

---

---

**Niveles de material particulado en la zona urbana de Cuenca-Ecuador y su relación con el tráfico vehicular.**

**Levels of particulate matter in the urban area of Cuenca-Ecuador and its relationship with vehicular traffic.**

**<sup>1\*</sup>Nancy García, <sup>1</sup>Ana Astudillo, <sup>1</sup>Diana Moscoso, <sup>1</sup>Danilo Mejía, <sup>1</sup>Mónica Narváez, <sup>1</sup>Pamela Vásquez.**

<sup>1</sup>Centro de Estudios Ambientales, Universidad de Cuenca. Campus Balzay. Av. Víctor Albornoz y Cerezos. Cuenca-Ecuador. Tel. 593 7 4033260. Correo e: nancy.garcia@ucuenca.edu.ec.

**RESUMEN.** La zona urbana de Cuenca, se caracteriza en la actualidad por su elevado tráfico vehicular, problema que va creciendo a través de los años. Como consecuencia de ello, los niveles de emisiones al aire también aumentan, y específicamente el material particulado que tiene una gran injerencia en la salud de sus pobladores. El objetivo de este trabajo fue cuantificar los niveles de Material Particulado Sedimentable (MPS) y material respirable (PM2.5) y establecer si existe una correlación con el tráfico vehicular. Los resultados muestran diferencias significativas entre los diferentes puntos de conteo vehicular, lo cual se definiría como zonas específicas de tráfico conflictivo. Los mapas de distribución de MPS y PM2.5 no necesariamente son coincidentes en su concentración en los mismos puntos de monitoreo. Los resultados obtenidos permiten establecer que no existe una relación directa entre el número de fuentes móviles y las concentraciones de los dos tipos de material particulado, evidenciando que la dispersión de contaminantes es un fenómeno complejo que debe ser analizado bajo la perspectiva de una serie de variables.

**ABSTRACT.** The urban area of Cuenca has a high vehicular traffic: a problem that has grown over time. Levels of air emissions have also increased, especially particulate matter that affects human health. The objective of this work was to quantify sedimentable particulate matter (SPM), breathable particulate matter, and determine if there is a relationship between these emission and vehicular traffic. The results of this work show remarkable differences between the different points of traffic count. These points establish specific zones of conflicting vehicular transit. SPM and MP2.5 distribution maps are not mandatorily coincident, which shows that there is not direct relationship between the

---

Recibido: febrero, 2018.

Aprobado: mayo, 2018

number of mobile sources, and the concentrations of both types of particulate matter. Evidently, pollutants dispersion is a complex phenomenon; thus, it must be analysed from the perspective of multiple variables

**Palabras claves:** Contaminación del aire, material particulado, recuento vehicular.

**Keywords:** Air pollution, particulate matter, traffic count.

## INTRODUCCIÓN

El material particulado (MP) se define como el conjunto de partículas sólidas y/o líquidas presentes en suspensión en la atmósfera, que se originan a partir de una gran variedad de fuentes naturales y/o antropogénicas y poseen un amplio rango de propiedades morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas (Arciniégas, 2012)

Este contaminante, es uno de los grandes problemas que afectan la calidad del aire ambiente de las zonas urbanas a nivel mundial. El grado de afectación depende de varios aspectos tales como: el tamaño, forma y composición de las partículas, su origen, el tiempo de persistencia en el aire, etc.

El tamaño de partícula, está directamente relacionado con su potencial de causar problemas en la salud, por ello, la *United States Environmental Protection Agency* (EPA) se preocupa especialmente por aquellas partículas que miden  $10\mu$  de diámetro o menos (fracción fina), que pueden pasar por la nariz y garganta y llegar a los pulmones (EPA, 2013).

Se piensa que el MP induce la inflamación pulmonar oxidativa y el malfuncionamiento cardiorrespiratorio. Varios estudios se han enfocado en demostrar la genotoxicidad de la fracción fina (Astudillo y col., 2015; Bonetta y col., 2008; Traversi y col., 2015; Zhu y Khun, 2014; Meléndez y col., 2012)

La contaminación con MP es en realidad un problema de salud pública, debido al gran número de personas expuestas; su reactividad química parece tener mayor injerencia que su masa, evidenciándose un papel muy importante de los contaminantes antropogénicos carbónicos (Van Bree and Cassee, 2000)

La contaminación atmosférica urbana en el Ecuador es generada principalmente por la flota vehicular, mayor responsable de las emisiones de los principales contaminantes del aire y por lo tanto de enfermedades respiratorias en la población, lo que evidencia la necesidad de mejorar la calidad del combustible (PNUMA, 2008)

