08 log Ql + 3,47 log Qp + 0,26 Vprom														
		Error de Predicción						Error de Predicción Ec. Integral DMQ								
		Promedio Leq Exp	Leq pron RL	Leq pron AM	Leq pron RL_integral	Leq pron AM_integral	Flujo Vehicular total	Residuos RL	Residuos AM	Residuos RL	Residuos AM	Residuos RL	Residuos AM	Residuos RL	Residuos AM	
Observaciones	Periodo del día	Hora	dB (A)	dB (A)	dB (A)	dB (A)	dB (A)	Qt	Leq exp - Leq pron	(Leq exp - Leq pron)^2	Leq exp - Leq pron	(Leq exp - Leq pron)^2	Leq exp - Leq pron	(Leq exp - Leq pron)^2		
1	Mañana	06:00 - 06:59	75,5	70,5	69,7	68,8	66,1	1350	5,0	5,8	24,8	33,7	6,7	9,4	44,9	87,5
2		07:00 - 07:59	76,3	72,2	71,5	71,0	68,0	1920	4,0	4,8	16,4	22,6	5,3	8,3	28,0	68,6
3		08:00 - 08:59	77,8	72,6	73,9	71,5	70,9	2100	5,2	3,9	26,8	15,6	6,3	7,0	39,6	48,4
4		09:00 - 09:59	79,1	75,1	76,7	74,7	74,5	3510	4,0	2,4	15,9	5,9	4,4	4,6	19,3	21,5
5		10:00 - 10:59	77,1	76,1	77,3	75,9	74,6	4260	1,0	-0,2	1,0	0,0	1,2	2,5	1,3	6,2
6		11:00 - 11:59	78,6	74,8	74,1	74,3	71,0	3270	3,8	4,6	14,8	20,9	4,4	7,6	19,0	57,9
7	Tarde	12:00 - 12:59	74,7	75,5	74,7	75,2	71,7	3780	-0,8	0,0	0,7	0,0	-0,5	3,0	0,3	8,8
8		13:00 - 13:59	75,3	74,9	75,3	74,4	72,4	3350	0,4	0,0	0,1	0,0	0,8	2,9	0,7	8,6
9		14:00 - 14:59	75,2	76,0	75,1	75,8	72,0	4190	-0,8	0,1	0,6	0,0	-0,6	3,2	0,4	10,4
10		15:00 - 15:59	73,7	74,1	73,4	73,3	70,2	2810	-0,4	0,3	0,2	0,1	0,3	3,5	0,1	12,2
11		16:00 - 16:59	75,3	72,8	73,9	71,7	71,0	2160	2,5	1,5	6,4	2,1	3,6	4,3	13,1	18,4
12		17:00 - 17:59	75,3	73,5	74,8	72,6	72,0	2490	1,8	0,5	3,2	0,3	2,7	3,3	7,1	10,7
13	Noche	18:00 - 18:59	75,2	73,0	73,2	72,0	70,0	2252	2,2	2,0	4,7	3,9	3,2	5,2	10,2	26,8
14		19:00 - 19:59	75,6	75,3	74,2	74,9	70,8	3600	0,3	1,4	0,1	1,9	0,7	4,7	0,5	22,5
15		20:00 - 20:59	74,8	75,2	74,5	74,9	71,3	3590	-0,5	0,3	0,2	0,1	-0,1	3,4	0,0	11,7
16		21:00 - 21:59	73,2	72,4	72,5	71,3	69,2	2010	0,8	0,7	0,6	0,5	2,0	4,1	3,9	16,5
17		22:00 - 22:59	77,2	72,6	73,2	71,4	70,1	2070	4,6	4,0	21,2	15,6	5,7	7,0	33,0	49,5
18		23:00 - 23:59	74,7	72,4	72,5	71,2	69,6	1980	2,3	2,2	5,4	4,8	3,5	5,1	12,4	26,1
Análisis Estadístico Validación de los modelos RL y AM							SUMA	35,4	34,0	143,1	127,9	49,5	89,0	233,8	512,3	
	Símbolo	Promedio Leq Exp	Leq pron RL	Leq pron AM	Leq pron RL_integral	Leq pron AM_integral	Max			26,8	33,7			44,9	87,5	
	Media	\bar{x}	75,80	73,83	73,91	73,05	70,85	Min		0,1	0,0			0,0	6,2	
	Desviación estandar	s	1,5997	1,5919	1,7719	2,0441	2,0270									
	Coefficiente de variación	CV	0,0211	0,0216	0,0240	0,0280	0,0286									
	Coefficiente de correlación	r														
	Tamaño de la muestra	\sqrt{n}					4,2									
	Índice de correlación	IC 95%						IC 95%								
		IC RL [db (A)]		IC AM [db (A)]		IC RL [db (A)]		IC AM [db (A)]		IC RL [db (A)]		IC AM [db (A)]				
		73,0	74,6	73,0	74,8	72,0	74,1	69,8	71,9							
		73,8		73,9		73,0		70,9								

Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental
 Leq pron RL: nivel de presión sonora equivalente calculado con la ecuación de regresión lineal univariante
 Leq pron AM: nivel de presión sonora equivalente calculado con la ecuación de análisis multivariante
 RL: regresión lineal univariante
 AM: análisis multivariante

Elaborada por Tania Moromenacho, 2016

4.5.3. Validación ZONA NORTE
Tabla 63 Datos aleatorios para la validación de los modelos ZONA NORTE

ZONA NORTE							
Datos para la validación de los modelos de RL y AM							
Dirección		Carapungo_Panamericana Norte y Av. Simón Bolívar					
Código Google Earth		2015_(T1)					
Día		Domingo					
			Promedio Leq Exp	Promedio Velocidad	Promedio Flujo Vehicular Liviano	Promedio Flujo Vehicular Pesado	Promedio Flujo Vehicular Total
Observaciones	Periodo del día	Hora	dB (A)	km/h	Ql	Qp	Qt
1	Mañana	06:00 - 06:59	74,6	57,0	1428	204	1632
2		07:00 - 07:59	74,4	58,0	2892	372	3264
3		08:00 - 08:59	73,1	56,0	2856	408	3264
4		09:00 - 09:59	75,6	60,0	2904	360	3264
5		10:00 - 10:59	74,0	57,0	1452	192	1644
6		11:00 - 11:59	75,7	56,0	2844	456	3300
7	Tarde	12:00 - 12:59	73,8	58,0	2532	324	2856
8		13:00 - 13:59	74,9	53,0	2628	288	2916
9		14:00 - 14:59	76,7	50,0	3000	360	3360
10		15:00 - 15:59	75,1	45,0	1704	192	1896
11		16:00 - 16:59	73,9	51,0	2748	192	2940
12		17:00 - 17:59	74,0	57,0	1356	144	1500
13	Noche	18:00 - 18:59	72,0	46,0	1488	108	1596
14		19:00 - 19:59	73,6	60,0	1692	132	1824
15		20:00 - 20:59	74,3	56,0	2376	228	2604
16		21:00 - 21:59	75,2	55,0	2460	408	2868
17		22:00 - 22:59	77,0	50,0	1680	180	1860
18		23:00 - 23:59	73,9	58,0	2148	216	2364
Análisis Estadístico							
		Símbolo	Leq Exp	Vprom	log Ql		log Qp
Media		\bar{X}	74,5	54,6	2232,7	264,7	2497,3
Desviación estandar		s	1,2249	4,4740	608,0143	108,0762	699,7250
Coeficiente de variación		CV	0,0164	0,0819	0,2723	0,4083	0,2802
Coeficiente de correlación		r		-0,1126	0,2717	0,3677	0,2929
Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental Log Ql: logaritmo base 10 número total de vehículos livianos por hora Log Qp: logaritmo base 10 número total de vehículos l pesados por hora Vprom: velocidad promedio							

Elaborada por Tania Moromenacho, 2016

Con los datos del punto seleccionado, se procedió a calcular los estadísticos media, desviación estándar, coeficiente de variación y coeficiente de correlación. Con este último, se determinó el grado de relación de las variables independientes de -0,11 para la velocidad, flujo vehicular liviano de 0,27 y pesado 0,38 con respecto a la variable dependiente, el nivel de ruido equivalente. Esto significa que la relación entre variables tiene poca correlación.

En la se determinó que el error de predicción mediante las diferencias entre los valores predichos y los valores reales calculados mediante la ecuación siguiente:

Ecuación 24 Error absoluto

$$e = Y - Y'$$

Donde:

- e: error de predicción o estimación
- Y: Valor reales de la variable a predecir
- Y': Predicción o estimación

Se determinó que este indicador devuelve valores negativos y positivos, y por tanto no se puede identificar la magnitud del error de predicción y se decidió realizar la suma de los cuadrados de la diferencia de los valores experimentales y valores estimados con la siguiente ecuación.

