FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

“VALIDACIÓN Y CORRECCIÓN DE LOS MODELOS PREDICTIVOS DE RUIDO AMBIENTAL POR REGRESION LINEAL Y ANÁLISIS MULTIVARIANTE, EN LA ZONA LA DELICIA: ESTUDIO ENFOCADO EN UNIDADES DE ATENCIÓN HOSPITALARIA”

Realizado por:

VERÓNICA CAROLINA CASTRO PINZA

Director del proyecto:

Dra. Ing. Katty Verónica Coral Carillo

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Quito, 14 de julio de 2023

DECLARATORIA JURAMENTADA

Yo, VERÓNICA CAROLINA CASTRO PINZA, con cédula de identidad 175208114-9, 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.

FIRMA

175208114-9

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“VALIDACIÓN Y CORRECCIÓN DE LOS MODELOS PREDICTIVOS DE RUIDO AMBIENTAL POR REGRESION LINEAL Y ANÁLISIS MULTIVARIANTE, EN LA ZONA LA DELICIA: ESTUDIO ENFOCADO EN UNIDADES DE ATENCIÓN HOSPITALARIA”

Realizado por:

VERÓNICA CAROLINA CASTRO PINZA

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

DRA. ING. KATTY CORAL CARILLO

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

FIRMA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

PhD. ALBERTO ALEJANDRO AGUIRRE BRAVO

PhD. MESTRE MIGUEL MARTINEZ FRESNEDA

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador

FIRMA **FIRMA**

Quito, 14 de julio de 2023

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a mis padres y mis abuelitos quienes han sido el motor para seguir con mis estudios.

A mis padres Oscar Castro y Elsi Pinza quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional y a pesar de que al principio parecía un sueño que no se iba a cumplir, hicieron muchos esfuerzos para que yo pueda lograr esta meta de ser profesional.

A mi abuelita Teresa Collaguazo quien me ha criado desde cuando era pequeña y hasta ahora me brinda mucho amor y palabras de perseverancia.

Especialmente le dedico este trabajo a mi abuelito Jaime Castro, quien fue la persona que me ayudo para empezar mis estudios universitarios, a pesar de la distancia física, sé que en cada momento me cuidas y guías.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tutora de tesis Katty Coral que fue quien me guió en este trabajo y también a lo largo de la carrera universitaria, puedo decir que los grandes maestros no son los que enseñan por cumplir con un sílabo sino aquellos que tienen esa pasión por que sus alumnos se nutran de todos sus conocimientos y con estas palabras puedo describir lo que Katty es para sus alumnos, una persona llena de pasión y paciencia para que comprendamos, entendamos y seamos capaces de ingeniarnos en diversas circunstancias de nuestra vida profesional. También agradezco la gran persona que ha sido desde el momento en que ingrese a la universidad, por todos sus consejos y apoyo.

Verónica Carolina Castro Pinza[1], Katty Verónica Coral Carrillo [1*]

"VALIDACIÓN Y CORRECCIÓN DE LAS ECUACIONES PREDICTIVAS DE RUIDO AMBIENTAL DE CORAL Y ET AL EN LA ZONA LA DELICIA: ESTUDIO ENFOCADO EN UNIDADES DE ATENCIÓN HOSPITALARIA"

[1]Universidad Internacional SEK, Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas

Quito, Ecuador.

FECHA

*AUTOR DE CORRESPONTENCIA: Dra. Ing. Katty Verónica Coral Carrillo

Universidad Internacional SEK,

Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas

Quito, Ecuador.

Teléfono: 0983084617; email: katty.coral@uisek.edu.ec

RESUMEN

El ruido con el pasar de los años se ha ido convirtiendo en un contaminante ambiental que afecta la calidad de vida de las personas, existen efectos tanto fisiológicos como psicológicos al estar expuestos de manera continua a niveles de ruido muy elevados. Es por ello que en países desarrollados se han utilizado modelos que ayudan a predecir el ruido generado específicamente por vehículos. Coral Et al, (2020) diseñaron modelos estadísticos de ruido ambiental para la zona sur, centro y norte de Quito, así como un modelo integral para la ciudad. Este estudio se enfocó en validar y corregir dichos modelos, así como en el año 2021 donde las mismas fórmulas fueron validadas tanto al sur y norte demostrando que aún funciona la relación de las ecuaciones entre el flujo vehicular y ruido ambiental. Para este estudio la zona de monitoreo fueron cuatro puntos: Hospital San Francisco, Pablo Arturo Suárez, la Clínica Santa María y Northospital que se ubican al norte de Quito, en la administración zonal La Delicia. La recolección de datos y toma de niveles de presión sonora se hizo durante tres días por punto, para posteriormente con esta información realizar los cálculos del modelo por regresión lineal y por análisis multivariante, con ello se determinó que el modelo lineal de la zona norte y del DMQ se ajusta en los tres hospitales a excepción de la Clínica Santa Marta donde los porcentajes de error superan el 5%. En las ecuaciones por análisis multivariante tanto de la zona norte como el modelo integral ninguno se acopla a las condiciones actuales de cada punto ya que los valores son superiores al 5% de error y en la Clínica Santa Marta es donde dicho porcentaje fue más elevado. Siendo este el resultado se requiere de un estudio más profundo donde se involucren los demás días de la semana, sobre todo en zonas de mayor comercio informal como es la Clínica Santa María.

Palabras claves: Análisis multivariante, nivel de presión sonora, regresión lineal, ruido ambiental.

ABSTRACT

Over the years, noise has become an environmental pollutant that affects people's quality of life; there are physiological and psychological effects of being continuously exposed to very high noise levels. That is why models have been used in developed countries to help predict noise, specifically by vehicles. Coral et al. (2020) designed statistical models of environmental noise for Quito's southern, central, and northern areas, as well as a comprehensive model for the city. This study focused on validating and correcting these models, as well as in 2021, where the same formulas were validated to the south and north, demonstrating that the relationship of the equations between vehicle flow and environmental noise still works. This study's sampling area was four points: Hospital San Francisco, Pablo Arturo Suárez, Clinica Santa Maria, and Northospital, located north of Quito, in the La Delicia zonal administration. The data collection and measurement of sound pressure levels were done for three days per point. Later, with this information, the calculations of the model were carried out by linear regression and by multivariate analysis, with which it was determined that the linear model of the northern zone and the DMQ is adjusted in the three hospitals except for Clinica Santa Marta where the error rates exceed 5%. In the equations by multivariate analysis of the northern zone and the integral model, neither is coupled to the current conditions of each point since the values are greater than 5% error, and in the Santa Marta Clinic where said the percentage was higger than in other places. A more in-depth study is required where the other days of the week are involved, especially in areas of greater informal commerce such as the Santa María Clinic.

Keywords: Multivariate analysis, sound pressure level, linear regression, environmental noise.

1. INTRODUCCIÓN

El sonido es una alteración mecánica de gases, sólidos y líquidos que son producidos por vibración molecular. Al transmitirse el sonido por el aire, el movimiento vibratorio de las moléculas de los gases de la atmósfera produce pequeñas variaciones de presión atmosférica conocidas como presión acústica (Bell, 1969).

En 1969 la Organización Mundial de la Salud estableció que el ruido es un sonido carente de cualidades musicales agradables o un sonido que no es deseable (Bell, 1969). Existen dos tipos de ruido: ruido continuo y ruido impulsivo o de impacto, el ruido continuo es aquel cuyo nivel de presión sonora permanece constante o casi constante, con fluctuaciones hasta de un segundo, o menores a un segundo, y que no presenta cambios repentinos durante su emisión. Mientras que el impulsivo o de impacto es aquel cuyas variaciones en los niveles de presión sonora involucran valores máximos o intervalos mayores de uno por segundo (Gordillo & Guaraca, 2015).

El ruido modifica las condiciones que se consideran normales o tolerables en cierta zona, al ser excesivo el ruido ambiental produce la llamada contaminación acústica que es ocasionada por la actividad humana, el ruido emitido por los medios de transporte y de actividades industriales (Martín et al., 2016).

La contaminación por ruido es uno de los problemas ambientales que afecta la calidad de vida de la población en todas las áreas urbanas del mundo y sus secuelas, pueden pasar desapercibidas debido a la presencia de ruido en la vida diaria (Zamorano González et al., 2015). La contaminación ambiental no involucra solo el deterioro del aire, suelos, o de las aguas; sino también puede ser acústica, ocasionada por el ruido que afecta igual o inclusive más que los otros tipos de contaminación (Gordillo & Guaraca, 2015).

