



EMOV



CUENCA
AL CALDIA

INFORME DE CALIDAD

aire

CUENCA 2011



Paul Granda López
ALCALDE DE CUENCA.

Darío Tapia Rivera.
Gerente de EMOV EP

El informe de la Calidad del Aire de Cuenca 2011 fue preparado por:
Claudia Espinoza Molina
Responsable de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire.

Contribuyo a la Revisión y Corrección del informe final.
René Parra Narváez.

Para el monitoreo de la calidad del aire se contó con el apoyo de:
Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ).

Diseño:
Imagen Corporativa Alcaldía de Cuenca

Se solicita citar este documento de la siguiente manera:

ALCALDÍA DE CUENCA
RED DE MONITOREO EMOV EP.
Informe de la calidad del aire, año 2011.
Cuenca-Ecuador 2012



Presentación



Diversos estudios científicos reportan que la contaminación atmosférica constituye uno de los principales problemas ambientales en los centros urbanos, tanto a nivel de América Latina como del mundo entero. Frente a ello, cada país establece como prioridad la adopción de acciones para el control de la calidad del aire.

Estas acciones parten, inicialmente, de la generación de un diagnóstico ambiental de la situación de la calidad de aire en un territorio determinado, pudiendo el mismo caracterizar las principales fuentes de emisión y los posibles efectos que estarían provocando a la salud de la población y al medio ambiente.

La situación actual en Cuenca no es ajena a la problemática atmosférica, donde la calidad del aire estaría siendo vulnerada por algunas fuentes emisoras de contaminantes (tránsito vehicular, industria, etc.)

El Informe de la Calidad del Aire, que hoy se presenta, contiene datos y recomendaciones importantes para mejorar la prevención y control de la contaminación, a nivel local.

Ante la evidencia de los problemas de contaminación atmosférica, se requiere de la implementación de acciones para mitigar sus fuentes y sus efectos negativos. Por ello, el mejoramiento de la

calidad del aire se inicia con actividades de monitoreo, debido a que es imprescindible contar con información de buena calidad y mayor cobertura, para el diseño de políticas de reducción de la contaminación.

La situación actual también demanda la búsqueda de compromiso y responsabilidad de varios sectores de la población, con el objetivo de implementar acciones adicionales para el mejoramiento de la calidad del aire, como una manera de contribuir al bienestar de la población, en un medio ambiente saludable.

Paúl Granda López
Alcalde de Cuenca

Agradecimiento

Gracias a todas y cada una de las personas que participaron en la consecución de este documento que tiene como finalidad el de informar las investigaciones realizadas por la Red de Monitoreo de la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte Terrestre, EMOV EP.

Destaco la colaboración sin condiciones de las escuelas: Ignacio Escandón, Carlos Crespi, Héctor Sempertegui, Ignacio Andrade, Velasco Ibarra, Juan Montalvo; a los colegios: Carlos Arízaga Vega, Herlinda Toral, Rafael Borja; a la Universidad de Cuenca con su Facultad de Odontología y al Cuerpo de Bomberos por todo el apoyo recibido durante este proceso. Sin lugar a dudas, el apoyo institucional de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ) de la Secretaría de Ambiente del Municipio de Quito en su asesoría técnica, ha permitido fortalecer la tarea de monitoreo en la ciudad.

Un agradecimiento especial a la ciudadanía cuencana y a su alcalde, Paúl Granda López por la confianza depositada en los trabajos efectuados por esta empresa municipal. Así también a ETAPA EP, CGA y Ministerio de Ambiente.

Rubén Darío Tapia Rivera
Gerente de EMOV EP

Introducción

El monitoreo del aire constituye la actividad básica para la gestión de la calidad ambiental en la ciudad. La emisión de contaminantes es inherente al desarrollo de los centros urbanos, y los niveles de inmisión asociados, se relacionan directamente con la salud pública.

Por ello, es necesario contar con información sobre el estado del recurso atmosférico, que permita a las autoridades conocer la efectividad de las políticas y acciones de control, y a la ciudadanía asumir de mejor manera las responsabilidades para mantener la calidad del aire en los mejores niveles.

Esta actividad ha sido asumida por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de

Cuenca, que opera desde el año 2008; generando información fiable mediante métodos y procedimientos reconocidos internacionalmente.

Es importante resaltar el esfuerzo institucional para la mejora de la infraestructura de la Red de Monitoreo. Desde mayo de 2012 se encuentra en funcionamiento una estación automática, localizada en el Centro Histórico de la ciudad, que registra en tiempo real los niveles de contaminación atmosférica y los valores de los principales parámetros meteorológicos. La estación permitirá el monitoreo de la calidad del aire, a corto y largo plazo, y en complemento con las subredes operativas desde el año 2008; cumplir con los requisitos de monitoreo que establece la

legislación nacional.

Para la implementación de la estación automática, ha sido clave el apoyo del Ministerio de Ambiente y la participación del personal técnico y directivo de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ).

Nos complace presentar el informe de la Calidad del Aire de Cuenca, que corresponde al año 2011, como actividad imprescindible de difusión pública del estado del recurso atmosférico, así como un ejercicio de rendición de cuentas de las actividades de la Red de Monitoreo de la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte Terrestre, EMOV EP.

Rubén Darío Tapia Rivera
Gerente de EMOV EP

Indice

AGRADECIMIENTOS	4
INTRODUCCIÓN	5
ANTECEDENTES	9
CONTAMINANTES DEL AIRE Y SUS EFECTOS EN LA SALUD	9
Dióxido de nitrógeno, NO ₂	9
El material particulado	10
Dióxido de azufre (SO ₂)	10
Monóxido de carbono (CO)	11
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	11
Ozono troposférico (O ₃)	12
DESCRIPCIÓN DE LA RED DE MONITOREO	13
Objetivos de la Red de Monitoreo	16
REPRESENTATIVIDAD DE DATOS	18
Material particulado MP ₁₀	18
Ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas sedimentables	18
Porcentaje de recolección de datos durante el año 2011	18
LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE CUENCA	19
Norma de Calidad del Aire Ambiente (NCAA)	20
Análisis de la calidad del aire del año 2011	21
Tendencias de las concentraciones medias anuales	35
CONCLUSIONES	40
ALTERNATIVAS PARA REDUCIR LAS EMISIONES DE CONTAMINANTES DEL AIRE	42
REFERENCIAS	43

Listado de Tablas

Tabla 1: Código, dirección y contaminantes de las estaciones de monitoreo	15
Tabla 2: Contaminantes del aire, métodos de medición y equipos utilizados por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Cuenca, año 2010	17
Tabla 3: Cobertura temporal de datos de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca, año 2011	18
Tabla 4: Vehículos que aprobaron la Revisión Técnica Vehicular en el Cantón Cuenca durante el periodo 2008 – 2011	19
Tabla 5: Resumen de la Norma de Calidad del Aire Ambiente vigente desde el 4 de abril de 2011. Contaminantes convencionales	20
Tabla 6: Resumen de la Norma de Calidad del Aire Ambiente vigente desde el 4 de abril de 2011. Contaminantes no convencionales	20
Tabla 7: Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente (NCAA) y Guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (WHO, 2000), (OMS, 2005)	21
Tabla 8: Concentraciones medias anuales de material particulado (MP10) del periodo 2008 - 2011 (µg/m ³)	35
Tabla 9: Concentraciones medias anuales de partículas sedimentables (PS) del periodo 2008 - 2011 (mg/cm ² durante 30 días)	36
Tabla 10: Concentraciones medias anuales de dióxido de azufre (SO ₂) del periodo 2008 - 2011 (µg/m ³)	36
Tabla 11: Concentraciones medias anuales de dióxido de nitrógeno (NO ₂) del periodo 2008 - 2011 (µg/m ³)	37
Tabla 12: Concentraciones medias anuales de ozono (O ₃) del periodo 2008 -2011 (µg/m ³)	37

Listado de Figuras

Figura 1: Localización de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Cuenca, año 2011	14
Figura 2: Dispositivos empleados en el muestreo pasivo de contaminantes gaseosos	16
Figura 3: Detalle del dispositivo de muestreo pasivo	16
Figura 4: Estación automática de calidad del aire y meteorología localizada en la estación MUN	17
Figura 5: Promedio anual de las concentraciones de MP_{10} ($\mu g/m^3$). Año 2011	22
Figura 6: Concentraciones medias mensuales de MP_{10} ($\mu g/m^3$). Año 2011	22
Figura 7: Precipitación mensual durante el año 2011 (mm/mes). Estación meteorológica del Aeropuerto Mariscal Lamar de la Ciudad de Cuenca	23
Figura 8: Partículas sedimentables, promedio anual por estación (mg/cm^2 durante 30 días). Año 2011	24
Figura 9: Concentraciones medias mensuales de partículas sedimentables (mg/cm^2 durante 30 días). Año 2011	25
Figura 10: Distribución espacial de la concentración media de partículas sedimentables para el año 2011 (mg/cm^2 durante 30 días)	26
Figura 11: Dióxido de azufre, promedio anual por estación ($\mu g/m^3$). Año 2011	27
Figura 12: Concentraciones medias mensuales de SO_2 ($\mu g/m^3$). Año 2011	28
Figura 13: Distribución espacial de la concentración media de SO_2 para el año 2011 ($\mu g/m^3$)	29
Figura 14: Dióxido de nitrógeno, promedio anual por estación ($\mu g/m^3$). Año 2011	30
Figura 15: Concentraciones medias mensuales de NO_2 ($\mu g/m^3$). Año 2011	31
Figura 16: Distribución espacial de la concentración media de NO_2 para el año 2011 ($\mu g/m^3$)	31
Figura 17: Ozono, promedio anual por estación ($\mu g/m^3$). Año 2011	32
Figura 18: Concentraciones medias mensuales de O_3 ($\mu g/m^3$). Año 2011	33
Figura 19: Distribución espacial de la concentración media de O_3 para el año 2011 ($\mu g/m^3$)	33
Figura 20: Benceno, promedio anual por estación ($\mu g/m^3$). Año 2011	34
Figura 21: Distribución espacial de la concentración media de benceno para el año 2011 ($\mu g/m^3$)	35
Figura 22: Promedio de las temperaturas mínimas ($^{\circ}C$) por mes para los años 2009, 2010 y 2011. Estación meteorológica del aeropuerto Mariscal Lamar de la Ciudad de Cuenca.	38
Figura 23: Lluvia por mes (mm/mes) para los años 2009, 2010 y 2011. Estación meteorológica del aeropuerto Mariscal Lamar de la Ciudad de Cuenca.	39

Antecedentes

La contaminación atmosférica es motivo de interés creciente por afectar directamente a la salud pública. De acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2010), se estima que por su causa, anualmente en el Ecuador fallecen 500 personas.

La actividad contaminante en Cuenca, derivada principalmente del tráfico vehicular, la actividad industrial, la expansión urbana; han producido un deterioro de la calidad

de aire, determinando la necesidad de monitoreo de niveles de los contaminantes atmosféricos; de acuerdo a lo que establece la Normativa Nacional, como actividad básica de la gestión de la calidad del aire.

La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca opera desde el año 2008, generando información sobre los niveles de contaminación atmosférica. La Red de Monitoreo formaba parte de la Corporación Para el Mejoramiento del Aire de Cuenca

(Cuencaire); entidad que adicionalmente se encargaba de la fiscalización del proceso de Revisión Técnica Vehicular (RTV) en el Cantón Cuenca.

Cuencaire fue liquidada a finales del año 2010. Las funciones de la operación de la Red de Monitoreo y la fiscalización de la RTV fueron transferidas a la Empresa Municipal de Movilidad (EMOV - EP), de la Secretaría de Movilidad, Tránsito y Transporte del Municipio de Cuenca.

Contaminantes del aire y sus efectos en la salud

Entre los contaminantes más importantes se incluyen el dióxido de nitrógeno (NO_2), el material particulado grueso y

fino (MP_{10} ; $MP_{2.5}$), el dióxido de azufre (SO_2), el monóxido de Carbono (CO), los

compuestos orgánicos volátiles (COV) y el ozono troposférico (O_3).

Dióxido de nitrógeno, NO_2

El óxido nítrico (NO) es un gas incoloro que se genera por la combinación entre el nitrógeno (N_2) y el oxígeno (O_2) del aire, durante los procesos de combustión; y en menor grado por la oxidación del nitrógeno de los combustibles. El dióxido de nitrógeno (NO_2), que se forma principalmente por la oxidación del NO, es un gas de color café rojizo, irritante, tóxico en altas concentraciones y muy reactivo. En elevadas concentraciones puede irritar los alvéolos e incrementar el riesgo de

infecciones pulmonares.

Se utiliza el término "óxidos de nitrógeno" (NO_x) para denominar principalmente la suma de NO y NO_2 . Desempeñan un rol preponderante en la formación del ozono troposférico cuando reaccionan con los compuestos orgánicos volátiles, en presencia de radiación solar. Las emisiones más importantes provienen de los procesos de combustión, como las que ocurren al interior de los motores de

los vehículos, en las centrales térmicas y actividades de combustión en industrias.

Los NO_x se hidratan en la atmósfera y forman ácido nítrico HNO_3 , compuesto que se arrastra con la lluvia o se deposita por gravedad, formando parte de la denominada lluvia o deposición ácida. Adicionalmente promueven la eutrofización de las masas de agua. Promueven la formación de partículas secundarias en la atmósfera.

El material particulado

Comprende una mezcla de partículas sólidas y líquidas. Se emiten directamente desde fuentes primarias (partículas primarias) o se forman por la condensación de los contaminantes gaseosos. Una vez en el aire, las partículas pueden cambiar en concentración, de tamaño y forma, pudiendo afectar al balance radiativo de energía atmosférica. Las partículas secundarias son aquellas que se forman como consecuencia de las reacciones químicas y su posterior condensación o liquefacción. En su mayor parte las partículas secundarias se forman a partir de hidrocarburos, NOx y SO₂. Algunas partículas suficientemente grandes u oscuras pueden ser visibles fácilmente (como las corrientes de humo o de hollín). Otras son tan pequeñas que solamente pueden ser detectables por medio de un microscopio electrónico.

Dióxido de azufre (SO₂)

Se forma por la oxidación del azufre que contienen los combustibles fósiles; en el Ecuador, principalmente del diesel, fuel oil y otros combustibles pesados.

El SO₂ es un gas incoloro, no inflamable y no explosivo que produce una sensación gustatoria a concentraciones de 260 a 860 µg/m³. Es un gas irritante (a concentraciones mayores de 860 µg/m³) que provoca alteraciones en las mucosas oculares y de

Las partículas más grandes no permanecen por mucho tiempo en la atmósfera y se depositan cerca de la fuente de emisión. A éstas se las denomina Partículas Sedimentables (PS). Las partículas más pequeñas pueden desplazarse largas distancias e ingresan fácilmente al organismo debido a la respiración.

