

# ANÁLISIS Y REVISIÓN DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE CUENCA - ECUADOR

Jerves Rubén<sup>1</sup>, Armijos-Arcos Freddy<sup>2</sup>

Grupo de Investigación de Biotecnología Ambiental INBIAM,  
Universidad Politécnica Salesiana, Calle Vieja 13-30 y Elia Liut, 593 7 2862213  
<sup>1</sup>rjerves@ups.edu.ec, <sup>2</sup>f.armijos.arcos@gmail.com

## Resumen

El presente artículo analiza la estructura y conformación de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Cuenca respecto a estándares, normas y recomendaciones nacionales e internacionales, incluyendo sus métodos de monitoreo, y la idoneidad o no del emplazamiento de las actuales estaciones de monitoreo, ofreciendo recomendaciones para mejorar la representatividad de las mismas.

## Abstract

The following article analyze the structure and conformation of the Air Quality Monitoring Network of Cuenca, comparing them with national and international standards, laws and recommendations; this includes monitoring methods, site criteria fulfillment of monitoring stations and recommendations to improve this spacial representation.

## 1 Introducción

La ciudad de Cuenca, se encuentra al sur de los Andes del Ecuador a una altura de 2 550 m sobre el nivel del mar, su población es de aproximadamente 400 000 habitantes, y su área urbana corresponde a 84.6 km<sup>2</sup>.

El principal objetivo de la Red de Monitoreo de Cuenca es determinar la calidad del aire en la ciudad y compararla con normas y recomendaciones nacionales e internacionales. La Red de Monitoreo permite establecer programas generales y específicos para mejorar la calidad del aire en la ciudad así como comparar los resultados registrados con los obtenidos en ciudades de

similares características. La calidad del aire en una ciudad como Cuenca depende de diferentes factores como distancia a las principales fuentes emisoras, emisiones, topografía y meteorología. Sin embargo no es fácil seleccionar estaciones de monitoreo que den una representación de la calidad del aire en la ciudad. El presente artículo analiza la estructura y conformación de actual Red de Monitoreo, acorde a la metodología propuesta.

## 2 Metodología

El planteamiento básico al establecer estaciones de monitoreo es seleccionar ambientes típicos y característicos de diferentes partes de la ciudad; de manera que, cada estación de medición obtenga datos que representen zonas de similares características. De allí que en primer lugar se analiza la información de las principales características urbanas de la ciudad de Cuenca que pueden influenciar en la calidad de aire. Un segundo aspecto a considerar es la meteorología, de manera especial la dirección y velocidad de los vientos que son los que influyen en la distribución y dispersión de los contaminantes.

Una vez definidas las características de la ciudad, el análisis se centra en la estructura y conformación de la actual Red de Monitoreo instalada en la ciudad de Cuenca en base a los siguientes criterios:

- Los contaminantes analizados;
- Los métodos de monitoreo;
- La escala de representación espacial: y
- Los criterios de emplazamiento y operación

Para ello se analiza la metodología dada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA) descrita en el documento 40 CFR Parte 58 anexos D y E para el diseño de redes de monitoreo del recurso aire [1] [2], la metodología de la Agencia Ambiental de la Unión Europea (EEA) descrita en el reporte técnico No. 12 “Monitoreo de la Calidad del Aire y Redes de Información” [3]; referente a los métodos de monitoreo y sus características, se consideraron las recomendaciones establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en la Actualización Global del 2005 de los Lineamientos para la Calidad del Aire [4] y en el Informe de Monitoreo de la calidad del aire para la Evaluación del impacto en la salud [5], y referente a la operación y mantenimiento a lo establecido en el Manual de Aseguramiento de Calidad para Sistemas de Medición de la Contaminación del Aire de la US-EPA [6]

Los niveles de concentración de los contaminantes en el aire que se analizan en la ciudad de Cuenca son Dióxido de Azufre  $SO_2$ , Dióxido de Nitrógeno  $NO_2$ , Ozono  $O_3$ , Material Particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$ , Partículas Sedimentables  $PS$ , Compuestos Orgánicos Volátiles  $COV$ , y Monóxido de Carbono  $CO$  [7].

