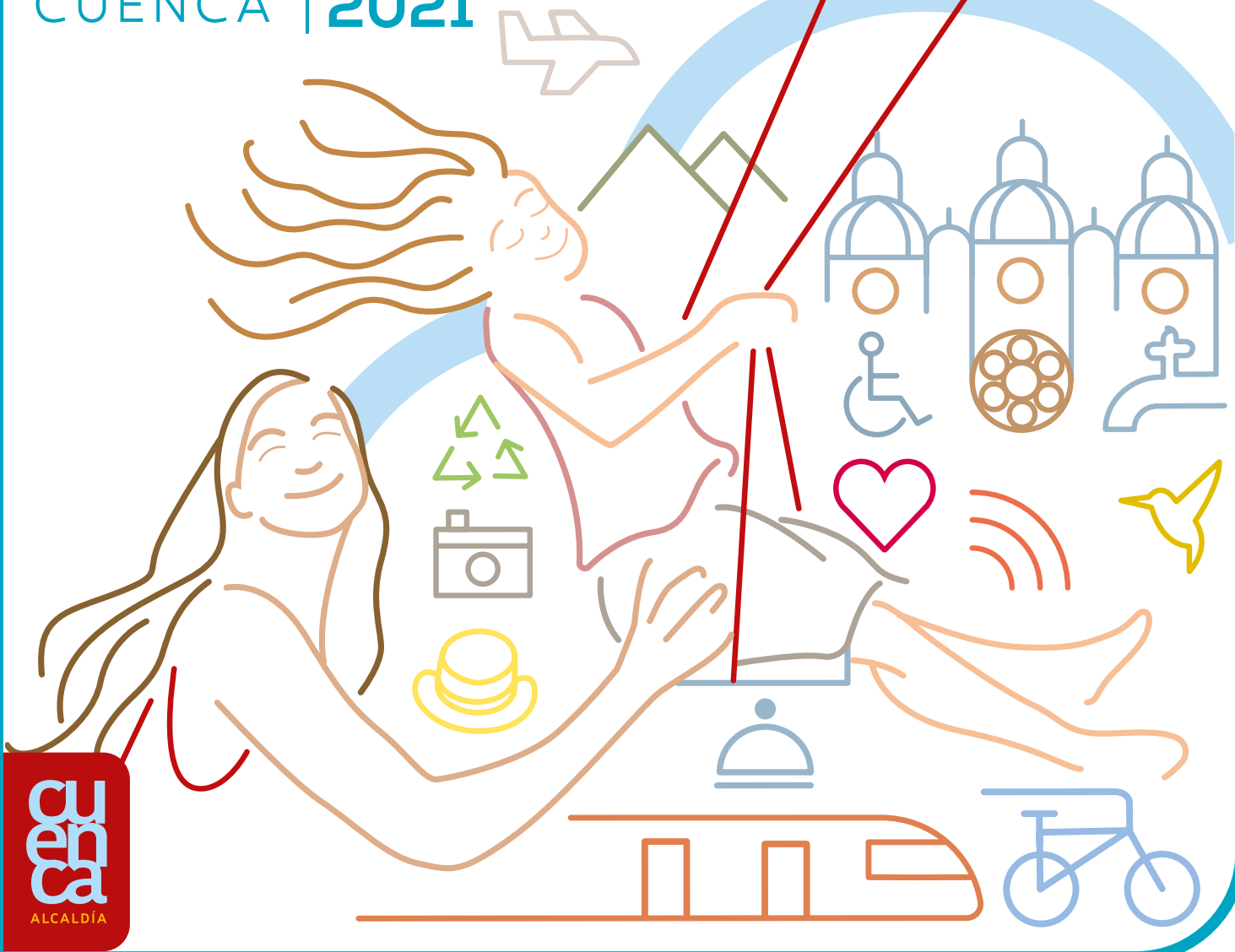


INFORME DE CALIDAD

# AIRE

CUENCA | 2021

# emov





INFORME DE CALIDAD  
**AIRE**  
CUENCA | 2021

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	15
<b>ANTECEDENTES</b>	16
<b>CONTAMINANTES DEL AIRE Y SUS EFECTOS EN LA SALUD</b>	17
Dióxido de nitrógeno. NO <sub>2</sub>	17
El material particulado	18
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	19
Monóxido de carbono (CO)	19
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	20
Ozono troposférico (O <sub>3</sub> )	21
<b>DESCRIPCIÓN DE LA RED DE MONITOREO</b>	22
Objetivos	29
Representatividad de datos	29
Estaciones automáticas de calidad del aire	29
Subredes activas, pasiva y de depósito	30
Registros de Meteorología	31
<b>LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE CUENCA</b>	32
Norma de Calidad del Aire Ambiente (NCAA)	35
<b>ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE DEL AÑO 2021</b>	37
Registros de la subred de depósito. Partículas sedimentables (PS)	39
<b>REGISTROS DE LA RED ACTIVA. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS (MP<sub>10</sub>)</b>	40
Exposición a largo plazo	40
Exposición a corto plazo	40
<b>REGISTROS DE LOS SENSORES AUTOMÁTICOS DE MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2.5 MICRAS (MP<sub>2.5</sub>)</b>	41
Exposición a corto plazo	41
Exposición a largo plazo	42
<b>REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA MONÓXIDO DE CARBONO (CO)</b>	43

# ÍNDICE

<b>REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)</b>	44
Exposición a corto plazo	44
Exposición a largo plazo	45
<b>REGISTROS DE LA SUBRED PASIVA. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)</b>	46
<b>REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO<sub>2</sub>)</b>	48
Exposición a corto plazo	48
Exposición a largo plazo	49
<b>REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA. OZONO (O<sub>3</sub>)</b>	51
<b>REGISTROS DE LA SUBRED PASIVA. OZONO (O<sub>3</sub>)</b>	52
<b>TENDENCIAS DE LAS CONCENTRACIONES MEDIAS ANUALES</b>	54
<b>CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGÍA</b>	57
<b>CONCLUSIONES</b>	61
<b>REFERENCIAS</b>	63
<b>ANEXO A</b>	66
<b>ANEXO B</b>	75
<b>ANEXO C</b>	83
<b>ANEXO D</b>	87
<b>ANEXO E</b>	89
<b>ANEXO F</b>	93

# ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Código, dirección y contaminantes de las estaciones de monitoreo.	25
<b>Tabla 2:</b> Métodos de medición y sensores de la estación automática MUN.	27
<b>Tabla 3:</b> Métodos de medición y sensor de la estación automática CCA.	27
<b>Tabla 4:</b> Métodos de medición y sensores de la estación automática EIE.	28
<b>Tabla 5:</b> Métodos de medición y equipos que conforman las subredes pasiva, de depósito de partículas sedimentables y activa de material particulado. Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Cuenca	28
<b>Tabla 6:</b> Cobertura temporal de datos de las subredes activa, pasiva y de depósito, de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca. Año 2020.	30
<b>Tabla 7:</b> Número de vehículos que aprobaron la Revisión Técnica Vehicular en el cantón Cuenca durante el periodo 2008 – 2020.	34
<b>Tabla 8:</b> Resumen de la Norma de Calidad del Aire Ambiente vigente desde el 4 de abril de 2011. Contaminantes no convencionales.	35
<b>Tabla 9:</b> Resumen de la Norma de Calidad del Aire Ambiente vigente desde el 4 de abril de 2011. Contaminantes no convencionales	36
<b>Tabla 10:</b> Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente (NCAA) y Guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (WHO, 2000), (OMS, 2006).	36