Causan irritación en los ojos, nariz y garganta. Las más grandes (diámetro >= 10 µm) pueden ingresar hasta la nariz y garganta. Las partículas muy pequeñas pueden entrar fácilmente hasta los pulmones y desde allí ser absorbidas directamente al torrente sanguíneo. Estas partículas suelen tener un diámetro menor de 10 µm (MP₁₀). Las emisiones de MP₁₀ suelen proceder desde vías (con o sin pavimento), de la erosión eólica, la quema de residuos de cosechas agrícolas y actividades de construcción.

las vías respiratorias. Afecta las defensas del sistema respiratorio y agrava las enfermedades cardiovasculares. Los grupos más sensibles son los niños, las personas de edad avanzada, así como los individuos que sufren asma, problemas cardiovasculares o enfermedades crónicas del sistema respiratorio, como bronquitis o enfisema.

En contacto con la humedad del aire, forma ácido sulfúrico (H₂SO₄), que se

Se definen como partículas finas aquellas que tienen un diámetro menor 2.5 µm (MP_{2.5}). Se emiten por la combustión en los motores de vehículos, la generación eléctrica en centrales térmicas, los procesos industriales, o desde las chimeneas residenciales y estufas de madera. Pueden ingresar directamente hasta los alvéolos pulmonares. Se asocian con la reducción de la visibilidad, especialmente cuando su tamaño oscila entre 0.4 y 0.8 µm, que corresponde al rango de longitud de onda de la luz visible. El MP_{2.5} forma parte del MP₁₀.

En relación con sus efectos sobre la salud, el MP₁₀ pueden penetrar hasta las vías respiratorias bajas, y el MP_{2.5} puede penetrar hasta las zonas de intercambio de gases del pulmón. El MP_{2.5} es un contaminante cancerígeno.

arrastra con la precipitación o se deposita, provocando la acidificación de los suelos, lagos y ríos; con efectos negativos en la vegetación, la aceleración de la corrosión de materiales, edificios y monumentos.

También promueve la formación de partículas secundarias, que además de ser perjudiciales para la salud, dispersan la luz y contribuyen con el deterioro de la visibilidad.

Monóxido de carbono (CO)

Es un gas incoloro, inodoro y venenoso, que se forma cuando los combustibles no se oxidan completamente. Es uno de los principales contaminantes que se emiten por los tubos de escape de los vehículos. En las zonas urbanas, un porcentaje alto de CO se debe normalmente al tráfico vehicular. Otra fuente importante son los procesos industriales de combustión.

El CO tiene una alta afinidad por la hemoglobina de la sangre, que es la sustancia que distribuye el oxígeno hacia los órganos y tejidos. Cuando el oxígeno es

Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Hay varias definiciones de compuestos orgánicos volátiles (COV). Una de las más utilizadas establece que los COV corresponden a cualquier compuesto de carbono, dióxido de carbono, y otros; que participan en la formación de O₃ troposférico (reacciones fotoquímicas).

Las principales fuentes antropogénicas constituyen todos los procesos de combustión (fundamentalmente el tráfico y las industrias), así como la evaporación por la gestión y almacenamiento de combustibles en reservas, gasolineras y uso de disolventes. La principal fuente biogénica de emisión son los sistemas agroforestales, y en menor proporción, las masas de agua, los campos agrícolas y los procesos

desplazado por el CO, pueden haber efectos negativos que van desde alteraciones del flujo sanguíneo y del ritmo cardíaco, perturbaciones visuales, dolores de cabeza, reducción de la capacidad laboral, reducción de la destreza manual, vómitos, desmayo, convulsiones, coma, hasta la muerte por asfixia; según la dosis de la exposición. Las personas que padecen de problemas cardiovasculares son más sensibles a su exposición.

La emisión de CO produce problemas de contaminación del aire de tipo interior

de fermentación bacteriana.

Las fuentes naturales liberan cantidades importantes de COV (especialmente isopreno y monoterpenos), que se caracterizan por ser altamente reactivos y participar activamente en el fenómeno de la niebla fotoquímica.

El uso de disolventes y de compuestos químicos en el hogar y en la oficina (perfumes, sustancias para abrillantar muebles, gomas, tinturas, barnices, preservantes de la madera, pesticidas, sustancias para lavado en seco e insecticidas) constituye una fuente importante de COV.

Los COV producen irritación de los ojos, nariz y garganta. En casos severos de

y exterior. En términos de muertes accidentales por asfixia, son mucho más críticas las concentraciones; y por tanto las exposiciones, que se generan en el interior de viviendas y espacios cerrados.

La cota de Cuenca, aproximadamente 2550 msnm, implica una menor disponibilidad de oxígeno en relación a ciudades localizadas a nivel del mar. Por ello los procesos de combustión (oxidación) de gasolina, diesel y otros combustibles; son menos eficientes y hay una mayor emisión de CO.

exposición provocan dolores de cabeza, pérdida de coordinación y náusea. En exposición crónica, algunos COV afectan el hígado, los riñones y el sistema nervioso central. Algunos COV se clasifican como tóxicos y peligrosas, por su capacidad probada o potencial, de ser cancerígeno o de causar graves daños a la salud (benceno; 1,3 butadieno; cloroformo; formaldehído, hexaclorobenceno, tetracloroetileno, tetracloruro de carbono).

El benceno es un contaminante cancerígeno (asociado con la leucemia) que produce adicionalmente otros efectos en la salud. La OMS no establece ningún nivel de exposición máximo que se pueda considerar seguro.

Ozono troposférico (O₃)

Es un gas oxidante y componente natural de la atmósfera. Un 90 % de su concentración se distribuye en la estratosfera (capa de la atmósfera que se localiza sobre la troposfera), y el restante 10% reside en la troposfera (capa de la atmósfera en contacto con la superficie terrestre). El O₃ estratosférico absorbe virtualmente toda la radiación ultravioleta que proviene del Sol y actúa como una capa protectora de los seres vivos y ecosistemas.

El O₃ troposférico es un fuerte irritante que promueve el envejecimiento prematuro, la rigidez de los tejidos pulmonares y afecta al sistema respiratorio. Según la Organización Mundial de la Salud

(OMS), las concentraciones horarias de 200 µg m⁻³ pueden causar irritación de los ojos, nariz y garganta, dolor pectoral, tos y dolor de cabeza. Los grupos más sensibles constituyen las personas que sufren asma, bronquitis crónica y enfisema. Afecta el normal desarrollo y crecimiento de plantas y produce el deterioro de materiales como el caucho, colorantes textiles y pinturas.

El O₃ troposférico de origen antropogénico, es un contaminante secundario que se produce por las reacciones entre los NO_x, COV, en presencia de radiación solar.

La distribución espacial y temporal del

O₃ troposférico puede diferir marcadamente en relación con otros contaminantes. Los impactos más importantes pueden ocurrir en sitios ubicados a varios kilómetros desde las fuentes de emisión de los contaminantes que lo promueven. Los eventos más críticos de exposición pueden ocurrir en zonas suburbanas y rurales. Por su propia naturaleza los procesos de su formación, transporte y deposición son complejos.

El O₃ reacciona con el NO. En el centro de las grandes ciudades, y especialmente en las noches, pueden haber menores concentraciones de O₃, en relación a cinturones metropolitanos y áreas rurales circundantes.

Descripción de la Red de Monitoreo

La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca de la EMOV-EP cuenta actualmente con 19 puntos de vigilancia, distribuidos en diferentes sitios de la ciudad (Figura 1).

La Tabla 1 indica el código, la ubicación, los contaminantes y la escala de la información de calidad del aire que genera cada estación; de acuerdo con las categorías de estaciones establecidas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA).

Los sitios de emplazamiento de las estaciones cumplen con las recomendaciones de la USEPA.

La Red de Monitoreo incluye:

- Una subred pasiva de muestreo de contaminantes gaseosos en las 19 estaciones (Figura 1). Mide las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO₂) en muestras expuestas de 10 a 12 días consecutivos, dos veces por mes; de ozono (O₃) en muestras expuestas 10 a 12 días consecutivos; dos veces por mes, dióxido de azufre (SO₂) y benceno en muestras expuestas durante 30 días

consecutivos, una vez por mes. La técnica pasiva se basa en el principio de difusión de los gases originada en un gradiente de concentración. Los dispositivos de muestreo en forma de tubos (Figura 2) capturan selectivamente los contaminantes en un sustrato químico específico. Los tubos se colocan en contenedores con el propósito de minimizar la influencia del viento y otros agentes externos (Figura 3). En laboratorio se realiza la desorción del contaminante y se procede a su cuantificación. Con esta técnica se determina la concentración media de los contaminantes. Los procedimientos de medición y las técnicas de laboratorio son reconocidos internacionalmente.

- Una subred de depósito de Partículas Sedimentables (PS), con 16 puntos de medición. Las concentraciones se determinan mediante el análisis gravimétrico de las muestras recogidas una vez por mes, luego de 30 días consecutivos de exposición, según el método establecido en la Norma de Calidad del Aire Ambiente (NCAA). La Tabla 1 indica las estaciones que registran el depósito de PS.

- Una subred activa de material particulado menor a 10 micras (MP10), conformada por 3 equipos semiautomáticos de alto volumen para la obtención de muestras durante 24 horas consecutivas de exposición; según lo establecido en la NCAA. El intervalo de frecuencia de la toma de muestras es de 6 días. La Tabla 1 indica las estaciones que cuentan con equipos de MP10.

La Tabla 2 presenta los métodos de medición y equipos que conforman la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Cuenca.

Desde mayo de 2012 se encuentra en funcionamiento una estación automática de calidad de aire y de meteorología (Figura 4), localizada en la estación MUN. Registra en tiempo real los siguientes contaminantes: CO, SO₂, NO₂, O₃ y MP2.5.

Además registra los valores de los siguientes parámetros meteorológicos: precipitación, radiación solar global, velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa.

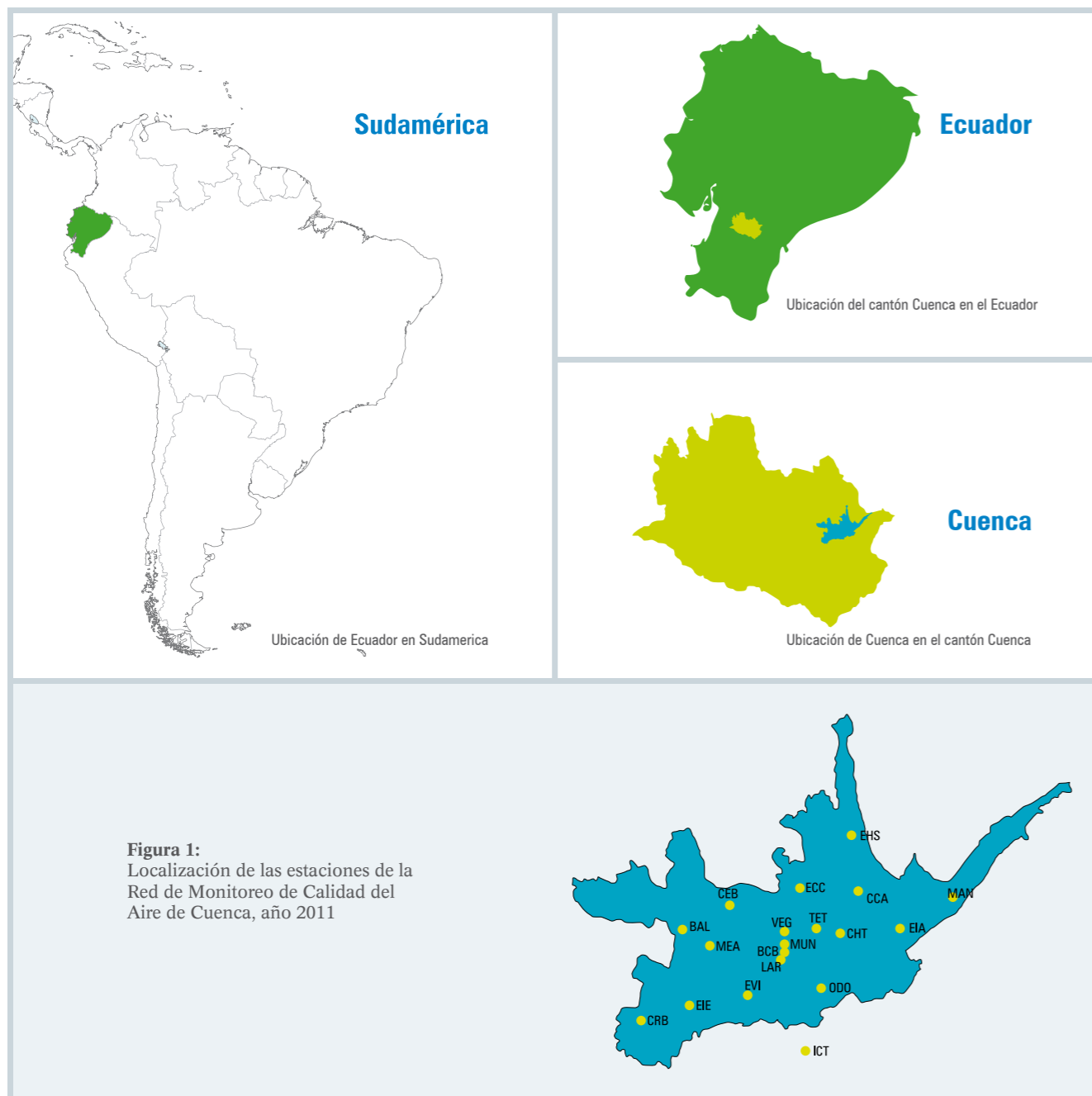


Figura 1:
Localización de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Cuenca, año 2011

Código	Nombre	Ubicación	Contaminantes	Escala
MAN	Machángara	Jardines del Río y Calle Londres	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	vecinal
EIA	Escuela Ignacio Andrade	Reino de Quito y Av. González Suárez	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	vecinal
EHS	Escuela Héctor Sempértegui	Camino a Ochoa León	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	vecinal
CHT	Colegio «Herlinda Toral»	Altar Urco y Av. Paseo de los Cañaris	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	vecinal
TET	Terminal Terrestre	Avenidas Madrid y España	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	vecinal
ECC	Escuela «Carlos Crespi» II	Calles de la Bandolía y del Arpa	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	vecinal
ODO	Facultad de Odontología – Universidad de Cuenca.	Avenidas Pasaje del Paraíso y 10 de Agosto	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	vecinal
EVI	Escuela «Velasco Ibarra»	Av. Felipe II e Isabel «La Católica»	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	vecinal
MEA	Mercado «El Arenal»	Avenidas Remigio Crespo y de las Américas	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	vecinal
BAL	Balzay CEA – Universidad de Cuenca.	Avenida Ordóñez Laso y calle Los Cerezos	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	vecinal
CRB	Colegio «Rafael Borja»	Camino a Baños	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	vecinal
VEG	Vega Muñoz	Vega Muñoz y Luis Cordero	NO ₂ , SO ₂ , BTEX	microescala
CCA	Colegio «Carlos Arízaga Vega»	Calles J. Lavalle y A. Ricaurte	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, MP ₁₀ , BTEX	urbana, vecinal
MUN	Municipio	Calles Simón Bolívar y Presidente Borrero	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, MP ₁₀ , BTEX	urbana, vecinal
EIE	Escuela Ignacio Escandón	Av. Loja y calle Ignacio de Rocha	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, MP ₁₀ , BTEX	urbana, vecinal
BCB	Estación de bomberos	Calles Presidente Córdova y Luis Cordero	NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	microescala
LAR	Calle Larga	Calle Larga y Borrero	NO ₂ , SO ₂ , BTEX	microescala
ICT	Antenas de Ictocruz	Camino a Ictocruz	O ₃	regional
CEB	Cebollar	Calle del Cebollar	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, MP ₁₀ , Benceno	vecinal

Tabla 1:
Código, dirección y contaminantes de las estaciones de monitoreo

Objetivos de la Red de Monitoreo

Los principales objetivos de la Red de Monitoreo de Cuenca son los siguientes:

- Vigilar permanentemente la calidad del aire en relación al cumplimiento de la NCAA y de las guías de la OMS.
- Generar información para caracterizar la distribución espacial de la contaminación atmosférica, mediante campañas de medición de la calidad del aire en diferentes zonas de la ciudad.
- Identificar las potenciales fuentes de emisión.
- Analizar la tendencia de la contaminación a largo plazo.
- Generar información para su uso la calibración y posterior uso de un modelo de transporte químico de contaminantes, que complemente la información de la Red de Monitoreo, con una cobertura espacial y temporal de mayor alcance.
- Generar información para la evaluación y mejora continua de la configuración de la Red de Monitoreo.
- Revisar los resultados obtenidos, para la evaluación de las actividades y políticas de gestión de la calidad del aire.



