

Análisis de Partículas Sedimentables y Niveles de Presión Sonora en el área urbana y periférica de Cuenca

Sedimentable Particles and Sonoric Pressure Analysis in Cuenca Urban and Peripheral Area

Danilo Mejía^{1,2}, Ronny Zegarra², Ana Astudillo^{1,2}, Diana Moscoso^{1,2}

¹ Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca

² Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca

*danilo.mejia@ucuenca.edu.ec

Recibido: 18-09-2018. Aceptado después de revisión: 13-11-2018

Resumen:

La contaminación del aire y generación de ruido por el transporte en las zonas urbanas son factores ambientales de riesgo para la salud pública. El material particulado emitido por dichas fuentes está relacionado al desarrollo de enfermedades cardiopulmonares, cáncer y alteraciones a nivel genético. De igual manera, niveles elevados de ruido están relacionados a la generación de trastornos cognitivos y producción de estrés. La legislación ambiental del Ecuador utiliza al material particulado sedimentable como un criterio de calidad del aire. Se establece un límite máximo de $1 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$, al igual que límites para el ruido de acuerdo con el uso de suelo. El presente estudio se enfoca en determinar las concentraciones de material particulado sedimentable, paralelo al monitoreo de ruido en horas de alto tráfico vehicular en la zona urbana de la ciudad de Cuenca. Tras lo cual se determinó el incumplimiento de los límites establecidos para ambos contaminantes atmosféricos. Además, se analizó la relación entre el material particulado sedimentable y ruido, y finalmente se estudió la variación de las concentraciones de material particulado y niveles de ruido con respecto al uso de suelo.

Palabras claves: calidad del aire, material particulado, contaminación acústica, Cuenca

Abstract:

Air pollution and noise generated by transport in urban areas are public health risk environmental factors. Particulate matter emitted by those sources is related with development of cardiopulmonary diseases, cancer and alterations at genetic level. In the same context, elevated noise levels are related to the generation of cognitive transtorns and stress production. Ecuador environmental law use sedimentable particulate matter as a criterion for air quality. It stablishes a maximum limit of $1 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$, likewise limits for noise according land use. Present study focuses on determining particulate matter concentrations and monitoring of noise in high traffic hours in the central and peripheric urban zone of Cuenca city. After this, no accomplishment of stablished limits for both atmospheric pollutants were determined. Also, a relation between sedimentable particulate matter and noise was analized, and finally, the variation of particulate matter concentrations and noise levels regarding land use was studied.

Keywords: air quality, particulate matter, noise pollution, Cuenca

1. Introducción

Según las últimas estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre la carga mundial de morbilidad, la contaminación del aire exterior e interior provoca unos siete millones de defunciones prematuras anuales [1]. La contaminación del aire constituye en la actualidad uno de los principales problemas ambientales de las zonas urbanas en el mundo, tanto en los países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo; en los primeros, por un alto volumen y diversificación de la producción industrial y un flujo intenso de vehículos automotores, mientras que en los segundos por causa del desarrollo no planificado de las escasas industrias, el uso de tecnologías obsoletas en la producción, los servicios y el transporte, la mala calidad del saneamiento básico y el crecimiento urbanístico desordenado [2]. En el Ecuador, la contaminación del aire tiene sus causas en las deficiencias de algunos aspectos relacionados con la planificación territorial de los asentamientos humanos, las industrias, la utilización de tecnologías obsoletas en las actividades productivas y de transporte, mala calidad de los combustibles, explotaciones mineras a cielo abierto, entre otras [2].

El Material Particulado (PM), es uno de los contaminantes atmosféricos que representa una mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos suspendidos en el aire, que pueden variar significativamente en tamaño, forma y composición dependiendo fundamentalmente de su origen [3]. Los efectos a la salud humana tras la exposición a dicho contaminante, han sido investigados extensivamente y se han asociado con la generación de problemas respiratorios, exacerbación de enfermedades cardiovasculares e incluso daños genéticos, aumentando la morbilidad en la población [3, 8], además de estar estrechamente relacionado con la creciente incidencia del cáncer, especialmente de pulmón [10].