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> (a) Sudamérica. (b) Ecuador. (c) cantón Cuenca. (d) Localización de las estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca. Año 2020	24
<b>Figura 2:</b> Estación automática de calidad del aire y meteorología localizada en la estación MUN.	26
<b>Figura 3:</b> Dispositivos empleados en el muestreo pasivo de contaminantes gaseosos.	26
<b>Figura 4:</b> Detalle del dispositivo de muestreo pasivo.	26
<b>Figura 5:</b> Partículas sedimentables. Promedio anual por estación (mg/cm <sup>2</sup> durante 30 días). Año 2020	37
<b>Figura 6:</b> Concentraciones medias mensuales de partículas sedimentables (mg/cm <sup>2</sup> durante 30 días). Año 2020.	38
<b>Figura 7:</b> Distribución espacial de la concentración media de partículas sedimentables para el año 2020 (mg/cm <sup>2</sup> durante 30 días).	39
<b>Figura 8:</b> Promedio anual de las concentraciones de MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ). Año 2020.	40
<b>Figura 9:</b> Concentraciones medias mensuales de MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ). Año 2020.	40
<b>Figura 10:</b> Promedio durante 24 horas de las concentraciones de MP <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ). Año 2020. Estación MUN.	41
<b>Figura 11:</b> Promedio durante 24 horas de las concentraciones de MP <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ). Año 2020. Estación CCA.	41
<b>Figura 12:</b> Promedio durante 24 horas de las concentraciones de MP <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ). Año 2020. Estación EIE	42
<b>Figura 13:</b> Promedio máximo horario de las concentraciones de CO (mg/m <sup>3</sup> ). Año 2020.	43
<b>Figura 14:</b> Promedio máximo octohorario de las concentraciones de CO (mg/m <sup>3</sup> ). Año 2020.	43
<b>Figura 15:</b> Promedio durante 10 min de las concentraciones de SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ). Enero – junio de 2020.	44
<b>Figura 16:</b> Promedio durante 10 min de las concentraciones de SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ). Julio – diciembre de 2020.	44
<b>Figura 17:</b> Promedio durante 24 horas de las concentraciones de SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ). Año 2020.	45
<b>Figura 18:</b> Dióxido de azufre. Promedio anual por estación (µg/m <sup>3</sup> ). Año 2020.	46
<b>Figura 19:</b> Concentraciones medias mensuales de SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ). Año 2020	46
<b>Figura 20:</b> Distribución espacial de la concentración media de SO <sub>2</sub> para el año 2020 (µg/m <sup>3</sup> ).	47
<b>Figura 21:</b> Promedio máximo horario de las concentraciones de NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ). Año 2020.	48
<b>Figura 22:</b> Dióxido de nitrógeno. Promedio anual por estación (µg/m <sup>3</sup> ). Año 2020.	49
<b>Figura 23:</b> Concentraciones medias mensuales de NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ). Año 2020.	49
<b>Figura 24:</b> Distribución espacial de la concentración media de NO <sub>2</sub> para el año 2020 (µg/m <sup>3</sup> ).	50
<b>Figura 25:</b> Promedio octohorario máximo por día de las concentraciones de O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> ). Año 2020.	51



# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 26:</b> Ozono. Promedio anual por estación ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Año 2020.	52
<b>Figura 27:</b> Concentraciones medias mensuales de $\text{O}_3$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Año 2020.	52
<b>Figura 28:</b> Distribución espacial de la concentración media de $\text{O}_3$ para el año 2020 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).	53
<b>Figura 29:</b> Concentraciones medias anuales de dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) del periodo 2014 - 2021 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).	54
<b>Figura 30:</b> Concentraciones medias anuales de ozono ( $\text{O}_3$ ) del periodo 2014-2021 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).	54
<b>Figura 31:</b> Concentración de $\text{O}_3$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y radiación solar global ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) horarias para los días 20 hasta 24 de octubre de 2021. Estaciones automáticas MUN y CEA.	55
<b>Figura 32:</b> Concentración de $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) horarias para los días 20 hasta 24 de octubre de 2021. Estación automática MUN.	55
<b>Figura 33:</b> Concentración de $\text{MP}_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) horarias para los días 20 hasta 24 de octubre de 2021. Estación automática MUN.	56
<b>Figura 34:</b> Temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) y radiación solar global ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) horarias para los días 20 hasta 24 de octubre de 2020. Estaciones automáticas MUN y CEA.	57
<b>Figura 35:</b> Temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) y humedad relativa (%) horarias para los días 20 hasta 24 de octubre de 2021. Estación automática MUN.	58
<b>Figura 36:</b> Velocidad del viento ( $\text{m}/\text{s}$ ) y temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) horarias para los días 20 hasta 24 de octubre de 2021. Estación automática MUN.	58
<b>Figura 37:</b> Temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) y radiación solar global ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) horarias para los días 20 hasta 24 de octubre de 2020. Estaciones automáticas MUN y CEA.	59
<b>Figura 38:</b> Velocidad del viento ( $\text{m}/\text{s}$ ) y temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) horarias para los días 20 hasta 24 de octubre de 2021. Estación automática MUN.	59
<b>Figura 39:</b> Velocidad del viento ( $\text{m}/\text{s}$ ) y temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) horarias para los días 20 hasta 24 de octubre de 2021. Estación automática MUN.	60





Una de las prioridades de nuestra administración, ha sido la conservación del aire mediante un conjunto de acciones que las hemos puesto en práctica para reducir la contaminación atmosférica y conservar la pureza de nuestro aire para las futuras generaciones.

La EMOV EP, tiene entre sus ejes principales promover el uso de fuentes de energías renovables y limpias, fomentar una movilidad y micro movilidad sostenible como los vehículos eléctricos y el uso de la bicicleta.

Todas las acciones que llevamos adelante para reducir la contaminación atmosférica se verán reflejadas en la mejora de la calidad del aire para la

continuidad de la vida en nuestro planeta.

La contaminación del aire es una de las principales inquietudes que nos planteamos, generando la necesidad de implementar un modelo que responda a la realidad actual comprometiéndose en mejorar la gestión de la calidad del aire.

Somos una administración totalmente responsable, nos mantenemos vigilantes mediante nuestras estaciones de monitoreo, Cuenca seguirá siendo un referente al cuidar la calidad de vida de sus habitantes.

Ing. Pedro Palacios  
**ALCALDE DE CUENCA**





Garantizar el mejoramiento del “Índice de Calidad de Aire para la ciudad de Cuenca” en beneficio de la población, es uno de los objetivos de la EMOV EP, que desde hace 10 años cuenta con una Red de Monitoreo, de la cual se obtiene información actual e instantánea para verificar los niveles de contaminación en Cuenca.

Podemos obtener en tiempo real, la contaminación de monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, material particulado fino PM2.5, ozono y variables meteorológicas como velocidad y dirección de viento, temperatura, humedad relativa, radiación solar global, precipitación y presión barométrica, generando desde entonces información fiable, con métodos y procedimientos reconocidos internacionalmente.

Nuestra meta, es evaluar continuamente a través de los 20 estaciones de monitoreo, los niveles de contaminación atmosférica y mantener la calidad del aire en el mejor nivel posible, además de generar información de acceso público.

El trabajo conjunto con la academia y las empresas públicas y municipales, nos ha llevado a trabajar en acciones y estrategias para precautelar la salud de las cuencanas y cuencanos. Nos comprometemos a continuar posicionado a nuestra ciudad como referente para mantener los niveles de contaminación de Cuenca dentro de la normativa Ecuatoriana de la Calidad de Aire.

Juan Aguirre Benalcázar  
**GERENTE GENERAL EMOV EP**





## INTRODUCCIÓN

El monitoreo atmosférico es clave en la gestión de la calidad del aire, cuyo deterioro afecta a la salud pública. La Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2010), estimó que por esta causa en el Ecuador fallecen 500 personas cada año.

En sintonía con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas, 2021), es necesario conocer los niveles de contaminación atmosférica, a fin de evaluar sus efectos en la salud y para la adopción de políticas y acciones, que permitan mantener la calidad del aire en el mejor nivel posible.

El monitoreo de la calidad del aire fue asumido por el Municipio de Cuenca en el año 2008. Desde entonces, la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca genera información fiable, mediante métodos y procedimientos reconocidos internacionalmente.

Desde junio de 2012 la Red de Monitoreo opera una estación

automática instalada en el Centro Histórico. Esta infraestructura registra en tiempo real los niveles de contaminación atmosférica y los principales parámetros meteorológicos.