En los problemas puntuales asociados a la contaminación atmosférica destacan los impactos de la actividad de hidrocarburos, por derrames de petróleo e incineración del gas natural que emana de los yacimientos en la Amazonía; la generación de energía con plantas termoeléctricas y la minería no metálica. Otro de los peligros que afecta a la población tiene que ver con las fumigaciones aéreas efectuadas en las plantaciones de banano de la Costa ecuatoriana y las realizadas en la frontera Norte por parte del gobierno colombiano al intentar afectar los cultivos de coca en su territorio. (PNUMA, 2008)

En la zona urbana de Cuenca, se generan niveles altos de MP, el cual proviene del sector industrial pero en mayor proporción del transporte. Dichos valores en muchos sitios sobrepasan la normativa vigente (García y col., 2006; García y Jachero, 2014)

Se han realizado estudios importantes (García y col, 2015; García y Espinoza, 2015) respecto a la generación de MP en el ambiente laboral del sector productivo mediante un seguimiento de varios años. Por otro lado, se ha analizado (García, y col., 2006; Jachero y Moscoso, 2009) niveles puntuales de MP en el aire ambiente de la zona urbana de Cuenca; sin embargo, no hay datos actualizados que permitan tener un mapeo de las concentraciones de material particulado fino en los distintos puntos de la ciudad, por lo que se vio la necesidad de llevar a cabo una cuantificación del material particulado sedimentable y de fracción fina (MPS y PM2.5) abarcando toda la zona Urbana de la ciudad.

Por otro lado, la emisión de contaminantes de origen vehicular, constituye una de las causas más relevantes en el deterioro de la calidad del aire, lo que afecta la composición química de la atmósfera a nivel local y regional. La extracción de la atmósfera del material particulado en suspensión se produce por diversos mecanismos, bien sea por deposición seca o por deposición húmeda, cuya eficacia depende esencialmente del diámetro, composición química y propiedades termodinámicas de las partículas. (Arcimégas, 2012).

Por tanto, siendo el tráfico vehicular la principal fuente de contaminación en la zona urbana de Cuenca, resulta importante tratar de establecer una correlación entre estos dos parámetros.

## **METODOLOGÍA**

### *Zona de estudio*

El Cantón Cuenca está ubicado geográficamente entre las coordenadas 2°39' a 3°00' de latitud sur y 78°54' a 79°26' de longitud oeste, con una altura sobre el nivel del mar que varía de 100 a 4560 m., la zona urbana se encuentra a una altitud de 2560 msnm aproximadamente.

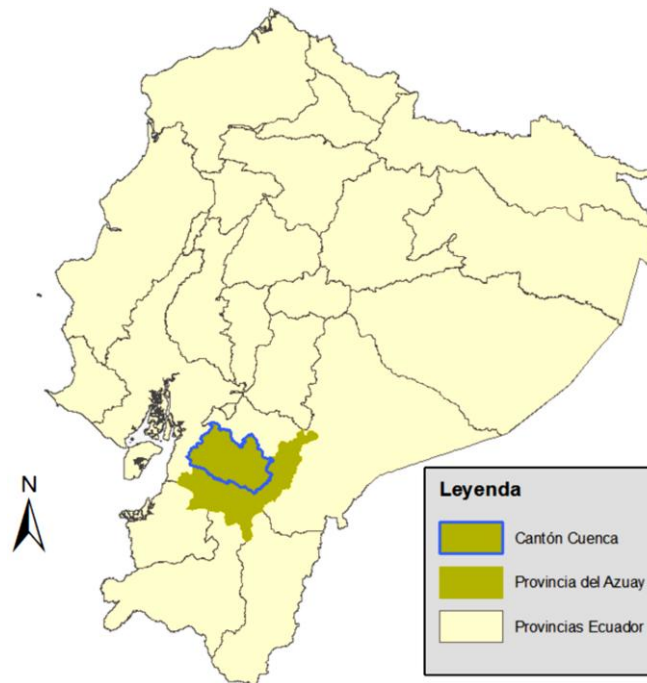


Figura 1.- Ubicación del Cantón Cuenca (CEDIA, 2013)

### *Zona urbana de Cuenca*

El estudio se realizó en Cuenca, ciudad ubicada en el sur de Ecuador. La zona urbana a la vez que está dividida en Parroquias, tiene una estructura especial, ya que cuenta con un Centro Histórico o casco antiguo de la ciudad. La Figura 2 permite distinguir con otro color el Centro Histórico de la Ciudad, así como ubicar los puntos de monitoreo ubicados en éste.