Figura 2: Dispositivos empleados en el muestreo pasivo de contaminantes gaseosos



Figura 3: Detalle del dispositivo de muestreo pasivo



Figura 4: Estación automática de calidad del aire y meteorología localizada en la estación del Municipio (MUN)

Contaminante	Puntos de vigilancia	Método	Marca/modelo
Dióxido de azufre (SO ₂)	18	Difusión pasiva; extracción y análisis por cromatografía iónica	Metrohm 861 Advanced Compact IC.
Ozono (O ₃)	16	Difusión pasiva; espectrofotometría UV visible (reacción de color MBTH, longitud de onda 442nm)	Thermo Scientific GENESIS 20
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	18	Difusión pasiva; espectrofotometría UV visible (longitud de onda 540nm)	Thermo Scientific GENESIS 20
Partículas sedimentables (PS)	16	Muestreo por el método Bergerhoff y análisis gravimétrico	Horno Memmert Balanza Analítica Adventurer Pro OHAUS
Material particulado (MP ₁₀)	3	Gravimétrico empleando muestreador de alto volumen (Referencia EPA 40CFR50, Apéndice J).	THERMO, HY-VOL MP ₁₀ , Balanza Sartorius /LA 130S-F.
Benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX)	18	Difusión pasiva, extracción con solventes y análisis por cromatografía de gases	Shimadzu /GC 17A

Tabla 2: Contaminantes del aire, métodos de medición y equipos utilizados por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Cuenca, año 2011

Representatividad de datos

Material particulado MP10

Para el cálculo de las concentraciones medias diarias, se requiere al menos de 23 horas de muestreo. Para el cálculo de medias mensuales y anuales se necesita por lo menos de 2/3 del total período, con registros válidos.

Ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas sedimentables

Para los promedios mensuales y anuales se necesita por lo menos de 2/3 del total período, con registros válidos.

Porcentaje de recolección de datos durante el año 2011

La cobertura temporal de los registros de calidad del aire fue cercana al 100%, según lo indicado en la Tabla 3

Contaminante	Cobertura (%) *	Número de muestras
Dióxido de azufre (SO ₂)	97	198
Ozono (O ₃)	100	360
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	100	408
Partículas sedimentables (PS)	97	175
Material particulado (MP ₁₀)	98	180

(*) La cobertura de la medición de la calidad del aire se basa en el número de muestras válidas en un determinado período de tiempo con respecto al máximo previsto, expresado como porcentaje.

Tabla 3:

Cobertura temporal de datos de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca, año 2011

Las muestras de dióxido de nitrógeno, ozono, partículas sedimentables y MP10 se analizan en el laboratorio de la EMOV EP. Las muestras de benceno y dióxido de azufre son analizadas en el laboratorio de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ).

La calidad del aire en la ciudad de Cuenca

De acuerdo al inventario de emisiones del cantón Cuenca, elaborado con año base 2009 (Parra, 2011), las fuentes más importantes de emisión por contaminante primario son las siguientes:

Monóxido de carbono (CO):	tráfico vehicular 97%.
Óxidos de nitrógeno (NO_x):	tráfico vehicular 78%, térmicas 16%.
Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVNM):	tráfico vehicular 52%, uso de disolventes 19%, vegetación 15%.
Dióxido de azufre (SO₂):	industrias 47%, tráfico vehicular 30%, térmicas 23%
Material particulado fino (MP_{2.5}):	tráfico vehicular 52%, ladrilleras 23%, térmicas 15%, industrias 8%.

En la zona urbana, el tráfico vehicular constituye la fuente más importante de emisión de contaminantes del aire. Al noroccidente de la zona urbana, también se destaca el aporte de las emisiones industriales.

La RTV, vigente en el Cantón Cuenca desde el año 2008, controla que las emisiones del parque vehicular cumplan con los límites que establece la Legislación Nacional. De acuerdo con los registros de la RTV, en el

primer año de aplicación aprobaron 9261 vehículos (Tabla 4). En los años 2009, 2010 y 2011, el número de vehículos que aprobaron la RTV se incrementaron a 35 937, 83 707 y 89 840, respectivamente.

Año	Aprobados	Exonerados	Total
2008	9.260	1	9.261
2009	34.703	1.234	35.937
2010	73.513	3.001	76.514
2010 (2c)	7.064	128	7.192
2011	73.373	4.660	82.033
2011 (2c)	7.596	211	7.807

Tabla 4:

Vehículos que aprobaron la Revisión Técnica Vehicular en el Cantón Cuenca durante el período 2008 – 2011

Entre el año 2008 y el 2011, Cuenca ha experimentado un crecimiento de su parque automotor, con un porcentaje anual estimado de 12.5%. Es de gran importancia fomentar acciones que desincentiven el uso del vehículo privado, y el incremento del porcentaje de vehículos que aprueban la RTV.

Norma de Calidad del Aire Ambiente (NCAA)

La NCAA, descrita en el anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente, que estuvo vigente desde del 31 de marzo de 2003;

fue modificada mediante el acuerdo No. 050 del Ministerio de Ambiente. Los nuevos límites y contaminantes (Tabla 5) se encuentran en vigencia desde el 4 de abril de 2011.

Adicionalmente la nueva NCAA establece los límites de la Tabla 6, para contaminantes no convencionales.

Contaminante	Valor	Promedio de Medición
Dióxido de nitrógeno	Concentración anual 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Concentración en 1 hora 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración anual 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Concentración en 24 horas 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Dióxido de azufre	Concentración en 24 horas 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Promedio anual 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Promedio en 10 minutos 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración en 24 horas 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Promedio anual 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Partículas Sedimentables	1 mg/cm^2 durante 30 días	1 mg/cm^2 durante 30 días
MP ₁₀	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ concentración en 24 horas	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ concentración en 24 horas
MP _{2.5}	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ concentración en 24 horas	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ concentración en 24 horas
Monóxido de carbono	Promedio en 8 horas 10 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Promedio en 1 hora 30 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio en 8 horas 10 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Promedio en 1 hora 40 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ozono	Promedio en 8 horas 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio en 8 horas 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Promedio en 1 hora 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

* Condiciones de referencia: 25 °C y 760 mm de Hg

Tabla 5: Resumen de la Norma de Calidad del Aire Ambiente vigente desde el 4 de abril de 2011. Contaminantes convencionales

Contaminante	Valor	Promedio de Medición	Promedio de Medición
Benceno	5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual
Cadmio	5x10-3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual
Mercurio inorgánico (vapores)	1	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual

* Condiciones de referencia: 25 °C y 760 mm de Hg

Tabla 6: Resumen de la Norma de Calidad del Aire Ambiente vigente desde el 4 de abril de 2011. Contaminantes no convencionales

Los valores guía de calidad de aire de la OMS constituyen una de las referencias más exigentes a nivel mundial, propuestas como resultado de un proceso de sistematización y análisis de la última

información científica disponible sobre los efectos nocivos de los contaminantes del aire en la salud humana. La Tabla 7 presenta un resumen comparativo de la NCAA y los valores guía de la OMS.

Contaminante	NCAA $\mu\text{g}/\text{m}^3$	OMS 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	OMS 2005 $\mu\text{g}/\text{m}^3$			Guía
			IT- 1a	IT- 2a	IT- 3a	
MP _{2.5} (24 h)	50		75	50	37.5	25
MP _{2.5} (anual)	15		35	25	15	10
MP ₁₀ (24 h)	100		150	100	75	50
MP ₁₀ (anual)	50		70	50	30	20
SO ₂ (24 h)	125	125	125	50		20
SO ₂ (anual)	60	50				
CO (1 h)	30 000	30 000				30
CO (8 h)	10 000	10 000				10
O ₃ (8 h)	100	120				100
NO ₂ (1 h)		200				200
NO ₂ (anual)	40	40				40

* Guía IT-1, IT-2, IT-3: objetivos provisionales progresivos de calidad del aire asociados con efectos sobre la salud.

Tabla 7: Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente (NCAA) y Guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (WHO, 2000), (OMS, 2005)

Análisis de la calidad del aire del año 2011

Todos los registros de monitoreo del año 2011 se incluyen en las tablas del Anexo.

Material particulado menor a 10 micras (MP₁₀)

Exposición a largo plazo

La Figura 5 indica el promedio anual de MP₁₀. Se observa que en la estación del Colegio Carlos Arízaga (CCA, ubicada al norte de la ciudad, a 300 m del parque industrial) se registró una concentración de 39.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en las otras dos estaciones, Municipio (MUN) y Escuela Escuela Ignacio Escandón (EIE), se registraron

concentraciones de 29.6 y 32.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. En las tres estaciones las concentraciones son menores a lo que establece la NCAA (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

No obstante, en las tres estaciones se superó el valor guía de la OMS (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

La Figura 6 indica los promedios mensuales de MP₁₀. Las concentraciones variaron entre 26 y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aproximadamente, con valores más bajos durante marzo, abril y julio; incrementándose en septiembre y noviembre.

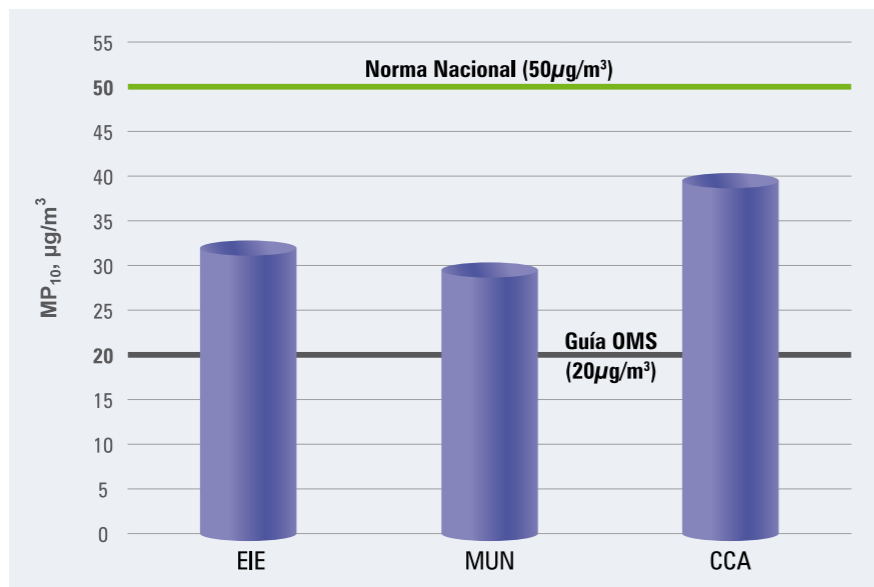


Figura 5: Promedio anual de las concentraciones de MP10 (µg/m³). Año 2011

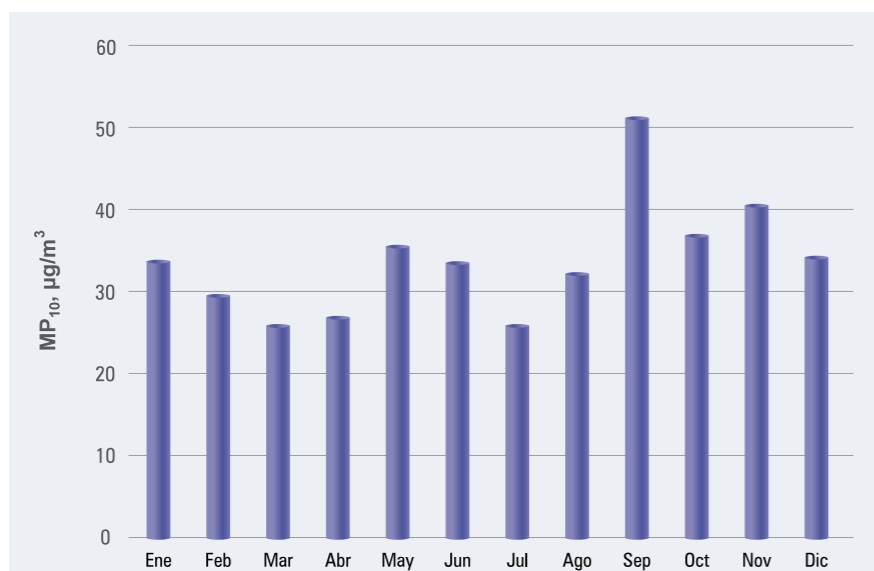


Figura 6: Concentraciones medias mensuales de MP10 (µg/m³). Año 2011

Los promedios mensuales más altos se presentaron en septiembre y noviembre. La Figura 7 presenta la lluvia acumulada mensual del año 2011, registrada en la estación meteorológica del Aeropuerto Mariscal Lamar de Cuenca, información proporcionada por el Instituto Nacional de Meteorología INAMHI.

Se puede identificar la influencia de la lluvia en las concentraciones de MP10. El

mayor promedio de septiembre (50.9 µg/m³) se presentó con una baja precipitación (62.4 mm). Las concentraciones bajas de marzo y abril (26 µg/m³) se registran con mayores precipitaciones mensuales (116.6 y 209.2 mm). A mayor lluvia, en general mejora la calidad del aire.

Hay que considerar otros aspectos como la velocidad del viento (típicamente ma-

yor en agosto) y las emisiones. En agosto, a pesar de que fue el mes con menos lluvia (17.1 mm), presenta un promedio de 32.4 µg/m³, menor al de septiembre. La concentración de agosto se explica por el menor nivel de emisiones, en razón de que agosto es un mes de vacaciones, con menores niveles de tráfico vehicular.

El promedio anual de MP10 de las tres estaciones asciende a 33.8 µg/m³.