Desde junio de 2016, la Red de Monitoreo opera un sensor automático de material particulado fino ( $MP_{2.5}$ ), localizado en la estación del Colegio Carlos Arízaga, que registra las concentraciones de este contaminante, en la zona de influencia del parque industrial de Cuenca.

Desde julio de 2020, la Red de Monitoreo opera un sensor automático de  $MP_{2.5}$ , localizado en la estación de la Escuela Ignacio Escandón, que registra las concentraciones de este contaminante, al suroeste del Centro Histórico de Cuenca.

A finales de noviembre de 2021, se instalaron micro sensores indicativos de  $MP_{2.5}$  y  $MP_{10}$ ,  $CO$ ,

$O_3$ ,  $NO_2$  y  $SO_2$  en las estaciones de El Cebollar, Terminal Terrestre, Condamine, Juan Montalvo, Escuela Ignacio Escandón, Alcaldía. La información registrada por las nuevas estaciones será incluida en el informe de calidad del aire del año 2022.

Los micro sensores automáticos, en complemento con las subredes operativas, desde el año 2008 permiten a la Red de Monitoreo cumplir con los requisitos que establece la Legislación Nacional. En su implementación y funcionamiento, ha sido clave el apoyo del Ministerio de Ambiente y de la Secretaría de Ambiente del Municipio de Quito.

Nos complace presentar el informe de la Calidad del Aire de la Ciudad de Cuenca del año 2021, como actividad de difusión pública y rendición de cuentas de las actividades de la Red de Monitoreo de la Empresa Pública de Movilidad, Tránsito y Transporte (EMOV-EP).





# CONTAMINANTES DEL AIRE Y SUS EFECTOS EN LA SALUD

## DIÓXIDO DE NITRÓGENO. NO<sub>2</sub>

## ANTECEDENTES

La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire opera desde el año 2008. Formaba parte de la Corporación Para el Mejoramiento del Aire de Cuenca (Cuencaire); entidad que también se encargaba de la fiscalización del proceso de Revisión Técnica Vehicular (RTV) en el Cantón Cuenca.

Cuencaire fue liquidada a finales del año 2010. La operación de la Red de Monitoreo y la fiscalización de la RTV fueron transferidas a la EMOV-EP.

El óxido nítrico (NO) es un gas incoloro que se genera por la combinación entre el nitrógeno (N<sub>2</sub>) y el oxígeno (O<sub>2</sub>) del aire, principalmente en los procesos de combustión; y en menor grado por la oxidación del nitrógeno de los combustibles. El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), que se forma principalmente por la oxidación del NO, es un gas de color café rojizo, reactivo, irritante y tóxico en altas concentraciones. En elevadas concentraciones puede

irritar los alvéolos e incrementar el riesgo de infecciones pulmonares. Se utiliza el término "óxidos de nitrógeno" (NOx) para denominar la suma de NO y NO<sub>2</sub>. Los NOx participan en la formación del ozono troposférico cuando reaccionan con los compuestos orgánicos volátiles, en presencia de radiación solar. Las emisiones más importantes de NOx provienen de los procesos de combustión, como los que ocurren en los motores de los

vehículos, a más de las centrales térmicas e industrias.

Los NOx se hidratan en la atmósfera y forman ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), compuesto que se arrastra con la lluvia o se deposita por acción de la gravedad, formando parte de la lluvia o deposición ácida. Los NOx promueven la formación de partículas secundarias en la atmósfera.

## EL MATERIAL PARTICULADO

Comprende una mezcla de partículas sólidas y líquidas. El material particulado se emite directamente desde diversas fuentes (partículas primarias) o se forman por la condensación de contaminantes gaseosos (partículas secundarias). Una vez en el aire, las partículas pueden cambiar en concentración, de tamaño y forma; afectando el balance energético de la atmósfera. Las partículas secundarias se forman por condensación o licuefacción de sus precursores gaseosos; principalmente hidrocarburos, NOx y SO<sub>2</sub>. Algunas partículas grandes y oscuras pueden ser visibles (como las emisiones de humo o de hollín). Otras, por su tamaño, pueden ser detectables solamente por medio de un microscopio electrónico.

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 mediante la respiración. Las PS causan irritación en los ojos, nariz y garganta. Las partículas más grandes (diámetro  $\geq 10 \mu\text{m}$ ) pueden ingresar hasta la nariz y garganta, en tanto que las muy pequeñas pueden entrar hasta los pulmones y luego ser absorbidas al torrente sanguíneo. Estas partículas suelen tener un diámetro menor de  $10 \mu\text{m}$  (MP<sub>10</sub>). Las emisiones de MP<sub>10</sub> se generan principalmente por acción del tráfico en vías sin pavimento, por la erosión del viento en áreas secas (erosión eólica), por la quema de residuos de cosechas agrícolas y por actividades de construcción. Las erupciones volcánicas generan también emisiones de ceniza, con contribuciones importantes de MP<sub>10</sub>.

Se definen como partículas finas aquellas con diámetro menor  $2.5 \mu\text{m}$  (MP<sub>2.5</sub>). Éstas se emiten principalmente por los vehículos a diésel, la generación eléctrica en centrales térmicas, la combustión industrial y residencial. Pueden ingresar directamente hasta los alvéolos pulmonares. Se asocian

con la reducción de la visibilidad, especialmente cuando su tamaño oscila entre  $0.4$  y  $0.7 \mu\text{m}$ , que corresponde al rango de longitud de onda de la luz visible. El MP<sub>2.5</sub> forma parte del MP<sub>10</sub>.

El MP<sub>10</sub> puede llegar hasta las vías respiratorias bajas, en tanto que el MP<sub>2.5</sub> puede penetrar hasta las zonas de intercambio de gases del pulmón. El MP<sub>2.5</sub> es un contaminante cancerígeno.

Aunque se consideraba que la contaminación del aire afectaba principalmente a los pulmones y sistema cardiovascular, la literatura reciente indica daños en el cerebro, promoviendo la enfermedad de Alzheimer y efectos en el desempeño cognitivo, conductual y académico (Cacciottolo et al., 2017; Calderón et al., 2018). En términos de efectos cerebrales, El material particulado es el componente de la contaminación del aire que parece ser el más preocupante (Peeples, 2020).

## DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)

El SO<sub>2</sub> es un gas incoloro, no inflamable y no explosivo que produce una sensación gustatoria a concentraciones entre 260 a 860  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se forma por la oxidación del azufre que contienen los combustibles fósiles. En concentraciones mayores es un gas irritante que provoca alteraciones en las mucosas oculares y vías respiratorias. Afecta las defensas del sistema respiratorio y agrava las enfermedades cardiovasculares. Los grupos más sensibles ante este contaminante son los niños,

las personas de edad avanzada; así como los individuos que sufren asma, problemas cardiovasculares o enfermedades crónicas del sistema respiratorio (bronquitis o enfisema).

En contacto con la humedad del aire forma ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), compuesto que se arrastra con la lluvia o se deposita, provocando la acidificación de los suelos, lagunas y ríos; con efectos negativos en la fauna y vegetación, 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 reducen 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 a gasolina. En las zonas urbanas, un porcentaje alto de CO se debe normalmente al tráfico vehicular. Otra fuente

importante corresponde a los procesos de combustión en industrias.

Por medio de la respiración se inhala oxígeno de la atmósfera. El oxígeno se combina con la hemoglobina de la sangre y forma la oxihemoglobina, sustancia que se encarga de distribuir el oxígeno

hacia los órganos y tejidos. En comparación con el oxígeno, el CO tiene una afinidad mucho mayor con la hemoglobina, y forma la carboxihemoglobina. Si la concentración de esta sustancia y el tiempo de exposición son suficientes, la privación de oxígeno puede producir efectos negativos en la salud, como 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 e inclusive la muerte.

La emisión de CO puede producir problemas de contaminación del aire críticos en espacios cerrados. En términos de muertes por asfixia, son mucho más críticas

las concentraciones al interior de viviendas y espacios cerrados, cuando hay emisiones de combustión de dispositivos con funcionamiento deficiente, y no hay condiciones adecuadas de dispersión.