El tráfico vehicular ha sido identificado como una fuente principal de contaminación atmosférica debido a la emisión de los gases de combustión de los vehículos particulares y de transporte público, que influyen en las concentraciones de material particulado con diámetro aerodinámico igual o menor a 10 micrómetros (PM10) y 2.5 micrómetros (PM2.5) [11]. Además, la presencia continua de tráfico vehicular representa un 70% del ruido total en Cuenca [12], existiendo un incremento del 78% de los niveles de ruido en el año 2015 en comparación con el año 2014, generalmente en horas pico (13h00 y 18h00) [13]. Las medidas adoptadas hasta la actualidad son a nivel de ordenanza, donde establece a la Empresa de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV EP) como la responsable del control de fuentes móviles [14]. Los efectos directos de los altos niveles de ruido son directos en la salud mental, dolor, deterioro o daños permanentes del oído, o incluso hasta daños psicológicos [15].

De esta manera, el Centro de Estudios Ambientales (CEA) de la Universidad de Cuenca, ha realizado investigaciones referidas a la calidad del aire ambiente de la ciudad de Cuenca, evidenciando que el material particulado tiene como parte de su composición metales pesados (Mg, Zn, Al, Cr, Ni, Cd, Mn) y aniones (cloruros, nitratos y sulfatos), comprobando la existencia de daños fitotóxicos y genotóxicos a nivel vegetal y celular respectivamente en bioensayos que emplearon extractos acuosolubles de Partículas Totales Suspendidas (MPS) y PM10 recolectados del aire ambiente de la ciudad [16], [17]. Sin embargo, las investigaciones desarrolladas por el CEA se han centrado en recolectar muestras de MPS y material particulado PM10 en zonas del área urbana de la ciudad de Cuenca, no existiendo registros de concentraciones en el área rural o periurbana.

En este contexto, el presente estudio tiene por objetivo determinar las concentraciones de material particulado sedimentable y niveles de ruido presentes y relacionar dichas concentraciones con los usos de suelo planteados en el Plan de Ordenamiento Territorial.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de Estudio

El área de estudio comprende la zona urbana de la ciudad de Cuenca, en la cual se ubicaron 30 puntos de monitoreo para material particulado sedimentable y presión sonora considerando el uso de suelo (figura 1). La ciudad está ubicada al sur de la república del Ecuador, en el valle de los Andes, a una altura promedio de 2560 metros sobre el nivel del mar. La extensión urbana es aproximadamente de 72 kilómetros cuadrados y alberga una población de 332.000 habitantes [18].