La primera declaración internacional fue en 1972, donde se contemplaron las consecuencias del ruido sobre la salud humana, cuando la Organización Mundial de la Salud decidió catalogarlo genéricamente como un tipo más de contaminación. Después de siete años, en la Conferencia de Estocolmo se clasificó al ruido como un contaminante específico. Aquellas primeras disposiciones oficiales fueron ratificadas posteriormente por la entonces

emergente Comunidad Económica Europea (CEE), que requirió de los países miembros un esfuerzo para regular legalmente la contaminación acústica (Álvarez et al., 2017).

Según la OMS, en el 2008 se ha definido a la contaminación auditiva como el tercer problema ambiental de mayor relevancia en el mundo. A su vez en un informe emitido de ruido se definió que "El ruido es un problema de salud pública del mundo moderno, principalmente en aquellas ciudades con grandes poblaciones" (World Health Organization, 2011).

El ruido se ha considerado históricamente como un factor ambiental que puede causar molestia a las personas, pero recién en 2011 la Organización Mundial de la Salud ha colocado las molestias causadas por el ruido como el principal efecto adverso sobre la salud humana (World Health Organization, 2011). Según estudios de la Unión Europea, 80 millones de personas están expuestas diariamente a niveles de ruido ambiental superiores a 65 dB (A, F); mientras que otros 170 millones están expuestos a niveles entre 55 -65 dB (A, F) (Álvarez et al., 2017).

Un dato importante es que 43 millones de personas de entre 12 y 35 años padecen una pérdida auditiva incapacitante debido a diferentes causas. La pérdida de audición relacionada con la edad se incrementa, existiendo una fuerte evidencia que los niños y los adultos que viven en entornos ruidosos pueden padecer un mayor estrés psicológico, ansiedad, perturbación del sueño, disminución en el rendimiento cognitivo, y pérdida de productividad. También se conoce que el ruido excesivo es un riesgo para la salud, que contribuye a la generación de enfermedades cardiovasculares, la presión arterial alta y fatiga (Coral et al., 2020).

Los efectos producidos por el ruido sobre la salud se pueden clasificar en fisiológicos, que se relacionan directamente al oído, dado que es el principal receptor de sonidos y es el primer órgano afectado ante una exposición, la pérdida de audición es el efecto más importante y puede producirse por el lugar de trabajo o el entorno. Los efectos fisiológicos no auditivos incluyen a todas las alteraciones sobre el funcionamiento del organismo como consecuencia de la exposición al ruido y todo depende de las características personales de cada ser humano (Gordillo & Guaraca, 2015).

Los efectos psicológicos están relacionados a cambios de la conducta humana, como son la irritabilidad, cansancio, estrés, falta de concentración, falta de sueño y relajación, bajo rendimiento académico y profesional; mencionando los más importantes; el ruido es percibido por un solo sentido que es el oído, pero sus efectos pueden ser inmediatos y acumulativos (Gordillo & Guaraca, 2015).

El ruido del tráfico rodado es el más relevante en cuanto a número de personas expuestas. En la Unión Europea alrededor del 40% de la población está expuesta a niveles de ruido diurnos por el tráfico rodado superiores a 55 dB(A), y un 20% se expone a más de 65 dB(A). Por la noche, más de un 30% estaría expuesta a niveles superiores a 55 dB(A), sufriendo alteraciones del sueño (Martín et al., 2016)

A nivel de Ecuador, el Grupo de Investigación en Entornos Acústicos de la UDLA desarrolló un proyecto para estimar el impacto de la contaminación acústica generada por el tráfico vehicular en la zona urbana de Quito, la cual determinó que el 25% de la población urbana de la ciudad está expuesta a niveles de ruido de tráfico que superan los 65 dB durante el día, mientras que el 38% está expuesta a niveles superiores a 55 dB durante la noche. El índice de contaminación sonora es superior en ciudades consideradas puntos clave para el comercio, turismo e industrias como lo son Quito, Guayaquil y Cuenca que sobrepasan los 80dBA (Buenaño & Robles, 2022).

Con el transcurso del tiempo en el Distrito Metropolitano de Quito, el desarrollo urbano y otros factores han provocado que el ruido gane territorio dentro de la población, lo que ha generado el crecimiento desmesurado de la contaminación auditiva (Mora, 2010).

Específicamente en el Distrito Metropolitano de Quito se superan los límites sugeridos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para ambientes externos que es de 65 dB ya que los niveles de ruido máximos que se han medido son de 78 dB (A) en el día. A su vez el crecimiento del parque automotor es del 12 % anual lo que significa que la calidad de vida en la ciudad no es óptima, el tráfico vehicular satura la capacidad de las vías y consecuentemente genera emisiones de ruido intensas (Coral et al., 2020).

El comportamiento del ruido en la zona norte, con datos experimentales analizados desde 2013 al 2015 demuestran que no presentan valores menores a 70 dB y en su mayoría

son valores mayores a 77,9 dB (A) incluso pudiendo llegar a superar 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 (Moromenacho, 2016).

Referente a la normativa de ruido, en Ecuador existe normativa ambiental, el Acuerdo Ministerial 097-A en el anexo 5 establece los niveles máximos de emisión de ruido para fuentes fijas según el uso de suelo y de fuentes móviles dependiendo de la categoría del vehículo. Sin embargo, no existe información sobre la exposición al ruido ambiental, dichas tablas se pueden visualizar en el Anexo 1 (Ministerio del Ambiente, 2015).

Otro aspecto importante que se menciona en esta normativa es la metodología para la medición, cuantificación y determinación del nivel del ruido para Fuentes Fijas de Ruido, mismas que comprenden:

- Los requisitos de los equipos de medición, donde se establece que las evaluaciones deben realizarse con sonómetros integradores de clase 1 o 2 y para verificar el correcto funcionamiento del sonómetro durante las mediciones, se deberá utilizar el calibrador acústico apropiado antes y después de la medición.
- Las condiciones ambientales durante la medición explican, que no deben efectuarse en condiciones adversas que puedan afectar el proceso de medición, por ejemplo, en presencia de lluvias, truenos, etc. El micrófono debe ser protegido con una pantalla protectora contra el viento durante las mediciones.
- La ubicación del sonómetro debe estar colocado sobre un trípode a una altura igual o superior a 1,5 metros de altura desde el suelo, direccionando el micrófono a 45 o 90 grados, sobre su plano horizontal y el operador debe estar alejado al menos a un metro (Ministerio del Ambiente, 2015).

El estudio realizado por Coral et al, en el año 2019, se enfocó en diseñar modelos estadísticos de ruido ambiental generados por el tráfico vehicular para cada zona muestreada: sur, centro y norte de la cuidad de Quito mediante el uso de datos históricos como herramienta de calidad ambiental con el fin de generar una base de datos con información preexistente desde el año 2009 al 2015.

Los resultados del estudio determinaron cuatro ecuaciones para medir el ruido ambiental de la zona Norte de Quito, mismas que a su vez fueron validadas en el año 2021 mediante la tesis "Análisis del modelo estadístico predictivo de ruido ambiental urbano a partir del método lineal y multivariante en el sector Norte de Quito de Coral y et al para su validación en 2021", la Ecuación (1) Y (3) corresponden al modelo de ruido por linealización de la zona norte y del DMQ; mientras que la Ecuación (2) y (4) son del modelo de ruido por análisis multivariante de la zona norte y del DMQ. (Haro, 2021).

