

# *Elaboración del mapa de ruido del área urbana de la Ciudad de Cuenca – Ecuador, empleando la técnica de interpolación geoestadística Kriging ordinario*

Delgado Omar, Martínez Julia

## **Resumen:**

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca, consiente de la presencia de un alto número de vehículos, acompañado por las actividades diarias cotidianas que involucran el comercio, la industria, el turismo, acciones que han hecho que las emisiones de ruido vayan en aumento; repercutiendo directamente en la salud de la población, plantea un estudio para conocer el estado de las emisiones de ruido en la ciudad, para lo cual suscribe con la Universidad del Azuay un convenio cuyo propósito es la elaboración del mapa de ruido.

El estudio metodológicamente partió con la determinación de los sitios de muestreo sobre la base de la densidad de tráfico, luego se registraron las mediciones de ruido ambiente y posteriormente se sistematizó y evaluó la información levantada a través del método estadístico “kriging ordinario”, con lo cual se elabora el mapa de ruido de la ciudad. Adicionalmente se realizaron comparaciones con los parámetros establecidos en la reglamentación nacional señalada en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria –TULAS- para emisiones sonoras, evaluando el comportamiento de los mismos.

Los valores de los registros del monitoreo, superan los límites del TULAS, este hecho está vinculado al incremento del número de vehículos que circulan por el centro de la ciudad, así como las actividades diarias cotidianas que involucran el comercio, el turismo.

**Palabras clave:** Mapa/ Ruido/ kriging/ ambiente/ TULAS/.

## **Abstract:**

The Decentralized Autonomous Government Municipal of Cuenca, aware of the presence of a high number of vehicles, accompanied by daily activities involving trade, industry, tourism, actions that have made noise emissions increase their levels, directly affecting health of the population, proposes a project to raise the noise emissions status of the city, for which it subscribes, with the University of Azuay an agreement whose purpose is the development of a noise map.

Methodologically the activity started with the determination of the sampling sites, based on traffic density, the information gathered was systematized and evaluated through the use of the statistical method "ordinary kriging", which elaborated the noise map of the city. Additionally, comparisons were made with the parameters set by national regulations, such as the Unified Text of Secondary Environmental Legislation TULAS-for-noise emissions, evaluating its behavior.

Emissions values exceed the limits of the TULAS regulation, this fact is related to the increased number of vehicles on the city center, as well as the daily activities involving trade, tourism.

**Keywords:** Map/ Noise/ kriging/ environment/ TULAS/.

---

**Delgado Omar** (odelgado@uazuay.edu.ec); **Martínez Julia** (jumartinez@uazuay.edu.ec).  
Universidad del Azuay

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental, identificada como emisiones al aire, ha ido en incremento en la ciudad de Cuenca, por causas que se le atribuyen sobre todo al tráfico. De acuerdo con estudios realizados y datos levantados por la empresa EMOV EP de la Municipalidad de Cuenca, se estima que el parque automotor del cantón Cuenca al año 2009 ascendió a 101 128 unidades (EMOV EP, Inventario de emisiones atmosféricas, 2009, p 18).

Entre las emisiones al aire, está el ruido, del mismo se estima que el 70% de las emisiones sonoras provienen de los vehículos motorizados (Usbeth Platzer M, Medición de niveles de ruido ambiental en la ciudad de Chile, 2007), seguido por la industria, comercio, turismo, entre otros. Al ruido se lo ha considerado como un contaminante del ambiente y de la salud, ya que puede dañar el oído humano y afectar su estado psicológico, repercutiendo en el grado de confort de la ciudadanía y por ende en la calidad de vida.

Ante la problemática presentada, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca (GAD), a través de la Comisión de Gestión Ambiental – CGA-, emprende en la realización del estudio para determinar el grado de contaminación sonora en la ciudad, para lo cual cuenta con el apoyo de la Universidad del Azuay, quien prepara una propuesta de Elaboración del Mapa de Ruido del área urbana de la ciudad de Cuenca, el mismo que se acuerda realizar a través de la suscripción de un Convenio que permita su ejecución.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo general es contar con información suficiente que permita conocer la realidad del ruido ambiental en el área urbana de Cuenca, para que, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca pueda considerar y tomar las decisiones necesarias para el control de la contaminación acústica en la ciudad.

Los objetivos específicos son:

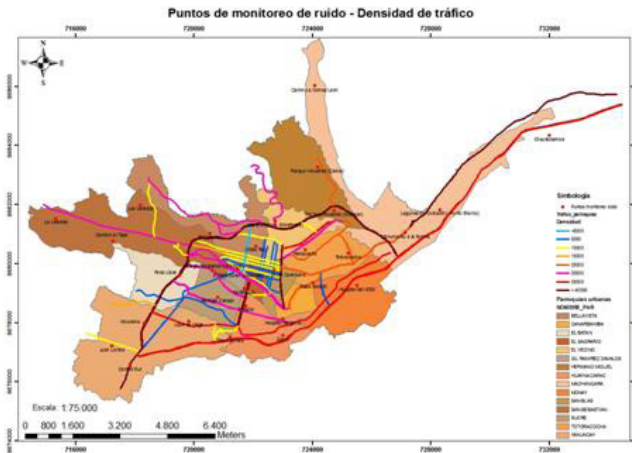
- Elaborar un mapa de ruido para el área urbana de la ciudad de Cuenca.
- Contar con un diagnóstico general de la contaminación acústica en Cuenca.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Puntos de muestreo

Se parte de la identificación de los puntos de muestreo, los cuales se establecieron sobre la base de la información de la densidad de tráfico existente en la ciudad, se tomaron en consideración factores como el tráfico vehicular, características físicas de las vías, seguridad de la zona para mantener los equipos e instrumental necesario para el levantamiento de datos, asimismo, se coordinó con el equipo técnico de la Comisión de Gestión Ambiental –CGA-, para establecer de manera conjunta los puntos de muestreo necesarios y que engloben o abarquen el área urbana de la ciudad. (Mapa 1).

Mapa 1.- Puntos de monitoreo de ruido vs. Densidad de tráfico



Elaborado por: Equipo técnico del IERSE – UDA

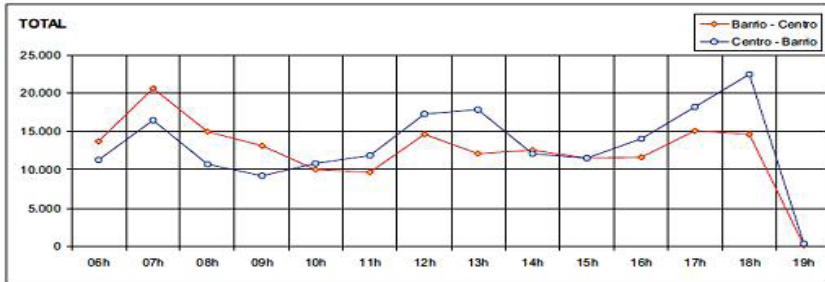
Para el área urbana de la ciudad de Cuenca se identificaron 30 puntos de muestreo, como se puede observar en el mapa anterior.