La altura de Cuenca, aproximadamente 2550 msnm, implica en promedio un 23% de menor disponibilidad de oxígeno con relación a ciudades

localizadas a nivel del mar. Por ello los procesos de combustión (oxidación) de gasolina, diésel y otros combustibles; son menos eficientes y hay una mayor emisión de CO y otros contaminantes primarios.

## COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV)

Hay varias definiciones de compuestos orgánicos volátiles (COV). Una de las más utilizadas indica que los COV corresponden a cualquier compuesto de carbono que participan en la formación de ozono troposférico. Se excluyen el monóxido de carbono, dióxido de carbono y otros compuestos.

Las principales fuentes antropogénicas corresponden a la combustión (fundamentalmente el tráfico y las industrias), la evaporación de combustibles, el suministro en gasolineras y el uso de disolventes. La principal fuente natural corresponde a ciertas especies vegetales.

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

formación de ozono en la troposfera (capa de la atmósfera en contacto con la superficie terrestre).

El uso de disolventes y de compuestos químicos (perfumes, sustancias para abrillantar muebles, gomas, pinturas, barnices, preservantes de la madera, pesticidas, sustancias para lavado en seco e insecticidas) es una fuente importante de COV. Los COV producen irritación de los ojos, nariz y garganta. En casos severos de 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 peligrosos, por su capacidad probada o potencial de ser cancerígenos 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 (leucemia) que produce adicionalmente otros efectos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) no establece ningún nivel de exposición máximo al benceno que se pueda considerar completamente seguro.

## OZONO TROPOSFÉRICO (O<sub>3</sub>)

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. El O<sub>3</sub> estratosférico absorbe la mayor parte de la radiación ultravioleta que proviene del sol y actúa como una capa protectora para los seres vivos y ecosistemas.

El O<sub>3</sub> troposférico es un fuerte irritante que promueve el envejecimiento prematuro y la rigidez de los tejidos pulmonares. Según la OMS, las concentraciones horarias de 200 µg/m<sup>3</sup> pueden irritar los ojos, nariz y garganta. La población más sensible corresponde a las personas que sufren asma, bronquitis crónica y enfisema. El O<sub>3</sub> afecta el normal desarrollo y crecimiento de

plantas, y produce el deterioro de materiales como el caucho, colorantes textiles y pinturas. El O<sub>3</sub> troposférico de origen antropogénico, es un contaminante secundario que se produce principalmente por las reacciones entre los NO<sub>x</sub> y COV en presencia de radiación solar.

La distribución espacial y temporal del O<sub>3</sub> troposférico puede diferir marcadamente en relación con otros contaminantes del aire. Los impactos más importantes pueden ocurrir en sitios ubicados a varios kilómetros desde las fuentes de emisión de sus precursores. Los eventos más críticos de exposición pueden ocurrir en zonas suburbanas y rurales. Por su propia naturaleza, los procesos de formación y transporte del O<sub>3</sub> son complejos. El O<sub>3</sub> reacciona con el óxido

nitroso (NO). En el centro de las grandes ciudades, especialmente en las noches, puede haber menores concentraciones de O<sub>3</sub>, con relación a zonas rurales circundantes; debido a su consumo por las emisiones de NO nocturno del tráfico vehicular.

# DESCRIPCIÓN DE LA RED DE MONITOREO

La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca cuenta actualmente con 20 puntos de monitoreo pasivo localizados en diferentes sitios de la ciudad (Figura 1) que cumplen con las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA).

La Tabla 1 indica el código la ubicación de los contaminantes y la escala de la información de calidad del aire de cada estación; de acuerdo con las categorías establecidas por la USEPA.

La Red de Monitoreo incluye:

- Una estación automática localizada en la estación MUN (Figuras 1 y 2) que registra en tiempo real las concentraciones de CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y MP<sub>2.5</sub>. Adicionalmente registra los valores de los parámetros meteorológicos: precipitación, radiación solar global, velocidad y dirección del viento; temperatura y humedad relativa.

- Desde el 11 de junio de 2016, opera un sensor automático de MP<sub>2.5</sub> (similar al sensor instalado en la estación MUN), localizado en la estación del Colegio Carlos

Arízaga (CCA, Figura 1), que registra las concentraciones de este contaminante, en la zona de influencia del parque industrial de Cuenca.

- Desde el 9 de julio de 2020, opera un sensor automático de MP<sub>2.5</sub> en la estación de la Escuela Ignacio Escandón (EIE, Figura 1). Adicionalmente registra los valores de la velocidad y dirección del viento.

- Una subred pasiva de muestreo de contaminantes gaseosos en las 19 estaciones (Figura 1). Mide las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en muestras expuestas de 10 a 12 días consecutivos, dos veces por mes; de ozono (O<sub>3</sub>) en muestras expuestas 10 a 12 días consecutivos, dos veces por mes; dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos; 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 (Figura 3) capturan selectivamente los contaminantes en un sustrato químico. Los

colectores pasivos se colocan en contenedores, con el propósito de minimizar la influencia del viento y otros agentes externos (Figura 4). 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.

- Una subred de depósito de Partículas Sedimentables (PS), con 17 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 (MP<sub>10</sub>), 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 la toma de muestras es de 6 días. La Tabla 1 indica las estaciones que cuentan con

equipos de MP10.

- Una subred de microsensores indicativos instalados a finales de noviembre de 2021, que miden automáticamente los contaminantes; MP10, MP<sub>2.5</sub> y MP<sub>1</sub>, CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> que están ubicados en los sectores de El Cebollar, Terminal Terrestre, Condamine, Juan Montalvo, Escuela Ignacio Escandón, Alcaldía. La información

registrada por la nueva subred de microsensores, será incluida en el informe de calidad del aire del año 2022.

- En noviembre del 2021 se instaló un equipo de material particulado menor a 10 micras (MP<sub>10</sub>), en la alcaldía, y dos analizadores automáticos en la escuela Ignacio Escandón que miden CO y SO<sub>2</sub>, a tiempo real.

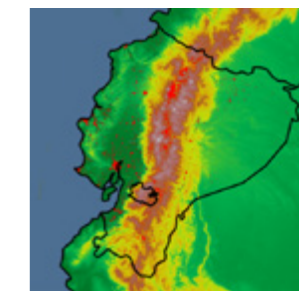
Las Tablas 2, 3 y 4 presentan los métodos de medición y sensores automáticos de las estaciones MUN, CCA y EIE.

La Tabla 5 presenta los métodos de medición y equipos que conforman las subredes pasivas de depósito de partículas sedimentables y activa de material particulado.