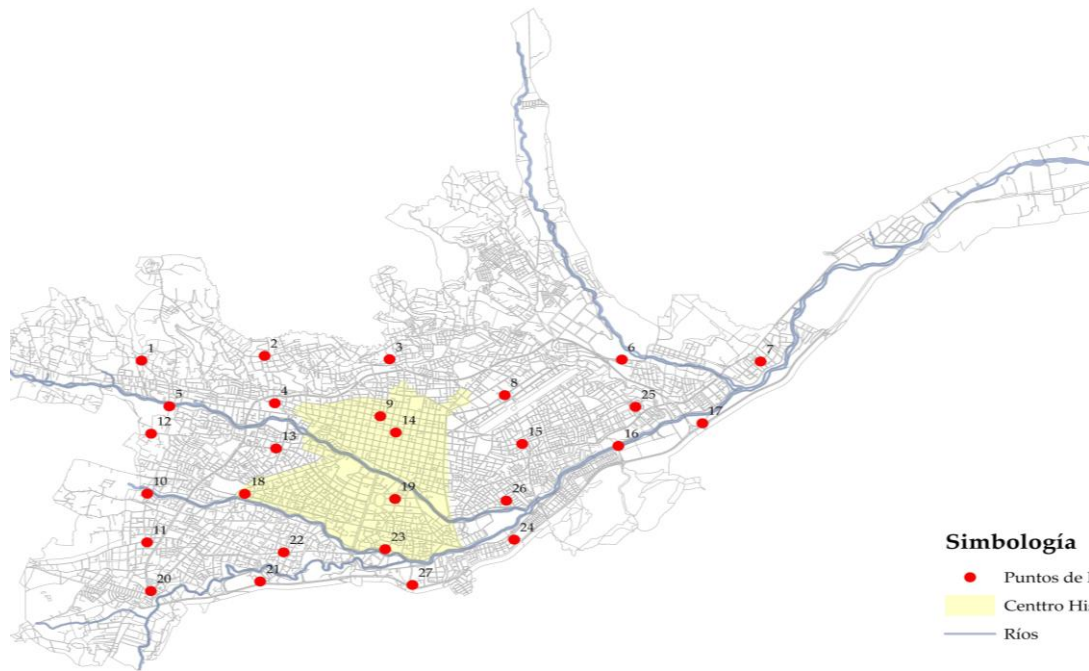


Figura 2.- Ubicación de los puntos de monitoreo. Delimitación del Centro Histórico. Se cuadrículó el mapa de la zona urbana y se definieron 27 puntos de muestreo, los mismos que corresponden a las coordenadas geográficas que se presentan en la Tabla 1

Tabla 1.- Ubicación de los sitios de muestreo con sus direcciones y coordenadas geográficas. Los puntos en azul corresponden a los ubicados en el Centro Histórico de la ciudad.

PUNTO	DIRECCION	X	Y
1	Av. De los Cerezos y calle de las Gladiolas	717898.23	9681176.22
2	Abelardo J. Andrade y José Félix Chacón	719844.40	9681265.02
3	Félix Roggia y Yaupi	721821.22	9681200.13
4	Mariscal Lamar y A. Ortega (sector el Punto)	720006.00	9680370.00
5	Quinta de Balzay	718338.00	9680312.00
6	Panamericana Norte (Frente a la Llantera)	725497.12	9681193.63
7	Calle Roma entre Sofía y Varsovia	727690.29	9681158.98
8	Max Uhle y Gil Ramírez Dávalos	723642.52	9680521.02

<b>9</b>	Padre Aguirre y Rafael María Arízaga	721674.00	9680122.00
<b>10</b>	Primero de mayo y Carmela Malo.	717986.54	9678656.89
<b>11</b>	Santa Marianita del Arenal (Antonio Lloret)	717984.94	9677735.24
<b>12</b>	El Tequila Sector Cristo del Consuelo)	718050.29	9679793.48
<b>13</b>	Av. Remigio Crespo Toral y Guayana	720026.69	9679513.55
<b>14</b>	Luís Cordero y Mariscal Sucre	721921.33	9679815.62
<b>15</b>	Av. Yana Urco entre Rio Cutucú y Rio Upano	723918.89	9679598.85
<b>16</b>	Popayán (Sector IESS)	725441.00	9679562.00
<b>17</b>	Hospital del Río (Autopista)	726770.00	9679990.00
<b>18</b>	Av. 10 de Agosto y V. Cordero	719530.96	9678654.20
<b>19</b>	José Peralta y Alfonso Cordero	721909.24	9678557.85
<b>20</b>	Av. De las Américas y Av. Loja	718045.11	9676813.48
<b>21</b>	Circunvalación Sur y Diego de Tapia	719775.16	9676994.78
<b>22</b>	Parque Iberia	720146.84	9677547.13
<b>23</b>	Roberto Crespo Toral y Miguel Moreno	721753.11	9677605.73
<b>24</b>	Macas y Tena Ciudadela Chaguarchimbana	723792.11	9677786.44
<b>25</b>	Del Antiplano y Duquilema	725711.77	9680302.28
<b>26</b>	Numa Pompilio Llona	723669.87	9678524.00
<b>27</b>	Av. Circunvalación Sur (Sector UDA)	722184.35	9676929.08