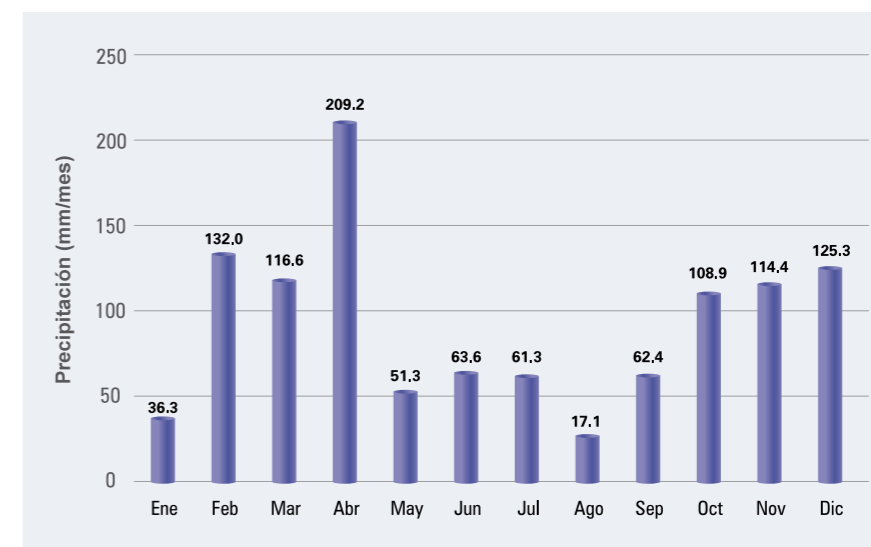


Figura 7: Precipitación mensual durante el año 2011 (mm/mes). Estación meteorológica del Aeropuerto Mariscal Lamar de la Ciudad de Cuenca

Exposición a corto plazo

Los máximos promedios en 24 horas de MP10 se registraron el 3 de septiembre en el Colegio Carlos Arízaga (CCA, 89.4 µg/m³), el 26 de noviembre en la estación del Municipio (MUN, 75.8 µg/m³),

y el 27 de septiembre en la estación de la Escuela Ignacio Escandón (EIE 56.8 µg/m³). En ningún caso se superó la NCAA (100 µg/m³), aunque se excedió la guía de la OMS (50 µg/m³).

Partículas sedimentables (PS)

La Figura 8 presenta el promedio anual de la concentración de partículas sedimentables por estación. La concentración más alta corresponde a la estación Bomberos (BCB, 0.95 mg/cm² durante

30 días). Se registraron concentraciones entre 0.34 y 0.37 en las estaciones del Terminal Terrestre (TET), Escuela Carlos Crespi (ECC), Colegio Carlos Arízaga (CCA) y Cebollar (CEB).

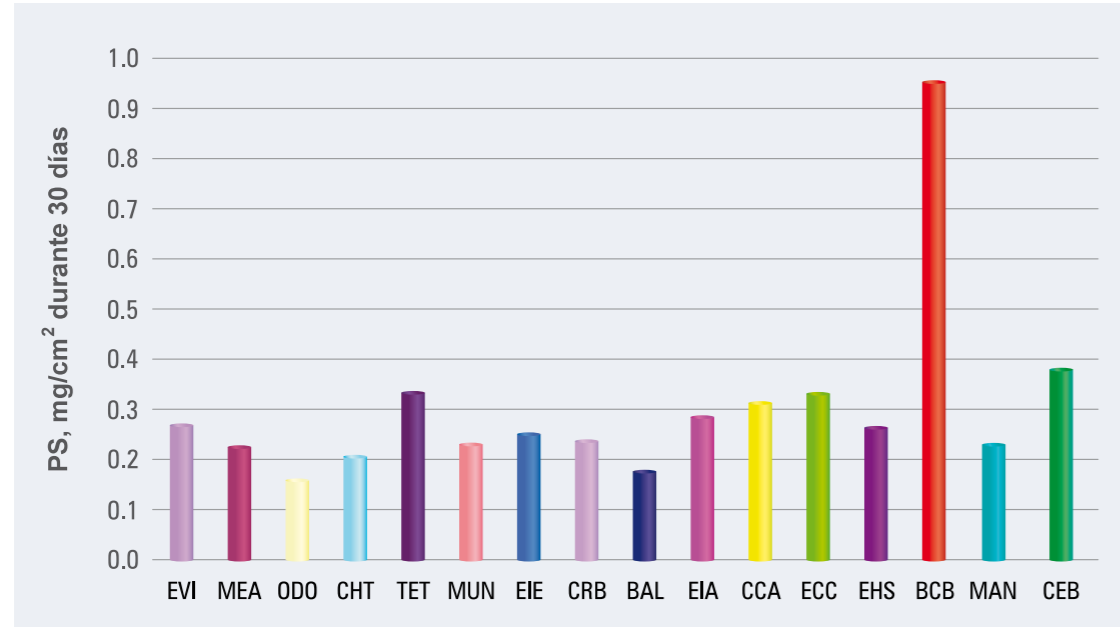


Figura 8: Partículas sedimentables, promedio anual por estación (mg/cm² durante 30 días). Año 2011

La Figura 9 indica las concentraciones mensuales. En febrero y marzo en la estación BCB, se superó la concentración establecida por la NCAA (1 mg/cm² durante 30 días). En noviembre, en la estación del Terminal Terrestre (TET), se registró una concentración mayor a la

máxima permitida en la NCAA. En agosto se registró una concentración de 0.80 en la estación del Cebollar (CEB); y en julio, 0.55 en el Colegio Carlos Arízaga Vega (CCA). Las concentraciones de estación Bomberos (BCB) se explican potencialmente por el efecto cañón a microescala

y la influencia del tráfico, aunque no se descarta que pueda haber otros motivos.

En las demás estaciones y durante todo el año, las concentraciones de PS fueron menores al valor establecido por la NCAA.

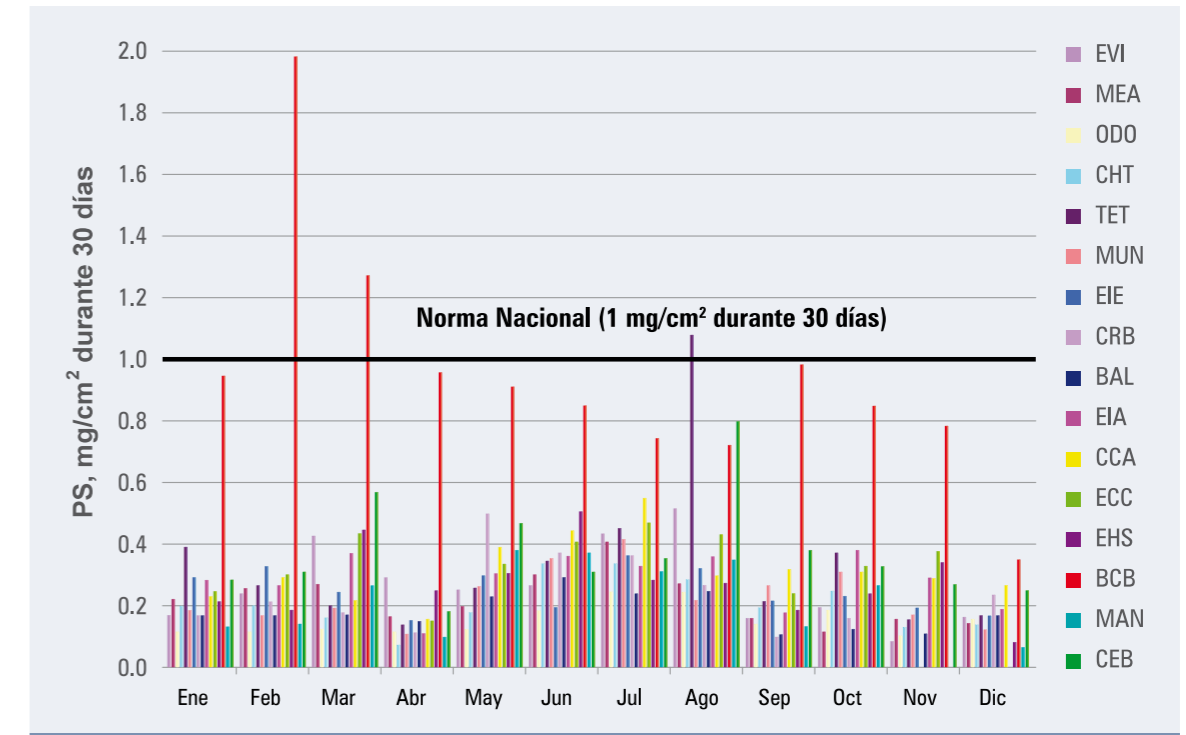


Figura 9: Concentraciones medias mensuales de partículas sedimentables (mg/cm² durante 30 días). Año 2011

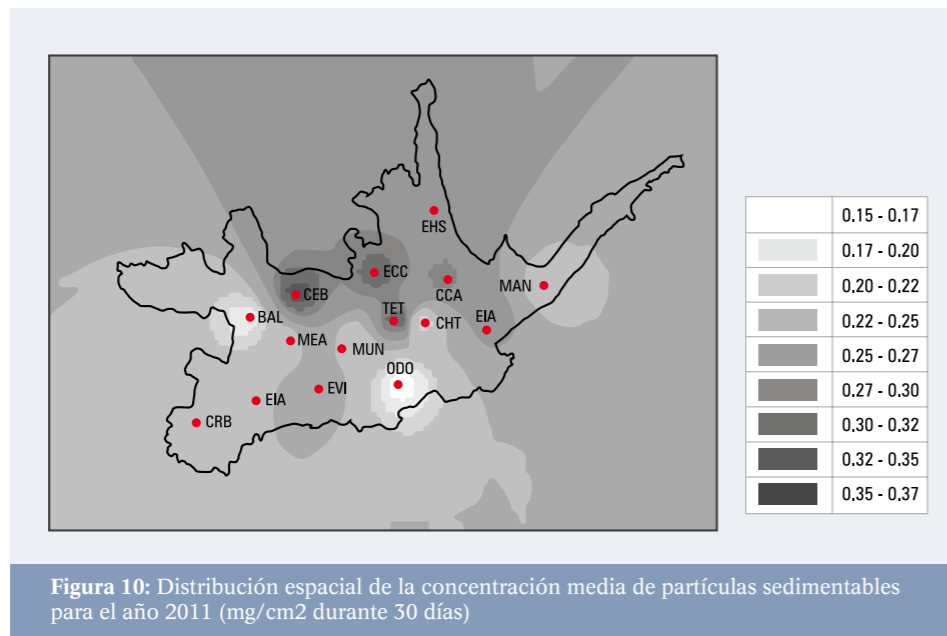


Figura 10: Distribución espacial de la concentración media de partículas sedimentables para el año 2011 (mg/cm2 durante 30 días)

La Figura 10 presenta la distribución espacial de las concentraciones medias anuales de PS. Esta figura no se incluye el registro de la estación Bomberos (BCB) a fin de no considerar la influencia de información de microescala, en

un mapa que presenta la configuración general a escala urbana y vecinal.

Al norte, en las estaciones El Cebollar (CEB) y Escuela Carlos Crespi (ECC), se registran las mayores concentraciones

de polvo sedimentable, generadas potencialmente por mayor resuspensión de polvo, por ser zonas con vías sin pavimento y por la influencia temporal de la emisión de partículas por obras civiles.

Dióxido de azufre (SO2)

La Figura 11 presenta el promedio anual de SO₂. Las concentraciones fueron menores al valor que establece la NCAA (60 µg/m³). En ninguna estación se registraron concentraciones medias anuales mayores al valor guía del año 2000, sugerido por la OMS (50 µg/m³).

El cumplimiento de la Norma Nacional y de la guía del año 2000 de la OMS para las

concentraciones medias anuales de SO₂, no significa que el contenido de azufre en los combustibles no constituya un problema para la calidad del aire de la ciudad.

La presencia de azufre siempre implica el consumo de una parte de oxígeno en los procesos de combustión, disminuyendo de esta manera la disponibilidad del mismo para una mejor oxidación del combustible,

promoviendo una mayor emisión de otros contaminantes del aire.

La mayor concentración se registró en la Escuela Velasco Ibarra (EVI) (11.14 µg/m³), en las estaciones Mercado el Arenal (MEA), Terminal Terrestre (TET), Escuela Carlos Crespi (ECC), en calle Vega Muñoz (VEG) se registran valores cercanos a (10 µg/m³).

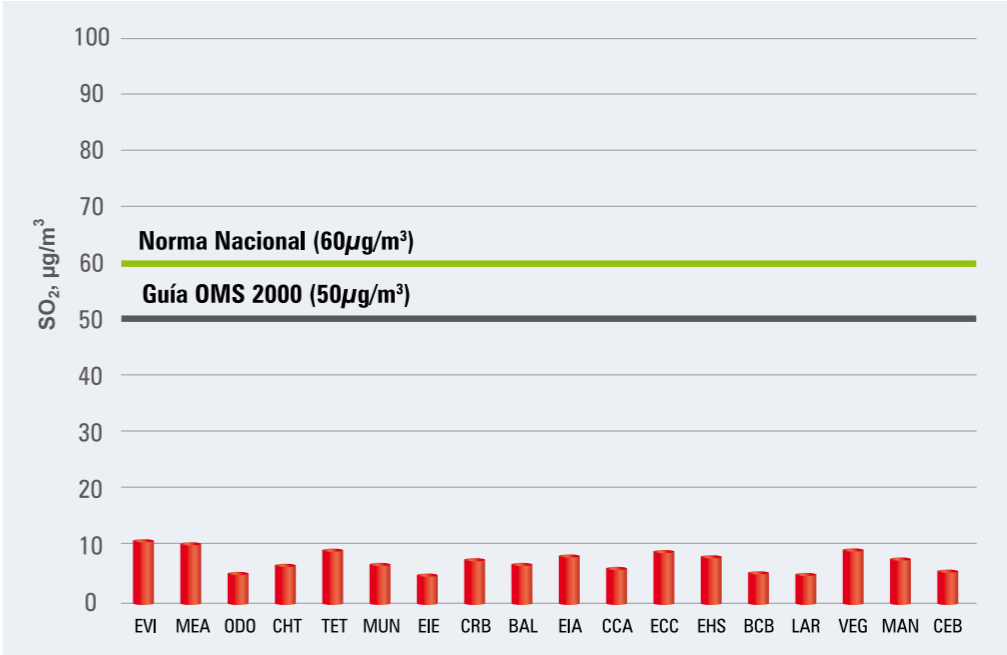


Figura 11: Dióxido de azufre, promedio anual por estación (µg/m3). Año 2011

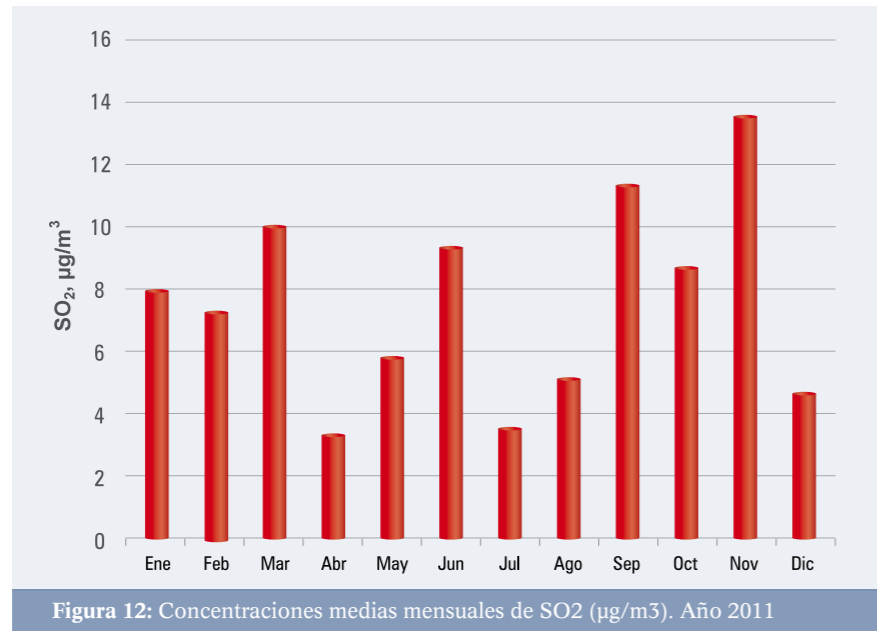


Figura 12: Concentraciones medias mensuales de SO₂ (µg/m³). Año 2011

La Figura 12 presenta las concentraciones mensuales de SO₂. Las mayores corresponden a septiembre y noviembre, con valores de aproximadamente 14 µg/m³. Los meses con concentraciones

más bajas fueron abril y julio (alrededor de 3.5 µg/m³).