Ecuación 25 Suma de la diferencia del error al cuadrados

$$Q = \frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{N}$$

De acuerdo a la evaluación de los errores de pronóstico se determinó, que los valores calculados con la y la suma de errores de pronóstico es de 75 y 76 respectivamente, esto significa que los modelos antes mencionados tienen un buen acercamiento a predecir los niveles de ruido en la ZONA NORTE. Para corroborar esta decisión se evaluó el intervalo de confianza de cada modelo, y se determinó que el intervalo que abarca al promedio de los niveles de ruido real de

74,54 dB A es el correspondiente al modelo de análisis multivariante integral del DMQ de 74,7-77,4 dBA. En estos casos es cuando el análisis de la ANOVA permite determinar si los valores tienen variaciones significativas o no.

En la , se observa que el valor de la probabilidad es menor a 0,05 por tal razón entre esos modelos existen grandes variaciones significativas. Con respecto a la se observa que los valores de probabilidad son de 0,12 mayores a 0,05 esto significa que nos existe variaciones relevantes. Por tanto se puede decir que el modelo propio de la zona NORTE se aproxima mejor a pronosticar los niveles de ruido.

Tabla 64. ANOVA con los datos calculados mediante la ecuación propia de la ZONA NORTE

ZONA NORTE						
Análisis de un factor varianza (ANOVA) con los valores calculados con la Ecuación propia de la ZONA NORTE						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Leq Exp	17	1267,2	74,5	1,594		
Leq pron (RL)	17	1250,305936	73,5	2,677		
Leq pron (AM)	17	1250,82995	73,6	3,017		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	10,85612768	2	5,428063841	2,23471269	0,118042474	3,190727336
Dentro de los grupos	116,5908554	48	2,428976154			
Total	127,4469831	50				

Tabla 65. ANOVA con los datos calculados mediante la ecuación integral del DMQ

ZONA NORTE						
Análisis de un factor varianza (ANOVA) con los valores calculados con la Ecuación integral del DMQ						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Leq Exp	17	1267,2	74,5	1,594		
Leq pron (RL)	17	1232,410067	72,5	3,303		
Leq pron (AM)	17	1294,879293	76,2	7,579		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	115,2722898	2	57,6361449	13,86008967	1,77301E-05	3,190727336
Dentro de los grupos	199,6044053	48	4,158425109			
Total	314,8766951	50				