Modelo de ruido para la zona Norte por linealización:

$$L_{eq\ hora} = 2{,}63 + 20{,}12\ log_{Qt} \quad (1)$$

Donde:

$Q_t = flujo\ vehicular\ liviano\ y\ pesado$

Modelo de ruido para la zona Norte por análisis multivariante:

$$L_{eq\ hora} = 24{,}12 + 7{,}13\ Log_{Ql} + 6{,}77\ log_{Qp} + 0{,}18\ log_{Vprom} \quad (2)$$

Donde:

$Q_l = flujo\ vehicular\ liviano$

$Q_p = flujo\ vehicular\ pesado$

$V_{prom} = velocidad\ promedio\ (\frac{km}{h})$

Modelo de ruido para el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) por linealización

$$L_{eq\ hora} = 23{,}92 + 14{,}33\ log_{Qt} \quad (3)$$

Donde:

$Q_t = flujo\ vehicular\ liviano\ y\ pesado$

Modelo de ruido para el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) por análisis multivariante

$$L_{eq\ hora} = 9{,}99 + 13{,}08\ Log_{Ql} + 3{,}47\ log_{Qp} + 0{,}26\ log_{Vprom} \quad (4)$$

Donde:

$Q_l = flujo\ vehicular\ liviano$

$Q_p = flujo\ vehicular\ pesado$

$V_{prom} = velocidad\ promedio\ (\frac{km}{h})$

Según Chaux Alvarez & Acevedo Buitrago (2019) mediante el artículo "Evaluación de ruido ambiental en alrededores a centros médicos de la Localidad Barrios Unidos, Bogotá" establecieron la existencia de contaminación por ruido principalmente por el alto tránsito vehicular, concurrencia de personas hablando y actividades comerciales informales y formales que se han desarrollado de manera desordenada alrededor de la ubicación de los centros hospitalarios, convirtiéndoles en entornos comerciales y generando que no haya relación al plan de ordenamiento establecido en la localidad.

Los alrededores de las unidades de atención hospitalaria deberían ser sitios que cuenten con un control de ruido ambiental de la zona a la que están expuestos ya que el ruido se considera como contaminante, dado que produce diferentes afectaciones al ser humano, causando molestia, dificultad para conciliar el sueño, pérdida de calidad del sueño, dolor de cabeza, estrés, insomnio, hipertensión, discapacidad auditiva, trastornos gastrointestinales, etc; además de problemas en la comunicación verbal. A la par que estos problemas, se genera un retraso en la recuperación de los pacientes hospitalizados (Chaux Alvarez & Acevedo Buitrago, 2019).

Un paciente que se encuentra gravemente enfermo es un ser humano vulnerable, sobre todo en su estancia en la Unidad de Cuidados Intensivos ya que están expuestos a la separación de su medio ambiente, familia y actividades, por ello tienden a experimentar estrés, dolor, depresión, ansiedad, principalmente si se encuentran expuestos a dos fuentes de contaminación ambiental que son la luz y el ruido. La OMS recomienda que los niveles de ruido intrahospitalario no rebasen los 30 dBA, fundamentalmente durante la noche. Pero esto no se cumple en la gran mayoría de los hospitales; en especial en las Unidades de

Cuidado Intensivo, donde se tienen en promedio de 50 y 75 dBA, llegando hasta 100 dBA o más (Carrillo Esper et al., 2017).

En la Administración zonal La Delicia, el tráfico vehicular y las actividades comerciales informales se han desarrollado de manera acelerada alrededor de ciertos centros hospitalarios, haciendo que estas zonas se conviertan en entornos altamente comerciales produciendo los problemas de salud antes expuestos.

Por ello, el objetivo general del presente estudio fue validar y corregir los modelos predictivos de ruido ambiental por regresión lineal y análisis multivariante en cuatro zonas de atención hospitalaria: Hospital Pablo Arturo Suárez, Northospital, Clínica Santa María y Hospital General San Francisco, las cuales se encuentran dentro o en el límite de la Administración zonal La Delicia.

Los objetivos específicos planteados para este trabajo fueron (1) Identificar las zonas de estudio y establecer puntos y horarios de monitoreo de ruido ambiental, (2) Validar las ecuaciones lineales y multivariantes de la zona Norte y General del Distrito Metropolitano de Quito (3) Establecer un factor de corrección para las ecuaciones que no se ajusten a los modelos predictivos iniciales. Para posteriormente validar la hipótesis acerca de que los modelos estadísticos establecidos en el 2019 por Coral et al y validadas en el año 2021 por Paul Haro, con el pasar del tiempo aún no requieren de cambios y por ello se pueden seguir usando dichas ecuaciones, luego de dos años de su última validación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Sitio de estudio

2.1.1 Delimitación de zona de monitoreo

La zona de estudio es el norte de Quito la cual contempla cuatro unidades de atención hospitalaria que se encuentran dentro de la administración zonal La Delicia, a excepción del hospital Norhospital que se encuentra dentro de la administración zonal Norte, específicamente en el límite sur de la zona la Delicia, cabe recalcar que todos los puntos de monitoreo escogidos cuentan con hospitalización.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo.

Puntos de monitoreo y dirección	Coordenadas geográficas	
	X	Y
Northospital Dirección: Av. de la Prensa N58-154 y Vaca de Castro	778948	9985660
Hospital Pablo Arturo Suarez Dirección: Calle Ángel Ludeña 460 entre Av. La Prensa y Machala.	778634	9985960
Clínica Santa María Dirección: Av. Prensa y Calle Manta Esquina.	778939	9986880
Hospital General San Francisco Dirección: Modesto Chávez y Av. Jaime Roldós Aguilera.	780931	9990067

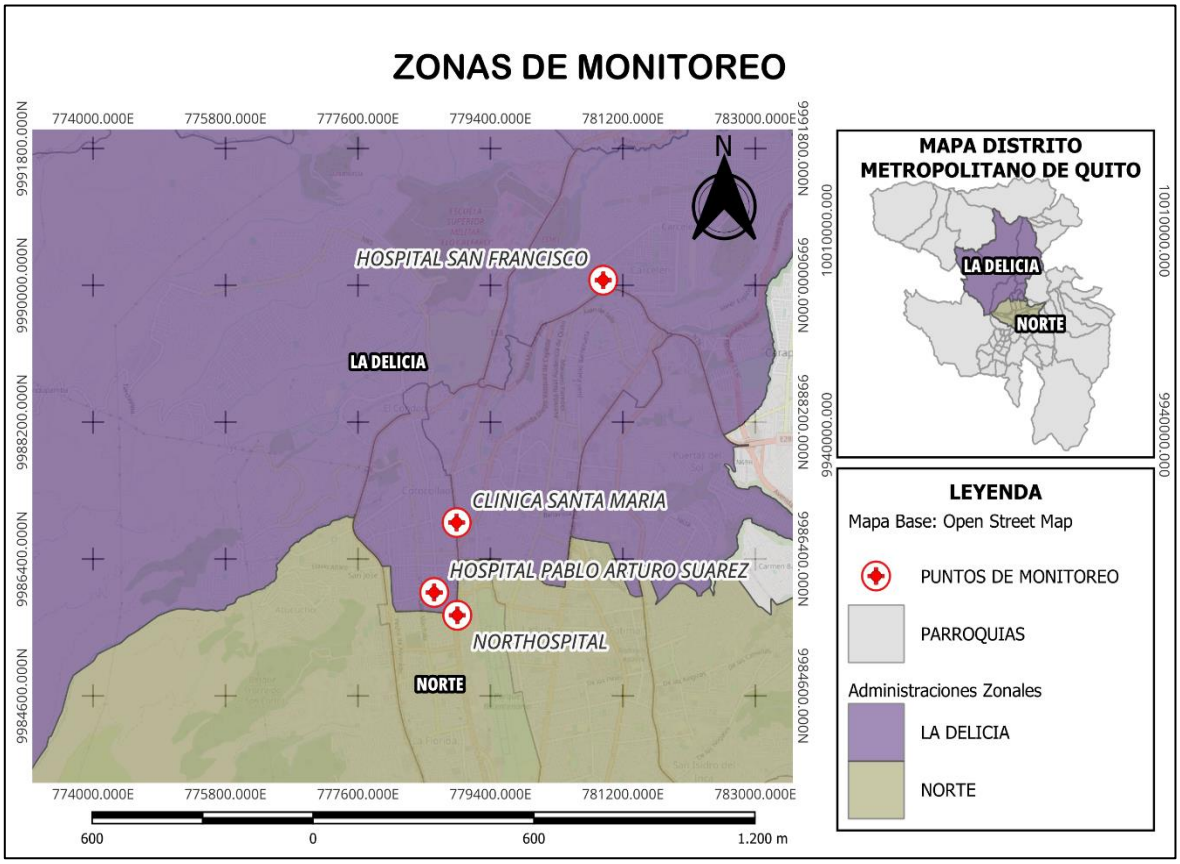


Figura 1. *Mapa de la ubicación de cada punto de monitoreo*

2.1.2 Materiales de monitoreo

El monitoreo se realizó de enero a marzo del 2023, utilizando principalmente los siguientes equipos y materiales.