### *Conteo vehicular*

Se realizó de forma simultánea en los 27 puntos en un período de tiempo de una hora. Se estableció el número total de vehículos a motor que circulan, a la vez que se los clasificó en transporte público (Buses y taxis) vehículos particulares, motocicletas.

### *Determinación de material sedimentable*

El tiempo de muestreo fue de 30 días continuos en cada punto, en forma simultánea; colocándose 4 envases abiertos con una medida de 9.2 cm de radio interno superior, con un área de captación del envase de 265.9 cm<sup>2</sup>, y una altura de 24.7 cm. Los envases para la

recolección del MPS, se ubicaron a una altura de 3 metros sobre el nivel del suelo. Terminado el período de monitoreo, los envases se transportaron al laboratorio, protegidos de la luz y cubiertos para evitar la pérdida de muestra.

Se realizó el cálculo de concentración de MPS por análisis gravimétrico, de acuerdo al método de medición de concentraciones de contaminantes comunes del aire, descritos en el Libro VI, Anexo 4: Norma de Calidad del Aire Ambiente (TULSMA, 2002). Las partículas recolectadas se clasificaron en solubles e insolubles. Las partículas insolubles se determinaron por diferencia de peso ganado por un filtro de 47 mm (filtros de microfibras de cuarzo); las partículas solubles se determinaron mediante diferencia de peso ganado en una cápsula de porcelana, en la cual se evaporó el líquido de lavado del envase. La concentración total de partículas sedimentables es la suma de partículas solubles e insolubles, normalizadas con respecto al área total de captación del envase.

### *Determinación de PM2.5*

Las mediciones fueron realizadas con un Monitor de Aerosol Marca rp DUSTCAN SCOUT TM modelo 3020, ajustado con un Data Rate (intervalo de muestreo) de 10 segundos. Por períodos de tiempo de 30 minutos

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La Figura 3 muestra los resultados del recuento vehicular, el punto 19 sobresale con el número máximo de vehículos aproximadamente 2400, lo cual es coherente, ya que se trata de un redondel de distribución de tráfico que permite a los vehículos tomar cuatro direcciones, como son el centro histórico, panamericana norte, panamericana sur, y la zona residencial.

En el punto 27 se observa también un elevado flujo vehicular, esto tendría relación con la presencia de un Centro de Educación Superior en la zona.

Los puntos 3, 7, 15 y 26 están en los niveles más bajos, registrándose valores inferiores a 500 vehículos.

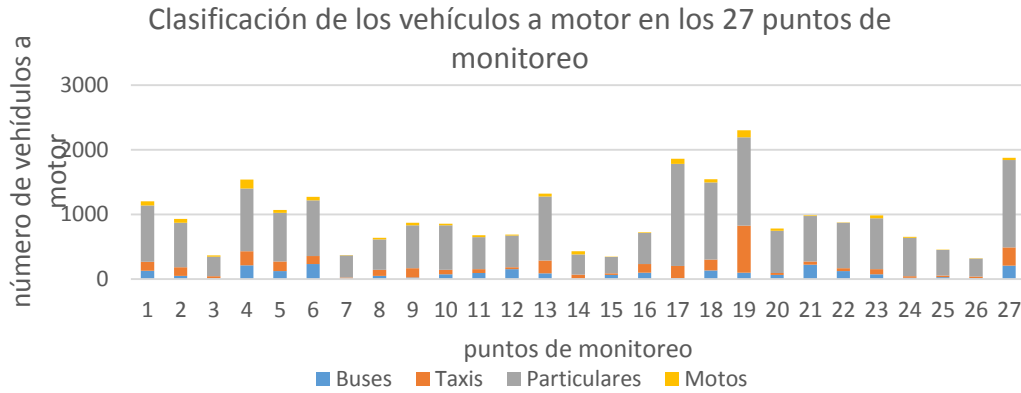


Figura 3.- Recuento vehicular simultáneo durante una hora en los 27 sitios de muestreo

En la Figura 4 se aprecia la distribución porcentual de vehículos que circulan en el período de tiempo de una hora, por supuesto no se puede descartar la eventualidad de que el mismo vehículo haya sido considerado en dos puntos de conteo, ya que es tiempo suficiente para que se dé el caso entre dos puntos no muy distantes.