Tabla 66 Validación de las ecuaciones ZONA NORTE

ZONA NORTE																		
VALIDACIÓN MEDIANTE EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN																		
Representación General		Y= a + b1 (X1)+ b2 (X2)+ b3 (X3)+ b4 (X4)																
Ecuación RL		Leqhora=29,82 + 12,90 log Qt																
Ecuación AM		Leqhora=31,18 + 10,23 log Ql + 2,52 log Qp + 0,04 Vprom																
Ecuación Integral RL		Leqhora= 23,92 + 14,33 log Qt																
Ecuación Integral AM		Leqhora= 9,99 + 13,08 log Ql + 3,47 log Qp + 0,26 Vprom																
									Error de Predicción				Error de Predicción Ec. Integral DMQ					
			Promedio Leq Exp	Leq pron RL	Leq pron AM	Leq pron RL_integral	Leq pron AM_integral	Flujo Vehicular total	Residuos RL	Residuos AM	Residuos RL	Residuos AM	Residuos RL	Residuos AM	Residuos RL	Residuos AM	Residuos RL	Residuos AM
Observaciones	Periodo del día	Hora	dB (A)	dB (A)	dB (A)	dB (A)	dB (A)	Qt	Leq exp - Leq pron	(Leq exp - Leq pron)^2	Leq exp - Leq pron	(Leq exp - Leq pron)^2	Leq exp - Leq pron	(Leq exp - Leq pron)^2	Leq exp - Leq pron	(Leq exp - Leq pron)^2	Leq exp - Leq pron	(Leq exp - Leq pron)^2
1	Mañana	06:00 - 06:59	74,6	71,3	71,6	70,0	74,1	1632	3,3	3,0	11,1	9,3	4,6	0,5	21,5	0,3		
2		07:00 - 07:59	74,4	75,1	75,4	74,3	79,3	3264	-0,7	-1,0	0,6	1,0	0,1	-4,9	0,0	23,6		
3		08:00 - 08:59	73,1	75,1	75,4	74,3	78,8	3264	-2,0	-2,3	4,2	5,1	-1,2	-5,7	1,4	32,6		
4		09:00 - 09:59	75,6	75,1	75,4	74,3	79,8	3264	0,5	0,2	0,2	0,0	1,3	-4,2	1,8	17,3		
5		10:00 - 10:59	74,0	71,3	71,6	70,0	74,1	1644	2,7	2,4	7,3	5,9	4,0	-0,1	16,0	0,0		
6		11:00 - 11:59	75,7	75,2	75,5	74,3	79,0	3300	0,5	0,2	0,2	0,1	1,4	-3,3	1,8	10,6		
7	Tarde	12:00 - 12:59	73,8	74,4	74,6	73,4	78,3	2856	-0,6	-0,8	0,4	0,7	0,4	-4,5	0,1	20,2		
8		13:00 - 13:59	74,9	74,5	74,5	73,6	77,0	2916	0,4	0,4	0,1	0,2	1,3	-2,1	1,8	4,5		
9		14:00 - 14:59	76,7	75,3	75,2	74,5	77,3	3360	1,4	1,5	1,9	2,3	2,2	-0,6	5,1	0,4		
10		15:00 - 15:59	75,1	72,1	71,8	70,9	71,9	1896	3,0	3,3	9,0	10,9	4,2	3,2	17,7	10,4		
11		16:00 - 16:59	73,9	74,6	74,2	73,6	76,2	2940	-0,7	-0,3	0,4	0,1	0,3	-2,3	0,1	5,1		
12		17:00 - 17:59	74,0	70,8	70,9	69,4	73,3	1500	3,2	3,1	10,3	9,4	4,6	0,7	20,9	0,5		
13	Noche	18:00 - 18:59	72,0	71,1	70,6	69,8	70,5	1596	0,9	1,4	0,7	2,0	2,2	1,5	4,8	2,2		
14		19:00 - 19:59	73,6	71,9	72,0	70,7	75,2	1824	1,7	1,6	2,9	2,7	2,9	-1,6	8,7	2,5		
15		20:00 - 20:59	74,3	73,9	73,9	72,9	76,9	2604	0,4	0,4	0,2	0,2	1,4	-2,6	2,1	6,7		
16		21:00 - 21:59	75,2	74,4	74,6	73,5	77,7	2868	0,8	0,6	0,6	0,3	1,7	-2,5	3,0	6,3		
17		22:00 - 22:59	77,0	72,0	71,9	70,8	73,0	1860	5,0	5,1	25,0	26,4	6,2	4,0	38,8	16,0		
18		23:00 - 23:59	73,9	73,3	73,5	72,3	76,8	2364	0,6	0,4	0,3	0,2	1,6	-2,9	2,7	8,1		
Análisis Estadístico Validación de los modelos RL y AM									SUMA	20,2	19,4	75,5	76,6	39,4	-27,2	148,1	167,4	
		Símbolo	Promedio Leq Exp	Leq pron RL	Leq pron AM	Leq pron RL_integral	Leq pron AM_integral	Max			25,0	26,4			38,8	32,6		
		Min									0,1	0,0			0,0	0,0		
Media		\bar{X}	74,54	73,42	73,47	72,35	76,05											
Desviación estandar		s	1,2249	1,6759	1,7513	1,8617	2,7154											
Coefficiente de variación		CV	0,0164	0,0228	0,0238	0,0257	0,0357											
Coefficiente de correlación		r																
Tamaño de la muestra		Vn				4,2												
Indice de correlación	IC 95%				IC 95%													
	IC RL [db (A)]		IC AM [db (A)]		IC RL [db (A)]		IC AM [db (A)]											
	72,6	74,3	72,6	74,3	71,4	73,3	74,7	77,4										
		73,4	73,5	72,4	76,1													

Leq exp: nivel de presión sonora equivalente experimental
Leq pron RL: nivel de presión sonora equivalente calculado con la ecuación de regresión lineal univariante
Leq pron AM: nivel de presión sonora equivalente calculado con la ecuación de análisis multivariante
RL: regresión lineal univariante
AM: análisis multivariante

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En el estudio realizado se cumplió con el objetivo general de diseñar los tres modelos matemáticos de ruido ambiental para cada zona Sur, Centro y Norte del Distrito Metropolitano de Quito y una ecuación integral de la ciudad mediante el método de regresión lineal y análisis multivariante con datos históricos del 2012-2015.
- Se determinó que los modelos de regresión multivariante tiene mejor pronóstico que los lineales, porque en el primero se introducen más de dos datos para realizar el modelo y por tanto caracteriza mejor la zona y se vuelve específico.
- Las variables utilizadas en el diseño del modelo matemático son las necesarias para ajustar adecuadamente al modelo matemático, además que resulta económico cuantificarlas y son características propias de la ciudad de Quito, lo cual permite tener una idea general del comportamiento del ruido.
- El modelo de regresión lineal múltiple es el que mejor se acopla con pocos datos, sin embargo al tabular con un grupo de datos significativo se demostró que las validaciones se ajustan de con un grado de error mínimo.
- Las validaciones son un proceso que se debe realizar con datos distintos a los ingresados a la regresión lineal multivariante y lineal para determinar los puntos de ajuste e identificar el error real del modelo.
- El análisis de las variables tanto dependientes (Leq) como independientes (V_{prom} , Q_t , Q_l y Q_p) permitió identificar la relación existente entre el nivel de

ruido equivalente y el flujo vehicular. Por lo tanto el coeficiente de correlación promedio en cada zona es del 0,99. Esto significa que el método de regresión lineal presenta una representación bastante ajustada capaz de calcular el nivel de ruido real mediante las variables antes mencionadas.