- Sonómetro integrador modelo 407780 (tipo II)
- Calibrador del sonómetro
- GPS
- Cronómetro
- Teléfono con cámara para video
- Trípode
- Cuaderno de apuntes
- Computador
- Metro

2.2 Metodología

El monitoreo se realizó en cada punto por tres días diferentes, estos días fueron escogidos de manera aleatoria y dependiendo de las condiciones climáticas óptimas para realizar las mediciones debido a que las fechas de monitoreo fueron periodos de abundante lluvia en la ciudad de Quito, que impedían proceder con el monitoreo la semana completa.

Específicamente por punto se realizó el monitoreo dos días entre semana y un día del fin de semana, el horario escogido para todos los puntos de monitoreo por los tres días fue de 7:00am a 8:00pm, los días de monitoreo de cada punto se detallan en la siguiente tabla.

La técnica seleccionada durante una hora de monitoreo fue medir el ruido ambiental por un minuto con el sonómetro y posteriormente se dejó pasar un lapso de cinco minutos antes de la próxima medición, es decir en una hora se obtuvo un total de diez datos de ruido ambiental.

Tabla 2. Cronograma de días de monitoreo por punto

Puntos de monitoreo	**Días de monitoreo**		
Northospital	Lunes	Martes	Sábado
Hospital Pablo Arturo Suárez	Jueves	Viernes	Domingo
Clínica Santa María	Miércoles	Jueves	Sábado
Hospital San Francisco	Martes	Miércoles	Domingo

Método utilizado para el monitoreo con Sonómetro Integrador

- Tomar las coordenadas de los puntos de monitoreo.
- Calibrar el sonómetro previo a la toma de medidas.
- Instalar el trípode en una zona plana y libre de paredes; desplegar al menos a 1.5 metros de altura.
- Ubicar el sonómetro en un ángulo de 90 º con el eje horizontal.
- Prender el sonómetro y configurarlo para medir el NPS (nivel de presión sonora equivalente).
- Configurar el tiempo del equipo para que la medición se la realice durante un minuto.
- Iniciar la medición y a la vez contabilizar los vehículos circundantes.
- Anotar el valor obtenido del sonómetro en el registro (ISO, 2007).

Medición de presión acústica (NPS) con el sonómetro integrador 407780

- Presionar el botón ON para encender el medidor
- Presionar el botón Leq SEL SPL para seleccionar el modo NPS hasta que SPL sea visible en la pantalla
- Seleccionar la ponderación de la frecuencia deseada (A), para ello presionar el botón 'A/C' para cambiar la ponderación de frecuencia, al lado derecho de la pantalla se mostrará el icono A o C.

Nota: En la Ponderación A el medidor responde como el oído humano, esta ponderación se usa en medidas ambientales, pruebas reglamentarias de la OSHA, ejecución de la ley y diseño de lugares de trabajo. Por otro lado, la Ponderación C se utiliza para medidas de

respuesta plana, esta ponderación es para el análisis de nivel de sonido de máquinas, motores, etc.

- Seleccionar el tiempo de respuesta deseado (Rápido/ Lento / Impulso), en este caso se utiliza “SLOW” es decir modo lento.

Nota: Seleccionar Rápido para capturar picos de ruido y ruidos que ocurren rápidamente, en esta función el medidor responde en 125 ms (milisegundo); el modo Lento es para vigilar una fuente de ruido que tenga un nivel de sonido razonablemente constante o para promediar niveles rápidamente cambiantes, el medidor responde en 1s en esta función. En modo Impulso el medidor responde en 35ms y es usado para capturar sonidos como los producidos en un campo de tiro

- Colocar sobre un trípode apuntando hacia la fuente de sonido (Extech Instruments Corporation, 2015)

Calibración del sonómetro integrador 407780

- Se requiere un calibrador acústico como el Modelo 407766 o 407744 de Extech.
- Configurar el medidor de la siguiente manera:

Pantalla: NPS (dBA)
Modo de ponderación de tiempo: FAST
Modo de medición: INST

- Inserte el micrófono 407780 en la apertura del calibrador acústico.
- Ajuste el potenciómetro para calibración 407780 hasta que el indicador corresponda con la señal del calibrador acústico (típicamente 94 o 114 dB) (Extech Instruments Corporation, 2015).

Variables analizadas

En el estudio existen tres variables independientes que se utilizan de acuerdo con las ecuaciones mencionadas con anterioridad: velocidad, flujo vehicular liviano y flujo vehicular pesado; con la ayuda de estas variables se calcula la variable dependiente que es el nivel de ruido de acuerdo con los modelos estadísticos.

El conteo del número de vehículos se realizó mientras el sonómetro integra los datos por un tiempo de un minuto, el conteo de carros se hizo disgregando los vehículos livianos de los pesados, utilizando un celular con cámara que filmó los autos circulantes en dicho periodo de tiempo

Otra variable fundamental para el cálculo del modelo estadístico por análisis multivariante y para el modelo de ruido del DMQ es la velocidad, Ecuación (5). Para calcularla se deben fijar dos puntos, en la mayoría de los casos esta longitud fue de 0,01 km y en un punto de 0,012 km; con el cronómetro se toma el tiempo en que un vehículo tarda en pasar por la longitud designada y se transforma en unidades de hora; la muestra utilizada para sacar un promedio fue de 10 vehículos por punto y dependiendo de las calles circundantes a la zona de monitoreo (Haro, 2021).

$$v = \frac{d}{t} \tag{5}$$

Donde:

$v = velocidad\ (km)$

$t = tiempo\ (h)$

El monitoreo se realizó tres días en cada punto, al tomarse 10 datos por hora de 7:00am a 8:00pm cada día, se obtuvo un total de 130 datos experimentales por día en cada punto, por este motivo se calculó el promedio del nivel de presión sonora, utilizando la Ecuación (6) para de esta manera obtener tres datos de Leq promedio por cada zona de monitoreo; se utiliza esta fórmula ya que el ruido se mide en decibeles que es una unidad adimensional utilizada para expresar el logaritmo, de la razón entre una cantidad medida y una cantidad de referencia (Coral et al., 2020)

$$NPS_{eq} = 10 * log * \sum (P_i) 10^{\frac{NPSi}{10}} \tag{6}$$

Donde:

$NPS_{eq} = nivel\ de\ presión\ sonora\ equivalente$

$NPS_i = nivel\ de\ presión\ sonora\ \ instantánea$

$P_i = \ tiempo\ de\ la\ medición$

Los datos obtenidos en campo se registraron por medio del programa Microsoft Excel para facilitar el cálculo de los cuatro modelos estadísticos de ruido. Los datos se registraron en tablas de Excel, con el mismo formato para los tres días, de los diferentes puntos muestreados. Los valores de NPS experimentales tomados con el sonómetro, fueron diez datos durante una hora de medición; en un total de 13 horas de medición dan 130 valores experimentales obtenidos por día, con estos datos luego se realizó el cálculo del promedio con la fórmula (6). Y para el cálculo del promedio de la velocidad de los automóviles se tomó una muestra de 10 carros por calle, esto varía de acuerdo con cada zona de monitoreo y el número de calles circundantes a la zona. El resumen de los valores obtenidos por punto de muestro se detallan a continuación.

***Tabla 3**. Datos calculados del Hospital Pablo Arturo Suárez*

Dia	N° de vehículos		N° total de vehículos	Velocidad Promedio (km/h)	Leq promedio dB(A)
	Livianos	Pesados			
Jueves	1424	44	1468	12,6	65,2
Viernes	1528	42	1570	13,9	69,0
Domingo	1135	40	1175	13,1	67,8

***Tabla 4.** Datos calculados del Hospital San Francisco*

Dia	N° de vehículos		N° total de vehículos	Velocidad Promedio (km/h)	Leq promedio dB(A)
	Livianos	Pesados			
Martes	3331	68	3399	23,0	72,5
Miércoles	3238	97	3335	22,3	72,5
Domingo	2929	60	2989	22,0	72,6

***Tabla 5**. Datos calculados del Hospital Northospital*

Dia	N° de vehículos		N° total de vehículos	Velocidad Promedio (km/h)	Leq promedio dB(A)
	Livianos	Pesados			
Lunes	5754	299	6053	14,4	76,8
Martes	5676	292	5968	14,7	76,2
Sábado	3908	125	4033	15,5	74,8

Tabla 6. *Datos calculados de la Clínica Santa María*

Dia	N° de vehículos		N° total de vehículos	Velocidad Promedio (km/h)	Leq promedio dB(A)
	Livianos	Pesados			
Miercóles	1528	119	1647	9,9	75,2
Jueves	2073	140	2213	9,6	77,1
Sábado	2133	133	2266	10,7	74,0

3. RESULTADOS

3.1 Procesamiento de datos

3.1.1 Cálculo de modelo estadístico lineal

Para el procesamiento de datos, por cada punto se realizó una tabla con todos los datos recopilados del flujo vehicular liviano, pesado y con las velocidades promedio establecidas, para luego realizar el cálculo del modelo estadístico lineal de la zona norte y del DMQ utilizando las ecuaciones (1) y (3), mencionadas a detalle con anterioridad.