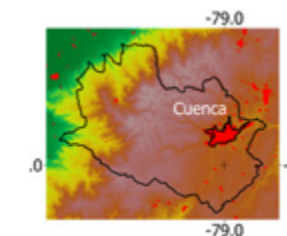
## UBICACIÓN DEL CANTÓN CUENCA



(a) Ubicación de Ecuador en Sudamérica

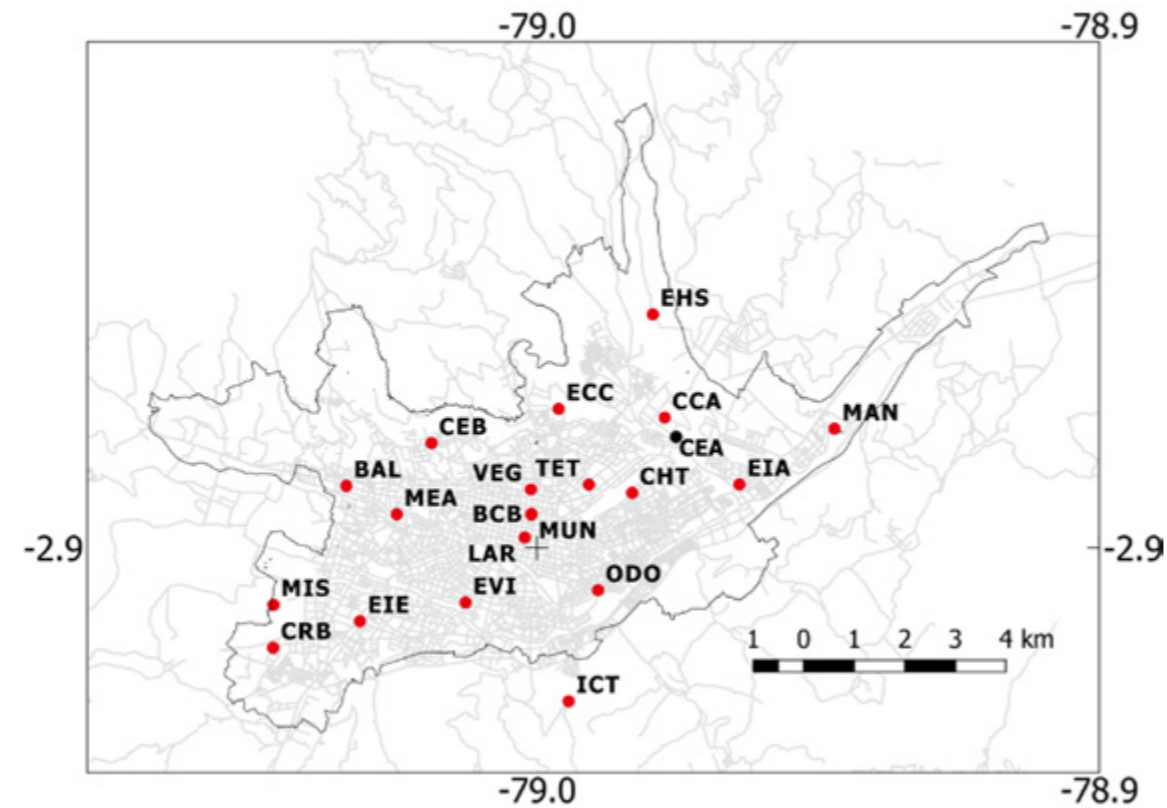


(b) Ubicación del cantón Cuenca en el Ecuador



(c) Ubicación de Cuenca en el cantón Cuenca





(d) Localización de las estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca

**Figura 1:** (a) Sudamérica. (b) Ecuador. (c) Cantón Cuenca. (d) Localización de las estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca. Año 2021

Código	Nombre	Ubicación	Contaminantes	Escala
MAN	Machángara	Jardines del Río y Calle Londres	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PS, BTEX	Vecinal
EIA	Escuela Ignacio Andrade	Reino de Quito y Avenida González Suárez	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PS, BTEX	Vecinal
EHS	Escuela Héctor Sempértregui	Camino a Ochoa León	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PS, BTEX	Vecinal
CHT	Colegio Herlinda Toral	Altar Urco y Avenida Paseo de los Cañaris	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PS, BTEX	Vecinal
TET	Terminal Terrestre	Avenidas Madrid y España	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PS, BTEX	Vecinal
ECC	Escuela Carlos Crespi II	Calle de la Bandolia y Calle del Arpa	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PS, BTEX	Vecinal
ODO	Facultad de Odontología - Universidad de Cuenca	Avenida Pasaje de Paraíso y Avenida 10 de Agosto	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PS, BTEX	Vecinal
EVI	Escuela Velasco Ibarra	Avenida Felipe II y Avenida Isabel Católica	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PS, BTEX	Vecinal
MEA	Mercado El Arenal	Avenida Remigio Crespo y Avenida de las Américas	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PS, BTEX	Vecinal
BAL	Balzay CEA - Universidad de Cuenca.	Avenida Ordóñez Laso y Avenida Cerezos	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PS, BTEX	Vecinal
CRB	Colegio Rafael Borja	Vía a Baños	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PS, BTEX	Vecinal
VEG	Vega Muñoz	Vega Muñoz y Luis Cordero	NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , BTEX	Microescala
CCA	Colegio Carlos Arizaga Vega	Calle J. Lavalle y Calle A. Ricaurte	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PS, MP <sub>10</sub> , BTEX, MP <sub>2.5</sub>	Urbana, vecinal
MUN	Municipio	Calle Simón Bolívar y Calle Presidente Borrero	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, MP <sub>2.5</sub> , MP <sub>10</sub> , PS, BTEX	Urbana, vecinal
EIE	Escuela Ignacio Escandón	Avenida Loja y Calle Ignacio de Rocha	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PS, MP <sub>10</sub> , BTEX, MP <sub>2.5</sub>	Urbana, vecinal
BCB	Estación de bomberos	Calle Presidente Córdova y Luis Cordero	NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PS, BTEX	Microescala
LAR	Calle Larga	Calle Larga y Borrero	NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , BTEX	Microescala
ICT	Antenas de Ictocruz	Camino a Ictocruz	O <sub>3</sub>	Regional
CEB	Cebollar	Calle del Cebollar	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PS, BTEX	Vecinal
MIS	Misicata	Calle Carmela Malo	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PS, BTEX	Vecinal

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



**Figura 2:** Estación automática de calidad del aire y meteorología localizada en la estación MUN



**Figura 3:** Dispositivos empleados en el muestreo pasivo de contaminantes gaseosos



Sitio de muestreo



Contenedor de tubos pasivos

**Figura 4:** Detalle del dispositivo de muestreo pasivo

CALIDAD DEL AIRE		
Contaminante	Método	Marca/modelo
Monóxido de carbono (CO)	Absorción de radiación infrarroja no dispersiva USEPA Método de referencia EQQA-0992-087	Teledyne. M300E
óxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Fluorescencia por radiación ultravioleta USEPA Método de referencia EQSA-0495-100	Teledyne. M100E
óxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Quimiluminiscencia USEPA Método de referencia EQQA-0992-087	Teledyne. M200E
aterial particulado fino (MP <sub>2.5</sub> )	Atenuación de rayos beta USEPA Método equivalente EQPM-0308-170	Met One BAM-1020
Ozono (O <sub>3</sub> )	Absorción de radiación ultravioleta USEPA Método equivalente EQQA-0992-087	Teledyne. M400E
Meteorología, estación Vaisala		
Parámetro	Sensor	
Velocidad y dirección del viento	WMS302	
Temperatura del aire. humedad relativa	HMP155	
Radiación solar global	CMP3	
Precipitación	Young 52203	
Presión barométrica	KI7474	

**Tabla 2:** Métodos de medición y sensores de la estación automática MUN. Cuenca. Año 2021

CALIDAD DEL AIRE		
Contaminante	Método	Marca/modelo
Material particulado fino (MP <sub>2.5</sub> )	Atenuación de rayos beta USEPA Método equivalente EQPM-0308-170	Met One BAM-1020

**Tabla3:** Métodos de medición y sensor de la estación automática CCA. Cuenca. Año 2021

CALIDAD DEL AIRE		
Contaminante	Método	Marca/modelo
Material particulado fino (MP <sub>2.5</sub> )	Método estándar ISO 10473	Envea
Meteorología		
Parámetro	Sensor	
Velocidad y dirección del viento	Met One 034B	

**Tabla 4:**  
Métodos de medición y sensores de la estación automática EIE. Cuenca. Año 2021

CONTAMINANTE	PUNTOS DE VIGILANCIA	MÉTODO	MARCA/MODELO
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	19	Difusión pasiva; extracción y análisis por cromatografía iónica	Metrohm 861 Advanced Compact IC.
Ozono (O <sub>3</sub> )	17	Difusión pasiva; espectrofotometría UV visible (reacción de color MBTH. longitud de onda 442nm)	Thermo Scientific GENESIS 20
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	19	Difusión pasiva; espectrofotometría UV visible (longitud de onda 540nm)	Thermo Scientific GENESIS 20
Partículas sedimentables (PS)	17	Muestreo por el método Bergerhoff y análisis gravimétrico	Horno Memmert Balanza Analítica Adventurer Pro OHAUS
Material particulado (MP <sub>10</sub> )	3	Gravimétrico empleando muestreador de alto volumen (Referencia EPA 40CFR50. Apéndice J).	THERMO. HY-VOL MP10. Balanza Sartorius /LA 130S-F.
Benceno, tolueno, etilbenceno y xilinos (BTEX)	19	Difusión pasiva; extracción de solventes y análisis por cromatografía de gases	Shimadzu /GC 17*

**Tabla 5:**  
Métodos de medición y equipos que conforman las subredes pasiva, de depósito de partículas sedimentables y activa de material particulado. Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Cuenca. Año 2021

## OBJETIVOS

Los principales objetivos de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca son:

- 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 la medición permanente de la calidad del aire en diferentes zonas de la ciudad.
- Generar información para la evaluación, mejora continua y optimización de la Red de Monitoreo.
- Contar con información confiable para la evaluación de las actividades y políticas de gestión de la calidad del aire en la ciudad de Cuenca.
- Identificar potenciales fuentes de emisión.
- Analizar la tendencia y comportamiento de la contaminación a largo plazo.
- Generar información de acceso público, que pueda ser utilizada con fines de investigación para entender mejor el comportamiento de los contaminantes del aire en el cantón Cuenca (por ejemplo Parra, 2017-2018; Parra and Espinoza, 2020).
- Generar información para la calibración y posterior uso de un modelo de transporte químico, que complemente la información de la Red de Monitoreo, con una cobertura espacial y temporal de mayor alcance.