Los métodos de monitoreo pueden ser divididos en cuatro tipos, los cuales cubren una amplio rango de costos y niveles de precisión, elegir incorrectamente puede llevar a una complicación

innecesaria del sistema, un pobre rendimiento de la red, una limitada utilidad en los datos y una pérdida de dinero [5]. La Tabla siguiente muestra los diferentes métodos de monitoreo

Tabla 1: Métodos de Monitoreo

Monitores Pasivos	Menor Costo	Simples	Datos Mensuales
Monitores Activos			Datos Horarios
Analizadores Automáticos	Mayor Costo	Muy Complejos	
Sensores Remotos			

La escala de representación espacial se definen para cada uno de los contaminantes acorde a la legislación ecuatoriana [8], las escalas establecidas [1] se muestran en la siguiente Tabla:

Tabla 2: Escalas de Monitoreo

ESCALA	REPRESENTACIÓN ESPACIAL
Micro-escala	Representa un área de 0 a 100 metros a la redonda.
Escala Media	representa área desde 100 m hasta 0.5 km.
Escala Vecinal	Usos de suelos uniformes, representa áreas desde 0.5 km a 4.0 km a la redonda
Escala Urbana	Representa áreas desde 4.0 km hasta 50 km dentro de una ciudad.
Escala Regional	Define usualmente un área rural de razonables características geográficas similares, sin grandes fuentes de emisión y que se extiende de decenas a centenas de kilómetros.

En lo relacionado a los criterios de micro-emplazamiento de cada monitor se analizan los requisitos de población, concentración del contaminante, distancias de separación entre las vías de tráfico y los monitores, altura desde el suelo al analizador, distancia horizontal y vertical de las estructuras de apoyo al analizador, distancia de árboles u otros obstáculos hacia el analizador y espacio libre al ingreso del monitor frente a las condiciones de monitoreo actuales, además de las recomendaciones para operación y mantenimiento establecidas en [2] y las recomendaciones específicas de los fabricantes de los equipos de la red de monitoreo utilizada en Cuenca.

## 3 Discusión

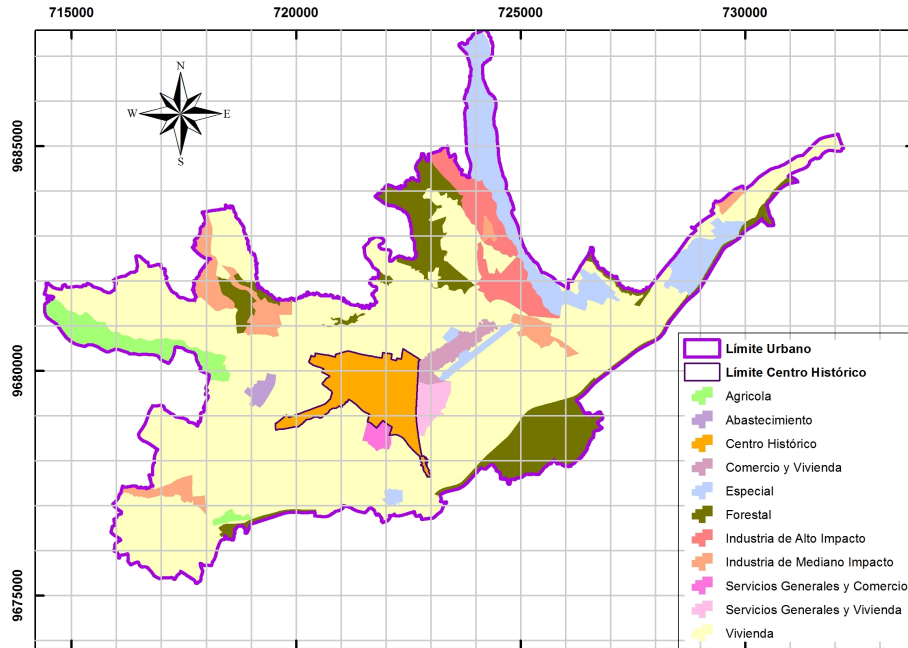
### 3.1 Caracterización Urbana

Las principales características urbanas de la ciudad de Cuenca que pueden influenciar en la calidad del aire son: usos de suelos, densidad urbana, ubicación de las fuentes puntuales de emisión (industrias y gasolineras) y el tráfico vehicular.