- El comportamiento del ruido a lo largo del día en los tres sectores, es uniforme en horas de la mañana y de la tarde, presentando los valores promedios de 72 dB y 75,9 dB, mientras que en la noche disminuye la intensidad notoriamente hasta tener niveles de ruido de 68 decibeles, este comportamiento permite ajustar de mejor manera el modelo de regresión lineal.
- Se verificó que los modelos realizados por regresión lineal y análisis multivariante presentan un coeficiente de correlación perfectos, por lo tanto los niveles de ruido calculados se aproximan a los valores experimentales.
- El modelo de análisis multivariante tiene un grado de ajuste mayor con respecto al modelo de regresión lineal, sin embargo el primero, por el simple hecho de integrar tres variables, incrementa la incertidumbre y el margen del error humano e involucra mayor minuciosidad en la metodología de muestreo de campo.
- Se comprobó que el indicador que permite determinar si el modelo es aceptable es el coeficiente de correlación, mientras más cerca de 1 es mejor. Para el caso del DMQ este coeficiente fue de 0,99.
- Para decidir entre qué modelo se ajusta mejor a las condiciones del DMQ, la diferencia de los errores de predicción son una herramienta indispensable para cuantificar si estos son representativos estadísticamente e incluso realizar una comparación gráfica permite visualizar la predicción con respecto a los valores

de campo. De esta manera se comprobó que tanto el modelo de regresión lineal como el análisis multivariante se ajustan perfectamente para el DMQ.

- De acuerdo a la bibliografía consultada, la validación de un modelo se debe realizar con datos nuevos que permitan decidir si el modelo representa o no la realidad local, por tal razón, en la investigación se realizó la validación con datos aleatorios de la base de datos que permitieron establecer las conclusiones.
- Se comprobó que el ajuste de un modelo varía en la cantidad de datos que se traten, ya que mientras mayor sea la muestra mejor es el acercamiento de la predicción. Tal fue el caso de la ZONA NORTE a comparación con los modelos de la ZONA CENTRO y SUR este sector cuenta con un total de 31 puntos muestreados y por lo tanto el modelo generado es el mejor ajustado.
- Se comprobó que la predicción del ruido mediante modelos matemáticos es una herramienta necesaria y útil que la ciudad debe tener, porque permiten pronosticar el ruido de acuerdo a las variables independientes; ahorrando la cantidad de recursos invertidos.
- Durante el tratamiento estadístico de los resultados pronosticados con la ecuación integral del DMQ, se comprobó que la desviación estándar para la zona NORTE es bajo, lo que significa que los datos pronosticados son próximos al promedio de los datos experimentales de ruido, esto sucede por el hecho que la zona norte tiene mayor cantidad de datos tomados en campo.
- La investigación se realizó como una continuación del estudio de ruido, sin embargo esta se basa en la recopilación de 13 estudios anteriores que ha permitido

determinar la tendencia de comportamiento del ruido en el DMQ y generar el modelo de ruido desde el punto de vista estadístico.

- De acuerdo a la investigación realizada, se sabe que una ciudad debe tener un documento legal que permita mejorar la gestión de la contaminación acústica por tráfico rodado enfocado a un desarrollo sustentable óptimo relacionando la calidad de vida con el uso de los recursos de movilización, como mejorar el servicio de transporte público para que las personas prefieran este medio de transporte dejando de lado el uso de vehículo.
- Debido al crecimiento anual de los vehículos en el DMQ del 12%, se recomienda establecer soluciones estratégicas para disminuir el tráfico vehicular y por ende la emisión de ruido, estas deben ser elaboradas considerando estudios de investigación social, que permitan cuantificar el grado de molestia y los efectos a la salud de forma local, es decir establecer estadísticos propios para el Distrito Metropolitano de Quito.
- La recopilación de datos fundamentada en los trabajos de investigación anteriores requieren de selección minuciosa de información, principalmente porque a pesar de mantener una metodología establecida para el muestro, los equipos no son estandarizados. Por ende el error humano en el muestreo suele ser significativo y en el caso de los sonómetros no integrados el margen de error es aún mayor, principalmente porque requieren de un esfuerzo extra para realizar los cálculos manualmente.
- La dificultad de justificar la calidad de datos recopilados en estudios de seguimientos se intensifica, cuando las investigaciones no registran de forma

concreta las fechas y periodos de muestreo, por lo tanto el grado de incertidumbre se incrementa.