## REPRESENTATIVIDAD DE DATOS

### ESTACIÓN AUTOMÁTICA DE CALIDAD DEL AIRE

Los sensores de calidad del aire registran concentraciones cada minuto. Con estos datos se calculan las concentraciones en los periodos temporales establecidos en la NCAA.

Para el año 2021 la cobertura temporal por contaminante de la estación MUN, fue la siguiente:

CO (73.2%), SO<sub>2</sub> (77.0%), O<sub>3</sub> (97.0%), MP<sub>2.5</sub> (98.4%) y NO<sub>2</sub> (99.2%). El sensor automático de MP<sub>2.5</sub> de la estación CCA tuvo una cobertura de 65.8%.

El sensor automático de MP<sub>2.5</sub> de la estación EIE tuvo una cobertura de 77.5%.

El Anexo A incluye las concentraciones procesadas en base a los registros de las estaciones automáticas.



## SUBREDES ACTIVAS, PASIVA Y DE DEPÓSITO

Los criterios de cobertura para los contaminantes que registran las subredes activa, pasiva y de depósito; son los siguientes:

Material particulado  $MP_{10}$ ; 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 ( $O_3$ ), dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), dióxido de azufre ( $SO_2$ ) y Partículas Sedimentables (PS); para los promedios mensuales y

anuales se necesita por lo menos de 2/3 del total período, con registros válidos.

El Anexo B incluye los registros de las subredes activa, pasiva y de depósito.

CONTAMINANTE	COBERTURA( %)*
Material particulado ( $MP_{10}$ )	98.9
Dióxido de azufre ( $SO_2$ )	100.0
Ozono ( $O_3$ )	99.1
Dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ )	100.0
Partículas sedimentables (PS)	100.0

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

**Tabla 6:**  
Cobertura temporal de datos de las subredes activa, pasiva y de depósito, de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca. Año 2021

La red pasiva también recolecta muestras para la cuantificación benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX). Los registros se indican en el Anexo B.



## REGISTROS DE METEOROLOGÍA

La cobertura de registros de las variables meteorológicas en la estación MUN varió 99.6 y 100%. El Anexo C presenta el procesamiento de los registros meteorológicos obtenidos durante 2021.

La estación EIE registra la dirección y velocidad del viento. La cobertura de registros del año 2021 fue del 83.5%. El Anexo D

presenta el procesamiento de los registros de velocidad del viento. El Anexo E incluye el procesamiento de registros del año 2021 de temperatura, radiación solar, precipitación y humedad relativa; de la estación meteorológica del Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca (Centro de Estudios Ambientales, 2021). La mencionada estación (código

CEA) se localiza al NE de la zona urbana de Cuenca, en la zona del parque industrial (Figura 1).

Los rangos y tendencias de los valores medios mensuales de los registros meteorológicos de las estaciones MUN, EIE y CEA, son consistentes.



# LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE CUENCA

De acuerdo al último inventario de emisiones del Cantón Cuenca elaborado con año base 2014 (EMOV EP, 2016a), las fuentes más importantes de emisión por contaminante primario son las siguientes:

Monóxido de carbono (CO): tráfico vehicular 94.5%.

Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>): tráfico vehicular 71.2%, térmicas 18.5%.

Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVNM): tráfico vehicular 39.6%, uso de disolventes 29.7%, vegetación 19.5%.

Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>): industrias 60.4%, térmicas 35.1%.

Material particulado fino (MP<sub>2.5</sub>): tráfico vehicular 42.5, ladrilleras artesanales 38.5%, térmicas 11.3%.

Material particulado (MP<sub>10</sub>): tráfico vehicular 55.6%, ladrilleras artesanales 24.6%.

En la zona urbana de Cuenca, el tráfico vehicular es la fuente más importante de emisión. Al noroccidente de la zona urbana, se destaca adicionalmente 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. En el año 2021, 90 715 vehículos se presentaron a la RTV. Esta cantidad es mayor al número

de vehículos que se presentaron en los años 2017 hasta 2020 (Tabla 7), aunque menor a los números desde 2012 hasta 2016. Este comportamiento se explicaría por la vigencia (desde el 26 de abril de 2016) del Decreto Ejecutivo 975, que reforma el Reglamento General para la Aplicación de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial. La mencionada reforma establece que los vehículos que prestan el servicio de transporte público, comercial y por cuenta propia,

están obligados a someterse a una revisión técnica vehicular una vez al año. Hasta el año 2015, estos vehículos debían aprobar la RTV dos veces al año.



AÑO	VEHÍCULOS
2008	9.261
2009	35.937
2010	83.706
2011	89.840
2012	95.337
2013	102.202
2014	106.085
2015	114.408
2016	94.918
2017	85.209
2018	85.235
2019	84.560
2020	82.351
2021	90.715

**Tabla 7:**  
Número de vehículos que aprobaron la Revisión Técnica Vehicular en el cantón Cuenca durante el período 2008 – 2021

## NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE (NCAA)

La NCAA fue actualizada mediante el acuerdo No. 050 del Ministerio de Ambiente. Las concentraciones límite (Tablas 8 y 9) están en vigencia desde el 4 de abril de 2011.

CONTAMINANTE	NORMA VIGENTE
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Promedio anual 40 µg/m <sup>3</sup> Promedio en 1 hora 200 µg/m <sup>3</sup>
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Promedio en 24 horas 125 µg/m <sup>3</sup> Promedio anual 60 µg/m <sup>3</sup> Promedio en 10 minutos 500 µg/m <sup>3</sup>
Partículas sedimentables (PS)	1 mg/cm <sup>2</sup> durante 30 días
Material particulado con diámetros menor 10 µm (MP10)	Promedio anual 50 µg/m <sup>3</sup> Promedio en 24 horas: 100 µg/m <sup>3</sup>
Material particulado con diámetros menor 2.5 µm (MP <sub>2.5</sub> )	Promedio anual 15 µg/m <sup>3</sup> Promedio en 24 horas: 50 µg/m <sup>3</sup>
Monóxido de carbono (CO)	Promedio en 8 horas: 10 000 µg/m <sup>3</sup> Promedio en 1 hora: 30 000 µg/m <sup>3</sup>
Ozono (O <sub>3</sub> )	Promedio en 8 horas: 100 µg/m <sup>3</sup>

\* Condiciones de referencia: temperatura de 25 °C y presión atmosférica de 760 mm de Hg.

**Tabla 8:**  
Resumen de la Norma de Calidad del Aire Ambiente vigente desde el 4 de abril de 2011. Contaminantes convencionales.