Referente al uso y ocupación de suelos en Cuenca, se encuentran definidos en el Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca [9], donde se establecen zonas de uso mayoritario como: industrial de mediano y alto impacto, comercial, residencial o de vivienda, servicios, de

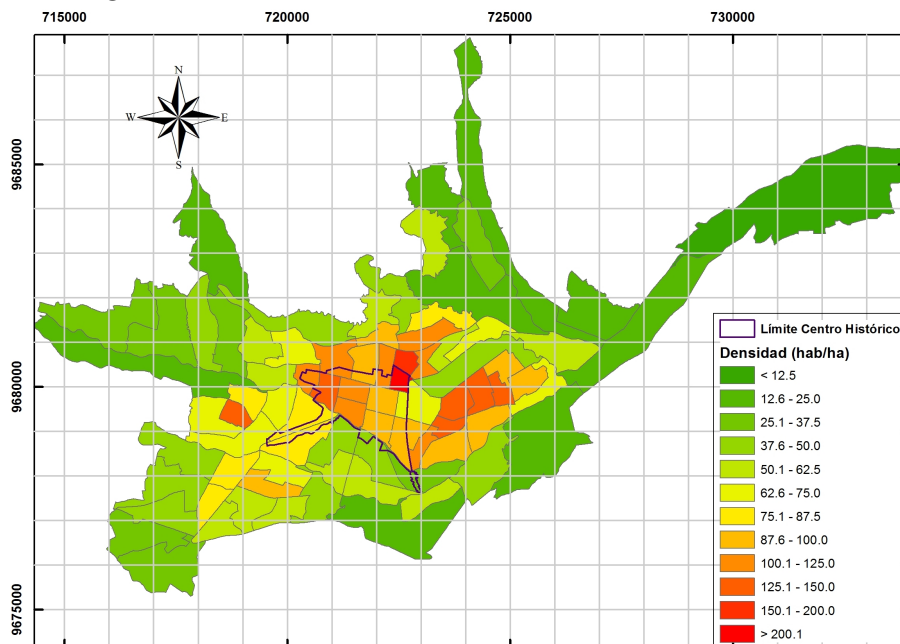
protección forestal, agrícolas y zonas mixtas. La Figura 1 muestra la distribución espacial del uso de suelo, actualización 2007.

Figura 1: Usos del Suelo de la Ciudad de Cuenca



Respecto a la densidad poblacional se han tomado los datos del Censo de Población y Vivienda del 2010 a escala zonal [10]. La figura 2 muestra la distribución espacial de las densidades, se puede observándose que las mayores densidades se concentran en la zona céntrica de la ciudad.

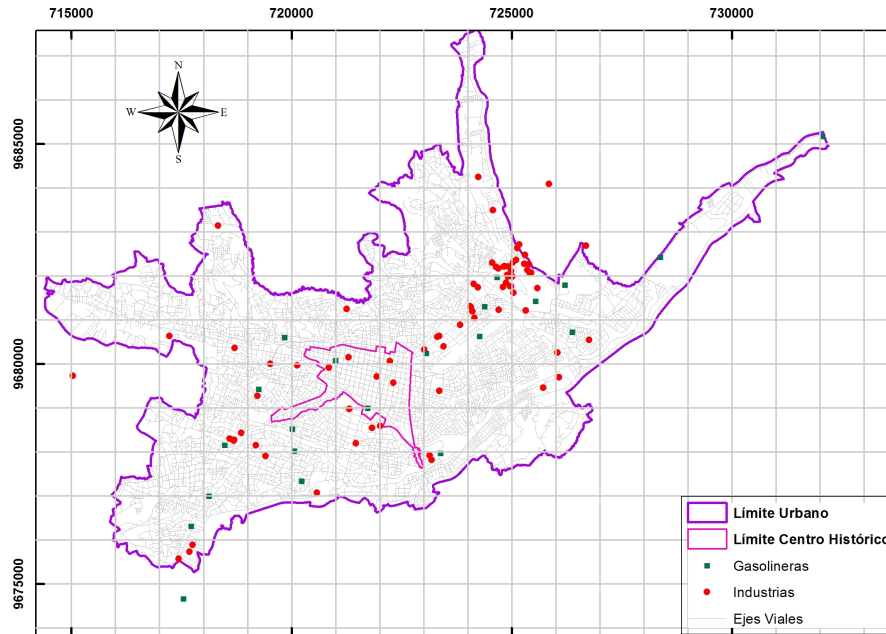
Figura 2: Densidad Poblacional de la Ciudad de Cuenca



Como fuentes puntuales de emisión se identifican las industrias, y las gasolineras. La industria en el Ciudad de Cuenca se desarrolla principalmente en el Parque Industrial, ubicado al Noreste

de la ciudad, donde funcionan aproximadamente 145 industrias [11], y además en la Zona Franca, ubicada al Suroeste de la ciudad pero fuera del perímetro urbano. Las estaciones de servicio (gasolineras) por otra parte se distribuyen por las arterias viales de la ciudad [12]. La figura 3 muestra la ubicación de las fuentes puntuales de emisión en Cuenca.