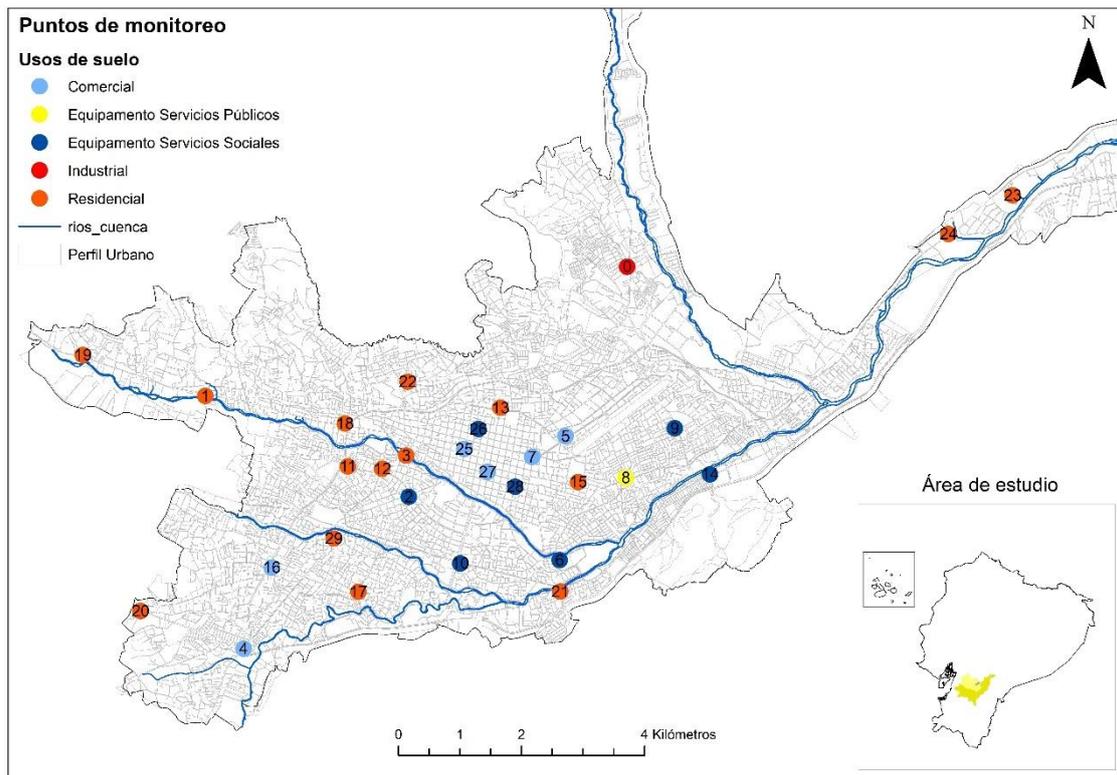


Figura 1: Área de estudio y puntos de monitoreo

Los sitios de monitoreo fueron seleccionados considerando paradas de transporte público urbano y rural de la ciudad y en base a estudios retrospectivos de nivel de presión sonora (NPS) [19].

2.2. Determinación de material sedimentable

La colección de material particulado sedimentable (MPS) fue realizada durante 30 días de forma continua y simultánea en cada punto durante el mes de enero del año 2015. Se colocó un contenedor abierto de aproximadamente 18 cm de diámetro interno a una altura mayor de 1,2 metros sobre el nivel del suelo como lo establece el Anexo 4 del libro VI Acuerdo Ministerial 097A [20].

Se determinó las concentraciones de MPS tras un análisis gravimétrico de las muestras obtenidas. Las partículas colectadas se clasificaron en insolubles y solubles, mediante

pesos ganados en filtros de 47 mm (filtros de microfibra de cuarzo) y cápsulas de porcelana tras la evaporación del líquido de lavado y filtrado. La concentración total es la suma de las partículas solubles e insolubles normalizadas con respecto al área del envase y finalmente es corregida a condiciones de presión de 1 atmósfera y 25 °C, expresados en miligramos por centímetro cuadrado por mes ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{mes}^{-1}$) [20].

2.3. Determinación de los niveles de presión sonora (NPS)

Se realizaron mediciones de NPS de forma paralela al monitoreo de MPS, siendo estas de lunes a viernes en horas de alto tráfico vehicular (11h00 a 13h00). Cada medición presentó una duración de 15 segundos a lo largo de una hora. Se utilizó para las mismas, un sonómetro Testo 350 con un rango de medición de 30 a 110 dB, ubicado a una altura de 1,5 metros sobre el nivel del suelo y a una distancia mínima de cuatro metros de cualquier obstáculo como muros u objetos que puedan afectar la medición, como lo establece la metodología para la medición, cuantificación y determinación de nivel del ruido para fuentes fijas (Anexo 5 del TULSMA) [21].

2.4. Relación entre los contaminantes atmosféricos y uso de suelo.

Se utilizó el software Excel ® para la tabulación de los datos y el software R versión 3.4.4. con su interfaz RStudio para el análisis estadístico.

Para determinar dependencia de las variables MPS y NPS se utilizó un modelo de regresión lineal. El análisis de estas variables con respecto al uso del suelo se realizó aplicando pruebas paramétricas (análisis de varianza a una vía) y no paramétricas (Kruskal-Wallis) de acuerdo con la normalidad de los datos.

2.5. Generación de mapas de MPS y NPS

Se elaboraron mapas de material particulado y presión sonora mediante el uso del método de interpolación geostadístico denominado Kriging ordinario, que determina valores para cada ubicación a través de un ajuste a los datos dados.

3. Resultados y Discusión

3.1. Resultados del monitoreo

Los puntos de monitoreo seleccionados se ubicaron mayoritariamente en un uso de suelo residencial (50 %), seguido por equipamiento de servicios sociales y públicos (27 %), finalmente con un 20 % en uso de suelo comercial y un 3 % en industrial.

A continuación, la tabla 1 muestra los puntos de monitoreo con sus respectivas coordenadas (UTM 17S), uso de suelo y resultados de MPS ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) y NPS (dBA).