El promedio aritmético anual de todas las estaciones fue de 7.6 µg/m³. La ma-

yor concentración mensual se registró en marzo (43.60 µg/m³), en la estación del Terminal Terrestre (TET) y 43.64 en septiembre en la Escuela Velasco Ibarra (EVI).

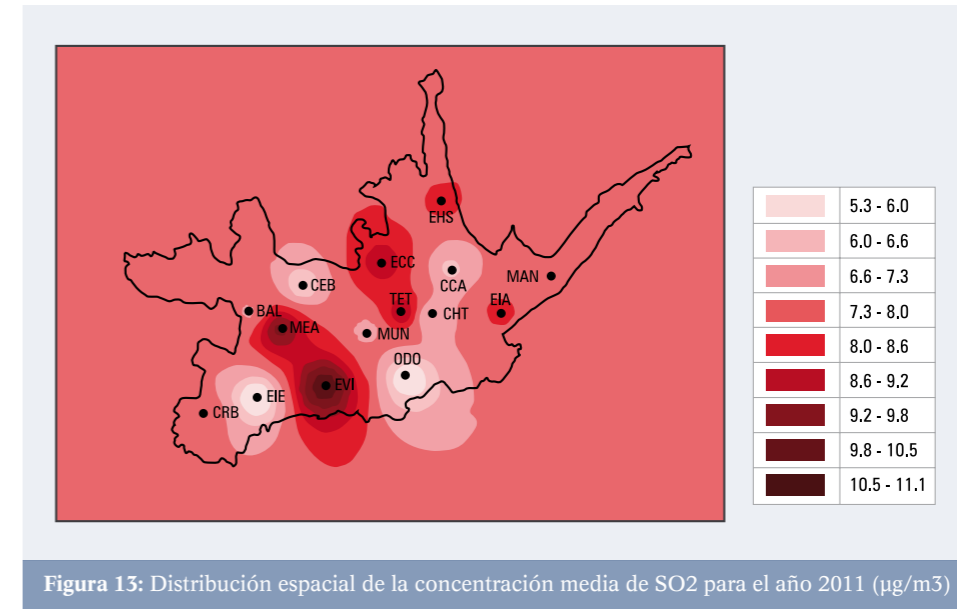


Figura 13: Distribución espacial de la concentración media de SO₂ para el año 2011 (µg/m³)

La Figura 13 presenta la distribución espacial de las concentraciones medias anuales de SO₂, sin considerar las estaciones de los Bomberos (BCB), Calle Larga (LAR), Calle Vega Muñoz (VEG); a fin de obtener una tendencia general de los registros a escala urbana y vecinal, sin la influencia de condiciones a microescala.

Dióxido de nitrógeno (NO₂)

La Figura 14 indica las concentraciones medias anuales de NO₂. Los mayores valores corresponden a las estaciones de microescala de la Calle Vega Muñoz (VEG, 30.4 µg/m³), Bomberos (BCB, 30.3 µg/m³) y Calle Larga (LAR, 27.8 µg/m³), que reflejan el impacto directo de las emisio-

nes de tráfico vehicular, en vías urbanas con circulación importante de buses. Todas las concentraciones anuales fueron menores a la establecida en la NCA (40 µg/m³) y al valor guía de la OMS (40 µg/m³).

La estación EVI registraría la influencia del alto tráfico, tanto de vehículos a gasolina y diesel, de la Av. Don Bosco; zona con una presencia importante de negocios dedicados a la venta de alimentos y cuya presencia implica una reducción en la velocidad de los vehículos, promoviendo mayores emisiones de SO₂.

La concentración de la estación del Mercado El Arenal (MEA), se explica potencialmente por las emisiones de vehículos a diesel (buses y vehículos de carga), que circulan permanentemente en las vías que circundan este importante centro de abasto. Al igual que para el caso del SO₂, el cumplimiento de la Norma Nacional y de la guía de la OMS para las concentraciones medias anuales de NO₂, no significa las emisiones de los NO_x no constituya un problema para la calidad del aire, ya que también son precursores de material particulado fino (MP_{2.5}).

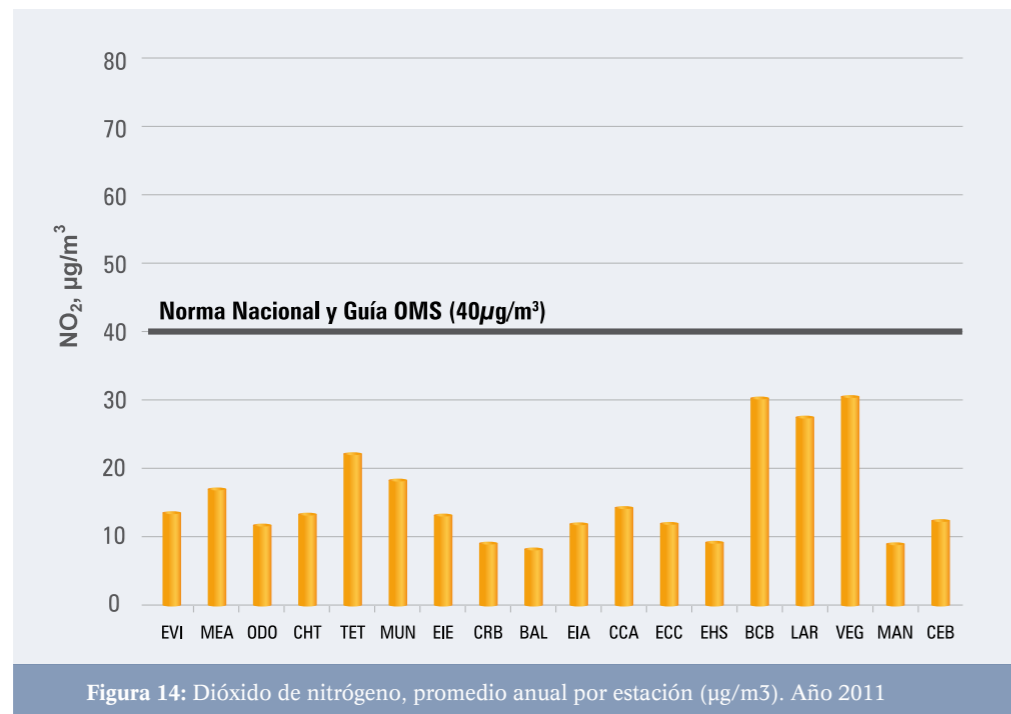


Figura 14: Dióxido de nitrógeno, promedio anual por estación (µg/m3). Año 2011

La Figura 15 indica las concentraciones medias mensuales. Los valores más bajos se registraron entre julio y agosto (menores niveles de tráfico), y los meses más altos enero y febrero.

La Figura 16 presenta la distribución espacial de la concentración media anual de NO2. En esta figura no se consideran los registros de las estaciones de la Calle

Vega Muñoz (VEG), Bomberos (BCB) y Calle Larga (LAR); a fin de obtener una tendencia general de los registros a escala urbana y vecinal, sin la influencia de condiciones a microescala. Las estaciones del Terminal Terrestre (TET, 22.1 µg/m3), Municipio (MUN, 18.2 µg/m3) y Mercado El Arenal (MEA, 17.2 µg/m3) registran claramente la influencia de las emisiones del tráfico vehicular.

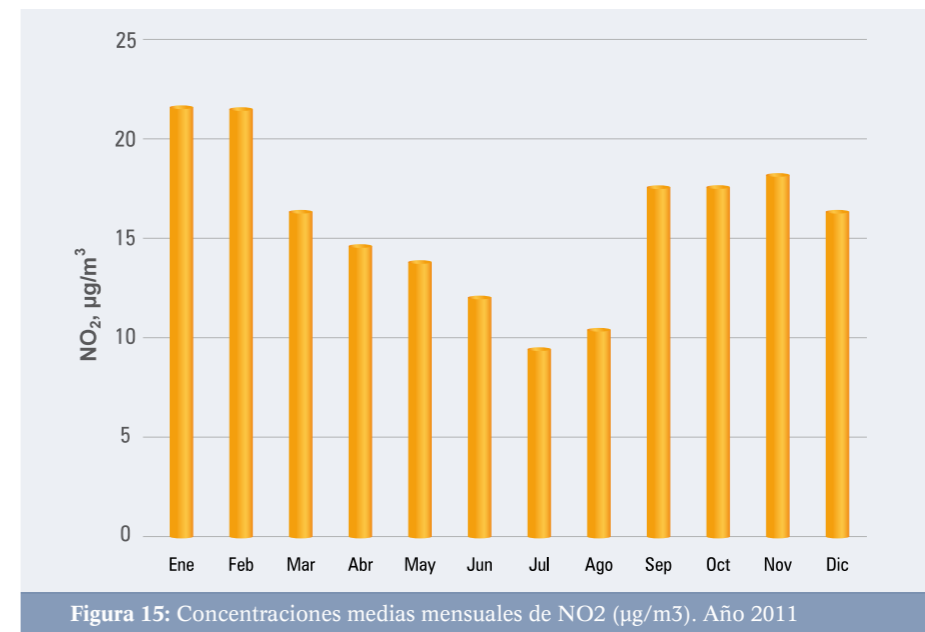


Figura 15: Concentraciones medias mensuales de NO2 (µg/m3). Año 2011

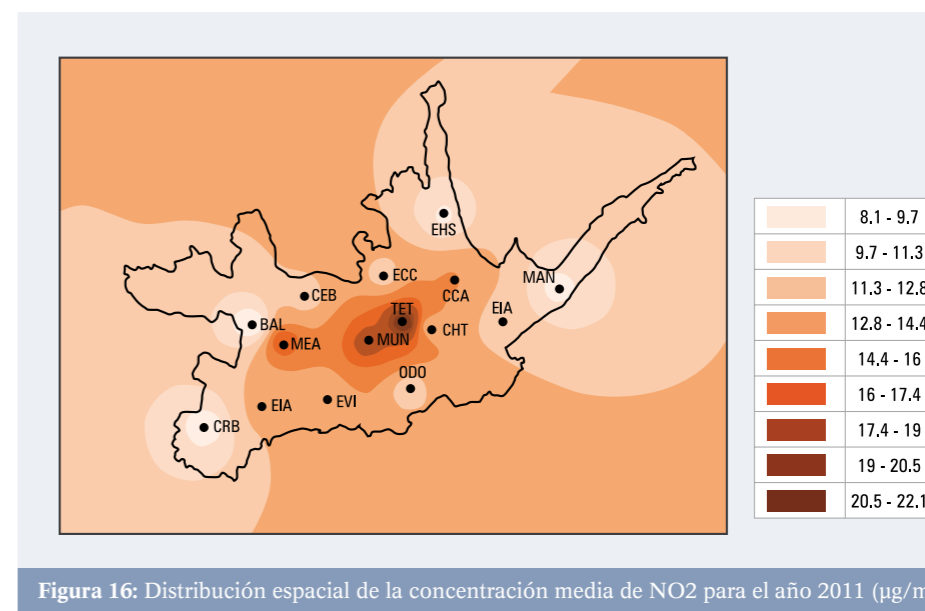


Figura 16: Distribución espacial de la concentración media de NO2 para el año 2011 (µg/m3)

Ozono (O₃)

La Figura 17 indica la concentración media anual de O₃ por estación. El valor más alto se registró en la estación Icto-cruz (ICT), con 46.8 µg/m³.

Al parecer la concentración media de O₃, a largo plazo, se incrementa con la altura. La altura promedio de la ciudad es de 2550 msnm, cota aproximada de todas las estaciones que registran O₃; en tanto que la altura de la estación ICT es de aproximadamente 2700 msnm. Este comportamiento se ha observado en

otros lugares como el Distrito Metropolitano de Quito (Parra and Díaz, 2007) y en los Pirineos catalanes (Ribas and Peñuelas 2006), pero es necesario obtener más registros en caso de que se desee verificar este comportamiento en Cuenca.

La Figura 18 indica que los mayor promedio mensual (40.2 µg/m³) ocurrió en octubre. Esta concentración se explica por los mayores de radiación solar. Aunque los rayos solares llegan con mayor intensidad hacia septiembre, promo-

viendo las reacciones fotoquímicas que generan localmente O₃, pueden haber contribuciones de O₃ que llegan por los contornos a la zona de interés, generando mayores concentraciones en octubre. Hacia marzo 20-21, igualmente los rayos solares llegan de manera perpendicular a la zona ecuatorial, pero los niveles de radiación se atenúan por la nubosidad, que se asocia con las lluvias de marzo y abril. El comportamiento del O₃ es complejo, y los mecanismos de su comportamiento aún no están entendidos completamente.