Posteriormente se calculó el error porcentual, con la Ecuación (7) para identificar si los porcentajes de error son menores o superiores a 5 %.

$$E_p = \frac{L_{eq\ prom} - Ecuaciones}{L_{eq\ prom}} * 100\% \qquad (7)$$

Donde:

$E_p = Error\ porcentual$

$L_{eq\ prom} = Nivel\ de\ presión\ sonora\ promedio\ (valor\ verdadero)$

$Ecuaciones = Ecuación\ zona\ norte\ y\ ecuación\ DMQ (valor\ aproximado)$

Una vez realizados todos los cálculos en el Hospital Pablo Arturo Suárez se obtuvo como resultado un porcentaje de error menor al 5%, la Ecuación lineal zona norte vs Leq promedio en los tres días da un promedio de error de 3,3% mientras que la Ecuación lineal del DMQ vs Leq promedio da un promedio de 2,5% de error por lo cual las ecuaciones se encuentran validadas y no requieren de algún tipo de factor de corrección.

Tabla 7. *Error porcentual Hospital Pablo Arturo Suárez, modelo de ruido por linealización.*

Dia	N° de vehículos		N° total de vehículos	Velocidad Promedio (km/h)	Ecuación lineal dB(A)	DMQ Ecuación lineal dB(A)	Leq promedio dB(A)	Error Ec. Lineal %	Error DMQ Ec. Lineal %
	Livianos	Pesados							
Jueves	1424	44	1468	12,6	66,3	69,3	65,2	1,8	6,3
Viernes	1528	42	1570	13,9	66,9	69,7	69,0	3,0	1,0
Domingo	1135	40	1175	13,1	64,4	67,9	67,8	5,0	0,1
Promedio								3,3	2,5

En el hospital San Francisco se obtuvo porcentajes muy bajos de error, la Ecuación lineal vs Leq promedio en los tres días dio 1% de error mientras que en la Ecuación lineal del DMQ vs Leq promedio es de 0,7%. Por este motivo la fórmula para este punto de monitoreo queda validada al tener un porcentaje de error menor al 5%.

Tabla 8. *Error porcentual Hospital San Francisco, modelo de ruido por linealización.*

Dia	N° de vehículos		N° total de vehículos	Velocidad Promedio (km/h)	Ecuación lineal dB(A)	DMQ Ecuación lineal dB(A)	Leq promedio dB(A)	Error Ec. Lineal %	Error DMQ Ec. Lineal %
	Livianos	Pesados							
Martes	3331	68	3399	23,0	73,7	74,5	72,5	1,6	1,2
Miércoles	3238	97	3335	22,3	73,5	74,4	72,5	1,4	1,0
Domingo	2929	60	2989	22,0	72,6	73,7	72,6	0,0	0,0
Promedio								1,0	0,7

En el hospital Northospital el error se ajusta siendo menor al 5%, la Ecuación lineal del norte vs Leq promedio da un error para los tres días de 2% mientras que para la Ecuación lineal del DMQ vs Leq promedio da un porcentaje de error del 1,7%. Esto hace que las ecuaciones para este punto de monitoreo queden validadas y no requieran de ningún factor de corrección adicional.

Tabla 9. *Error porcentual Hospital Northospital, modelo de ruido por linealización.*

Dia	N° de vehículos		N° total de vehículos	Velocidad Promedio (km/h)	Ecuación lineal dB(A)	DMQ Ecuación lineal dB(A)	Leq promedio dB(A)	Error Ec. Lineal %	Error DMQ Ec. Lineal %
	Livianos	Pesados							
Lunes	5754	299	6053	14,4	78,7	78,1	76,8	2,5	1,7
Martes	5676	292	5968	14,7	78,6	78,0	76,2	3,2	2,4
Sábado	3908	125	4033	15,5	75,2	75,6	74,8	0,5	1,1
Promedio								2,0	1,7

En la Clínica Santa María los valores no se ajustaron a un error menor al 5%, la ecuación lineal para la zona norte vs el Leq promedio en los tres días da un promedio de 8,3% y en la ecuación lineal del DMQ vs Leq promedio da un promedio de 5,5% de error; es por eso que en este punto de monitoreo la ecuación no queda validada ya que superan el margen de error.

Tabla 10. *Error porcentual Clínica Santa María, modelo de ruido por linealización.*

Dia	N° de vehículos		N° total de vehículos	Velocidad Promedio (km/h)	Ecuación lineal dB(A)	DMQ Ecuación lineal dB(A)	Leq promedio dB(A)	Error Ec. Lineal %	Error DMQ Ec. Lineal %
	Livianos	Pesados							
Miercóles	1528	119	1647	9,9	67,3	70,0	75,2	10,5	6,9
Jueves	2073	140	2213	9,6	69,9	71,9	77,1	9,3	6,8
Sábado	2133	133	2266	10,7	70,1	72,0	74,0	5,3	2,8
Promedio								8,3	5,5

3.1.2 Cálculo de modelo estadístico por análisis multivariante.

Los resultados obtenidos del porcentaje de error entre los modelos estadísticos de análisis multivariante de la zona norte y para el Distrito Metropolitano de Quito comparados con los datos experimentales del Leq promedio, dan en todos los puntos un error fuera del margen de 5%, como se detalla a continuación.

El Hospital Pablo Arturo Suárez tiene un de error de 11,1 % en la ecuación por análisis multivariante para la zona norte mientras que el error de la ecuación multivariante del DMQ tiene un 10,9% de error, errores comparados con los datos de Leq promedio.

Tabla 11. *Error porcentual Hospital Pablo Arturo Suárez, modelo de ruido por análisis multivariante.*

Dia	N° de vehículos		N° total de vehículos	Velocidad Promedio (km/h)	Ecuación Multivariante dB(A)	DMQ Ecuación Multivariante dB(A)	Leq promedio dB(A)	Error Ec. Multivariante %	Error DMQ Ec. Multivariante %
	Livianos	Pesados							
Jueves	1424	44	1468	12,6	60,0	60,2	65,2	8,0	7,6
Viernes	1528	42	1570	13,9	60,3	60,9	69,0	12,6	11,8
Domingo	1135	40	1175	13,1	59,1	58,9	67,8	12,8	13,1
Promedio								11,1	10,9

En el Hospital San Francisco se puede observar un error del 9,3% y 6,1% en la ecuación multivariante del norte y en la ecuación del DMQ, respectivamente.

Tabla 12. *Error porcentual Hospital San Francisco, modelo de ruido por análisis multivariante.*

Dia	N° de vehículos		N° total de vehículos	Velocidad Promedio (km/h)	Ecuación Multivariante dB(A)	DMQ Ecuación Multivariante dB(A)	Leq promedio dB(A)	Error Ec. Multivariante %	Error DMQ Ec. Multivariante %
	Livianos	Pesados							
Martes	3331	68	3399	23,0	65,8	68,4	72,5	9,3	5,7
Miércoles	3238	97	3335	22,3	66,6	68,6	72,5	8,1	5,4
Domingo	2929	60	2989	22,0	64,8	67,2	72,6	10,6	7,4
Promedio								9,3	6,1

En el hospital Northospital el porcentaje de error de la ecuación multivariante de la zona norte es de 9% mientras que en la del DMQ es del 7,3%.

Tabla 13. *Error porcentual Hospital Northospital, modelo de ruido por análisis multivariante.*

Dia	N° de vehículos		N° total de vehículos	Velocidad Promedio (km/h)	Ecuación Multivariante dB(A)	DMQ Ecuación Multivariante dB(A)	Leq promedio dB(A)	Error Ec. Multivariante %	Error DMQ Ec. Multivariante %
	Livianos	Pesados							
Lunes	5754	299	6053	14,4	70,3	71,5	76,8	8,5	6,9
Martes	5676	292	5968	14,7	70,2	71,5	76,2	7,8	6,2
Sábado	3908	125	4033	15,5	66,7	68,3	74,8	10,8	8,7
Promedio								9,0	7,3

Se puede observar que en la Clínica Santa María los porcentajes de error son mucho mayores a los demás hospitales dando un 15,7% de error en la ecuación multivariante de la zona norte y 16,7% de error en la ecuación multivariante del DMQ.