Figura 3: Ubicación de las Industrias y Estaciones de Servicio en Cuenca



Entre las vías de mayor tráfico con un promedio diario de 25 000 vehículos/día a 40 000 vehículos/día se destacan el eje vial exterior compuesto por la Avenida Circunvalación y la Avenida de Las Américas, el eje interno lo componen en el sentido Norte-Sur la Avenida Huayna Capac y la Avenida Solano, y en el sentido Este-Oeste las Avenidas España, la Avenida 12 de Abril y la Avenida Remigio Crespo, además se observa alto tráfico en la Avenida Ordoñez Lasso que conecta la parte oeste de la ciudad con el eje vial externo. En lo referente al Centro Histórico, éstas tienen un tráfico medio de 10 000 vehículos/día [13]. La composición vial de Cuenca se muestra en la figura 4

Concerniente a la meteorología, dado que el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología no dispone de información para la ciudad de Cuenca [14], [15], [16] se recopiló y procesó la información de las estaciones meteorológicas del Aeropuerto Mariscal Lamar (1990 - 2011) [17] y del Municipio de Cuenca (2012-2014) [17], [18], [12]. Se destaca que la dirección dominante del viento es noreste con un vector resultante de  $36^\circ$  y una velocidad promedio de 1.95 m/s, la temperatura promedio anual es de  $16.1^\circ\text{C}$ , y la precipitación media anual oscila entre los 700 y 1000 mm/año. La figura 5 muestra la rosa de los vientos obtenida para el período de 1990 a 2011, con información horaria.

### 3.2 Estructura y Conformación de la Red

El diseño actual red de monitoreo de calidad del aire [19], que opera desde 2008, concebía 18 puntos distribuidos por la ciudad, en base a las siguientes características:

Figura 4: Principales Vías de Cuenca y Su tráfico

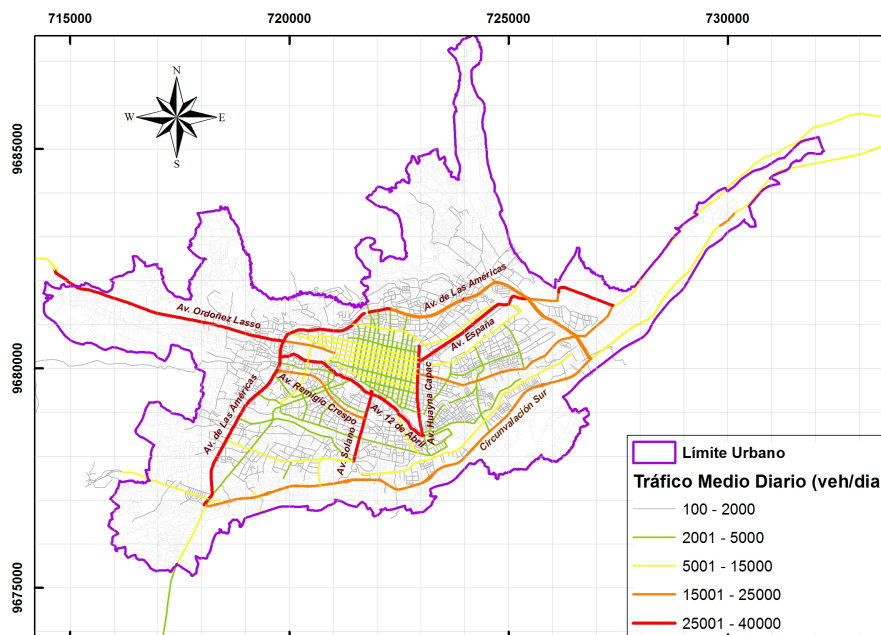
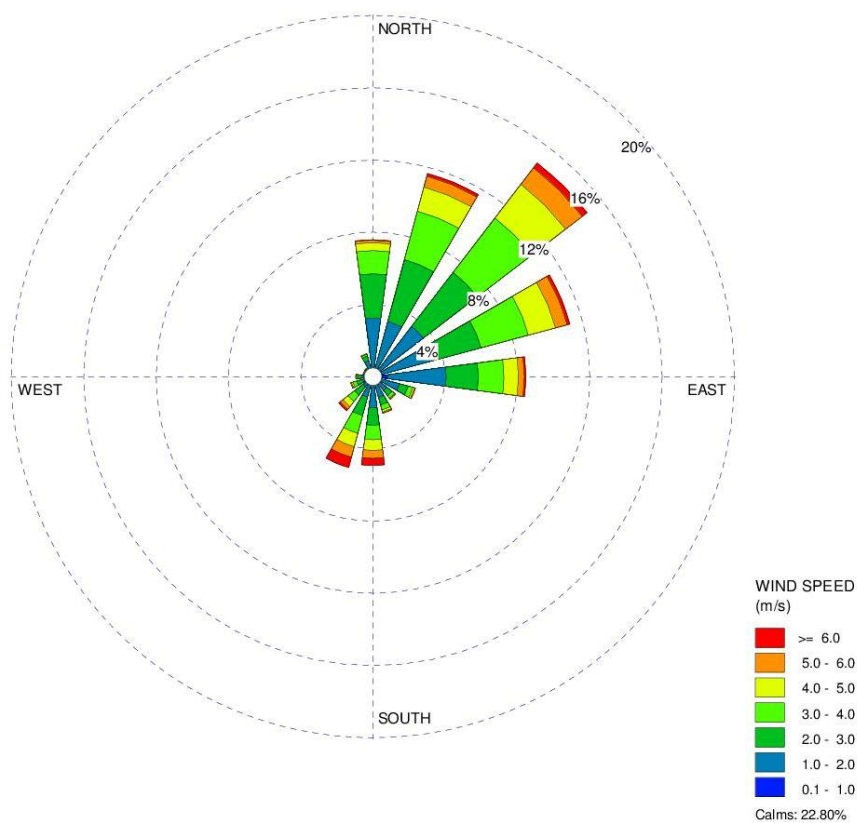


Figura 5: Rosa de los Vientos. Cuenca. Período 1990-2011



- Una estación automática de monitoreo, ubicada en el centro de la ciudad, que registre las concentraciones de  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$ , y una escala de representación urbana.

- Tres monitores activos para la medición de  $PM_{10}$ , y tres monitores pasivos automáticos con su recolector de datos para la medición de  $CO$ , ubicadas en al noreste en el sector del parque industrial, en el centro de la ciudad junto a la estación automática, y al suroeste. Su representación espacial es de escala urbana.
- Trece puntos ubicados en diferentes partes de la ciudad con una superficie de representación vecinal de 2.2 km a la redonda de su emplazamiento. Los contaminantes medidos son  $SO_2$ ,  $O_3$  y  $NO_2$  empleando muestreadores pasivos de difusión.
- Nueve puntos de medición de Material Particulado Sedimentable  $PS$ , distribuidos junto a los monitores pasivos. Y con escala de representación vecinal.
- Un punto para medición a microescala en la zona céntrica de la ciudad, con la finalidad de registrar el efecto calle-cañón. En este punto determina por muestreadores pasivos la concentración de  $NO_2$ ,  $SO_2$  y  $PS$ .
- Un punto para determinar las concentraciones de fondo, ubicado fuera de Cuenca a 2 km de límite de la zona urbana. En este punto mide  $O_3$  mediante monitores pasivos y  $PS$ .

La red de monitoreo en el año 2008 inició su funcionamiento con 17 puntos de monitoreo mediante muestreadores de difusión pasiva, 15 puntos de depósito de partículas sedimentables y 1 punto de determinación de la concentración de fondo [20]. Al año 2014, los puntos de vigilancia aumentaron a 20, que incluyen una estación de monitoreo automática, una subred de muestreo por difusión pasiva en los 20 puntos, una subred de depósito de Partículas Sedimentables con 17 puntos y 3 puntos de monitoreo activo de  $PM_{10}$ . [7]

Los puntos concebidos en el diseño de la red, su implementación y evolución hasta el 2014 en base a los Informes de Calidad de Aire del 2008 al 2014 [20], [21], [22], [23], [24], [25], [7] se muestra en la Tabla 3. La ubicación espacial de los puntos de monitoreo se muestra en la Figura 6.