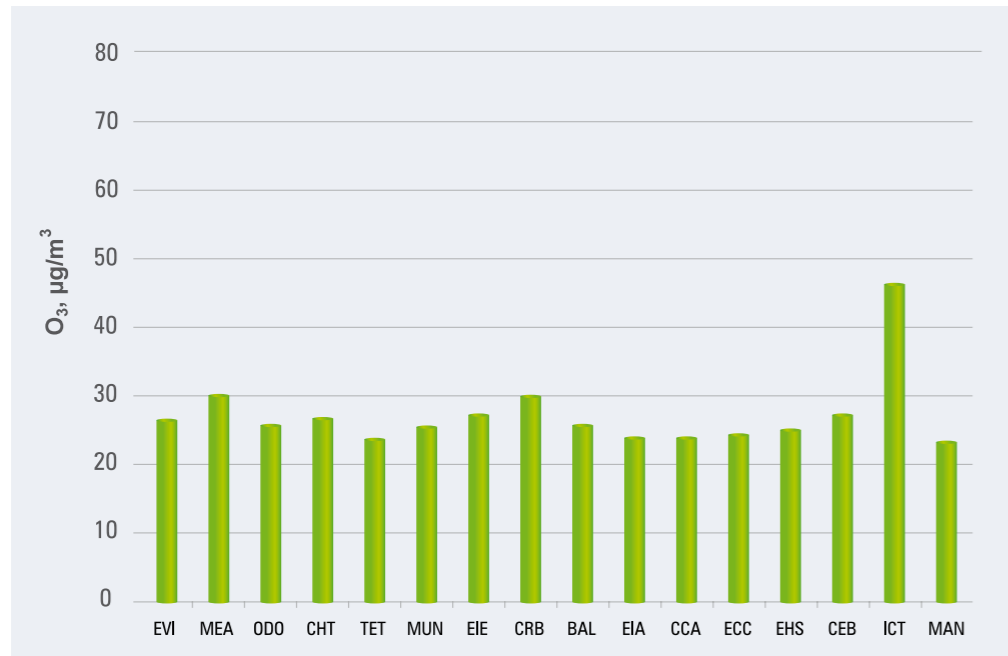


Figura 17: Ozono, promedio anual por estación (µg/m³). Año 2011

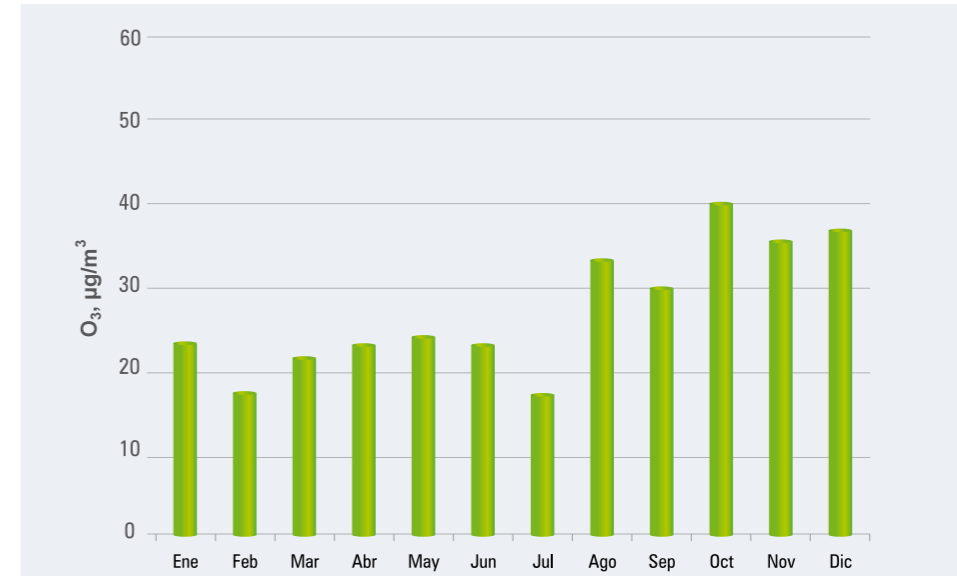


Figura 18: Concentraciones medias mensuales de O₃ (µg/m³). Año 2011

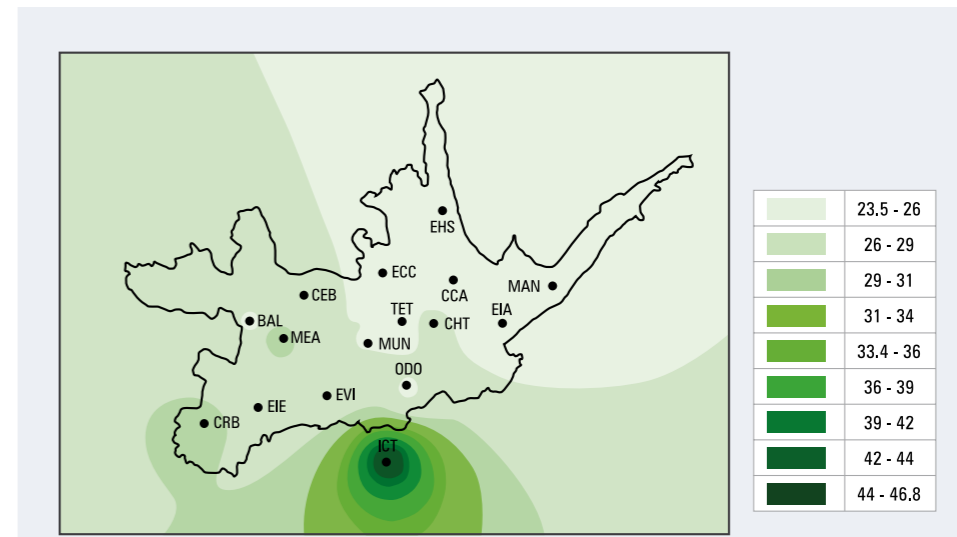


Figura 19: Distribución espacial de la concentración media de O₃ para el año 2011 (µg/m³)

Benceno

Desde febrero de 2010, mediante monitoreo pasivo, se registran las concentraciones de benceno.

El benceno es un contaminante cancerígeno (asociado con la leucemia) que produce adicionalmente otros efectos en la salud. La OMS no establece ningún nivel de exposición máximo que se pueda considerar seguro (WHO, 2000).

El promedio de todas las estaciones de monitoreo disponibles asciende a $3.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las mayores concentraciones se registran en las estaciones a microescala Bomberos (BCB, $4.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Calle Vega Muñoz (VEG, $4.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Terminal Terrestre (TET, $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Figura 20). Aunque no se supera el valor establecido por la NCAA ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), se debe considerar que no hay una concentración mínima que garantice la

ausencia de efectos en la salud pública.

Potencialmente la fuente más importante de benceno es la combustión de gasolina y sus emisiones evaporativas. La norma ecuatoriana NTE INEN 935:99 establece que como contenidos máximos de benceno, el 1% y 2% para la gasolina de 80 octanos (gasolina extra) y de 89 octanos (gasolina súper) respectivamente.

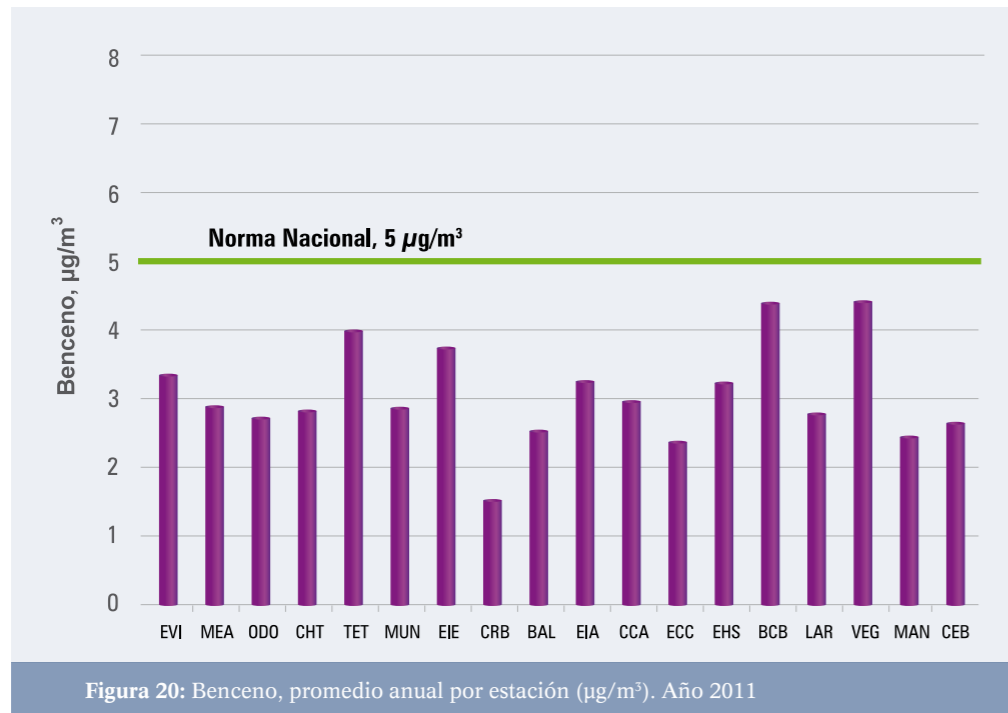


Figura 20: Benceno, promedio anual por estación (µg/m³). Año 2011

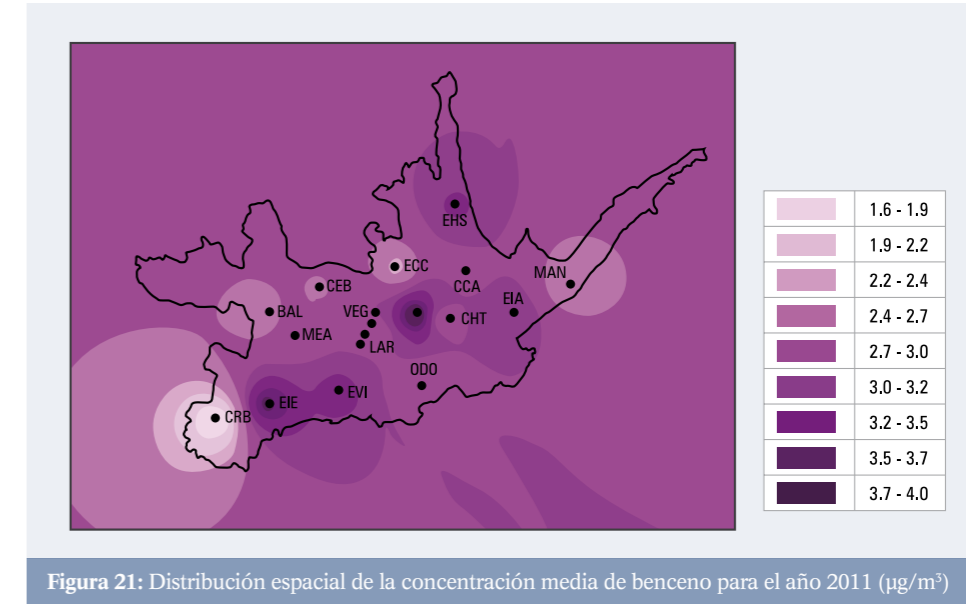


Figura 21: Distribución espacial de la concentración media de benceno para el año 2011 (µg/m³)

La Figura 21 presenta la distribución espacial de las concentraciones medias anuales de benceno. No se incluyen las concen-

traciones de las estaciones a microescala Bomberos (BCB), Calle Vega Muñoz (VEG) y

Calle Larga (LAR), a fin de generar un mapa de alcance urbano y vecinal.

Tendencias de las concentraciones medias anuales

Las Tablas 8, 9, 10, 11 y 12 presentan las tendencias de las concentraciones medias anuales de MP10, PS, SO2, NO2 y O3; respectivamente, para el periodo 2008 - 2011.

Los promedios del año 2011 del MP10 ($33.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$), NO2 ($15.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$), O3 ($27.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y SO2 ($7.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$) son

menores a los promedios del año 2010 (MP10, $46.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$; NO2, ($19.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), SO2 ($8.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y O3 ($31.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Estación	2008	2009	2010	2011	NCAA	Guía OMS
MUN	35.00	35.09	39.10	29.63	50.00	20.00
EIE	42.00	40.68	48.22	32.29		
CCA	49.00	49.78	50.79	39.55		
Promedio	42.00	41.85	46.04	33.82		

Tabla 8:

Concentraciones medias anuales de material particulado (MP₁₀) del periodo 2008 - 2011 (µg/m³)

Estación	2008	2009	2010	2011	NCAA
EVI	0.68	0.13	0.22	0.27	1.00
MEA	0.19	0.14	0.23	0.22	
ODO	0.43	0.22	0.19	0.15	
CHT	0.19	0.13	0.18	0.21	
TET	0.19	0.14	0.20	0.34	
MUN	0.24	0.18	0.20	0.23	
EIE	0.31	0.17	0.31	0.25	
CRB	0.17	0.17	0.31	0.24	
BAL	0.19	0.12	0.16	0.18	
EIA	0.94	0.16	0.24	0.28	
CCA	0.29	0.22	0.25	0.31	
ECC	0.21	0.25	0.30	0.34	
EHS	0.48	0.18	0.28	0.28	
BCB	2.00	0.96	0.95	0.95	
MAN	0.20	0.14	0.20	0.23	
CEB	-	-	-	0.37	
Promedio	0.45	0.22	0.28	0.30	

Tabla 9:
Concentraciones medias anuales de partículas sedimentables (PS) del periodo 2008 - 2011 (mg/cm² durante 30 días)

Estación	2008	2009	2010	2011	NCAA	Guía OMS*
EVI	7.00	15.59	16.79	11.14	60.00	50.00
MEA	15.60	10.11	7.46	9.94		
ODO	10.40	19.42	13.59	5.36		
CHT	11.10	15.12	8.69	6.62		
TET	11.90	25.05	10.55	9.14		
MUN	11.10	16.69	7.79	7.12		
EIE	12.60	14.28	6.29	5.33		
CRB	6.30	11.54	4.91	7.81		
BAL	7.70	6.17	7.26	7.25		
EIA	12.40	9.12	7.61	8.12		
CCA	23.50	23.32	12.59	6.45		
ECC	6.90	19.58	11.59	9.02		
EHS	9.70	16.47	8.42	8.10		
BCB	11.20	9.94	6.12	5.67		
LAR	13.00	8.07	4.21	5.56		
VEG	10.80	13.12	6.88	9.25		
Promedio	11.33	14.60	8.80	7.55		

(*) Guía de la OMS del año 2000.

Tabla 10:
Concentraciones medias anuales de dióxido de azufre (SO₂) del periodo 2008 - 2011 (µg/m³)

Estación	2008	2009	2010	2011	NCAA	Guía OMS*
EVI	15.70	12.70	16.20	13.25	40.00	40.00
MEA	21.40	19.10	21.10	17.28		
ODO	13.70	13.00	14.50	11.90		
CHT	16.70	12.90	14.50	13.13		
TET	26.50	22.80	25.20	22.10		
MUN	20.40	19.00	21.50	18.25		
EIE	16.00	16.10	16.70	13.15		
CRB	9.20	8.60	11.70	8.96		
BAL	10.00	9.30	12.30	8.18		
EIA	12.70	11.90	13.40	11.99		
CCA	19.20	16.10	18.20	14.54		
ECC	11.90	10.70	11.00	12.04		
EHS	6.60	7.90	11.50	9.52		
BCB	47.20	38.50	35.20	30.35		
LAR	31.30	27.60	32.40	27.81		
VEG	43.80	37.50	37.10	30.40		
MAN	5.50	10.40	12.20	9.27		
CEB	----	----	----	12.09		
Promedio	19.28	17.30	19.10	15.79		

Tabla 11:
Concentraciones medias anuales de dióxido de nitrógeno (NO₂) del periodo 2008 - 2011 (µg/m³)

Estación	2008	2009	2010	2011
EVI	35.70	39.90	31.30	26.63
MEA	33.70	33.10	28.00	30.03
ODO	35.30	37.10	28.50	25.74
CHT	33.60	35.90	26.70	27.13
TET	35.50	35.50	29.30	23.46
MUN	32.70	30.30	28.30	25.90
EIE	33.20	33.70	31.10	27.12
CRB	36.30	39.40	29.30	29.93
BAL	31.00	33.50	26.40	25.74
EIA	33.60	32.40	29.10	24.11
CCA	30.80	34.60	30.10	24.22
ECC	33.40	37.40	27.80	24.70
EHS	34.60	33.80	28.50	25.19
ICT	37.90	41.70	43.50	46.83
MAN	34.09	35.59	29.85	23.59
CEB	----	----	----	27.68
Promedio	35.70	39.90	31.30	27.40

Tabla 12:
Concentraciones medias anuales de ozono (O₃) del periodo 2008 -2011 (µg/m³)

La Figura 22 presenta los promedios de las temperaturas mínimas (°C) por mes para los años 2009, 2010 y 2011, que provienen de los registros meteorológicos de la estación del Aeropuerto

Mariscal Lamar. Los perfiles de 2009 y 2011 tienen similitud. Desde agosto y diciembre, las temperaturas mínimas del año 2010 fueron más bajas. La denominada estabilidad atmosférica radiativa,

fue mayor durante el segundo semestre del 2010 en relación al 2009 y 2011; y por ende la atmósfera tuvo una menor capacidad de dispersar contaminantes.