#### 3.2 Características de la medición

**Determinación del horario.-** Sobre la base del estudio realizado para el Sistema Integrado de Transporte y que fuera realizado por la Unidad Municipal de Trán-

sito y Transporte (UMT) (PADECO 1999), en el cual se establecen las frecuencias de entrada y salida de la población hacia y fuera de la zona céntrica, se determinaron los puntos picos críticos en donde se presenta el mayor flujo tanto de personas como de vehículos, como se puede observar en el siguiente gráfico (Figura 1):

Figura 1.- Frecuencia de entrada y de salida de la población desde y hacia la zona urbana de Cuenca



Fuente: Estudio del Sistema Integrado de Transporte – UMT

De acuerdo al gráfico anterior, en el cual se determinaron las horas picos de afluencia de personas y vehículos, se estableció el siguiente horario de levantamiento de datos (Tabla 1):

Tabla 1.- Horario de muestreos

Nº de muestreos por punto	1	2	3	4	5	6
Horario	7h00	10h00	13h00	15h00	18h00	21h00

Elaborado por: Equipo técnico del IERSE - UDA

**Método de medición.-** En la legislación ecuatoriana se cuenta con el Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULAS), en el Libro VI, Anexo V, en la cual se establecen los “Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas, fuentes móviles y para vibraciones”. Para las mediciones se siguieron las indicaciones establecidas en la citada norma y se realizaron durante treinta días, considerando un día por cada punto a levantar, incluidos los fines de semana y feriados. El periodo de toma de datos fue de 15 minutos en cada estación durante el horario indicado anteriormente (tabla 1).

**Datos obtenidos.**- Para cada punto de medición se registró el nivel de presión sonora promedio ( $L_{avg}$ ), el nivel de presión sonora máximo ( $L_{máx}$ ) y el nivel de presión sonora mínimo ( $L_{mín}$ ).

**Equipo utilizado.**- Para el levantamiento de datos se contó con el equipo proporcionado por la Comisión de Gestión Ambiental de Cuenca – CGA-, el mismo que consta de:

- Sonómetro QUEST TECHNOLOGIES SERIAL N°. BKG030036
- Porta micrófono
- Micrófono
- Pantalla rompe vientos
- Tira sujetadora de sonómetro
- Memory stick de 2 GB marca Sandisk

### 3.3 Cartografía de base

Como línea de base se partió de la generación de mapas temáticos para:

- Ubicación de los puntos de muestreo
- Límite urbano de la ciudad de Cuenca
- Parroquias urbanas de la ciudad
- Usos de suelo de la ciudad

### 3.4 Registro de mediciones

Se creó una base de datos con la información de las emisiones de ruido que se levantaron en los distintos puntos de muestreo.

### 3.5 Métodos de interpolación

Contando con la información levantada, para la generación del mapa de ruido se utilizaron las herramientas de análisis geoestadístico del programa ArcGIS 9.3.

Se determinó sobre la base de la interpolación de los datos obtenidos en los monitoreos de ruido, el comportamiento e influencia que tienen las emisiones de ruido en el territorio urbano de Cuenca. Para el efecto se utilizó el método geoestadístico “Kriging ordinario”.

**3.5.1 Kriging ordinario.**- Es un método basado en la auto correlación espacial de las variables. El Kriging es un estimador lineal insesgado, que busca generar superficies continuas a partir de puntos discretos, asume que la media aunque desconocida, es constante y que las variables son estacionarias y no tienen tendencias, permite la transformación de los datos, eliminación de tendencias y proporciona medidas de error. (Moreno, 2010).

### Predecir el ruido de un lugar con el método del kriging ordinario

El modelo del kriging ordinario es:  $Z(s) = \mu + \varepsilon(s)$ . El modelo está basado en una media constante de los datos ( $\mu$ ), (variable estacionaria) que no tienen tendencia y en unos errores  $\varepsilon(s)$  con dependencia espacial. La predicción de un lugar es:

$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(s_i)$ , donde  $\hat{Z}(s_0)$  es el valor pronosticado de un lugar,  $\lambda_i$  es un peso desconocido que tenemos que calcular para cada valor observado y  $z(s_i)$  es el valor observado en un lugar. El valor estimado se diferenciará lo menos posible del valor observado, esa diferencia se llama error de estimación. (Moreno 2010).

El procedimiento a seguir es:

#### Cálculo de distancias

Calcular las distancias entre puntos usando la fórmula de la distancia euclidiana:

$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$  la semivarianza empírica aplicando la fórmula  $\gamma = 0.5 * \text{promedio} [(valor\ del\ lugar\ i - valor\ del\ lugar\ j)^2]$ . (Moreno 2010).

#### Ajuste de modelo

Ajustar el modelo esférico al semivariograma empírico y así obtenemos el valor de la meseta (still) y del alcance (range) con los cuales podemos calcular los valores del semivariograma teórico. Este proceso lo hemos realizado mediante el Analista Geoestadístico, obteniendo los siguientes valores:  $\theta_s = 70.5$ ,  $\theta_r = 6000$ . Con ellos y aplicando la fórmula del modelo esférico donde se van calculando distintos valores de gamma para las diferentes distancias del semivariograma empírico, obtenemos los valores de semivariograma teórico. Así, construimos la matriz de los  $\gamma$ :  $\gamma_{ij}$  será la semivarianza teórica entre el punto i y el punto j.

La suma de los pesos sea igual 1:  $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ . Condición que luego deberá ser verificado.

### Obtención de la inversa de la matriz $\Gamma$

Para hallar los pesos  $\lambda_i$  hay que calcular la matriz inversa de la matriz  $\Gamma$ :

$$\Gamma * \lambda = g \quad \lambda = \Gamma^{-1} * g$$

La matriz inversa de una matriz A, es otra matriz  $A^{-1}$  de manera que  $A * A^{-1} = I$  donde  $I$  es la matriz identidad (la diagonal principal son todos unos y el resto de elementos son ceros). Sólo tienen inversa las matrices que tienen determinante distinto de cero. Dada una matriz  $A = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$  el número  $a*d - b*c$ , a ella asociado recibe el nombre de determinante de A y se denota  $|A|$ . (Moreno 2010).

Para hallar la inversa de la matriz  $\Gamma$  (y de cualquier matriz) se siguen los siguientes pasos:

- Se calcula el determinante de la matriz (si éste fuera cero no hay inversa).
- Se calcula la matriz adjunta de la matriz  $\Gamma$

### Cálculo del vector g

Calcular el vector g. Hallamos la distancia entre los puntos vecinos que se hayan establecido y el punto que se va a interpolar (lo llamamos punto 0). Utilizaremos para ello la fórmula de la distancia euclidiana. Calculadas las distancias determinamos los valores de la semivarianza teórica (valores de  $\gamma$ ), correspondientes a estas distancias aplicando el ajuste del modelo esférico cuyos parámetros (meseta y alcance) hemos obtenido mediante el Analista Geoestadístico.

Se añade el valor de 1 para verificar la condición de que  $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ ; al multiplicar la matriz gamma por el vector de los pesos, el vector resultante tiene como último elemento  $\sum_{i=1}^n \lambda_i$  que coincide con el último elemento del vector g que es 1, verificándose así la condición requerida.