Se tiene un porcentaje muy elevado de autos particulares (73.94%), mientras que los vehículos de transporte público constituyen el 22.14%. Esto debido a varios factores tales como: la falta de un buen servicio de transporte público que obliga a los habitantes a trasladarse en vehículos particulares; y de cierta manera, el poder adquisitivo de la población que le permite tener fácilmente un auto.

Porcentajes de vehículos motorizados que circularon en el tiempo de una hora en la zona urbana de Cuenca.

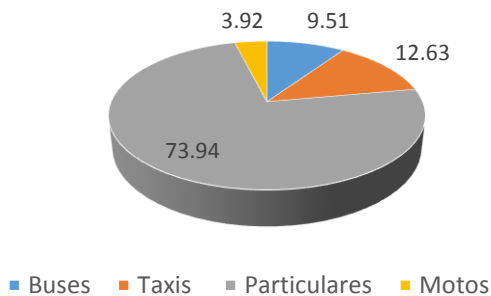


Figura 4.- Distribución porcentual de vehículos a motor que circulan en un período de una hora en los 27 sitios de muestreo.



En la Figura 5 se tiene el mapa de densidad vehicular en Cuenca, el cual se puede comparar con los mapas de MPS y PM<sub>2.5</sub> (Figuras 6 y 7)

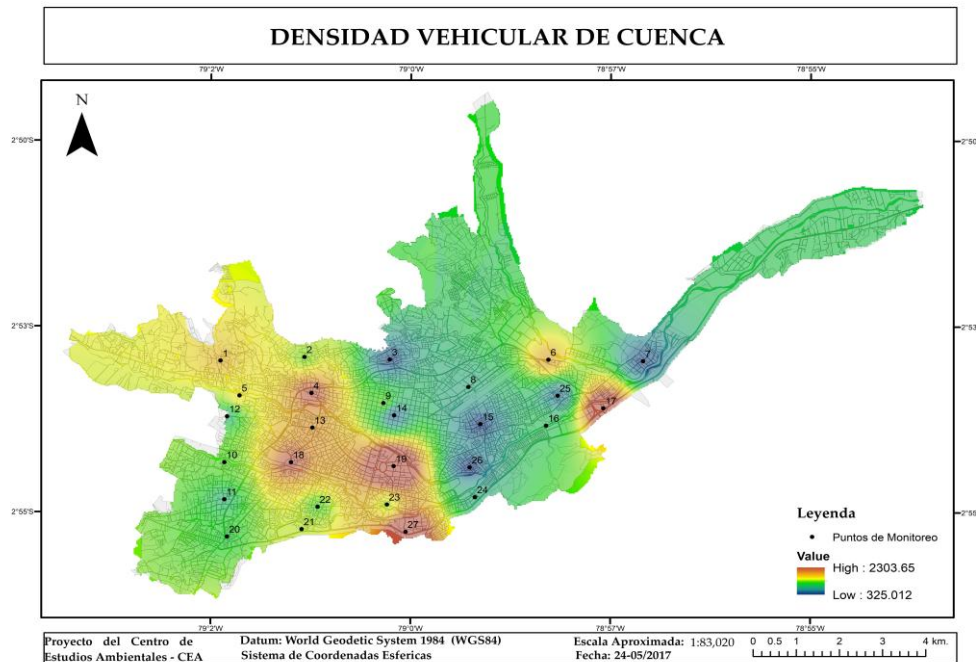


Figura 5.- Mapa de densidad vehicular en la zona urbana del Cantón Cuenca

La Figura 6 permite ver la variabilidad de concentración de MPS, que se mueve en un rango entre 0.16005 y 5.10754 mg/cm<sup>2</sup> por 30 días

El nivel de MPS supera en varios puntos los límites fijados en la *Norma Técnica Vigente TULSMA con una máxima concentración de una muestra, colectada durante 30 (treinta) días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado (1 mg/cm<sup>2</sup> por 30 días)* y aun mas la normativa de la OMS que es de 0.5 mg/cm<sup>2</sup> por 30 días. En general estos valores son bastante elevados, en comparación con estudios realizados en otras ciudades del país como Ambato (Bermeo, 2016) o Riobamba (Lozano, 2009).