Tabla 1: Resultados MPS y NPS

FID	CÓDIGO	X	Y	MPS ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$)	NPS (dBA)	Uso de suelo
0	MCA01	724133,58	9682870,48	1,65	68,3	Industrial
1	MCA02	717275,96	9680752,47	6,20	62	Residencial
2	MCA04	720582,03	9679098,9	0,35	70,5	Equipamiento Servicios Sociales
3	MCA05	720542,22	9679775,59	0,49	72,1	Residencial
4	MCA06	717897,559	9676612,01	0,25	73,4	Comercial
5	MCA07	723131,64	9680091,76	2,03	62,9	Comercial
6	MCA09	723037,05	9678060,71	0,33	70	Equipamiento Servicios Sociales

7	MCA11	722589,576	9679751,98	3,54	67,9	Comercial
8	MCA13	724113,18	9679411,44	2,64	70,2	Equipamiento Servicios Públicos
9	MCA14	724907,86	9680221,7	1,34	76,2	Equipamiento Servicios Sociales
10	MCA17	721422,03	9678008,9	0,2	69	Equipamiento Servicios Sociales
11	MCA19	719592,03	9679598,9	0,39	68,8	Residencial
12	MCA21	720152,03	9679558,9	0,47	71,9	Residencial
13	MCA22	722075,47	9680558,03	0,34	70,1	Residencial
14	MCA23	725480,572	9679467,96	0,58	73,4	Equipamiento Servicios Sociales
15	MCA24	723338,573	9679341,97	0,67	72,4	Residencial
16	MCA25	718355,95	9677942,54	0,47	71,5	Comercial
17	MCA27	719764,06	9677543,46	0,22	72,2	Residencial
18	MCA28	719545,15	9680300,69	1,31	74,2	Residencial
19	MCA29	715284,2	9681423,39	4,32	72,5	Residencial
20	MCA30	716222,73	9677228,52	0,21	71	Residencial
21	MCA31	723045,561	9677546,97	0,41	64,2	Residencial
22	MCA32	720567,586	9680984,99	0,44	69,6	Residencial
23	MCA33	730400,617	9684040,38	4,07	67	Residencial
24	MCA34	729358,408	9683406,77	1,92	73,1	Residencial
25	MCA35	721485,05	9679883,15	0,42	64	Comercial
26	MCA36	721715,99	9680209,13	0,41	70,8	Equipamiento Servicios Sociales
27	MCA37	721864,422	9679507,32	0,55	76,2	Comercial
28	MCA39	722311,701	9679266,02	2,69	72,8	Equipamiento Servicios Sociales
29	MCA41	719363,443	9678416,04	0,39	70,6	Residencial

Las concentraciones para MPS y valores de NPS, se encuentran estipuladas en la legislación ambiental nacional, señalada en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Anexo 4 y 5 del libro VI.

Se observó que el 37 % de los puntos de monitoreo superaron el límite establecido por la norma técnica para MPS ($1\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) siendo el uso residencial el de mayor porcentaje (45 %). Mientras que todos los puntos, a excepción del localizado en uso de suelo industrial, superaron los límites de presión sonora, cuyos valores son de 70 dB para el uso de suelo industrial, 60 dB para uso de suelo comercial, y 55 dB para Equipamiento de Servicios Públicos, Sociales y uso de suelo residencial [21].

3.2. Relación entre los contaminantes atmosféricos y el uso de suelo

Se observó que los datos de MPS presentan una distribución no normal tras su análisis mediante gráficos de cajas y bigotes. Indicando una tendencia a valores bajos; mientras que los datos de NPS si presentan una distribución aparentemente normal como se observa en la figura 2.

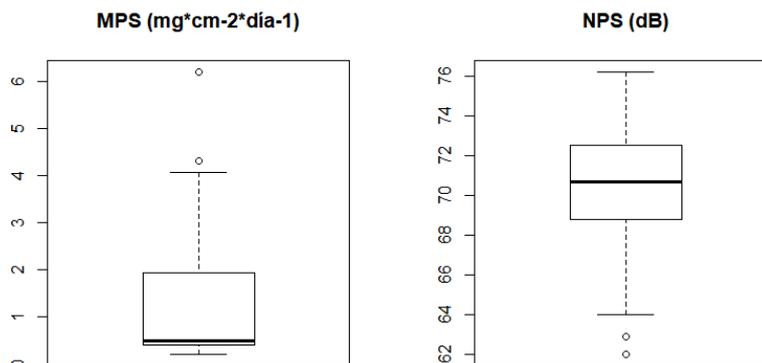


Figura 2: Gráficos de cajas y bigotes MPS y NPS

De igual manera, se realizó la prueba de normalidad analítica Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$), cuyos resultados se pueden observar en la Tabla 2 corroborando la distribución antes mencionada.