## Obtención de los pesos

Hallar los pesos:  $\lambda = \Gamma^{-1} * g$

Comprobamos que la suma de los pesos  $\lambda_i$  es igual a 1:

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_n = 1$$

## Realizar la predicción

Para ello aplicamos la fórmula  $\hat{z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(s_i)$ . Siendo  $\hat{z}(s_0)$  el valor de la predicción del punto;  $z(s_i)$  es el valor de la predicción media anual en el punto i.

## 4 RESULTADOS OBTENIDOS

### 4.1 Diagnóstico de la situación actual

- Zonificación según usos del suelo del TULAS**

En el Libro VI, Anexo 5 del Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULAS) se consideran seis tipos de zona según uso del suelo, para el establecimiento de límites permisibles de contaminación sonora. (Ver tabla 2):

Tabla 2.- Límites permisibles según el TULAS

	Zona / Uso del suelo	Nivel de presión sonora (NPS) eq (dB(A))	
		06h00 - 20h00	20h00 - 06h00
1	Zona hospitalaria y educativa	45	35
2	Zona residencial	50	40
3	Zona residencial mixta	55	45
4	Zona comercial	60	50
5	Zona comercial mixta	65	55
6	Zona industrial	70	65

Fuente. Texto unificado de legislación ambiental - TULAS

En el análisis se distinguen dos períodos de medición, el diurno que comprende el horario desde las 06h00 hasta las 20h00 horas y el nocturno que abarca el período desde las 20h00 a las 06h00 horas.

La ciudad de Cuenca ha sufrido cambios vertiginosos en los últimos años sin que esta particularidad se evidencie en reformas oportunas en las ordenanzas de uso y ocupación del suelo urbano.

Las ordenanzas que establecen las determinantes de suelo son construidas como parte de un modelo de ciudad a futuro, sin que ello signifique que durante el transcurso de su elaboración se consideren temas como: salud, dinámicas económicas, composición de la población, por citar algunos ejemplos. En este sentido, los puntos de monitoreo fueron clasificados considerando las posibles afecciones a la salud del conglomerado humano que habita la zona de estudio, los equipamientos emplazados en el sitio, la dinámica del entorno, y; como referencia, el uso de suelo vigente.

Con la información levantada en las inspecciones realizadas a los sitios de muestreo, al analizar las dinámicas propias de las zonas circundantes a los sitios de muestreo se ha asumido para el presente estudio la siguiente clasificación de las zonas, en función de lo estipulado en el Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULAS) (Tabla 3).

Tabla 3.- Zonificación de acuerdo al TULAS

Nº	Punto medido (sector)	Clasificación según el TULAS	Nº	Punto medido (sector)	Clasificación según el TULAS
R_01	Estadio	Comercial	R_16	Vía a Simncay (Miraflores)	Residencial
R_02	Gapal	Residencial mixta	R_17	El Cebollar	Residencial
R_03	Aeropuerto	Comercial	R_18	Hospital del IESS	Hospitalaria
R_04	Tres Puentes	Residencial mixta	R_19	Plaza Bocatti	Residencial mixta
R_05	Frutilados (Remigio Crespo)	Comercial mixta	R_20	Col. Sagrados Corazones	Educativa
R_06	Hospital regional	Hospitalaria	R_21	Feria libre	Comercial mixta
R_07	Chauullabamba	Residencial	R_22	Estación de servicio Trinití (Isabel La Católica)	Educativa
R_08	Lagunas de oxigenación	Residencial	R_23	Indurama	Residencial mixta
R_09	Monumento a la familia	Residencial	R_24	Control Sur	Residencial mixta
R_10	Graiman	Industrial	R_25	FTAPA (Gran Colombia)	Comercial
R_11	Camal	Industrial	R_26	Cristo Rey	Residencial
R_12	Camino a Ochoa León	Residencial	R_27	Chola Cuencana	Comercial mixta
R_13	La Libertad	Residencial mixta	R_28	Vía Baños	Residencial
R_14	Los Cerezos Alto	Industrial	R_29	Bajada del Centenario	Comercial mixta
R_15	Camino al Tejar	Residencial mixta	R_30	Totoracocho	Residencial

Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE –UDA

A continuación se detalla el análisis de la información obtenida en las distintas zonas de la ciudad y que fue levantada en el horario descrito anteriormente; por cada zona se presentan los valores obtenidos y el nivel sonoro en comparación con la normativa ambiental.

#### 4.1.1 Zona comercial

La zona comercial la integran los puntos localizados en los sectores: estadio, aeropuerto y el cenáculo, cercano al del edificio de ETAPA-EP, calle Gran Colombia y Tarqui (Tabla 4).

Tabla 4.- Valores (dB) promedio correspondientes a las mediciones de ruido en zonas comerciales

Código	Sector	Calle 1	Calle 2	Mediciones Lavg (dB)					
				7h00	10h00	13h00	15h00	18h00	21h00
R_01	Estadio	Del Estadio	José Peralta	72,5	73,2	73,2	72,6	72,7	67,2
R_03	Aeropuerto	Av. España	Elia Liut	69	71,7	74,1	70,5	74,5	69,6
R_25	Cenáculo	Tarqui	Gran Colombia	74,1	69,8	72,2	68,4	69,3	66,6

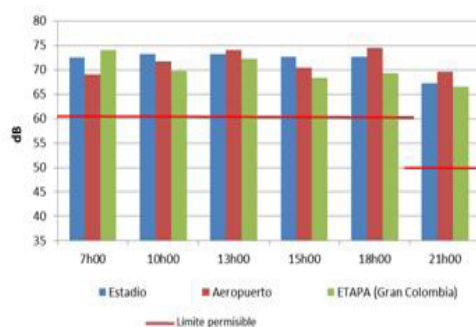
Fuente: Información generada en el proyecto

**Nivel de presión sonora.-** En relación con el período de medición diurno, ninguno de los sitios de monitoreo localizados en la zona comercial cumplieron con los límites estipulados en la norma técnica (véase gráfico correspondiente a la zona comercial).

El punto menos ruidoso en horas de la mañana fue el sector del aeropuerto, a pesar de que a esa hora la terminal aérea registra un importante movimiento. Esta situación cambia para las horas de la tarde, en donde se presentan los niveles de ruido más elevados respecto a los otros sectores evaluados (74,1 decibeles). El único punto de medición que mantiene niveles constantes de ruido durante el día fue el sector del estadio con un promedio de 72,84 decibeles. En esta misma zona, el horario de las 10h00 y 13h00 horas registran niveles iguales de ruido (73,2 decibeles).

Durante el día, el horario de las 13h00 horas fue el más ruidoso, registrando con 73,17 decibels en promedio. Durante el período nocturno, todos los sitios sobrepasaron el umbral señalado por la norma (50 dB) a pesar de la disminución significativa de tráfico vehicular en las zonas.

Figura N° 2.- Presión sonora – Zona comercial



Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE -UDA

#### 4.1.2 Zona comercial mixta

La zona comercial mixta la integran los puntos localizados en los sectores: feria libre, avenida Remigio Crespo, redondel de la Chola Cuencana y la bajada del Centenario (véase tabla 5).