Cabe destacar que la escala de monitoreo de todos los puntos es Vecinal, exceptuando el punto ICT cuyo monitoreo pasivo únicamente incluye Ozono y la Escala de Representatividad es Regional, los puntos LAR, BCB y VEG cuya representatividad es de microescala y los puntos MUN, EIE y CCA cuya escala a más de vecinal es urbana.

## 4 Conclusiones y Recomendaciones

De conformidad con la información recopilada de las características urbanas y meteorológicas de Cuenca, y con las caracterización de la actual red de monitoreo de calidad del aire de Cuenca, se establece:

Acorde al tamaño y población de la ciudad, la instalación de una sola estación automática en el centro de urbe, cumple la recomendación a escala urbana y con los requerimientos mínimos de monitoreo. Sin embargo, es suficiente contar con dos monitores activos  $PM_{10}$  a escala urbana, recomendándose que se conserven el punto MUN ubicado en el centro de la ciudad y el punto CCA cercano al parque industrial, no así el punto EIE ubicado al suroeste: la relocalización

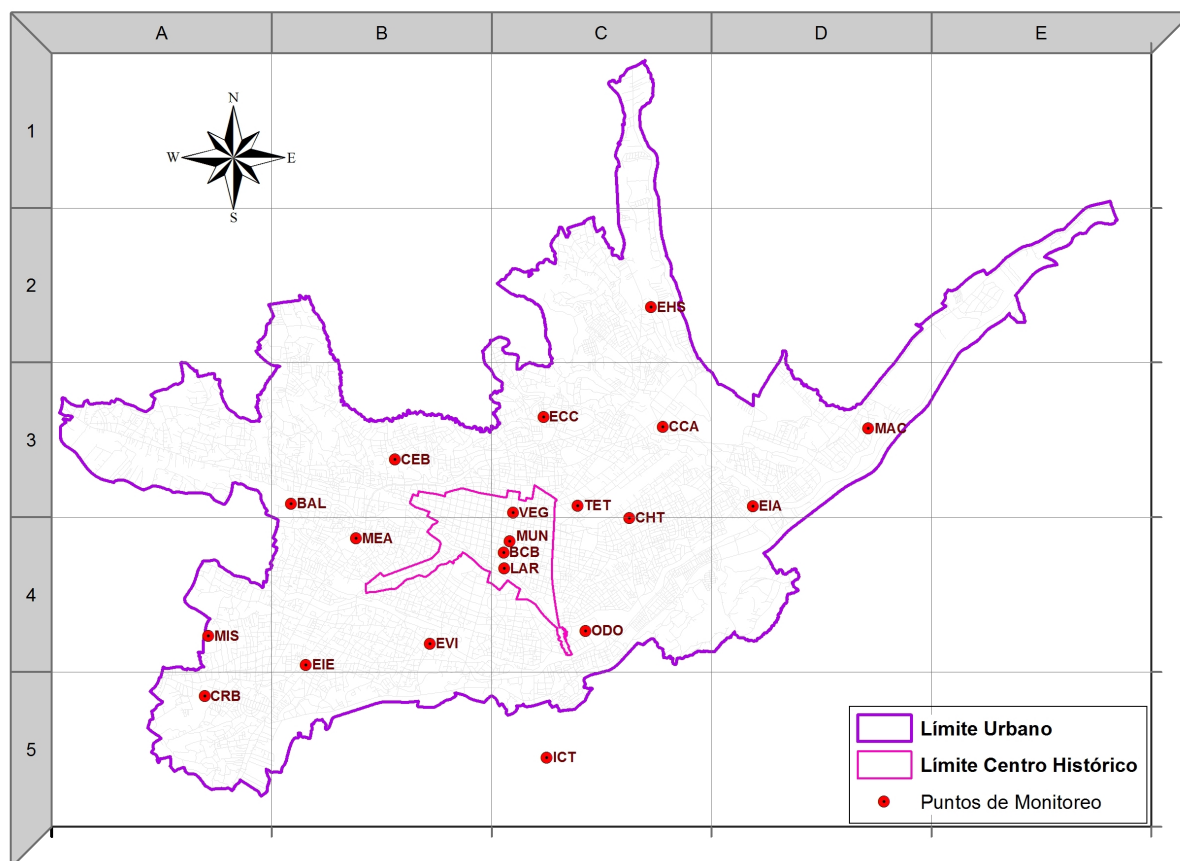
Tabla 3: Diseño y Cambios de la Red de Monitoreo