Tabla 2: Resultados Normalidad Shapiro-Wilk

Ho = Normalidad de datos ($\alpha=0.05$)	MPS	NPS
Significancia	<0.001	0.08

Las concentraciones de MPS presentaron una mediana de $0,49 \text{ mg*cm}^{-2}\text{*día}^{-1}$, considerando un rango intercuartílico de 0,39 a 1,82; por otro lado, el NPS de la ciudad presenta una media de 70,29 con una desviación estándar de 3,54 dBA.

3.3.Relación de NPS con MPS

Se determinó que no existe una relación entre las variables de MPS y NPS debido al bajo coeficiente de determinación obtenido (11%) y a la baja significancia del modelo (0.06439). Los resultados del modelo se pueden observar en la tabla 3.

Tabla 3: Modelo de NPS con relación a MPS

	Estimado	Sd*	significancia	sd de residuales	R2 multiple	R2 ajustado
Intercepto	71,3443	0,8255	<0 ***	3.392	0,1169	0,0853
Pendiente	-0,8323	0,4167	0,0644			

*Desviación estándar

Si bien investigaciones previas atribuyen los elevados niveles de ruido al tráfico vehicular [19] y se demuestra una relación moderada del mismo con las concentraciones de material particulado [22], se debe considerar que el monitoreo de MPS fue realizado de forma continua y no solamente en las horas de monitoreo de NPS como puede realizarse para PM10 o PM2.5, lo cual puede justificar la baja relación obtenida en este estudio.

3.4. Diferencias de concentraciones de MPS y NPS con el uso de suelo
 No existieron diferencias significativas de las concentraciones de MPS y NPS con respecto al uso de suelo como se observa en la tabla 4.

Tabla 4: Diferencias de concentraciones de MPS y NPS por uso de suelo

Kruskal-Wallis MPS por uso de suelo	Chi2	gl*	Significancia		
	2.5157	4	0.6418		
ANOVA NPS por uso de suelo	gl	Suma cuadrática	Media cuadrática	Valor F	Significancia
Uso de suelo	4	26.4	6.596	0.487	0.745
residuales	25	338.5	13.540		

* Grados de libertad

La no relación del MPS con el uso de suelo en este estudio, puede atribuirse a que estos resultados podrían indicar, en mayor proporción, puntos con mayor tráfico de vehículos a diesel como los utilizados en el transporte público urbano, interprovincial y de transporte pesado. Esto debido a que la mayor composición del MPS está dada por partículas con diámetros mayores a 10,0 µm, como el hollín generado por los vehículos mencionados, y que por su peso se depositan en radios más cercanos a la fuente emisora en comparación con el PM10 y PM2.5 que pueden ser dispersados y mantenerse en suspensión por corrientes de aire [21, 26].

Por otro lado, se ha demostrado que zonas residenciales mixtas presentan niveles de ruido mayores a los de las zonas solamente residenciales [12], siendo estas relacionadas al tráfico de buses y camiones en vías circundantes a las zonas de monitoreo. No obstante, el tiempo de monitoreo de NPS de una hora durante un periodo de alto tráfico vehicular (11h00 a 13h00), permitió identificar que el comportamiento del ruido en toda la ciudad resulta indistinto con relación al uso de suelo en este periodo. Un mayor número de muestras en periodos adicionales del día e incluso en fines de semana, permitiría obtener un mayor contraste de este análisis.

3.5. Mapas de MPS y NPS

El mapa de la distribución de MPS (figura 3) permite visualizar que las mayores concentraciones se registraron en las pariferias de la zona urbana, especialmente en el sector oeste (puntos 1 y 19), noreste y centro de la ciudad. Estos puntos corresponden a vías de acceso a la ciudad y el área del terminal terrestre respectivamente, que generalmente presentan alto tráfico de transporte de tipo interprovincial y pesados para el transporte de mercaderías varias hacia el parque industrial. De forma adicional, las altas concentraciones en el oeste de la ciudad se atribuyen además a trabajos viales realizados para la mejora de la Avenida Ordoñez Lasso durante el periodo de monitoreo.