Tabla 5.- Valores (dB) promedio correspondientes a las mediciones de ruido en zonas comerciales mixtas

Código	Sector	Calle 1	Calle 2	Mediciones Lavg (dB)					
				7h00	10h00	13h00	15h00	18h00	21h00
R_05	Frutillados	Remigio Crespo	Ricardo Muñoz	71,9	72,2	72,4	72,3	76	70,6
R_21	Feria libre	Av. de las Américas	Remigio Crespo	74,5	74,6	73,1	72,3	72,9	71,4
R_27	Chola Cuencana	Av. Huayna Cápac, Av. España	Gaspar Sangurima	73	79,5	74	74,3	71,4	67,6
R_29	Bajada del Centenario	Calle Larga	Benigno Malo	75,2	74,2	74,4	73,5	74,3	66,1

Fuente: Información generada en el proyecto

**Nivel de presión sonora.-** La zona comercial mixta abarcó cuatro sitios de monitoreo y las mediciones fueron realizadas en horarios diurno y nocturno. En el período de medición diurno, ninguno de los sitios de monitoreo establecidos cumplen con la normativa de ruido (véase gráfico correspondiente a la zona comercial mixta).

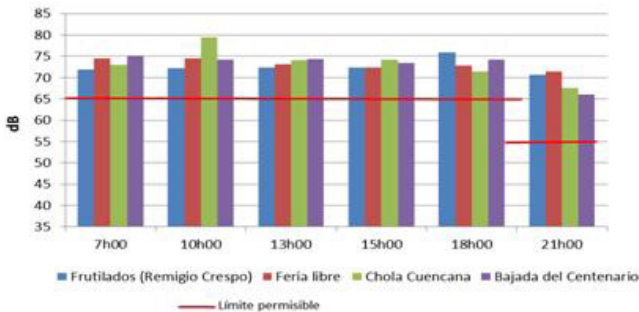
El sitio menos ruidoso en horas de la mañana lo constituyó la zona de la avenida Remigio Crespo, en tanto que el punto con mayor presión sonora fue el de la Chola Cuencana. Éste último llegó a registrar 79,5 decibels a las 10h00 horas, 14,5 decibels por encima del umbral permitido para este tipo de zonas (65 dB).

Debido a la dinámica del sector, la zona de la avenida Remigio Crespo (Fru-tilados) incrementa paulatinamente su presión sonora desde la mañana, llegando a registrar 76 decibeles en horas de la tarde (18h00 horas). Esta particularidad solo se presenta en este sitio y en ese período de tiempo.

Producto de las mediciones diurnas, el sector de la Chola Cuencana registra la mayor presión sonora con 74,44 decibeles promedio, seguida muy de cerca por el sector conocido con el nombre de la “Bajada del Centenario” con 74,32 decibeles promedio durante el día. El horario de las 10h00 horas es considerado como el de mayor ruido con mediciones promedio de 75,13 decibeles.

En relación con las mediciones nocturnas, todos los sitios monitoreados sobrepasan el límite de 55 decibeles fijado en la normativa (TULAS). El sector de la feria libre registra los mayores valores de ruido urbano sobrepasando los 70 decibels y excediendo en 6,4 decibels el límite permitido (55 dB).

Figura 3.- Presión sonora – Zona comercial mixta



Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE -UDA

### 4.1.3 Zona educativa y hospitalaria

La zona educativa y hospitalaria la integran los puntos localizados en los sectores en donde se asientan equipamientos estratégicos como son: Hospital regional, hospital del IESS, colegio Sagrados Corazones y el sector de la gasolinera Trinití ubicada en la calle Lope de Vega (Tabla 6).

Tabla 6.- Valores (dB) promedio correspondientes a las mediciones de ruido en zonas educativas y hospitalarias

Código	Sector	Calle 1	Calle 2	Mediciones Lavg (dB)					
				7h00	10h00	13h00	15h00	18h00	21h00
R_06	Hospital regional	Paseo Cañaris	Pumapungo	66	66,8	66,5	67,4	73,2	64,2
R_18	Hospital del IESS	Circunvalación Norte	Monay Paccha	74	71,9	77,9	72,7	72,2	74,8
R_20	Col. Sagrados Corazones	Paseo Tres de Noviembre	Simón Bolívar	78,2	75,2	75,3	73,1	77,3	77,3
R_22	Estación de servicio Trinití	Lope de Vega	Gaspar de Jovellanos	63,9	60,2	60,8	60,6	59,7	59,2

Fuente: Información generada en el proyecto

**Nivel de presión sonora.-** Para la zona educativa y hospitalaria se consideraron cuatro mediciones, de las cuales dos se localizan en áreas con infraestructura hospitalaria de gran afluencia. Ninguno de los cuatro sectores evaluados se ubicó dentro de lo establecido en la norma para el período diurno y nocturno (véase gráfico correspondiente a la zona educativa y hospitalaria).

El sector del hospital regional y el sector del colegio Sagrados Corazones demuestran interesantes similitudes, en ambos casos, están presentes infraestructuras educativas y equipamientos de salud. En ambos sitios se sobrepasa los límites de ruido permitidos. En las primeras horas de la mañana (7h00), el sector del colegio Sagrados Corazones registró los mayores valores de ruido ambiental (78,2 decibeles) en relación con el resto de puntos, presumiblemente por el ingreso de los estudiantes a este establecimiento educativo.

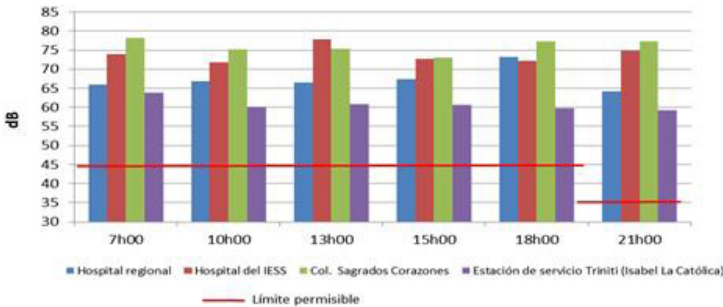
El comportamiento del ruido en el sector del hospital regional se mantiene

constante durante la mañana siendo en horas de la tarde en donde se incrementan los niveles sonoros, llegando a registrar hasta 73,2 decibeles, 28,2 decibeles sobre el límite estipulado en la normativa (45 dB).

Como resultado de las mediciones diurnas, el sector del colegio Sagrados Corazones se presenta como el más ruidoso con 75,82 decibeles promedio durante el día. El sector de la estación de servicio Trinití refleja los niveles de ruido más bajos, en promedio, 61,04dB durante el día.

En el período nocturno la situación lejos de mejorar se agrava pues en el punto del colegio Sagrados Corazones se sobrepasa la normativa con 42,3 decibeles. Similar situación se observa en el sector del hospital del IESS en donde los valores medidos sobrepasan en 39,8 decibeles el límite estipulado en el TULAS de 35 decibeles.