PUNTO	REFERENCIA	DISEÑO DE RED	RED DE 2008	CAMBIOS EN LA RED	RED AC-TUAL
MAN	D-3	Machángara	B	B, PS	B, PS
EIA	D-3	Escuela Ignacio Andrade	DP, PS	DP, PS	DP, PS
EHS	C-2	Escuela Héctor Sempértegui	DP, PS	DP, PS	DP, PS
CHT	C-3	Colegio Herlinda Toral	DP, PS	DP, PS	DP, PS
TET	C-3	Terminal Terrestre	DP, PS	DP, PS	DP, PS
ECC	C-3	Escuela Carlos Crespi II	DP	DP, PS	DP, PS
ODO	C-4	Universidad de Cuenca - Facultad de Odontología	DP	DP, PS	DP, PS
EVI	B-4	Escuela Velazco Ibarra	DP	DP, PS	DP, PS
MEA	B-4	Mercado El Arenal	DP	DP, PS	DP, PS
BAL	B-3	Universidad de Cuenca - Balzay CEA	DP, PS	DP, PS	DP, PS
CRB	A-5	Colegio Rafael Borja	DP	DP, PS	DP, PS
VEG	C-3	Calle Vega Muñoz	DP	DP	DP
CCA	C-3	Colegio Carlos Arizaga Vega	MA, DP, PS	MA, DP, PS	MA, DP, PS
MUN	C-4	Municipio	AT, MA, DP, PS	MA, DP, PS	AT, MA, DP, PS
EIE	B-4	Escuela Ignacio Escandón	MA, DP, PS	MA, DP, PS	MA, DP, PS
BCB	C-4	Estación de Bomberos	DP	DP, PS	DP, PS
LAR	C-4	Calle Larga	DP	DP	DP
ICT	C-5	Antenas de Ictocruz	DP, PS	DP	DP
CEB	B-3	Cebollar		DP, PS	DP, PS
MIS	A-4	Misicata		DP, PS	DP, PS

**AT** Automatica **MA** Monitoreo Activo **DP** Monitoreo por Difusión Pasiva **PS** Monitoreo de Partículas Sedimentables **B** Blanco de Fondo



Figura 6: Localización de los puntos de Monitoreo



de este punto pudiera ser en el punto BCB o LAR en el centro de la ciudad, pero para medir concentraciones de micro-escala.

Los monitores automáticos de  $CO$  no se recomiendan utilizar a escala urbana, por lo tanto la escala de representatividad de la concentración de  $CO$  en la estación MUN es de media escala o micro-escala.

La red de monitoreo a escala vecinal actual está conformada por 20 puntos, 13 están específicamente ubicados para este propósito y 3 concebidos en la red a escala urbana, en donde también se hace medición a escala vecinal. Esta red usa principalmente métodos de difusión pasiva, lo cuales provén información en períodos largos de tiempo, ya sea entre 10 a 12 días para el caso de  $NO_2$  y  $O_3$ , y 30 días para el  $SO_2$  y  $PS$ . Para la ciudad de Cuenca es adecuado el uso de estos métodos siempre y cuando se consideren como un soporte de la red a escala urbana. El empleo de los métodos pasivos ofrece información de gran calidad a un bajo costo. A mediano plazo, el número de puntos de monitoreo a escala vecinal pueden ser disminuidos, considerando que las recomendaciones dadas a escala vecinal establecen que la representación espacial es de hasta 4 km a la redonda. Se observa, acorde a la distribución espacial, que no se contempla medición a escala vecinal en un sector oeste y noroeste de la ciudad, recomendándose que se emplace un punto de acuerdo a la metodología establecida en este proyecto; además, dos puntos de la red de escala vecinal (TET y CHA), se encuentran muy próximos a menos de 1 km de distancia, por lo que el punto CHA debe ser reubicado más hacia el sureste.

En la conformación de la actual red, el punto MAC (Blanco) es donde se colocan los monitores pasivos cerrados, los cuales no registran la contaminación del sector sino el comportamiento de los reactivos químicos con la variación de la temperatura diaria y del período, se recomienda por tanto colocar también monitores pasivos que nos permitan registrar los niveles de contaminantes en esta zona de la ciudad.