CONTAMINANTE	VALOR	UNIDAD	PROMEDIO DE MEDICIÓN
Benceno	5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual
Cadmio	$5 \times 10^{-3}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual
Mercurio inorgánico (vapores)	1	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual

**Tabla 9:**

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, propuestos como resultado de un proceso

de sistematización y análisis de la última información científica disponible sobre los efectos de los contaminantes en la salud. La Tabla 8 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	OMS 2021 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
MP <sub>2.5</sub> (24 h)	50		25	15
MP <sub>2.5</sub> (anual)	15		10	5
MP <sub>10</sub> (24 h)	100		50	45
MP <sub>10</sub> (anual)	50		20	15
SO <sub>2</sub> (24 h)	125	125	20	
SO <sub>2</sub> (anual)	60	50		
CO (1 h)	30 000	30 000	30	
CO (8 h)	10 000	10 000	10	
O <sub>3</sub> (8 h)	100	120	100	
NO <sub>2</sub> (1 h)	200		200	60*
NO <sub>2</sub> (anual)	40	40	40	

\*Promedio de las concentraciones máximas diarias en 8 horas, en los seis meses con el máximo valor.

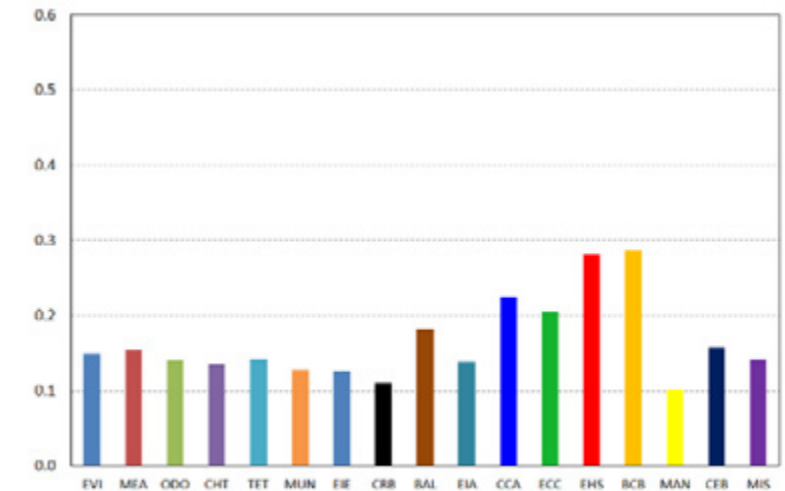
**Tabla 10:**

Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente (NCAA) y Guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (WHO, 2000), (OMS, 2006), (WHO, 2021).

# ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE DEL AÑO 2021

## REGISTROS DE LA SUBRED DE DEPÓSITO. PARTÍCULAS SEDIMENTABLES (PS).

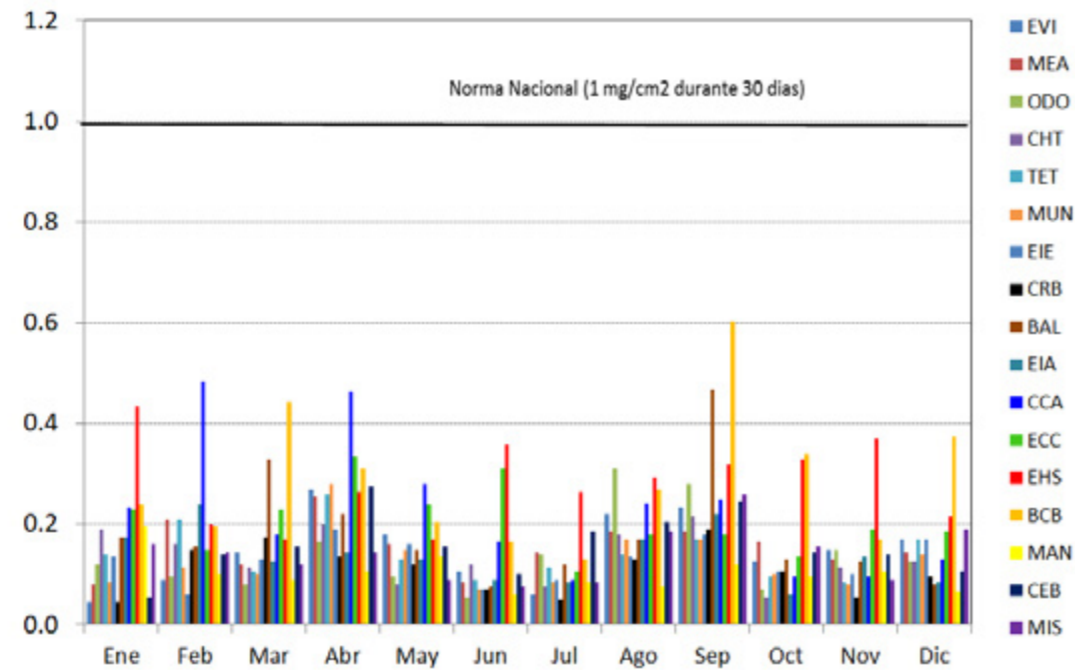
La Figura 5 presenta el promedio anual de la concentración de partículas sedimentables. Las concentraciones más altas corresponden a las estaciones de la Escuela Hector Sempertegui (EHS, 0.28 mg/cm<sup>2</sup> durante 30 días) y Bomberos (BCB, 0.29 mg/cm<sup>2</sup> durante 30 días).



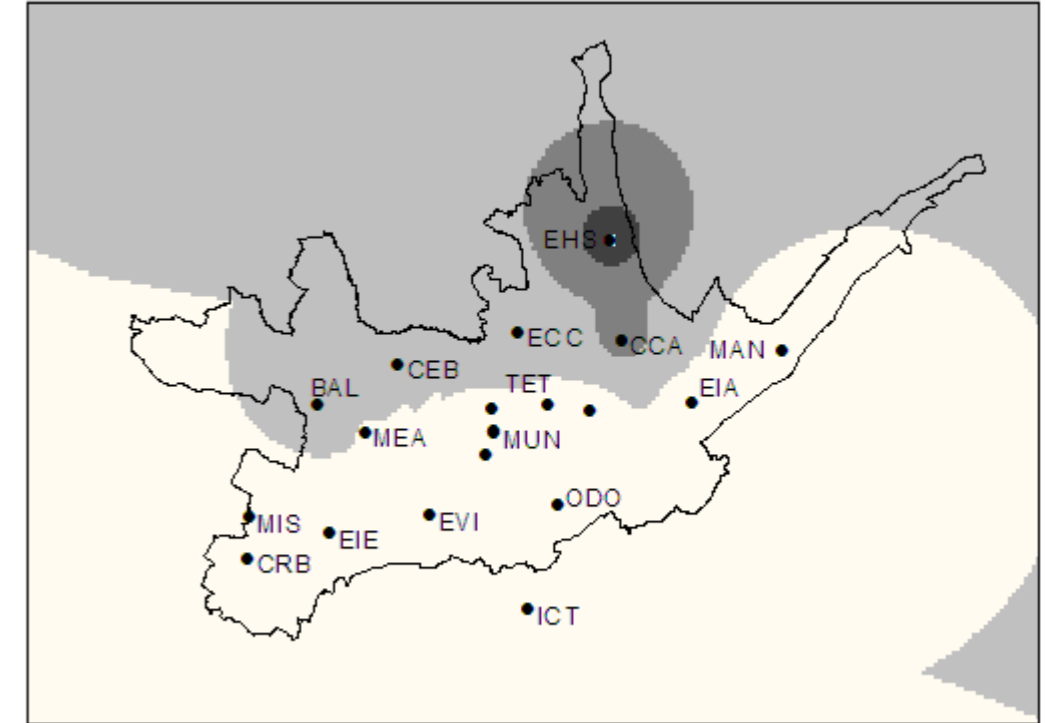
**Figura 5:**

Partículas sedimentables. Promedio anual por estación (mg/cm<sup>2</sup> durante 30 días). Año 2021.

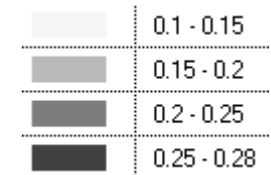
Figura 6 indica las concentraciones mensuales de partículas sedimentables. Todos los valores fueron menores al valor establecido en la NCAA (1.0 mg/cm<sup>2</sup> durante 30 días).



**Figura 6:** Concentraciones medias mensuales de partículas sedimentables (mg/cm<sup>2</sup> durante 30 días). Año 2021.