Figura 4.- Presión sonora – Zona hospitalaria y educativa



Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE -UDA

#### 4.1.4 Zona industrial

La zona industrial la integran los puntos localizados en los sectores: parque industrial (Graiman), el camal y los Cerezos Alto (véase tabla 7). Si bien los Cerezos es considerado dentro del estudio como una zona industrial mixta, para fines del diagnóstico se la considera como industrial (Tabla 7).



Tabla 7.- Valores (dB) promedio correspondientes a las mediciones de ruido en zonas industriales

Código	Sector	Calle 1	Calle 2	Mediciones Lavg (dB)					
				7h00	10h00	13h00	15h00	18h00	21h00
R_10	Graiman	Octavio Chacón	Carlos Tosi Siri	75,4	75,5	73,2	77	72,9	71,7
R_11	Camal	Camino Ochoa León		55,3	56,7	69,9	62,1	61,8	62,8
R_14	Los Cerezos Alto	De los Cerezos		70,2	62,3	70,8	76,3	72,5	64

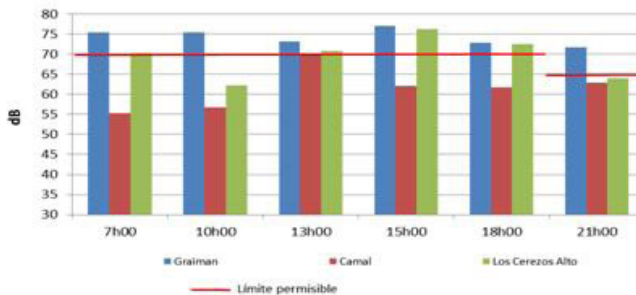
Fuente: Información generada en el proyecto

**Nivel de presión sonora.-** La zona industrial contempló tres sitios de monitoreo abarcando horarios diurnos y nocturnos de medición.

En general el nivel sonoro de la zona industrial se podría considerar como aceptable (véase gráfico correspondiente a la zona industrial). El único lugar que no sobrepasó los niveles permitidos en el período diurno (70 dB) ni nocturno (65 dB) fue el sector del Camal.

La zona en donde se emplaza Cerámicas Graiman es el lugar más ruidoso de los sitios evaluados, registrando un promedio de 74,28 decibeles en las seis mediciones. En este mismo punto, las 15h00 horas registran el nivel de ruido más alto con 77 decibeles.

Figura 5.-Presión sonora – Zona industrial



Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE -UDA

### 4.1.5 Zona residencial

La zona residencial la integran los puntos localizados en los sectores: Chaulabamba, Lagunas de Oxigenación de ETAPA, monumento a la familia, Miraflores, El Cebollar, Cristo Rey, vía a Baños, Totoracocha y camino a Ochoa León (Tabla 8).

Tabla 8.- Valores (dB) promedio correspondientes a las mediciones de ruido en zonas residenciales

Código	Sector	Calle 1	Calle 2	Mediciones Lavg (dB)					
				7h00	10h00	13h00	15h00	18h00	21h00
R_07	Chaulabamba	Autopista Cuenca Azogues	Triángulo de Chaulabamba	77,4	72,6	75,3	75,1	72,9	70,6
R_08	Lagunas de Oxidación	Camino a Paccha	Ucubamba	80,7	77,1	76,5	76,8	76,5	74,9
R_09	Monumento a la familia	Av. González Suarez	Panamericana Norte	72,5	75,3	71	70,2	72,3	60,3
R_12	Camino a Ochoa León	Camino a Ochoa León	Vía a Checa	36,6	55,6	45,9	57,1	49,8	49,7
R_16	Vía a Sinincay (Miraflores)	Julio Jaramillo	Vía a Sinincay	74,1	68,8	62,9	63,6	65,6	67,4
R_17	El Cebollar	Av. del Chofer	Av. Abelardo J. Andrade	69,4	72,2	76,2	72,5	73,6	55,5
R_26	Cristo Rey	Luis Cordero	Juan de Salinas	67,4	67,3	67,4	61	65,3	56,5
R_28	Vía Baños	Juan Larrea Guerrero	Mariano Villalobos	63,8	64	57,6	65,9	55,9	48,1
R_30	Totoracocha	Totoracocha	Av. el Cóndor	65,6	65,6	64,1	67,9	66,8	64

Fuente: Información generada en el proyecto

**Nivel de presión sonora.-** La zona residencial abarcó nueve sitios de monitoreo con mediciones realizadas en horarios diurno y nocturno, la mayoría de los sitios evaluados no cumplen con los límites de ruido establecidos en la normativa, únicamente el sector de Ochoa León presenta tres de las seis mediciones por debajo del umbral de los 50 decibeles, para el período diurno y 40 decibeles para el nocturno (véase gráfico correspondiente a la zona residencial).

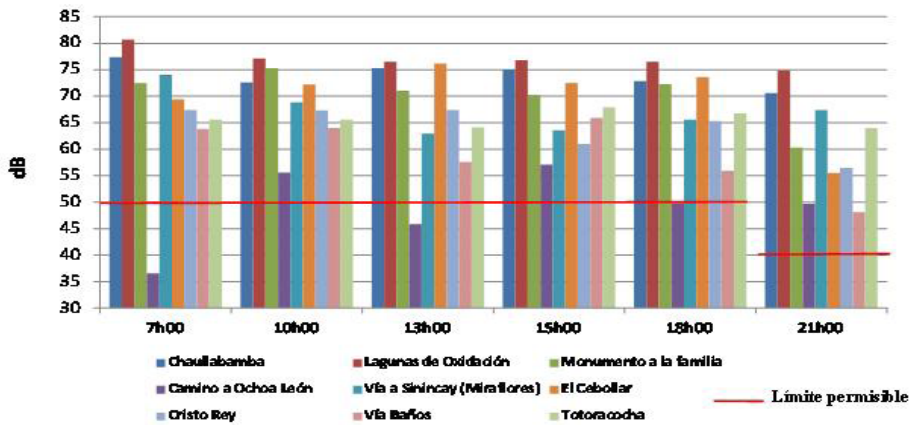
El sitio que reportó el mayor nivel de ruido en todos los horarios de medición fue el punto localizado en las lagunas de oxigenación de ETAPA-EP, con un promedio general de 77,08 decibeles, 27,08 decibeles por encima de la norma.

Otro de los puntos que llama la atención y que registra elevados niveles de ruido es el sector de Chaulabamba, con 74,66 decibeles promedio durante el día. A pesar de que el sitio cuenta con amplios espacios abiertos que en teoría ayudarían

a disminuir los niveles de presión sonora, es uno de los más elevados, lo que indica que la zona está sometida a una fuerte presión sonora. Se evidencia la necesidad de analizar más detenidamente las posibles fuentes de ruido, fijas y móviles.

El sitio con menores niveles de ruido registrado durante el día fue el sector de Ochoa León con un promedio de 49 decibles; el horario de las 7h00 es el que registra el menor valor con 36,6 decibles. Para el período nocturno, este punto también registra los niveles más bajos con 49,7 decibels. A pesar de estar sometidos a la dinámica urbana y los niveles de presión sonora urbana, los sectores de Miraflores, el Cebollar y Cristo Rey presentan niveles de ruido inferiores a los registrados en los puntos de Chaullabamba y las lagunas de oxigenación, considerados como puntos en áreas periféricas y de espacios abiertos.