Tabla 14. *Error porcentual Clínica Santa María, modelo de ruido por análisis multivariante.*

Dia	N° de vehículos		N° total de vehículos	Velocidad Promedio (km/h)	Ecuación Multivariante dB(A)	DMQ Ecuación Multivariante dB(A)	Leq promedio dB(A)	Error Ec. Multivariante %	Error DMQ Ec. Multivariante %
	Livianos	Pesados							
Miercóles	1528	119	1647	9,9	62,6	61,4	75,2	16,7	18,4
Jueves	2073	140	2213	9,6	64,0	63,3	77,1	16,9	17,9
Sábado	2133	133	2266	10,7	64,2	63,7	74,0	13,3	14,0
Promedio								15,7	16,7

3.1.2 Cálculo del modelo estadístico por análisis multivariante con factor de corrección

Debido a los resultados obtenidos es indispensable aplicar factores de corrección a cada ecuación, lo cual se realizará por medio del cálculo del error absoluto con la Ecuación (8), que es un indicador de la imprecisión de las medidas.

$$E_a = Ecuaciones - L_{eq\ prom} \tag{8}$$

Donde:

$E_a = Error\ absoluto$

$L_{eq\ prom} = Nivel\ de\ presión\ sonora\ promedio\ (valor\ verdadero)$

$Ecuaciones = Ecuación\ zona\ norte\ y\ ecuación\ DMQ (valor\ aproximado)$

En el caso de los modelos por análisis multivariante de la zona norte el factor de corrección calculado es de 8,5 y para la ecuación multivariante del DMQ el factor de corrección es de 7,5. Es importante tomar en cuenta que el valor del factor de corrección que se debe aplicar es un promedio de los factores obtenidos por parte de los cuatro hospitales. Dando como resultado las Ecuación (9) y Ecuación (10) corregidas, del modelo por análisis multivariante:

Modelo estadístico por análisis multivariante zona norte con factor de corrección

$$L_{eqhora} = 24{,}12 + 7{,}13 \log Q_l + 6{,}77 \log Q_p + 0{,}18 \log V_{prom} + 8{,}5 \quad (9)$$

Modelo de ruido para el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) por análisis multivariante con factor de corrección

$$L_{eqhora} = 9{,}99 + 13{,}08 \log Q_l + 3{,}47 \log Q_p + 0{,}26 \log V_{prom} + 7{,}5 \quad (10)$$

Por consiguiente, se debe recalcular el valor del error promedio de los cuatro hospitales luego de aplicar el factor de corrección como se indica en la Tabla 15.

Tabla 15. *Error porcentual de las ecuaciones multivariantes con factores de corrección.*

Hospitales	Factor de corrección	Factor de corrección DMQ	Livianos	Pesados	Velocidad prom	Leq promedio dB(A)	Ecuación multivariante dB(A)	Ecuación multivariante dB(A) corregida	Ecuación multivariante dB(A) DMQ	Ecuación multivariante dB(A) corregida DMQ	Error Ec. Multivariante %	Error DMQ Ec. Multivariante %
Hospital Pablo Arturo Suarez	5,2	5,0	1424	44	12,6	65,2	60,0	68,3	60,2	67,7	4,6	3,7
	8,7	8,2	1528	42	13,9	69,0	60,3	68,6	60,9	68,4	0,6	1,0
	8,7	8,9	1135	40	13,1	67,8	59,1	67,4	58,9	66,4	0,6	2,1
Hospital San Francisco	6,7	4,1	3331	68	23,0	72,5	65,8	74,1	68,4	75,9	2,1	4,5
	5,9	3,9	3238	97	22,3	72,5	66,6	74,9	68,6	76,1	3,3	4,8
	7,7	5,3	2929	60	22,0	72,6	64,8	73,1	67,2	74,7	0,8	2,9
Clínica Santa María	12,6	13,8	1528	119	9,9	75,2	62,6	70,9	61,4	68,9	6,0	9,2
	13,1	13,8	2073	140	9,6	77,1	64,0	72,3	63,3	70,8	6,6	8,9
	9,9	10,4	2133	133	10,7	74,0	64,2	72,5	63,7	71,2	2,2	4,0
Northospital	6,5	5,3	5754	299	14,4	76,8	70,3	78,6	71,5	79,0	2,2	2,8
	6,0	4,7	5676	292	14,7	76,2	70,2	78,5	71,5	79,0	3,0	3,5
	8,1	6,5	3908	125	15,5	74,8	66,7	75,0	68,3	75,8	0,3	1,3
Promedio	8,5	7,5									2,9	4,6

En la Figura 2 se puede ver que los datos de la ecuación por análisis multivariante de la zona norte se encuentran lejanos a los valores de Leq promedio y en la Figura 3 con el uso del factor de corrección se observa que los datos tienden a ajustarse al Leq promedio obtenido y por ello baja su valor promedio de error porcentual del 11,3% a 2,9%.

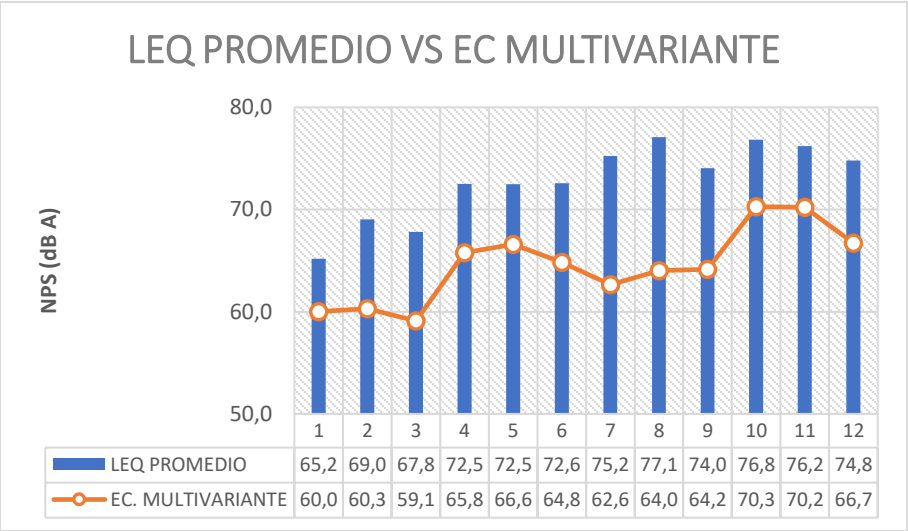


Figura 2 *Ecuación multivariante zona norte antes de aplicar factor de corrección*

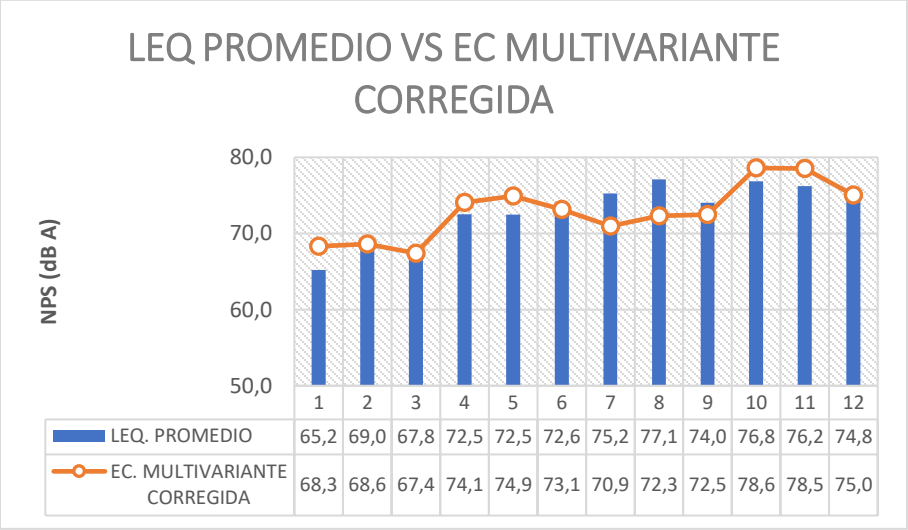


Figura 3. *Ecuación multivariante zona norte después de aplicar factor de corrección*

Para la ecuación multivariante del DMQ el error es de 4,6% al aplicar el factor de corrección de 7,5 en la fórmula. Existe una gran disminución con respecto a los errores obtenidos sin añadir un factor de corrección a la ecuación ya que el promedio de error en los cuatro puntos de monitoreo fue de 10,25%.