- Aun cuando los modelos multivariante, en forma teórica se ajustan mejor con mayor número de variables, no siempre aplica ya que a mayor incertidumbre en el muestro la suma de errores se magnifica distorsionando la efectividad del modelo.
- Las variables que se han venido tomando entre flujo vehicular, nivel de ruido y velocidad son los que mayor grado de correlación tienen, esto significa que con estas tres variables el modelo para el Distrito Metropolitano de Quito se ajusta de forma adecuada llegando a representar correctamente la realizad del lugar.

5.2. RECOMENDACIONES

Metodología estadística:

- Al haber comprobado la validez del modelo de regresión lineal univariante y multivariante, se recomienda mantener este método matemático en futuros estudios, pero además se recomienda ir incorporando términos estadísticos diferentes como la evaluación de ANOVA, permitiendo cuantificar si el error de predicción es estadísticamente significativo con respecto a los valores experimentales.
- Se recomienda utilizar programas estadísticos especializados como el SSPS, que permitirá realizar análisis complementarios para corroborar la decisión de aplicar el modelo e incluso optimizará el manejo de los datos. Por qué?

- Dado al condicionamiento del modelo de regresión con respecto a la índice de correlación y número de datos se recomienda tener de 18 a 24 valores para cada variable por horas del día.

Evaluación del comportamiento del ruido

- Se recomienda continuar con el monitoreo de ruido en el DMQ para homogenizar la cantidad de puntos muestreados, aumentar la base de datos experimentales, disminuir el error de predicción, validar el modelo y obtener resultados representativos que se acerquen a la realidad. La continuidad del estudio permitirá justificar el comportamiento del ruido con relación al flujo vehicular, y determinar las razones por lo cual es necesario tomar medidas de control y vigilancia en este tema.
- Se recomienda que se mantenga las variables de flujo vehicular, nivel de ruido y velocidad para validad y continuar con los muestreos futuros. Además, es importante considerar el uso de equipos calibrados y automatizados.
- La metodología que se recomienda se utilice se fundamenta en la homogenización, lo cual se logra con el implemento de equipos calibrados y que se usen en las futuras investigaciones. En el caso de los sonómetros se debe usar uno de tipo integrador que evite realizar los cálculos de forma manual, en el conteo de los vehículos sería indispensable el uso de un contador que devuelva los datos con un margen de error mínimo, dejando de lado el conteo manual. Con respecto a la velocidad, es necesario que se mejore la metodología de muestreo con el fin de reducir el error de muestreo.

- Es necesario mantener la división zonal establecida en esta investigación (sur, centro y norte) para que las futuras investigaciones sean comprables con la metodología y los resultados obtenidos.
- Se recomienda, realizar un estudio que permita aplicar indicadores descriptivos de ruido para el tráfico urbano basados en las molestias que genera a las personas, para lo cual se debería incorporar la energía de ruido acumulada para la hora, para el día, para el mes y finalmente para el año. Estos se deben realizar mediante el conocimiento adecuado de los fundamentos del ruido, ya que permiten establecer la cantidad de energía que se emite durante estos periodos e incluso podrían ser utilizados para comparar con índices de valorización establecidos por las organizaciones internacionales como la EPA, EEA, OMS, que involucre la cantidad de energía emitida por el ruido equivalente durante el tiempo de muestreo.
- A pesar que las variables independientes cuantificadas son las necesarias para el ajuste del modelo, se recomienda mejora la metodología de muestreo del flujo vehicular y la velocidad. Por lo tanto se recomienda usar una filmadora que grabe 18 horas seguidas para que la muestra sea representativa y se pueda corroborar con los datos medidos en años anteriores.
- Es recomendable realizar estudios de carácter sociológicos para determinar el nivel de percepción y el grado de molestia de las personas. Los cuales servirán para caracterizar el impacto generado por ruido del tráfico rodado, estableciendo índices de la calidad de vida que permitan ser comparables con índices de organizaciones internacionales.