En ciudades mas grandes como Quito, se ha determinado que el mayor problema de contaminación atmosférica se atribuye a las emisiones de material particulado fino (PM2.5) y partículas sedimentables. Estas últimas exceden el límite permisible de la norma ecuatoriana de calidad del aire casi todos los meses del año en, al menos, una de las estaciones de monitoreo. Ello constituye un problema para los capitalinos, debido a los efectos nocivos a la salud que produce este contaminante (PNUMA, 2008 ). Estudios realizados en otros países llegan a cuantificaciones que se mueven en los rangos encontrados en Cuenca (Marcos-Huatuco, y Valderrama-Romero, 2011; Martín, 2005)

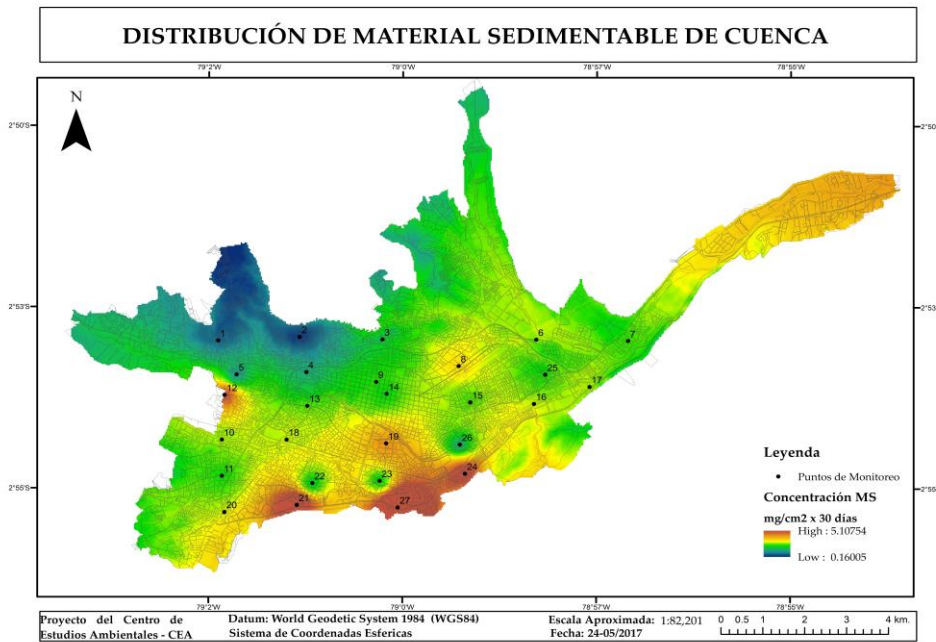


Figura 6.- Mapa de distribución del MPS en la zona urbana del Cantón Cuenca

Los valores de PM2.5 ( Figura 7) oscilan entre 1.00685 y 4.34588  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cabe destacar que en el caso del PM2.5 son valores obtenidos en mediciones puntuales en un período corto de tiempo, lo cual representa una aproximación de lo que está ocurriendo en el aire de la zona urbana, pero para tener un criterio mas válido sería necesario realizar una cuantificación continua en 24 horas y en diferentes meses del año.