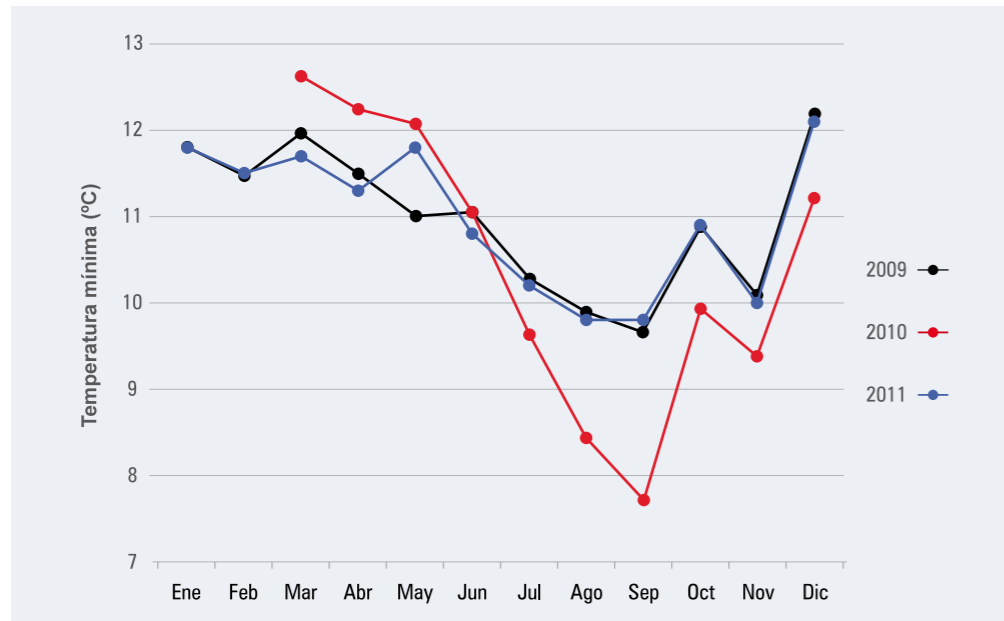


Figura 22: Promedio de las temperaturas mínimas (°C) por mes para los años 2009, 2010 y 2011. Estación meteorológica del aeropuerto Mariscal Lamar de la Ciudad de Cuenca.

La Figura 23 presenta los valores de precipitación mensual (mm/mes) para los años 2009, 2010 y 2011, que provienen de los registros meteorológicos de la estación del Aeropuerto Mariscal Lamar. La precipitación total en los años 2009, 2010 y 2011 fue 717.2, 911.9 y 1098.4 mm, respectivamente.

Las menores concentraciones anuales del año 2011 con respecto al 2010, se pueden explicar por:
 - Mejores condiciones para dispersar contaminantes en el 2011, ya que la estabilidad atmosférica fue menos marcada en relación al 2010.
 - Mayor precipitación en el 2011 (1098.4

mm) en relación al 2010 (911.9 mm). La lluvia limpia la atmósfera.
 - Potencialmente, y con menor influencia, un menor nivel de emisiones, considerando que el número de vehículos que aprobaron la RTV en el 2010 y 2011 fueron respectivamente 83 707 y 89 840 vehículos.

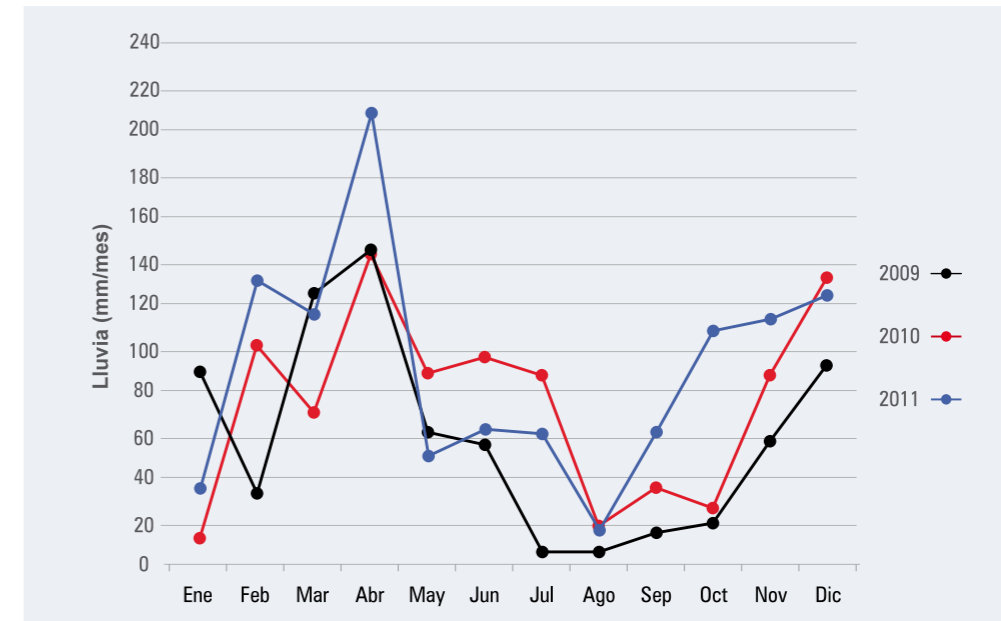


Figura 23: Lluvia por mes (mm/mes) para los años 2009, 2010 y 2011. Estación meteorológica del aeropuerto Mariscal Lamar de la Ciudad de Cuenca.

Las condiciones de estabilidad atmosférica fueron similares en el 2009 y 2011. Las menores concentraciones anuales del año 2011 con respecto al 2009, se explican por:
 - Mayor precipitación en el 2011 (1098.4 mm) en relación al 2009 (717.2 mm).

- Menor nivel de emisiones en el 2011, considerando que el número de vehículos que aprobaron la RTV en el 2009 y 2011 fueron respectivamente 35 937 y 89 840 vehículos. En el segundo semestre del 2009 hubo una sequía importante que generó una crisis energética nacional,

debido a la reducción en la capacidad de las hidroeléctricas que generan energía eléctrica. Por ello hubo en el 2009 un uso mayor de generadores eléctricos en locales comerciales y edificios, que generaron emisiones adicionales de contaminantes del aire.

Conclusiones

Material particulado

Del monitoreo en los tres puntos de vigilancia durante el año 2011, el mayor promedio anual de MP10 ($39.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se registró al noreste de la ciudad, en la estación del Colegio Carlos Arízaga (CCA). Esta concentración no superó el valor establecido por la NCAA ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La estación CCA registra potencialmente la influencia de las emisiones del parque industrial y el aporte de material particulado grueso que puede proceder por resuspensión.

El promedio anual de MP10 de las tres estaciones asciende a $33.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En las tres estaciones que registran el MP₁₀ (Colegio Carlos Arízaga, CCA; Municipio, MUN; Escuela Ignacio Escandón, EIE) se supera el valor guía de la OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Partículas sedimentables (PS)

En febrero y marzo, en la estación de los Bomberos (BCB), ubicada en el centro histórico de la ciudad, se superó la concentración establecida por la NCAA (1

Asumiendo una relación conservadora de MP_{2.5}/MP₁₀ de 0.5, se estima que la concentración media anual de MP_{2.5} fue de $16.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta estimación indicaría que la concentración crónica de MP_{2.5} estaría superando tanto lo que establece la NCAA ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y la guía de la OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Los efectos en la salud asociados al MP_{2.5} son variados, especialmente relacionados con los sistemas respiratorio y cardiovascular. Afecta en general a toda la población, aunque los efectos varían con la edad o el estado de salud. No se ha establecido un umbral por debajo del cual no se prevean efectos adversos para la salud (WHO, 2006). Las pruebas epidemiológicas han demostrado la ocurrencia de efectos adversos producidos por la exposición al MP_{2.5}, tanto aguda

mg/cm² durante 30 días). Estas concentraciones se explican potencialmente por el efecto cañón a microescala y la influencia del tráfico, aunque no se descarta que

como crónica (OMS, 2006).

Los máximos promedios en 24 horas de MP₁₀ se registraron el 3 de septiembre de 2011, en la estación del Colegio Carlos Arízaga (CCA, $89.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$), el 26 de noviembre en el Municipio (MUN, $75.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$); y el 27 de septiembre en la Escuela Ignacio Escandón (EIE, $56.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En ningún caso se superó la NCAA ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), aunque se excedió la guía de la OMS ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Por ello el MP_{2.5} constituiría uno de los problemas de calidad del aire más importantes en la Ciudad de Cuenca.

Se destaca que desde mayo de 2012, con el funcionamiento de la estación automática, se dispone de registros de MP_{2.5}.

pueda haber otros motivos.

En agosto se en la estación del Terminal Terrestre (TET) se registró una concentración de 1.08 superando la NCAA.

Dióxido de azufre (SO₂)

Las concentraciones medias anuales en todas las estaciones fueron menores a la concentración que establece la NCAA ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y la guía de la OMS del año 2000 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

El cumplimiento de la NCAA y de la guía

del año 2000 de la OMS no significa que el contenido de azufre en los combustibles no constituya un problema para la calidad del aire de la ciudad. La presencia de azufre siempre implica el consumo de una parte de oxígeno en los procesos de combustión, disminuyendo la disponibili-

Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Todas las concentraciones anuales en las estaciones que registran NO₂ fueron menores a la establecida en la NCAA ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y al valor guía de la OMS ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Ozono (O₃)

El actual sistema de monitoreo pasivo de O₃ en la Red de Monitoreo de Cuenca no permite generar información para 8 horas, periodo que considera la NCAA y las guías de la OMS.

Benceno (H₆C₆)

Los registros del año 2011 indican una concentración media anual de $3.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Aunque no se supera el valor establecido por la NCAA ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), se debe considerar que no hay una concentración mínima que garantice la ausencia de efectos en la salud pública.

El benceno es un contaminante cancerígeno (asociado con la leucemia) que

No obstante, se prevé que por la magnitud de los promedios mensuales, la gran mayoría de las concentraciones a corto plazo estarían por debajo de lo que establecen la NCAA y la OMS.

produce adicionalmente otros efectos en la salud. La OMS no establece ningún nivel de exposición máximo que se pueda considerar seguro (WHO, 2000).

Potencialmente la fuente más importante de benceno es la combustión de gasolina y sus emisiones evaporativas. La norma ecuatoriana NTE INEN 935:99 establece que como contenidos máximos de bence-

dad del mismo para una mejor oxidación del combustible, promoviendo una mayor emisión de otros contaminantes del aire. Además el SO₂ es precursor de material particulado fino (MP_{2.5}). Por ello la presencia de azufre en los combustibles es indeseable.

tituya un problema para la calidad del aire de la ciudad. Al igual que el SO₂, los NOx promueven la formación de MP_{2.5}.

El monitoreo a corto plazo de O₃ inicio a partir de mayo de 2012 con el funcionamiento de la estación automática instalada en la estación Municipio (MUN).

no, el 1% y 2% para la gasolina de 80 octanos (gasolina extra) y de 89 octanos (gasolina súper) respectivamente.

En este sentido se debe controlar, restringir o preferiblemente eliminar el contenido de benceno en las gasolinas, ya que constituye la fuente potencial más importante.

Alternativas para reducir las emisiones de contaminantes del aire

Hay varias opciones:

- Promover y/o consolidar el transporte sustentable: facilitar y priorizar el flujo de los peatones, uso de la bicicleta, mejora del sistema de transporte público y desincentivo para el uso vehículo privado.
- Consolidar el proceso de la RTV en Cuenca.
- Vigilar permanentemente la calidad de los combustibles que se comercializan en Cuenca, especialmente el contenido de azufre en la gasolina y diesel; y el contenido de benceno en las gasolinas. Con la reducción del contenido de azufre tanto en gasolinas como en diesel, desde inicios del 2012, se esperaba que durante este año haya una disminución de las concentraciones de SO₂.
- Establecer límites de velocidades. Velocidades bajas incrementan las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos, así como el consumo de combustibles. Velocidades altas incrementan las emisiones de óxidos de nitrógeno y el consumo de combustibles.
- Capacitar y concienciar a la ciudadanía sobre sus decisiones y los efectos en la calidad del aire (uso injustificado del vehículo privado, importancia del mantenimiento preventivo, incremento de las emisiones en conducción temeraria, considerar la reducción de las emisiones que se atribuyen a un vehículo con diseño eficiente desde el punto de vista energético, considerar que un vehículo todoterreno consume más energía y por ello es más contaminador).
- Regular la difusión de los niveles de emisiones de los vehículos nuevos como parte de la información técnica que se ofrece a los potenciales compradores.

Referencias

- OMS, 2006. *Guías de la calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Actualización Mundial 2005. Resumen de evaluación de los riesgos. Organización Mundial de la Salud.
- OPS, 2010. *Determinantes ambientales y sociales de la salud*. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. Editores: Galvao, Finkelman y Henao. Washington, 570 p.
- Parra R., 2011. *Inventario de Emisiones Atmosféricas del Cantón Cuenca*. Año 2009. Elaborado para la EMOV-EP del Ilustre Municipio de Cuenca. Programa Calidad del Aire.
- Parra R. and Díaz V., 2007. *Preliminary comparison of ozone concentrations provided by the emission inventory/WRF-Chem model and the air quality monitoring network from the Distrito Metropolitano de Quito (Ecuador)*. In: 8th annual WRF User's Workshop. NCAR. Boulder. CO. USA.
- Ribas A. and Peñuelas J., 2006. *Surface ozone mixing ratios increase with altitude in a transect in the Catalan Pyrenees*. Atmospheric Environment. 40. 7308 – 7315.
- WHO, 2000. *Air Quality Guidelines for Europe*. Second Edition. World Health Organization.