De este modo, si bien el tráfico vehicular es una fuente de material particulado [14, 24, 25], se debe considerar que las emisiones de los vehículos a diésel usados para transporte público, junto con el levantamiento de polvo de las vías, serían los responsables de las elevadas concentraciones de MPS. Debido a la mayor cantidad de partículas y hollín que generan dichos vehículos, cuyo tamaño es mayor a los 10 µm y se depositan en radios cercanos como se mencionó anteriormente [24].

De otra manera, el mapa de NPS, presenta los niveles de ruido generados en la ciudad, donde se puede notar que dichos valores no presentan un patrón de distribución

marcado como el obtenido para MPS. Sin embargo, los mayores niveles corresponden a cercanías del aeropuerto, terminal terrestre, zona industrial y localidades suroeste de la ciudad, los cuales pueden representar un patrón de movilización del tráfico vehicular desde o hacia estos puntos en dichas horas. Los resultados coinciden con mapas de ruido de Martínez, donde también se indica un incremento de 77,78% en las emisiones del año 2015 con relación al año 2014 para las 13h00 y 18h00.

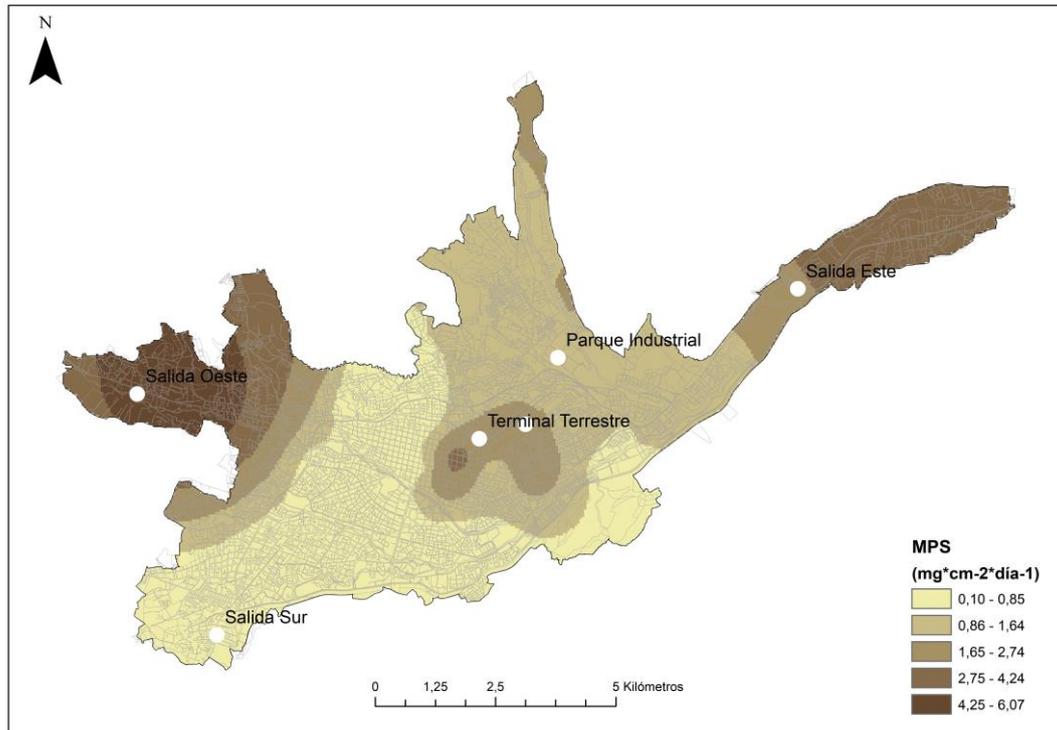