Figura 6.- Presión sonora – Zona residencial



Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE -UDA

El punto que mayor ruido registra en el horario nocturno fue el de las lagunas de oxigenación con 74,9 decibeles, 24,9 decibeles por encima del límite establecido en el TULAS. Este valor se considera sumamente elevado en relación con las mediciones registradas en los otros puntos.

#### 4.1.6 Zona residencial mixta

La zona residencial mixta la integran los puntos localizados en los sectores: Gapal, Tres Puentes, La Libertad, camino al Tejar, Plaza Bocatti, control sur e Indurama (véase tabla 9).

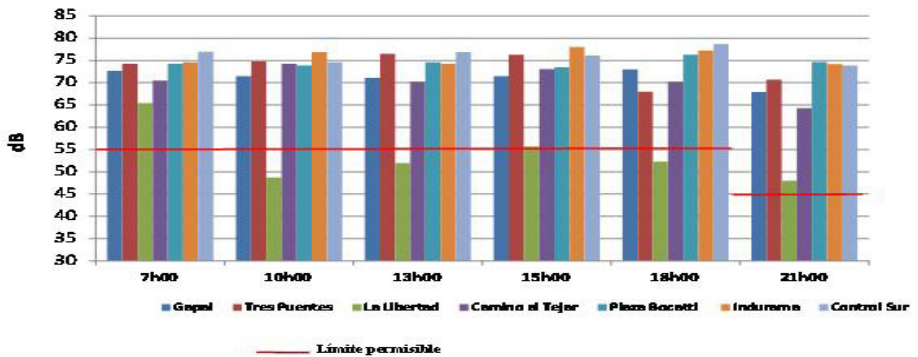
Tabla 9.- Valores (dB) promedio correspondientes a las mediciones de ruido en zonas residenciales mixtas

Código	Sector	Calle 1	Calle 2	Mediciones Lavg (dB)					
				7h00	10h00	13h00	15h00	18h00	21h00
R_02	Gapal	Av. 24 de mayo	Las Herrerías	72,7	71,5	71,1	71,5	73	67,9
R_04	Tres Puentes	Primero de Mayo	Fray Vicente Solano	74,3	74,8	76,5	76,3	68	70,7
R_13	La Libertad	Av. Ordoñez Lazo	Rio Culebrillas	65,4	48,7	52	55,7	52,3	48
R_15	Camino al Tejar	Av. Ordoñez Lazo	Camino al Tejar	70,5	74,3	70,2	73,1	70,2	64,3
R_19	Plaza Bocatti	Paseo de los Cañaris	González Suarez	74,3	73,9	74,6	73,5	76,3	74,7
R_23	Indurama	Av. de las Américas	Don Bosco	74,6	76,9	74,3	78	77,2	74,2
R_24	Control Sur	Av. de las Américas	Circunvalación Sur	77	74,6	76,9	76,1	78,7	73,9

Fuente: Información generada en el proyecto

**Nivel de presión sonora.-** La zona residencial mixta abarcó cuatro sitios de monitoreo con mediciones realizadas en horarios diurno y nocturno.

Figura 7.- Presión sonora – Zona residencial mixta



Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE -UDA

Casi todos los sitios evaluados no cumplen con los límites de ruido establecidos, únicamente el sector La Libertad presenta cuatro de las seis mediciones por debajo del umbral de los 55 decibeles para el período diurno y 45 decibeles para el nocturno (véase gráfico correspondiente a la zona residencial mixta).

En promedio, el horario que denota mayor presión sonora es el de las 7h00 horas, registrando valores de 72,7 decibeles, 17,7 decibeles por encima de lo estipulado en la normativa (55 dB). Los horarios de las 7h00 y 15h00 horas presentan en promedio niveles de ruido similares con más de 72 decibeles en ambos casos.

El sector de los Tres Puentes soporta un nivel de ruido promedio de 73,43 decibeles, superando en 18,43 decibeles el límite establecido. Esta situación estaría influenciada en gran manera por los cuellos de botella vehiculares que se generan en el sector sobre todo durante el día.

**Síntesis.-** Se puede observar que en los distintos puntos muestreados, ya sea con la zonificación realizada que tomó como base la ordenanza de uso y ocupación del suelo, así como la que incorpora además criterios de las dinámicas de cada sector, sobre la base de inspecciones realizadas, indican emisiones sonoras elevadas, que por lo general están sobre la norma establecida por el Texto Unificado de Legislación Ambiental.

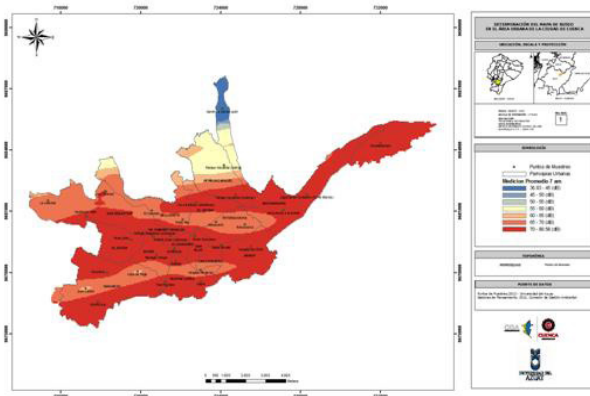
## 4.2 Resultados del método de interpolación

Con la información levantada y posteriormente sistematizada se realizaron las interpolaciones correspondientes, aplicando el método geostadístico denominado “Kriging”, cuyo procedimiento de aplicación fue descrito en un acápite anterior.

### 4.2.1 Mapas generados

Los mapas generados con la utilización del Kriging en seis horarios: 7h00, 10h00, 13h00, 15h00, 18h00 y 21h00, son los siguientes:

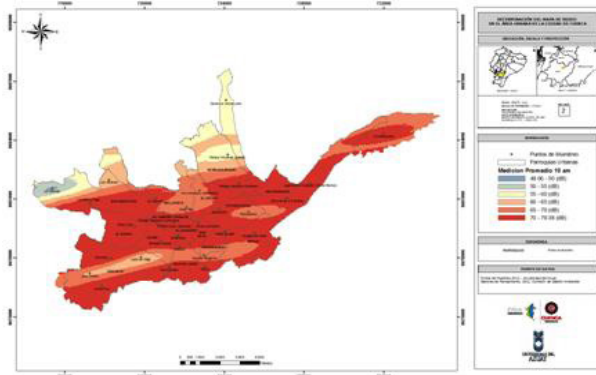
Mapa 2.- Medición de ruido en el horario 7h00



Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE -UDA

En el horario de las 7h00, en la ciudad de Cuenca se presentan emisiones sonoras que van desde un mínimo de 36,83 dB a un máximo de 80,58 dB.