- El impacto generado por la contaminación acústica en varios países se mide con el nivel de ruido generado en las horas de descanso, por tal razón se recomienda realizar campañas de monitoreo en horas, que se asume que descansan las personas, es decir en el horario de 10pm a 6 am.
- Sería importante realizar un estudio que analice la distribución del transporte urbano en la ciudad de Quito, esto servirá para determinar las zonas afectadas por el ruido de vehículos livianos y el aporte del ruido por el servicio público. Ya que, si la tasa de incremento de vehículos livianos es del 12% esto significa que los vehículos son nuevos y de acuerdo a la bibliografía un motor nuevo emite menos ruido que un motor antiguo.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

6. Bibliografía

- Agencia Metropolitana de tránsito.* (20 de Enero de 2015). Obtenido de <http://www.amt.gob.ec/index.php/pico-placa-homepage.html>
- Agencia Nacional de Tránsito.* (s.f.). Obtenido de <http://www.ant.gob.ec/>: <http://www.ant.gob.ec/index.php/component/content/article/49-boletines/189-agencia-nacional-de-transito-participa-en-la-semana-de-seguridad-vial#.VjjKxX4vfIW>
- Amores Obando, J. A. (2010). *Elaboración de un mapa de ruido del Distrito Metropolitano de Quito – zona sur.* QUITO, Ecuador: UISEK. Recuperado el 12 de Octubre de 2015, de <http://repositorio.uisek.edu.ec/jspui/handle/123456789/385>
- Atlas de Amenazas naturales y exposición de infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito.* (2015). Quito: Municipio de Quito.
- Berglunt, B. (1999). *Guía para el ruido urbano.* Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, OPS/CEPIS.
- Burneo, M. (2015). Naturaleza, ¡sujeto de derecho! *COSAS.* Recuperado el 31 de Octubre de 2015, de http://www.cosas.com.ec/1941-naturaleza_sujeto_de_derecho.html
- Cavas y Caballero. (23 de Junio de 2006). *Análisis comparativo de un modelo teórico de mediciones sonoras y el software SOUNPLAN Ver. 6,2 aplicado al tráfico vehicular.* Obtenido de <http://www.scielo.org.co/>: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932006000100007
- Dagnino, J. (06 de Enero de 2016). <http://www.sachile.cl/>. Obtenido de http://www.sachile.cl/upfiles/revistas/54e63a1a778ff_15_correlacion-2-2014_edit.pdf

- Fuentes, M. (Noviembre de 2008). *Modelo de predicción de ruido urbano adaptado a variables.-Aplicación a la ciudad de León-FIA-2008*. Obtenido de <http://acustica.unileon.es/>: <http://acustica.unileon.es/wp-content/uploads/2012/04/Modelo-de-predicci%C3%B3n-de-ruido-urbano-adaptado-a-variables.-Aplicaci%C3%B3n-a-la-ciudad-de-Le%C3%B3n-FIA-2008.pdf>
- García, G. (2014). *SISTEMA DE PREDICCIÓN DE RUIDO URBANO MEDIANTE REDES NEURONALES*. Obtenido de decsai.ugr.es/: decsai.ugr.es/Documentos/tesis_dpto/184.pdf
- Gómez José y Gordillo Javier. (2006). *Biblioteca Digital Universidad de San Buenaventura*. Recuperado el Agosto de 2015, de <http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/jspui/>: http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/jspui/bitstream/10819/1508/1/Estudio_pronostico_impacto_Gomez_2006.pdf
- González Alice. (2005). <http://web.fceia.unr.edu.ar/>. Obtenido de Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura: <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/gonzalez2005.pdf>
- Hernandez, F. y. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.
- Izurieta, J. (2009). *Elaboración de un mapa de Contaminación acústica del Distrito Metropolitano de Quito - Sur Utilizando Sistemas de Información Geográfica*. Quito, Ecuador: UISEK. Recuperado el Octubre de 2015, de <http://repositorio.uisek.edu.ec/jspui/handle/123456789/498>
- JUAN CARLOS PEÑA. (Febrero de 2012). *Universidad de San Buenaventura*. Obtenido de <http://biblioteca.usbbog.edu.co/>: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/66064.pdf>
- Landázuri, F. J. (2009). *Repositorio.uisek.edu.ec*. Universidad Internacional SEK, Quito. Recuperado el 11 de Octubre de 2015, de <http://repositorio.uisek.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/389/4/RESUMEN%20EJECUTIVO%20MAPA%20DE%20RUIDO%20DE%20QUITO%20ZONA%20.pdf>