Se encuentra que el diseño contempla monitores automáticos de *CO* en los puntos MUN, EIE Y CCA, sin embargo únicamente la estación automática ubicada en MUN está realizando mediciones. Se recomienda, por tanto que la estación CCA cuente con el monitoreo automático de *CO*, por otra parte un monitor adicional se recomendaría para medir el efecto cañón en el punto BCB o LAR, y no es necesario contar con un monitor en el punto EIE, establecido en el diseño original.

El único punto a escala regional es ICT, de manera que para la determinación de la concentración de fondo fuera de Cuenca y el impacto de esta en la periferia, a más del punto propuesto se recomienda ubicar 5 puntos en la dirección suroeste cada 5 km de manera especial para medir el impacto del ozono troposférico generado por la ciudad. Esta medición se debe realizar en el período octubre – marzo que corresponde a los meses más cálidos del año.

El micro-emplazamiento de los monitores, donde se analizan las distancias de separación entre las vías de tráfico y los monitores, altura desde el suelo al analizador, distancia horizontal y vertical de las estructuras de apoyo al analizador, distancia de árboles u otros obstáculos hacia el analizador y espacio libre al ingreso cumplen los requisitos establecidos.

La operación y mantenimiento de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire se ha venido efectuando de acuerdo a las recomendaciones dadas por la US-EPA.

## Referencias

- [1] “40 c.f.r. volume i. section 58. ambient air quality surveillance.”
- [2] “40 c.f.r volume i. section 53. ambient air monitoring reference and equivalent methods.”
- [3] E. E. A. (EEA), “Criteria for EUROAIRNET. the EEA air quality monitoring and information network.”
- [4] W. H. Organization, *Air Quality Guidelines. Global Update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide.*
- [5] W. H. Organization, “Monitoring ambient air quality for health impact assessment.”
- [6] U. S. E. P. A. (EPA), *Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Ambient Air Quality Monitoring Program*, vol. II.
- [7] R. de Monitoreo de Calidad del Aire EMOV EP, “Informe de la calidad del aire de cuenca, año 2014.”
- [8] “Texto unificado de legislación secundaria.”

- [9] “Ordenanza que sanciona el plan de ordenamiento territorial del cantón cuenca: Determinaciones para el uso y ocupación del suelo urbano.”
- [10] I. N. de Estadística y Censos INEC, “VII censo de población y VI vivienda CPV 2010.”
- [11] Comisión de Gestión Ambiental. Municipio de Cuenca CGA, “Plan energético de cuenca 2007-2017.”
- [12] R. de Monitoreo de Calidad del Aire EMOV EP, “Inventario de emisiones atmosféricas del cantón cuenca. año base 2011.”
- [13] GAD Municipal de Cuenca, “Infraestructura de datos espaciales. geovisor municipal.”
- [14] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI, “Anuario meteorológico. 2010.”
- [15] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI, “Anuario meteorológico. 2011.”
- [16] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI, “Anuario meteorológico. 2012.”
- [17] Fundación Natura, CUENCAIRE, and Comisión de Gestión Ambiental. Municipio de Cuenca CGA, “Inventario de emisiones atmosféricas del cantón cuenca. año base 2007.”
- [18] R. de Monitoreo de Calidad del Aire EMOV EP, “Inventario de emisiones atmosféricas del cantón cuenca. año base 2009.”
- [19] Bladimir Ibarra, “Diseño de la red de monitoreo atmosférico del cantón cuenca.”
- [20] CUENCAIRE, “Informe de la calidad del aire de cuenca, año 2008.”
- [21] CUENCAIRE, “Informe de la calidad del aire de cuenca, año 2009.”
- [22] R. de Monitoreo de Calidad del Aire EMOV EP, “Informe de la calidad del aire de cuenca, año 2010.”
- [23] R. de Monitoreo de Calidad del Aire EMOV EP, “Inventario de emisiones atmosféricas del cantón cuenca. 2011.”
- [24] R. de Monitoreo de Calidad del Aire EMOV EP, “Informe de la calidad del aire de cuenca, año 2012.”
- [25] R. de Monitoreo de Calidad del Aire EMOV EP, “Informe de la calidad del aire de cuenca, año 2013.”