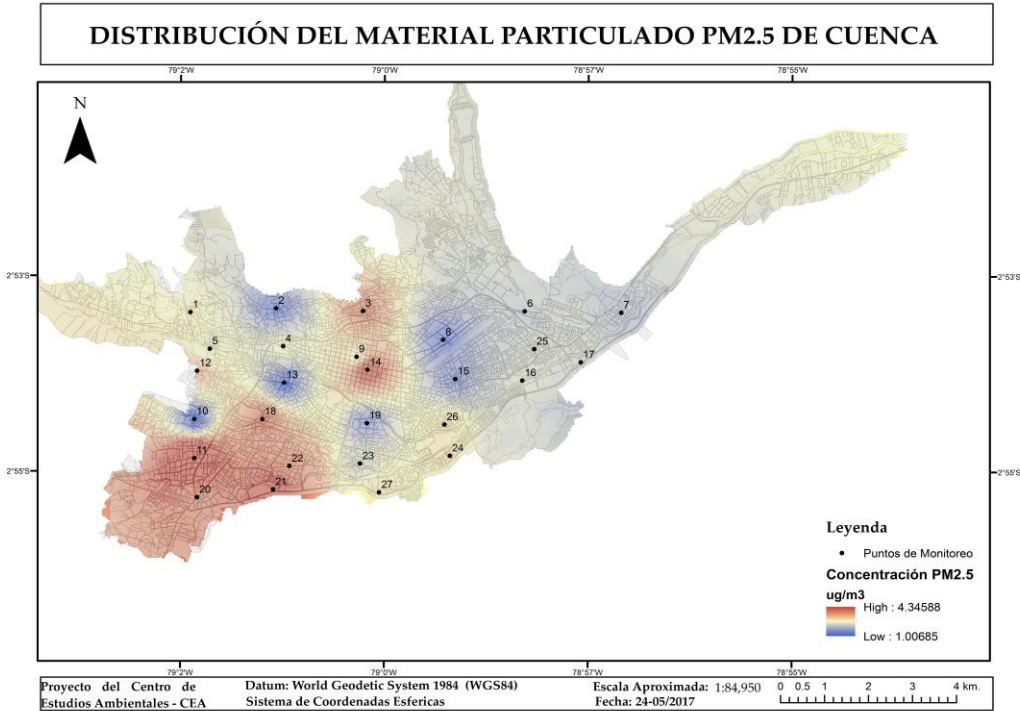


Figura 7.- Mapa de distribución del PM2.5 en la zona urbana del Cantón Cuenca.

Estudios realizados en ciudades de España, indican que el PM2.5 puede considerarse como un excelente indicador de los contaminantes primarios presentes en una ciudad, en la que gran parte de la contaminación atmosférica es de origen antrópico, debido principalmente al alto número de vehículos que por ella circulan. Del mismo modo, se concluye que la magnitud de las asociaciones encontradas con los ingresos hospitalarios, así como los niveles medidos de este contaminante durante el periodo analizado, vienen a subrayar la necesidad de la adopción de medidas destinadas a disminuir las concentraciones de este contaminante en la atmósfera, que pasan necesariamente por la reducción eficaz de su principal fuente de emisión, la alta densidad de tráfico. (Linares y Díaz, 2008).

Haciendo un análisis de los mapas (Figuras 5 y 6), existiría alguna similitud entre la distribución de tráfico y el MPS sobre todo en los puntos 27 (zona sur) y 19 (Centro Histórico), también en la zona suroeste, se ve valores medios de tráfico y de MPS. Sin embargo en los puntos 1 y 2 el MPS tiene niveles muy bajos, mientras el tráfico vehicular tiene un nivel medio.

En el caso del PM<sub>2.5</sub> (Figura 7) los niveles mas altos están al suroeste, en los puntos 22, 18, 11. También se registran niveles altos en los puntos 14 (Centro Histórico) y 3 (Norte), aunque en estos puntos hay una baja densidad vehicular. Este hecho puede explicarse, pues, aunque el numero de vehículos que circulan es menor, el trafico es bastante lento y los motores permanecen encendendios mientras los autos están detenidos. Por otro lado la estructura arquitectónica del Crentro Histórico forma callejones estrechos sin mayor ventilación

Si se comparan los mapas de MPS y PM<sub>2.5</sub> se tiene que hay un comportamiento muy diferente en los dos tipos de material, lo que evidencia que los diámetros están influenciados de manera muy disimil por varios factores de dispersión y sedimentación.

Para este estudio, no se ha considerado la influencia de factores meteorológicos, debido que se fueron muestreos puntuales que consituyen un análisis preliminar de la situación y un diagnóstico para una investigación mas profunda y a largo plazo, considerando que la meteorología tiene una alta injerencia en cuantificaciones en largos períodos de tiempo.

## **CONCLUSIONES**

La zona urbana de Cuenca soporta un elevado y conflictivo tráfico vehicular.

El MPS es variable en los diferentes puntos de muestreo, y en muchos de ellos, sobrepasa la normativa nacional y mas aun los límites permisibles de la OMS.

En general la distribución espacial del MPS no es coincidente con lo que se observa en el caso del PM<sub>2.5</sub>

Existe una cierta similitud entre los mapas del tráfico vehicular y el MPS, pero de ninguna manera en el caso de PM<sub>2.5</sub>

Si bien este es un diagnóstico preliminar, es evidente que que requiere un extudio exhaustivo con respecto al material particulado en la ciudad y los parámetros que rigen el fenómeno de dispersión.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Se agradece el financiamiento de parte de la DIUC de la Universidad de Cuenca. Así como la infraestructura y equipamiento del Centro de Estudios Ambientales.