Figura 3: Distribución de MPS en Cuenca

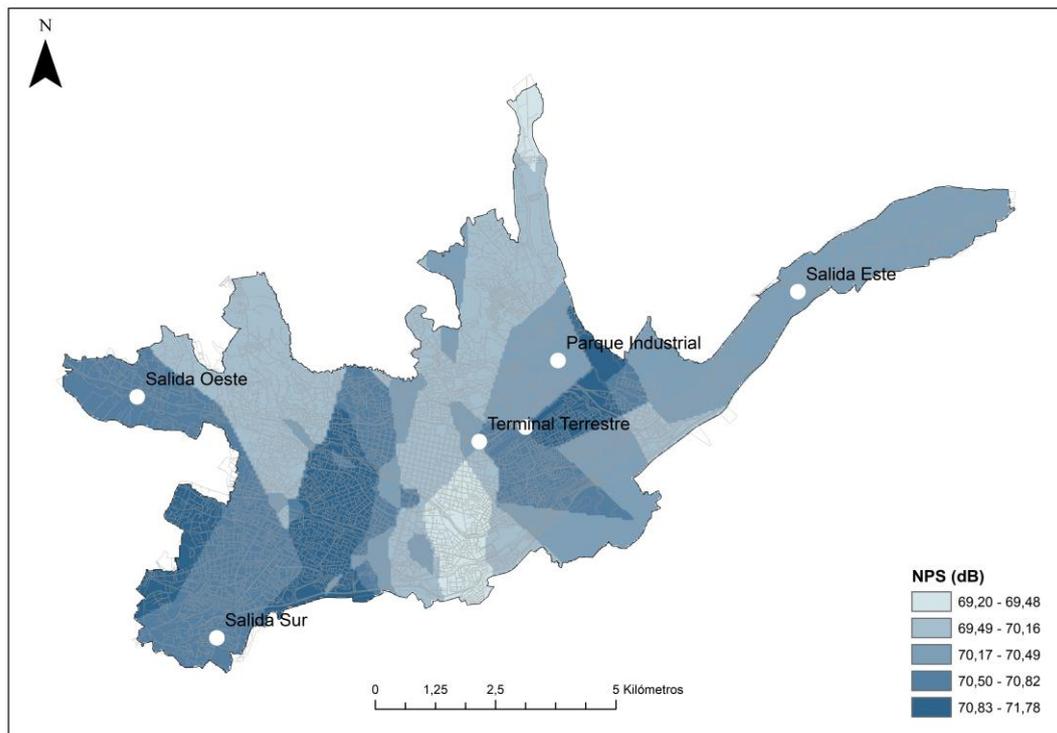


Figura 4: Mapa de NPS en Cuenca

4. Conclusiones

- Los puntos 0, 1, 5, 7, 8, 9, 18, 19, 23, 24 y 28 presentaron concentraciones por encima del límite establecido por la norma técnica ($1\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$), los cuales son atribuidos principalmente a levantamiento de polvo de las vías y alto tráfico vehicular pesado.
- Los niveles de presión sonora durante las horas de alta intensidad vehicular (11h00 a 13h00) en los puntos monitoreados de la ciudad exceden en promedio 9, 15 y 16 dBA en los usos de suelo Comercial, Residencial y de Equipamiento de Servicios Públicos, respectivamente, en relación con la norma técnica.
- No existe una relación entre las concentraciones de material particulado sedimentable y nivel de presión sonora. Al igual que no hay diferencias significativas de dichas concentraciones con relación al uso de suelo.
- Se generó un mapa de material particulado sedimentable que enfatiza las zonas con mayor influencia en la calidad del aire para su consideración en la planificación territorial.