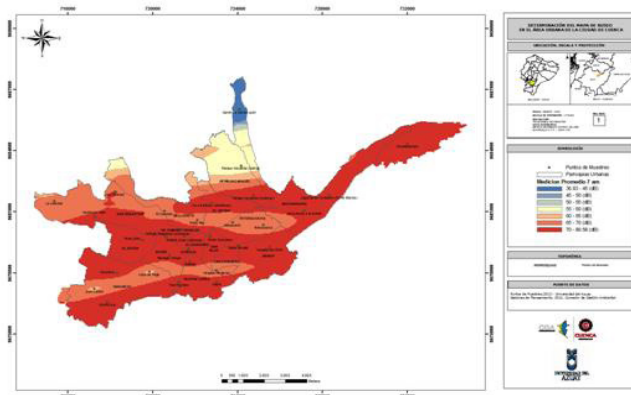
Mapa 3.- Medición de ruido en el horario 10h00



Elaborado por el equipo técnico del IERSE -UDA

En el horario de las 10h00 el mínimo valor de emisión está por el orden de los 49,06 dB y un máximo de 79,38 dB.

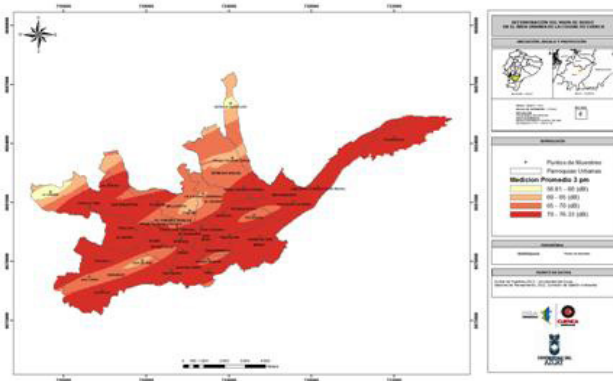
Mapa 4.- Medición de ruido en el horario 13h00



Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE -UDA

En el presente mapa se representan los valores mínimos en color azul con (45,98 dB) en tanto que se presenta un máximo en color rojo que llega a (77,93 db).

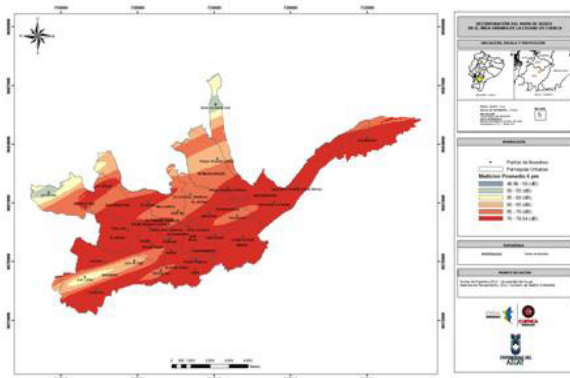
Mapa 5.- Medición de ruido en el horario 15h00



Elaborado por el equipo técnico del IERSE -UDA

Para el horario de las 15h00 se parte de una emisión mínima de 56,81 dB hasta un máximo de 76,33 dB.

Mapa 6.- Medición de ruido en el horario 18h00

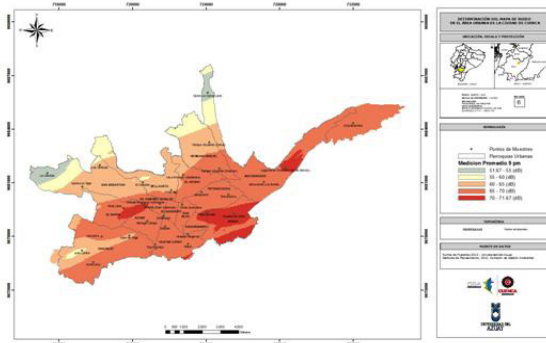


Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE -UDA

Para las 18h00 la emisión sonora varía desde un mínimo de 49,98 dB, hasta un máximo de 78,64 dB.



Mapa 7.- Medición de ruido en el horario 21h00



Elaborado por el equipo técnico del IERSE -UDA

En el horario de las 21h00, la emisión sonora mínima es de 51,67 dB hasta un máximo de 71,67 dB.

En los mapas generados se pueden observar los niveles de contaminación sonora que se presenta en la Ciudad, en los horarios comprendidos entre las 7h00 y las 18h00, existen emisiones altas de ruido en todo el centro urbano de la ciudad; en tanto que a las 21h00, éstas bajan, sin embargo zonas como la de las lagunas de oxigenación de ETAPA, el sector del redondel de la Av. Paseo de los Cañaris y Max Uhle, el sector de Indurama mantienen emisiones por sobre la norma del TULAS, durante todo el día.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca a través de la Comisión de Gestión Ambiental necesita contar con información que demuestre el grado de contaminación acústica existente en el área urbana de Cuenca, para lo cual se ha partido de la determinación de sitios de mayor conflictividad en relación con la presencia de tráfico vehicular, lo cual combinado a la presencia de industria, comercio, vivienda, han dado lugar a establecer de manera estadística el nivel de emisiones sonoras.

Se determinaron 30 puntos de monitoreo que formaron una red que cubre

el área urbana de Cuenca, en estos puntos se realizaron los muestreos correspondientes. Se tomó como referencia para comparar los límites de las emisiones, la ley existente a nivel nacional como es el Texto Unificado de Legislación Ambiental. Los valores levantados obtenidos in situ, de acuerdo con su ubicación y uso de suelo demuestran que las emisiones de ruido, están sobre las normas en la mayor parte de los puntos analizados tanto en el día como en la noche, lo cual es un indicador que requiere especial atención e intervención con el propósito de disminuir o controlar para que estas emisiones no sigan subiendo.

Se debe dejar constancia que por motivos del presente estudio, los puntos determinados fueron en vías principales, en donde existe la presencia de un tráfico alto, en tanto que queda pendiente realizar estudios en vías secundarias con menor afluencia vehicular.

En relación al método utilizado para el modelamiento se utilizó el denominado método **Kriging ordinario**, el cual está basado en auto correlación espacial de las variables. El Kriging es un estimador lineal insesgado que busca generar superficies continuas a partir de puntos discretos, el mismo asume que la media aunque desconocida, es constante y que las variables son estacionarias y no tienen tendencias, permite la transformación de los datos, eliminación de tendencias y proporciona medidas de error. (Moreno 2010).

Del modelamiento realizado se han podido localizar los sitios en donde se presenta una mayor presión sonora a lo largo del día, observándose manifestaciones permanentes en sitios como son: autopista Cuenca – Azogues, control sur, sector de Indurama. En los restantes sitios la manifestación sonora varía de media a alta, determinándose que las emisiones de ruido son estables en la ciudad a lo largo de todo el día.

El 99% de los puntos no cumplen los límites permisibles de ruido ambiental establecido en el TULAS. La presión sonora sobre zonas escolares y hospitalarias según los datos del estudio es alarmante y sugiere la necesidad de plantear políticas que logren revertir esta situación.

Los niveles de ruido percibidos en sectores residenciales son igualmente preocupantes según la norma del TULAS, sobre todo si las zonas son consideradas como de reposo y descanso para las personas. Las dinámicas comerciales y la in-

fraestructura presente en cada sector estarían influenciando de manera significativa en los niveles sonoros en cada punto.