Anexos

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1			28.23									
2											45.65	46.60
3									89.35	32.26		
4								54.16				
5		34.89				30.99	33.06					
6	45.69			29.34	31.00							
7			21.70									
8										39.16	28.34	
9									49.41	30.22		
10								36.26				
11		30.16				39.35	29.69					
12	48.09			13.93	36.80							
13			24.90									
14											31.15	27.25
15									69.03	34.96		
16								65.89				
17		32.41				59.17	36.53					
18	38.5			34.80	38.86							
19			35.15									
20										49.89	29.50	
21									57.76	68.47		
22								32.54				
23		28.69				38.51	36.90					
24	30.18			25.54	44.49							
25			39.79									
26											43.74	30.21
27									63.17	44.75		
28								30.28				
29						41.15	39.64					
30	34.15			43.21	27.32							
31			35.66									63.82
Media mensual	39.32	31.54	30.91	29.36	35.69	41.83	35.16	43.83	65.74	42.13	41.92	37.62
	Media del año 2011											39.55

Tabla A1::
Material particulado menor a 10 micras (MP₁₀) del año 2011 (µg/m³). Estación «Carlos Arízaga Vega» (CCA).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1			20.11									
2											43.76	34.9
3									65.25	22.97		
4								30.27				
5		25.94				26.72	21.13					
6	27.38			18.51	49.01							
7			16.11									
8											35	15.03
9									35.94	23.03		
10								24.39				
11		18.59				17.29	17.52					
12	34.77			12.58	35.38							
13			20.10									
14											32.09	21.43
15									45.88	37.98		
16								39.14				
17		34.46										
18	21.6			16.7	29.41		23.94					
19			21.14									
20											31.03	27.03
21									44.67	46		
22								32.61				
23		18.52					22.14					
24	21.09			26.3	27.57							
25			22.21									
26											75.82	29.06
27									45.69	36.78		
28								23.54				
29						36.95	34.55					
30	19.27			33.29	21.27							
31			19.16									38.35
Media mensual	24.82	24.38	19.81	21.48	32.53	26.99	23.86	29.99	47.49	33.35	43.54	27.63
	Promedio del año 2011											29.63

Tabla A2:
Material particulado menor a 10 micras (MP₁₀) del año 2011 (µg/m³). Estación Municipio (MUN).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1			33.25									
2											36.83	49.87
3								42.90	30.75			
4							24.67					
5		30.71				14.30						
6	45.48			22.07	49.85							
7			22.04								34.43	37.23
8												
9								26.39	25.53			
10							20.28					
11		30.11				16.72						
12	44.71			28.64	42.14							
13			35.94									
14											31.87	36.46
15								35.45	36.47			
16							28.64					
17		40.01				38.93	17.35					
18	32.69			16.72	44.03							
19			22.67									
20											34.65	36.36
21								36.27	53.75			
22							27.83					
23		27.86				27.63	17.35					
24	33.35			27.17	30.17							
25			24.63									
26											40.01	21.45
27								56.82	40.02			
28							16.07					
29						31.41	25.53					
30	29.81			46.6	26.20							
31			21.57									46.66
Media mensual	37.21	32.17	26.68	28.24	38.48	32.66	18.25	23.50	39.57	37.30	35.56	38.01
	Promedio del año 2011											32.29

Tabla A3: Material particulado menor a 10 micras (MP₁₀) del año 2011 (µg/m³). Estación escuela «Ignacio Escandón» (EIE).

Código	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
EVI	0.18	0.24	0.43	0.29	0.25	0.27	0.43	0.51	0.16	0.19	0.08	0.16	0.27
MEA	0.22	0.26	0.27	0.16	0.20	0.30	0.41	0.27	0.16	0.11	0.16	0.14	0.22
ODO	0.11	0.11	0.12	0.11	0.12	0.19	0.26	0.24	0.14	0.19	0.10	0.16	0.15
CHT	0.19	0.20	0.16	0.07	0.18	0.34	0.34	0.28	0.19	0.25	0.13	0.14	0.21
TET	0.39	0.27	0.20	0.14	0.26	0.34	0.45	1.08	0.21	0.37	0.15	0.17	0.34
MUN	0.19	0.17	0.19	0.11	0.26	0.35	0.42	0.22	0.27	0.31	0.17	0.12	0.23
EIE	0.29	0.33	0.24	0.15	0.30	0.19	0.36	0.32	0.21	0.24	0.19	0.17	0.25
CRB	0.17	0.21	0.18	0.11	0.50	0.37	0.36	0.27	0.10	0.16	S/D	0.24	0.24
BAL	0.17	0.17	0.17	0.15	0.23	0.29	0.24	0.25	0.11	0.12	0.11	0.14	0.18
EIA	0.28	0.27	0.37	0.11	0.30	0.35	0.33	0.36	0.18	0.38	0.29	0.19	0.28
CCA	0.23	0.29	0.22	0.16	0.39	0.44	0.55	0.30	0.32	0.31	0.29	0.27	0.31
ECC	0.25	0.30	0.43	0.15	0.34	0.41	0.47	0.43	0.24	0.33	0.38	SM	0.34
EHS	0.21	0.19	0.45	0.24	0.31	0.50	0.28	0.27	0.19	0.24	0.34	0.08	0.28
BCB	0.95	1.98	1.27	0.96	0.91	0.85	0.74	0.72	0.98	0.85	0.79	0.35	0.95
MAN	0.13	0.14	0.26	0.10	0.38	0.37	0.31	0.35	0.13	0.27		0.06	0.23
CEB	0.28	0.31	0.57	0.18	0.47	0.31	0.35	0.80	0.38	0.33	0.27	0.25	0.37
Media mensual	0.26	0.34	0.35	0.20	0.34	0.37	0.39	0.42	0.25	0.29	0.25	0.18	

Tabla A4: Partículas sedimentables (mg/cm² durante 30 días), año 2011.

Código	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
EVI	7.68	3.52	6.44	1.85	4.33	10.85	3.29	3.46	43.64	34.10	10.43	4.04	11.14
MEA	14.64	16.33	15.44	3.27	10.23	17.28	2.82	5.67	6.66	10.70	12.04	4.22	9.94
ODO	7.71	7.60	1.54	4.48	4.88	9.46	2.81	4.37	5.37	9.58	4.49	1.98	5.36
CHT	6.88	5.57	4.98	3.50	8.04	8.65	2.88	4.16	10.51	4.69	15.45	4.12	6.62
TET	9.35	7.68	43.60	2.42	7.45	3.72	3.81	4.83	8.04	9.58	7.52	1.65	9.14
MUN	5.34	5.17	7.71	3.02	4.50	23.76	3.23	5.38	5.14	9.31	9.99	2.82	7.12
EIE		5.52	2.74	2.84	4.15	4.85	2.51	2.88	5.72	5.16	18.77	3.51	5.33
CRB	8.98	11.61	5.85	4.21	6.78	3.96	3.92	3.64	5.17	5.29	16.38	17.91	7.81
BAL	5.61		4.31	1.84	14.46	13.60	3.48	4.99	12.78	4.10	11.66	2.94	7.25
EIA	8.93	6.54	7.68	2.51	3.56	4.32	11.54	3.90	9.23	8.42	29.35	1.41	8.12
CCA	7.05	2.90	2.43	3.19	5.17	7.53	2.69	4.32	17.51	10.52	11.95	2.16	6.45
ECC	4.41	9.32	31.34	2.72	5.46	19.39	1.03	4.39	5.23	5.33	16.07	3.51	9.02
EHS	5.98	12.92	2.73	2.64	5.14	4.50	3.72	4.35	23.59	4.84	7.54	19.28	8.10
BCB	7.92	5.12	8.85	2.91	3.42	6.55	2.40	3.97	7.12	3.13	14.52	2.19	5.67
LAR	6.29	5.53	2.65	2.36	3.99	9.68	3.14	4.58	5.95	4.41	15.87	2.23	5.56
VEG	15.53	4.30	13.02	3.30	4.17	9.47	2.55	3.67	18.42	7.76	21.98	6.82	9.25
MAN	7.55	6.88	13.45	10.14	3.56	5.60	4.50	6.24	12.81	15.43	7.27	1.55	7.92
CEB	5.61		4.72	2.06	4.07	4.77	2.46	19.68	4.02	4.81	13.29	2.02	6.14
Media mensual	7.97	7.28	9.97	3.29	5.74	9.33	3.49	5.25	11.50	8.73	13.59	4.69	

Tabla A5: Dióxido de azufre SO₂ (µg/m³), año 2011.

Código	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
EVI	18.1	19.3	11.00	12.79	10.69	13.46	9.45	10.24	18.54	12.81	13.49	9.14	13.25
MEA	23.8	21.9	17.24	16.81	14.59	12.93	12.22	14.35	15.00	15.79	22.68	20.01	17.28
ODO	19.4	18.1	10.11	12.51	9.98	7.65	7.91	6.71	10.04	14.31	13.33	12.72	11.90
CHT	21.2	19.7	11.48	13.76	11.64	8.99	9.38	6.06	17.35	13.45	13.72	10.89	13.13
TET	26.2	29.0	22.39	21.63	21.03	15.72	8.70	15.33	29.41	26.25	26.54	23.03	22.10
MUN	22.7	23.1	16.25	17.41	14.52	16.31	14.77	15.45	21.20	17.77	20.43	19.13	18.25
EIE	19.9	18.5	13.65	12.29	13.68	11.26	7.11	10.65	11.88	12.43	15.08	11.37	13.15
CRB	14.6	13.0	10.47	6.52	8.95	7.23	5.79	4.80	13.06	7.14	9.69	6.32	8.96
BAL	14.0	13.0	11.27	5.40	8.13	7.08	3.24	3.44	5.85	11.61	7.79	7.42	8.18
EIA	20.8	16.8	9.25	7.82	11.35	7.98	10.83	5.38	14.47	15.33	12.83	11.10	11.99
CCA	18.4	17.9	17.28	14.73	12.48	11.52	5.50	8.63	16.53	18.88	14.41	18.26	14.54
ECC	20.5	15.8	13.52	11.08	10.37	7.64	8.06	6.38	8.63	12.48	14.96	15.09	12.04
EHS	16.4	16.8	8.42	7.35	10.27	4.29	4.33	3.32	8.87	14.25	9.02	10.93	9.52
BCB	33.5	36.1	33.94	25.31	25.65	27.49	19.67	18.89	35.93	31.49	41.69	34.53	30.35
LAR	27.5	39.1	29.10	29.00	20.92	23.67	17.40	18.64	37.78	30.82	31.43	28.37	27.81
VEG	33.1	36.8	34.97	28.90	25.89	24.06	20.68	25.46	31.59	35.73	35.87	31.70	30.40
MAN	15.6	13.8	9.56	9.17	10.64	6.62	2.73	6.49	8.77	9.46	10.13	8.33	9.27
CEB	21.1	17.7	11.95	12.12	13.24	6.27	5.50	7.09	10.24	14.54	12.85	12.51	12.09
Media mensual	21.48	21.46	16.21	14.70	14.11	12.23	9.63	10.41	17.51	17.47	18.11	16.16	

Tabla A6:
Dióxido de nitrógeno NO₂ (µg/m³), año 2011.

Código	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
EVI	21.2	16.3	20.9	19.32	21.88	24.01	17.86	33.44	21.97	46.26	41.44	35.04	26.63
MEA	22.7	19.6	24.7	24.04	21.91	19.61	15.78	39.29	41.35	58.19	32.57	40.71	30.03
ODO	22.4	15.1	18.8	24.66	22.74	23.62	15.70	29.86	29.59	41.60	32.13	32.66	25.74
CHT	24.7	17.8	18.2	20.56	26.83	25.32	17.60	31.46	32.07	35.01	38.68	37.39	27.13
TET	24.3	14.3	19.6	22.28	20.27	23.38	15.53	28.95	24.38	25.64	28.63	34.14	23.46
MUN	20.0	16.3	23.2	20.47	24.61	21.90	14.85	27.60	26.94	34.20	39.96	40.80	25.90
EIE	21.1	17.8	21.7	25.65	21.58	21.18	17.34	29.49	27.66	43.58	40.02	38.38	27.12
CRB	29.3	19.0	23.5	23.30	21.80	24.90	21.61	37.62	29.42	48.46	37.02	43.17	29.93
BAL	22.4	16.1	17.0	18.69	23.68	19.27	16.38	36.29	28.17	44.47	31.59	34.75	25.74
EIA	21.9	17.4	23.3	22.69	20.75	24.73	18.82	25.85	20.40	32.20	29.81	31.38	24.11
CCA	16.9	15.3	25.7	19.65	22.84	19.86	15.77	24.22	25.22	28.28	40.30	36.58	24.22
ECC	25.8	16.4	20.8	19.18	21.56	19.26	16.92	25.47	28.93	30.88	37.02	34.20	24.70
EHS	19.4	17.8	22.1	25.93	22.84	18.09	18.33	30.36	28.89	31.00	32.50	35.07	25.19
CEB	19.9	19.2	21.0	24.16	22.98	24.32	18.82	33.66	37.09	35.06	34.85	41.06	27.68
ICT	38.2	30.7	32.1	45.09	40.21	29.35	26.14	58.72	59.45	75.89	71.52	54.66	46.83
MAN	22.3	18.5	18.9	18.96	23.26	21.65	13.89	30.30	21.14	32.83	26.98	34.36	23.59
Media mensual	23.27	17.97	21.98	23.42	23.73	22.53	17.58	32.66	30.17	40.22	37.19	37.77	

Tabla A7:
Ozono (µg/m³), año 2011.

Código	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
EVI	2.85	5.45	ND	0.09	5.50	3.20	1.45	1.09	7.64	ND	2.68	3.35	3.33
MEA	2.16	2.40	ND	0.86	3.27	3.27	2.44	2.00	8.78	4.45	0.09	2.21	2.90
ODO	0.10	ND	0.20	0.25	1.99	1.94	ND	1.91	5.85	4.38	4.73	5.70	2.70
CHT	2.89	1.75	ND	0.17	2.89	2.18	0.10	3.74	6.75	2.04	ND	5.84	2.84
TET	3.08	5.59	0.35	3.94	4.80	2.45	ND	4.50	6.83	ND	3.00	5.44	4.00
MUN	1.80	1.08	0.44	0.40	1.87	3.48	4.81	4.00	2.70	2.79	4.65	6.44	2.87
EIE	ND	2.78	ND	3.63	3.30	3.50	ND	2.91	8.09	ND	ND	2.00	3.74
CRB	2.26	1.49	ND	0.69	1.77	ND	0.08	0.63	8.46	0.09	0.58	0.70	1.67
BAL	ND	0.70	ND	0.27	3.20	2.51	ND	4.48	5.55	0.89	ND	ND	2.51
EIA	3.46	0.68	ND	2.22	0.43	1.75	2.63	2.45	5.96	ND	5.31	7.04	3.19
CCA	1.48	0.92	0.26	1.78	3.21	4.39	1.74	2.74	7.97	1.03	4.87	4.96	2.95
ECC	2.69	1.86	ND	0.78	ND	1.63	ND	1.95	2.30	ND	5.46	2.17	2.36
EHS	3.10	2.93	ND	1.83	ND	1.48	0.47	2.86	6.58	0.44	5.43	7.24	3.24
BCB	2.01	3.84	1.60	6.42	7.56	4.83	2.01	3.66	9.77	1.03	8.50	3.10	4.53
LAR	1.34	1.46	ND	1.01	1.82	ND	ND	2.68	6.41	0.73	6.72	2.72	2.77
VEG	ND	ND	ND	ND	0.23	4.64	4.01	4.44	12.70	0.01	2.80	7.36	4.52
MAN	2.92	0.35	ND	2.20	3.73	ND	ND	2.73	7.32	0.10	0.67	1.84	2.43
CEB	ND	2.20	0.66	4.03	3.12	2.61	0.87	1.83	4.52	0.88	4.14	4.54	2.67
Media mensual	2.30	2.22	0.59	1.80	3.04	2.92	1.87	2.81	6.90	1.45	3.98	4.27	

Tabla A8:
Benceno (µg/m³), año 2011.

ND: no detectable





CUENCA

¡todo un mundo!