Referencias

- [1] WHO, “7 million premature deaths annually linked to air pollution,” *WHO*, 2014.
- [2] M. Hernández, M. Encalada, and S. Molina, “Plan Nacional de Calidad del Aire,” *Minist. del Medio Ambient.*, vol. 1, no. Reintegración Comunitaria, pp. 5–90, 2010.
- [3] O. US EPA, “Particulate Matter (PM) Basics,” 2017.
- [4] WHO, “Exposure to air pollution: a major public health concern,” *WHO Doc. Prod. Serv. Geneva*, 2010.
- [5] WHO, *Air pollution and cancer*. 2013.
- [6] V. Morgenstern *et al.*, “Respiratory health and individual estimated exposure to traffic-related air pollutants in a cohort of young children,” *Occup. Environ. Med.*, vol. 64, no. 1, pp. 8–16, 2007.
- [7] WHO, “Global Health Risk Report,” pp. 28–31, 2009.
- [8] C. A. Pope, J. B. Muhlestein, H. T. May, D. G. Renlund, J. L. Anderson, and B. D. Horne, “Ischemic heart disease events triggered by short-term exposure to fine particulate air pollution,” *Circulation*, vol. 114, no. 23, pp. 2443–2448, 2006.
- [9] N. A. H. Janssen *et al.*, “The relationship between air pollution from heavy traffic and allergic sensitization, bronchial hyperresponsiveness, and respiratory symptoms in Dutch schoolchildren,” *Environ. Health Perspect.*, vol. 111, no. 12, pp. 1512–1518, 2003.
- [10] WHO, “Public Health, Environmental and Social Determinants of Health (PHE),” no. 63, 2014.
- [11] K. Sander, Mira-Salama, and D. Feuerbache, “The Cost of Air Pollution A Case Study for the city of Cuenca, Ecuador,” *World Bank*, no. June, 2015.
- [12] G. King, M. Roland-Mieszkowski, T. Jason, and D. G. Rainham, “Noise levels associated with urban land use,” *J. Urban Heal.*, vol. 89, no. 6, pp. 1017–1030, 2012.
- [13] J. Martínez and O. Delgado, “Cuenca noise assessment in 2015,” vol. 2016, no. March, 2017.
- [14] GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN CUENCA, “Concejo Cantonal aprueba ordenanza para el control del ruido.” 2017. [Online]. Available: <http://www.cuenca.gob.ec/?q=content/concejo-cantonal-aprueba-ordenanza-para-el-control-del-ruido>. [Accessed: 11-Nov-2018].
- [15] I. V. Muralikrishna, V. Manickam, I. V. Muralikrishna, and V. Manickam,

- “Noise Pollution and Its Control,” *Environ. Manage.*, pp. 399–429, Jan. 2017.
- [16] A. L. Astudillo-Alemán, M. I. Ramirez Orellana, N. B. Garcia Alvear, G. J. Gónzales Arévalo, I. A. Gutierrez Valle, and N. C. Bailón Moscoso, “Caracterización química del material particulado {PM}10 de la zona urbana de {Cuenca}- {Ecuador} e investigación de su genotoxicidad e inducción de estrés oxidativo en células epiteliales alveolares {A}549,” *Rev. Toxicol.*, no. 32, pp. 121–126, 2015.
- [17] Abad Mónica Eulalia, “Fitotoxicidad Del Material Particulado Sedimentable (Mps) Generado En La Zona Urbana Del Cantón Cuenca,” 2014.
- [18] H. V. Bermeo, “IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE VULNERABILIDADES A NIVEL CANTONAL ” - CUENCA,” 2013.
- [19] J. Martinez and O. Delgado, “Evaluación de las emisiones de ruido en el área urbana de Cuenca, y elaboración del mapa de ruido 2014,” *Univ. Verdad*, vol. 66, pp. 203–236, 2015.
- [20] MAE, “Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión Libro VI Anexo 4.” 2015.
- [21] MAE, “Niveles Máximos de Emisión de Ruido y Metodología de Medición para Fuentes Fijas y Fuentes Móviles.” 2015.
- [22] C. Tonne *et al.*, “Long-term traffic air and noise pollution in relation to mortality and hospital readmission among myocardial infarction survivors,” *Int. J. Hyg. Environ. Health*, vol. 219, no. 1, pp. 72–78, 2016.
- [23] L. D. Grant, D. J. Kotchmar, National Center for Environmental Assessment, and USEPA, “Air Quality Criteria for Particulate Matter,” *Environ. Prot.*, vol. I, no. October, pp. 1–900, 2004.
- [24] S. Mohankumar and P. Senthilkumar, “Particulate matter formation and its control methodologies for diesel engine: A comprehensive review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 80, no. June, pp. 1227–1238, Dec. 2017.
- [25] A. Azhari, M. T. Latif, and A. F. Mohamed, “Road traffic as an air pollutant contributor within an industrial park environment,” *Atmos. Pollut. Res.*, no. January, pp. 0–1, Feb. 2018.
- [26] A. Thorpe and R. M. Harrison, “Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: A review,” *Sci. Total Environ.*, vol. 400, no. 1–3, pp. 270–282, 2008.