## 5.2 Recomendaciones

Organizar el transporte público en la ciudad, para lo cual se deberá diseñar un sistema de movilidad pública que garantice la disminución de emisiones sonoras, producto de la circulación vehicular, así como el planteamiento de políticas de movilidad, tomando como base el mapa de ruido generado.

Promover un programa de educación vial para los transportistas y los usuarios, de tal manera que se optimice el uso de las paradas.

Se recomienda tomar en consideración la importancia de la valoración del ruido en los procesos de planificación urbana, la necesidad de incrementar los espacios verdes y masas arbóreas como barreras naturales que mitiguen la contaminación acústica, asimismo incluir en los diseños de las vías a las ciclovías que llevarían a contar con un tipo de movilidad alternativa sin contaminación.

Educar a los propietarios de comercios y a los conductores de vehículos particulares, en el uso de equipos sonoros y bocinas.

Controlar las emisiones generadas por los establecimientos comerciales e industriales, para que sobre la base de tecnologías disminuyan la contaminación de ruido.

La Comisión de Gestión Ambiental del GAD Municipal de Cuenca al contar con la información del mapa de ruido y una vez que se implemente la propuesta de monitoreo permanente podrá emprender en estudios complementarios que relacionen las emisiones sonoras con la salud de la población, con la densidad del tráfico vehicular, etc.

Asimismo deberá emprender en la realización de mediciones periódicas en otros puntos de monitoreo, en donde las densidades de tráfico sean menores, a fin de establecer comparaciones y tendencias.

Elaborar una normativa local sobre las emisiones de ruido, que garantice la paz pública y la salud de la población, siendo necesario también realizar una

revisión de la normativa nacional TULAS, a fin de establecer los límites de las emisiones sonoras de acuerdo a cada territorio y sobre todo tomando en consideración las dinámicas de cada población o asentamiento humano. La normativa local permitirá realizar una mejor correspondencia entre los usos de suelo evaluados en el TULAS y el uso y ocupación del suelo regulado vía ordenanza local.

Con el propósito de mejorar la calidad de los monitoreos es necesario realizar labores de reconocimiento de la zona a levantar. Esta rutina contempla la observación de particularidades locales como rutina de la gente, flujos comerciales, fuentes potenciales de ruido y tipo de ruido a ser percibido. Los trabajos emergentes realizados sobre las vías podrían alterar las mediciones de la zona evaluada por lo que se deberá tomar las mediciones a una distancia adecuada del foco principal de ruido o redistribuir el itinerario en caso de ser factible.

El número de mediciones necesarias en un punto variará en función del tipo de ruido presente en la zona y las condiciones ambientales del lugar. Si el ruido es fluctuante la mayor parte del tiempo (presencia de ruidos esporádicos o silbido del viento por ejemplo), el tiempo de estabilización del equipo será mayor. De igual manera, si existen ruidos esporádicos fuertes como el paso de una ambulancia o un accidente de tránsito, será necesario volver a medir el sitio.

Es indispensable mejorar el control y cumplimiento de la ordenanza que regula y controla la ocupación de las vías públicas por los vehículos motorizados dentro del cantón Cuenca y el funcionamiento del Sistema de Estacionamiento Rotativo Tarifado y el parqueo indebido (SERT), parte de los problemas de ruido están ligados al embotellamiento vehicular de ciertas zonas producto de la carga y descarga de vehículos fuera del horario permitido.

Si bien la ley de tránsito y transporte en el capítulo V. Art. 191, fija los límites de velocidad urbanos para transporte liviano, público y de carga, no fue sino hasta el 25 de julio de 2012 que el reglamento general para su cumplimiento fue aprobado. Por esta razón es imperativo que los futuros análisis de ruido urbano tengan en cuenta esta consideración sobre todo si se compara con monitoreos anteriores a esa fecha.

Se recomienda tomar en consideración la importancia de la valoración del ruido en los procesos de planificación urbana, la necesidad de incrementar los es-

pacios verdes y masas arbóreas como barreras naturales contra la contaminación acústica.

### **Agradecimiento:**

Especial reconocimiento a los siguientes profesionales: Ing. Nathaly Cerdillo, Ing. Esteban Balarezo, Ing. Chester Sellers que formaron parte del equipo técnico que elaboró el presente proyecto.

## **6 BIBLIOGRAFÍA**

- Ministerio del Ambiente. (2003). Libro VI Anexo 5 De la Calidad Ambiental. *En Texto Unificado de Legislación Ambiental* (pág. 13). Quito.
- Organización Mundial de la Salud. (2012). *OMS*. Recuperado el 29 de 06 de 2012, de <http://www.who.int/es/>
- Platzer, L., Iñiguez, R., Cevo, J., & Ayala, F. (2007). Medición de los niveles de ruido ambiental en la ciudad. *Orrinolarinología*(67), 122-128.
- Fundación Natura; CUENCAIRE; Comisión de Gestión Ambiental;. (2009). *Inventario de emisiones atmosféricas del cantón Cuenca, año base 2007*. Técnico, Ilustre Municipalidad de Cuenca, Cuenca.
- González, A. E., Gaja, E., Jorysz, A., & Torres, G. (2000). Monitoreo de ruido urbano: determinación del tiempo mínimo de muestreo en la ciudad de Montevideo, Uruguay. *Acústica*, 6.
- Ibarluzea Maurologoitia, J., Larrañaga Padilla, I., & Aspuru Soloaga, I. (2004). Percepción del ruido por la población residente en el entorno de la bahía de Pasaia. *Salud Ambiental*, 61-69.
- Krauss, F. (2003). *Metodología para la evaluación del ruido por tráfico vehicular en zonas urbanas*. Universidad Santiago de Chile. Santiago: Universidad Santiago de Chile.
- Londoño, C. A. (2009). Diseño de la red de vigilancia de ruido para los municipios que conforman el área metropolitana del valle de Aburrá. *Revista Ingeniería*

*ías Universidad de Medellín, 22-38.*

- Ministerio del Ambiente. (2003). Libro VI Anexo 5 De la Calidad Ambiental. En Texto Unificado de Legislación Ambiental (pág. 13). Quito. Ministerio del Ambiente. (2003). Libro VI Anexo 5 De la Calidad Ambiental. *En Texto Unificado de Legislación Ambiental* (pág. 13). Quito.
- Morán, C. J. (2009). Convivencia sustentable en zonas urbanas. En C. I. Quito, & C. J. Morán (Ed.), *Quito, desarrollo para la gente* (págs. 67-101). Quito: Instituto de la Ciudad.
- Organización Mundial de la Salud. (2012). OMS. Recuperado el 29 de 06 de 2012, de <http://www.who.int/es/>
- Moreno, Jiménez; (2010). Sistemas de análisis de la información geográfica; Madrid, Editorial RAMA.
- Platzer, L., Iñiguez, R., Cevo, J., & Ayala, F. (2007). Medición de los niveles de ruido ambiental en la ciudad. *Otorrinolaringología*(67), 122-128.
- Platzer, L., Iñiguez, R., Cevo, J., & Ayala, F. (2007). Medición de los niveles de ruido ambiental en la ciudad de Santiago de Chile. *Revista de otorrinolaringología*(67), 122-128.