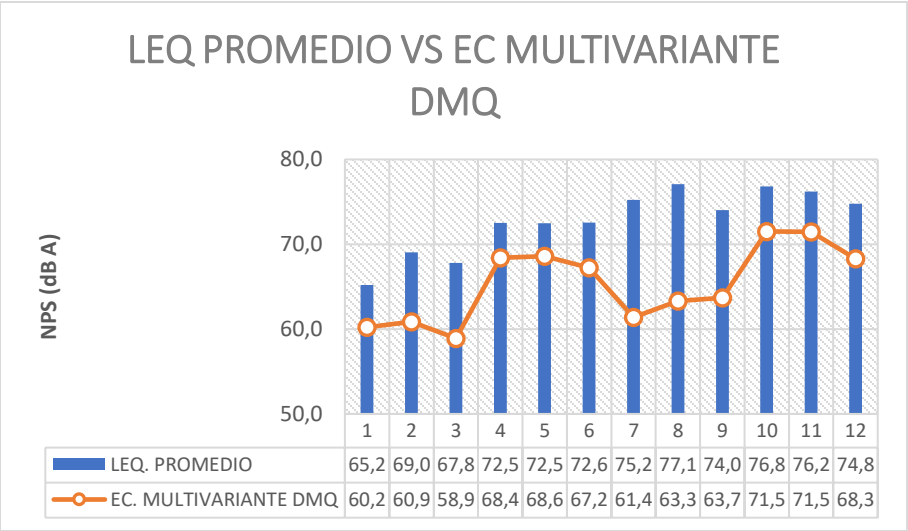


Figura 4. *Ecuación multivariante DMQ antes de aplicar factor de corrección*

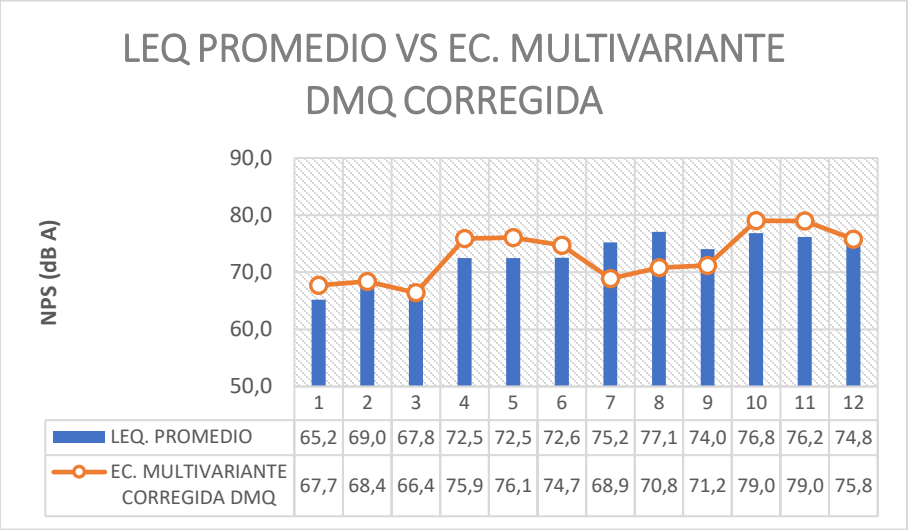


Figura 5. *Ecuación multivariante DMQ después de aplicar factor de corrección*

De igual manera como en el anterior caso, los promedios al utilizar el factor de corrección se van ajustando al Leq promedio obtenido. Sin embargo, no se puede corregirlos de manera individual o específica ya que la fórmula es diseñada para un sector norte general y no para zonas específicas.

El ajuste de la ecuación con el factor de corrección es distinto en cada punto debido a las observaciones sobre donde proviene el ruido ambiental. Alrededor del hospital Northospital se observó que existen farmacias y locales cercanos que utilizan parlantes para difundir promociones sin embargo el ruido no incide de manera directa al hospital. El Hospital Pablo Arturo Suárez al encontrarse frente a una escuela los picos de ruido son en la

hora de salida y entrada de los alumnos ya que en estos horarios existe presencia de comerciantes de los cuales algunos utilizan parlantes. En el Hospital San Francisco no existe mayor incidencia de ruido por factores comerciales, aquí el único factor de ruido ambiental es el flujo vehicular. En el caso de la Clínica Santa María es donde hay mayor presencia de comercio informal en las áreas circundantes y en la puerta de entrada a la clínica, aquí se puede observar la presencia de personas que venden comida y utilizan parlantes a alto volumen, incluso se sitúan dos o tres comerciantes a la vez; en este lugar las calles para tránsito vehicular se han convertido en parqueaderos, lo cual hace que aumente el tráfico vehicular de la calle principal y la velocidad de los vehículos disminuya.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Moromenacho, (2016) determinó que los modelos de regresión multivariante tienen mejor pronóstico que los lineales, dado que el primero utiliza más variables independientes y por lo tanto caracteriza mejor la zona y se vuelve específico. Para el año 2021 en la tesis de Paúl Haro sobre el "Análisis del modelo estadístico predictivo de ruido ambiental urbano a partir del método lineal y multivariante en el sector norte de quito de Coral y et al para su validación en 2021", igualmente demuestra que el modelo que más se ajusta a la zona norte es el modelo multivariante ya que tiene un error de 1.1%, sin embargo el lineal no se aleja ya que se obtuvo un error de 1.2% Actualmente con el estudio realizado para el año 2023 se puede comprobar por medio de los cuatro puntos de monitoreo que el modelo estadístico multivariante ya no se ajusta de la misma forma que en años anteriores, pues es necesario implementar factores de corrección en las ecuaciones para que de esta manera concuerden con los niveles de presión sonora experimental.

Haro, (2021) menciona que con el modelo integral del DMQ, el que mejor se ajusta es el lineal al tener un error de 0.8% y la multivariante tiene un error de 1.5%, con lo que ambas se ajustan al tener una desviación estándar de la dispersión menor a 3. Con los datos obtenidos de los modelos lineales de la zona norte y del DMQ son los que mejor se acoplan en base a los errores porcentuales por debajo de 5%, en el Hospital Pablo Arturo Suárez son de 3,3% zona norte y 2,5% en el DMQ; para el Hospital San Francisco se tiene errores de 1% y 0,7%; en Northospital se obtuvo un error del 2% y del 1,7%, en estos tres hospitales se puede establecer que las fórmulas se encuentran validadas; pero en la Clínica Santa María los valores del error fueron de 8,3 y 5,5 de error promedio, las razones que se identificaron es que la zona posee mayor afluencia de comercio informal que incide directamente con los niveles de ruido ambiental afuera del hospital.

5. CONCLUSIONES

El estudio logró identificar que el modelo lineal es el que más se ajustó a los niveles de presión sonora en tres puntos de monitoreo. Sin embargo, en la Clínica Santa María se requiere realizar un análisis más profundo para poder determinar si el comercio informal es el principal factor que afecta a que los niveles de presión sonora aumenten a diferencia de los otros hospitales que también son zonas de alto comercio, pero no tan directo.

Los modelos predictivos de análisis multivariante en ningún punto de monitoreo se validaron y por ello se utilizó un factor de corrección para cada ecuación. Los valores más altos se obtuvieron en la Clínica Santa María y a diferencia de los otros puntos, es que existe mayor presencia de comercio informal lo cual hace que el flujo vehicular de esta zona de alto tránsito de carros y buses sea más lento concordando con Haro, (2021) que menciona que la velocidad promedio es una variable que disminuye en horas pico debido a la congestión vehicular, y es donde se alcanza los niveles de presión sonora más altos.

Los factores que influyen en la medición de ruido ambiental no son netamente de flujo vehicular, sino que intervienen más factores, en febrero del 2022 según estadísticas de la Agencia Metropolitana de Tránsito el flujo vehicular ha aumentado en Quito por diversos factores como el regreso a la presencialidad de las actividades económicas, educativas, movilizaciones sociales y condiciones climáticas adversas; hecho que hizo que incrementen los tiempos de traslado en la ciudad. Otro aspecto importante del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos es la tasa de desempleo que para finales del año 2022 tuvo en Quito un porcentaje del 7,7 colocándola como la ciudad con mayor desempleo a nivel del país, por ello se ha observado un aumento de comercio informal ya que actualmente en la ciudad hay 15.000 trabajadores informales.