## BIBLIOGRAFÍA

Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. En: Luna Azul. No 34. Enero-junio.

Astudillo-Alemán AL, Ramírez-Orellana MI, García-Alvear NB, González-Arévalo GJ, Gutiérrez-Valle IA, Bailón-Moscoso NC. (2015). Caracterización química del material particulado PM10 de la zona urbana de Cuenca-Ecuador e investigación de su genotoxicidad e inducción de estrés oxidativo en células epiteliales alveolares A549. Rev. Toxicol. 32: 121- 126

Bermeo, A. V. (2016). “Análisis cuantitativo del material particulado sedimentable con variables meteorológicas en 13 estaciones de la ciudad de Ambato”. Tesis previa a la obtención del título de ingeniero bioquímico. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.

Bonetta, V. Gianotti, D. Scozia, Si. Bonetta, E. Carraro, F. Gosetti, M. Oddone & M. C. Gennaro. (2005). Genotoxic and oxidative damage related to PM2.5 chemical fraction Sa. Ecology and the Environment, Vol 116.

CEDIA (2013). Implementación de la metodología de análisis de vulnerabilidad a nivel cantonal-Cuenca.  
<http://repositorio.cedia.org.ec/bitstream/123456789/842/1/Perfil%20territorial%20CUENCA.pdf>.

EPA (2013). <https://www.epa.gov/emission-standards-reference-guide>

García, N. (2006). Contaminación del aire. En: Contaminación del aire. CEA-VVOBCGA-Cuenca-Ecuador.

García, N., Jachero, L. (2014). Caracterización de las emisiones al aire del sector productivo de Cuenca-Ecuador. Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias. 5 (10): 69-80. [www.cmas.siu.buap.mx/portal\\_pprd/wb/rlac](http://www.cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/wb/rlac).

García-Alvear, N., Espinoza-Pineda, C. (2015). Dispersión de los contaminantes gaseosos generados en el sector productivo de Cuenca-Ecuador. Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias. 6(11): 15-28.

---

García-Alvear, N., Astudillo-Alemán, A., Espinoza-Pineda, C., Vázquez-Freire (2015). Cuantificación de material particulado en el ambiente laboral del sector productivo de Cuenca-Ecuador. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*. 6(14): 70-83.

Jachero L., Moscoso, D. (2009). Evaluación del riesgo de exposición a sustancias tóxicas procedentes de la contaminación atmosférica en la Ciudad de Cuenca. Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador ([http://www.ceaucuenca.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=48&Itemid=63](http://www.ceaucuenca.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=63)).

Linares C., Díaz, J. (2008). Un buen indicador de la contaminación urbana por causas antropogénicas Las PM<sub>2,5</sub> y su afección a la salud. *El ecologista*, nº 58, otoño 2008.

Lozano, C. (2009). Propuesta de un plan de control de la calidad de aire de partículas sedimentables de la ciudad de Riobamba. Escuela superior politécnica del Chimborazo.

Marcos-Huatuco, R., Valderrama-Romero, A. (2011). Contaminación del aire por material particulado en la ciudad universitaria UNMSM. Actas del congreso nacional de ingeniería mecánica, eléctrica y ramas afines. Lima. Perú

Martin, P. B. (2005). Contaminación del aire por material particulado en la Ciudad de Buenos Aires. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires

Meléndez-Gélvez, I., Martínez-Montañez M. L., Quijano-Parra, A. (2012). Actividad mutagénica y genotóxica en el material particulado fracción respirable MP<sub>2,5</sub> en Pamplona, Norte de Santander, Colombia. *Iatreia* Vol. 25 (4): 347-356, octubre-diciembre.

OMS.(2005).[http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf)

PNUMA (2008). [PNUMA%20Estado%20del%20aire.pdf](#)

Traversi, D., Cervella, D., Gilli, G. (2015). Evaluating the genotoxicity of urban PM<sub>2.5</sub> using PCR based methods in human lung cell sand the Salmonella T A98reverse test. *Environ Sci Pollut Res* 22:1279–1289

Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). (2002). Libro VI, Anexo 4, norma de calidad de aire ambiente

VanBree,L., Cassee, F.R. (2000). A Critical Review of Potentially Causative PM Properties and Mechanisms Associated with Health Effects, National Institute of Public Health and the Environment (RIVM) Research Report, report no. 650010015, Bilthoven, the Netherlands.

Zhu, D., Kung, M. (2014). Current City Problems in Beijing: Discussion of PM2.5 Related Toxic Air Pollution. *Current Urban Studies*: 2, 315-322