- López, Barrio. (2000). *Revistas Científicas Complutenses*. Obtenido de <http://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/viewFile/AGUC0000110149A/31300>
- Miyara, F. (10 de Agosto de 2001). <http://www.fceia.unr.edu.ar/>. Obtenido de Universidad Nacional de Rosario: <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/paradigm.pdf>
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (s.f.). <http://www.flacsoandes.edu.ec/>. Recuperado el 11 de Octubre de 2015, de <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/39689.pdf>
- Muscar, E. (2000). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. Recuperado el 1 de 1 de 2016, de file:///D:/Downloads/32445-32461-1-PB.PDF
- Organización Mundial de la Salud. (1999). *OpenCourseWare*. Obtenido de <http://ocw.unican.es/>: <http://ocw.unican.es/ciencias-de-la-salud/salud-publica-y-atencion-primaria-de-salud/otros-recursos-1/lecturas/bloque-iii/Guias%20para%20el%20ruido%20urbano.pdf>
- Pacheco Mayra . (1 de Marzo de 2015). En el 2015 ingresarán a Quito casi la mitad de autos nuevos que en el año pasado. *El COMERCIO-ACTUALIDAD*. Obtenido de <http://www.elcomercio.com/actualidad/autosnuevos-carros-quito-transito-trafico.html>
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. (s.f.). *Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental*. Recuperado el 24 de Octubre de 2015, de <http://www.bvsde.paho.org/>: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd65/ruido02.pdf>
- Pujadó, S. M. (2010). *Tecniacustica*. Recuperado el 10 de Octubre de 2015, de <http://www.labcat.ca/>: http://www.labcat.cat/attachments/File/AAM_002.pdf
- Quito, C. M. (2015). *Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamientos Territorial (Vol. II)*. Quito.
- Quito, M. d. (2015). *Atlas de amenazas naturales y exposiciones de infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito (Vol. 2)*. Quito, Ecuador: Alcaldía de Quito.

- Rojo, M. (2007). *Instituto de Economía y Geografía* . Obtenido de http://humanidades.cchs.csic.es/cchs/web_UAE/tutoriales/PDF/Regresion_lineal_multiple_3.pdf
- Ruiz, L. y. (2009). *Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institution*. Obtenido de <http://www.laccei.org/>: <http://www.laccei.org/LACCEI2009-Venezuela/p163.pdf>
- Sanz, B. G. (10 de Octubre de 2015). Obtenido de <http://www.fundacionbancarialacaixa.org/>: http://www.fundacionbancarialacaixa.org/deployedfiles/obrasocial/Estaticos/pdf/Estudios_sociales/es12_esp.pdf
- Secretaria del Ambiente.* (2015). Obtenido de http://www.quitoambiente.gob.ec/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=37&Itemid=18&lang=es
- Secretaria del Ambiente.* (2015). Obtenido de <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=zesyf1pG7LkQ.kQQyy7Jp-hv0>
- Suárez, S. (2008). ESTUDIO SUBJETIVO DE LA PERCEPCIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL EN LA. *VI Congreso Iberoamericano de Acústica* (pág. 8). Buenos Aires: FIA 2008.
- Viro, G. (2002). <http://web.fceia.unr.edu.ar/>. Obtenido de Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura: <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/protoc-fiuba.pdf>

ANEXO A

BASE DE DATOS

Zona SUR

Anexo A-1

Anexo A-2

Anexo A-3

Anexo A-4

Zona CENTRO

Anexo A-5

Anexo A-6

Anexo A-7

Anexo A-8

Zona NORTE

Anexo A-9

Anexo A-10

Anexo A-11

Anexo A-12

ANEXO B

TABLAS DE FRECUENCIA

Zona SUR

Anexo B-1

Anexo B-2

Anexo B-3

Anexo B-4

Zona CENTRO

Anexo B-5

Anexo B-6

Anexo B-7

Anexo B-8

Zona NORTE

Anexo B-9

Anexo B-10

Anexo B-11

Anexo B-12

ANEXO C

REGISTROS DE MODELACIÓN UNIVARIANTE

Zona SUR	Zona CENTRO	Zona NORTE
Anexo C-1	Anexo C-5	Anexo C-9
Anexo C-2	Anexo C-6	Anexo C-10
Anexo C-3	Anexo C-7	Anexo C-11
Anexo C-4	Anexo C-8	Anexo C-12

ANEXO D

REGISTRÓ DE MODELACIÓN MULTIVARIANTE

Zona SUR	Zona CENTRO	Zona NORTE
Anexo D-1	Anexo D-5	Anexo D-9
Anexo D-2	Anexo D-6	Anexo D-10
Anexo D-3	Anexo D-7	Anexo D-11
Anexo D-4	Anexo D-8	Anexo D-12

ANEXO E

REGISTRO DE VALIDACIONES

Zona SUR	Zona CENTRO	Zona NORTE
Anexo E-1	Anexo E-5	Anexo E-9
Anexo E-2	Anexo E-6	Anexo E-10
Anexo E-3	Anexo E-7	Anexo E-11
Anexo E-4	Anexo E-8	Anexo E-12