Actualmente no existe una normativa de ruido ambiental que controle el NPS que existen fuera de hospitales, es por ello la importancia de realizar monitoreos para que las autorizades ambientales junto con las organizaciones competentes puedan establecer planes de ordenamiento en estos puntos focales donde se encuentran personas enfermas o en recuperación expuestas, todo con el fin de precautelar su salud.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con el monitoreo de ruido ambiental en la zona norte de Quito para determinar un factor de corrección más exacto para los modelos predictivos por análisis multivariante y así tener un menor porcentaje de error entre la fórmula y lo datos del nivel de presión sonora medidos con el sonómetro.

Realizar el monitoreo en cada punto, completando los días que faltan de la semana, en el mismo horario de 7:00am a 8:00pm ya que en el norte de Quito a partir de las siete de la noche existe mayor afluencia de tránsito vehicular.

Es necesario realizar el estudio en otros puntos con las mismas características de la Clínica Santa María para identificar como el ruido ambiental afecta a la salud de las personas que se encuentran internadas en los hospitales.

8. BIBLIOGRAFÍA

Bell, A. (1969). *El Ruido*. http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41478/WHO_PHP_30_(part1)_spa.pdf;jsessionid=3710CDE41F354A7FA7D812AD60164107?sequence=1

Buenaño, A. & Robles, G. (2022). *Estudio de ruido ambiental en una zona urbana del centro norte de Quito*. http://www.dspace.uce.edu.ec/

Carrillo Esper, R., María Carrillo Córdova, D., Daniel Carrillo Córdova, L. & Raúl Carrillo Córdova, J. (2017). *Ruido en la Unidad de Cuidados Intensivos: el silencio en la Unidad de Cuidados Intensivos es la mejor terapia*. www.medigraphic.org.mx

Chaux Alvarez, L. M. & Acevedo Buitrago, B. (2019). Evaluación de ruido ambiental en alrededores a centros médicos de la localidad Barrios Unidos, Bogotá. *Revista Científica*, *2*(35), 234–246. https://doi.org/10.14483/23448350.13983

Coral, K., Moromenacho, T., Moreta, A., Villalba, F. & Oviedo, E. (2020). "Modelos estadísticos de ruido ambiental para el Distrito Metropolitano de Quito DMQ, mediante datos históricos del 2009 al 2015, como herramienta de calidad ambiental." *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, *12*(1), 24. https://doi.org/10.18272/aci.v12i1.941

Extech Instruments Corporation. (2015). *Sonómetro Integrador Modelo 407780*.

Gordillo, J. & Guaraca, L. (2015). *DETERMINACIÓN DE NIVELES DE PRESION SONORA (NPS) GENERADOS POR LAS AERONAVES, EN EL SECTOR SUR DEL AEROPUERTO MARISCAL LAMAR DE LA CIUDAD DE CUENCA*. https://dspace.ups.edu.ec/

Haro, P. (2021). *ANALISIS DEL MODELO ESTADÍSTICO PREDICTIVO DE RUIDO AMBIENTAL URBANO A PARTIR DEL MÉTODO LINEAL Y MULTIVARIANTE EN EL SECTOR NORTE DE QUITO DE CORAL Y ET AL PARA SU VALIDACIÓN EN 2021*.

Álvarez, I., Méndez, J., Delgado, L., Acebo, F., De Armas Mestre, J. & Rivero, M. (2017). *Contaminación ambiental por ruido Environmental contamination caused by noise*.

ISO. (2007). *INTERNATIONAL STANDARD ISO 1996-2*.

Martín, A., Carmona, R., Linares, C., Ortiz, C., Banegas, J. & Díaz, J. (2016). *EFECTOS DEL RUIDO URBANO SOBRE LA SALUD: ESTUDIOS DE ANÁLISIS DE SERIES TEMPORALES REALIZADOS EN MADRID*. http://publicaciones.isciii.es

Ministerio del Ambiente. (2015). *Acuerdo Ministerial 097-A*.

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*. https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2389

Moromenacho, T. (2016). *Diseño de un modelo predictivo de ruido urbano para el DMQ, por linealización de una función no lineal y el análisis multivariante con datos históricos desde el año 2012 al 2015*.

World Health Organization. (2011). *Burden of disease from environmental noise Quantification of healthy life years lost in Europe*.

Zamorano González, B., Peña Cárdenas, F., Parra Sierra, V., Velázquez Narváez, Y. & Vargas Martínez, J. I. (2015). Contaminación por ruido en el centro histórico de Matamoros. *Acta Universitaria*, *25*(5), 20–27. https://doi.org/10.15174/au.2015.819

9. ANEXOS

ANEXO 1

Límites máximos permisibles Acuerdo Ministerial 097-A

Tabla 1: NIVELES MÁXIMOS DE EMISIÓN DE RUIDO (LKeq) PARA FUENTES FIJAS DE RUIDO

NIVELES MÁXIMOS DE EMISIÓN DE RUIDO PARA FFR		
Uso de suelo	**LKeq (dB)**	
	Periodo Diurno	**Periodo Nocturno**
	07:01 hasta 21:00 horas	**21:01 hasta 07:00 horas**
Residencial (R1)	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 (ID1/ID2)	65	55
Industrial (ID3/ID4)	70	65
Uso Múltiple	Cuando existan usos de suelo múltiple o combinados se utilizará el LKeq más bajo de cualquiera de los usos de suelo que componen la combinación. **Ejemplo:** Uso de suelo: Residencial + ID2 LKeq para este caso = Diurno 55 dB y Nocturno 45dB.	
Protección Ecológica (PE) Recursos Naturales (RN)	La determinación del LKeq para estos casos se lo llevara a cabo de acuerdo al procedimiento descrito en el Anexo 4.	

Tabla 2: NIVELES MÁXIMOS DE EMISIÓN PARA FUENTES MÓVILES DE RUIDO

CATEGORÍA DE VEHÍCULO	DESCRIPCIÓN	NPS MAXIMO (dBA)
	De hasta 200 c.c	80
Motocicletas	Entre 200 y 500 c.c.	85
	Mayores a 500 c. c.	86
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor.	80
Vehículos	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
	Peso máximo hasta 3,5 toneladas.	81
Vehículo de Carga:	Peso máximo de 3,5 toneladas hasta 12 toneladas	86
	Peso máximo mayor a 12 toneladas.	88

ANEXO 2

Equipo de calibración para sonómetro Extech.

ANEXO 3

Instalación de Sonómetro con trípode para medir el nivel de presión sonora.

ANEXO 4

Uso de GPS para obtención de coordenadas en cada punto de monitoreo.

ANEXO 5

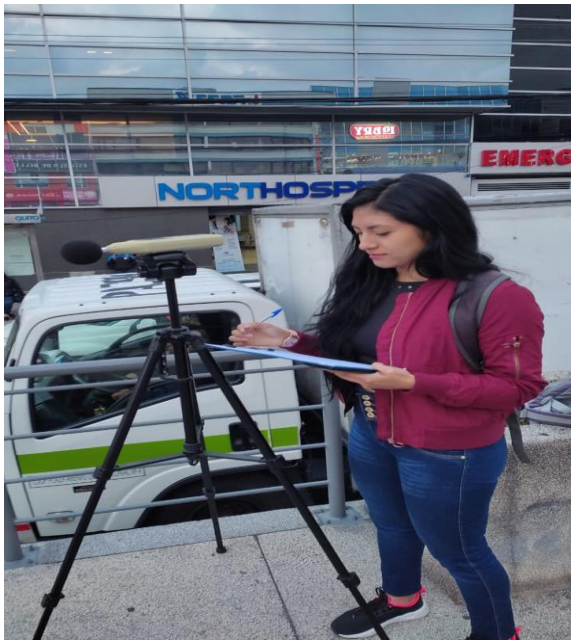
Toma de medidas Hospital Pablo Arturo Suárez

ANEXO 6

Toma de medidas Hospital San Francisco

ANEXO 7

Toma de medidas Northospital



ANEXO 8

Calibración de sonómetro antes de medir los niveles de presión sonora en Clínica Santa María