La Figura 7 presenta la distribución espacial de la concentración media anual 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.



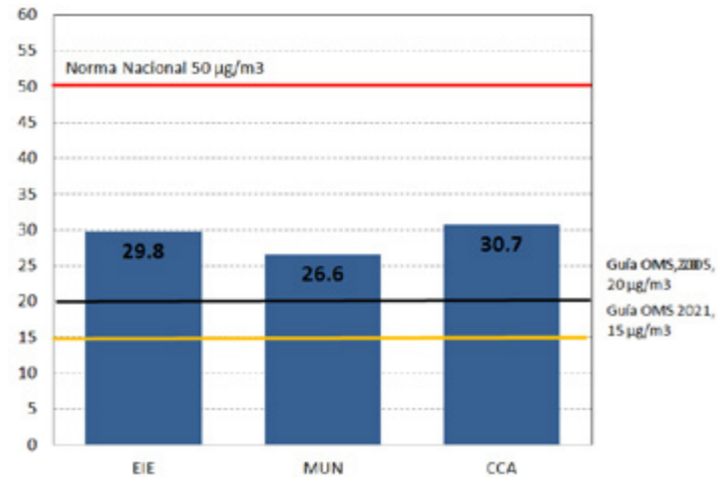
**Figura 7:** Distribución espacial de la concentración media de partículas sedimentables para el año 2021 (mg/cm<sup>2</sup> durante 30 días).



## REGISTROS DE LA RED ACTIVA. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS (MP<sub>10</sub>)

### EXPOSICIÓN A LARGO PLAZO

La Figura 8 indica el promedio anual de MP<sub>10</sub>. En la estación del Colegio Carlos Arizaga (CCA, ubicada al norte de la ciudad, a 300 m del parque industrial) se registró una concentración de 30.7 µg/m<sup>3</sup>. En las estaciones Municipio (MUN) y Escuela Ignacio Escandón (EIE) se registraron concentraciones de 26.6 y 29.8 µg/m<sup>3</sup> respectivamente. En las tres estaciones, las concentraciones fueron menores al nivel de la NCAA (50 µg/m<sup>3</sup>); aunque se superó el reciente valor guía de la OMS 2021 (15 µg/m<sup>3</sup>).



La Figura 8

Promedio anual de las concentraciones de MP<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021.

La Figura 9 indica los promedios mensuales de MP<sub>10</sub>. Las concentraciones variaron entre 18.5 y 39.6 µg/m<sup>3</sup>.

### EXPOSICIÓN A CORTO PLAZO

Durante el año 2021 se registraron 11 superaciones del reciente valor guía de la OMS en 24 horas (45 µg/m<sup>3</sup>). El 45%, 27% y 27% de estas superaciones se registraron en las estaciones EIE, CCA y MUN respectivamente.

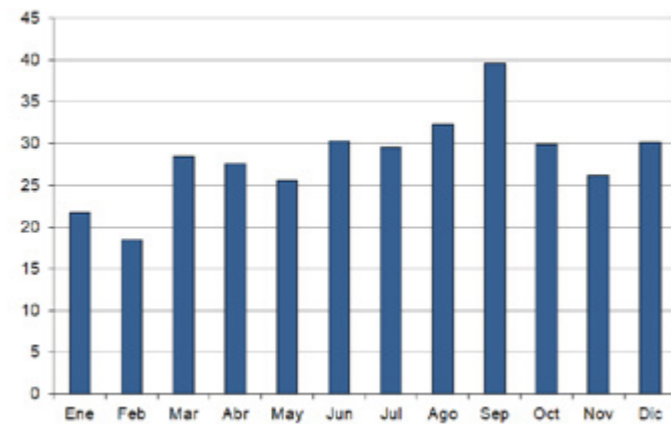


Figura 9:

Concentraciones medias mensuales de MP<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021.

## REGISTROS DE LOS SENSORES AUTOMÁTICOS DE MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2.5 MICRAS (MP<sub>2.5</sub>).

Las Figuras 10, 11 y 12 presentan las concentraciones en 24 horas de MP<sub>2.5</sub> en las estaciones MUN, CCA y EIE, en las que se superó en 40, 8 y 2 días respectivamente se superó el valor guía 2021 de la OMS (15 µg/m<sup>3</sup>).

### EXPOSICIÓN A CORTO PLAZO

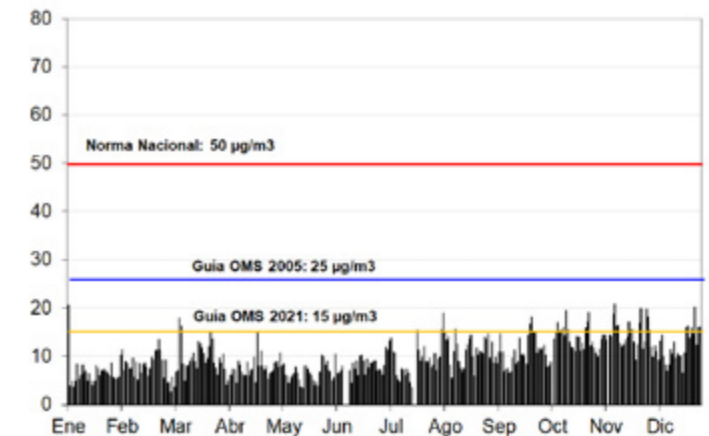


Figura 10:

Promedio durante 24 horas de las concentraciones de MP<sub>2.5</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021. Estación MUN.

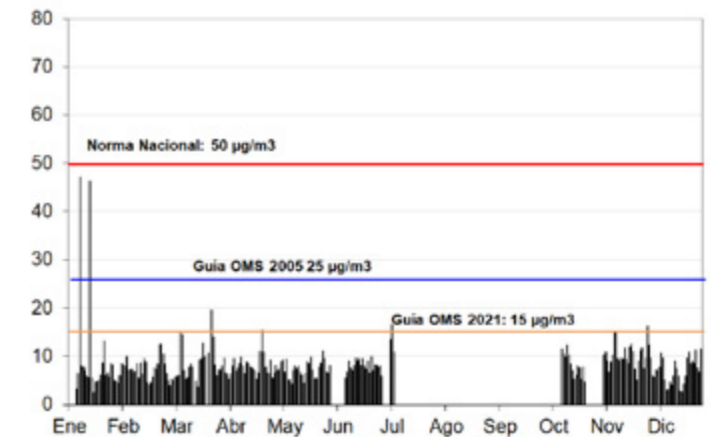
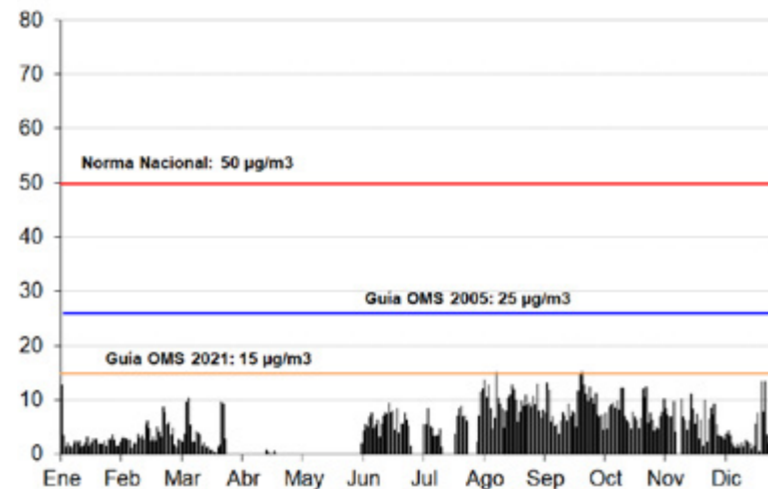


Figura 11:

Promedio durante 24 horas de las concentraciones de MP<sub>2.5</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021. Estación CCA.



La Figura 12 Promedio durante 24 horas de las concentraciones de MP2.5 (µg/m³). Año 2021. Estación EIE.

**EXPOSICIÓN A LARGO PLAZO**

El valor medio anual de MP2.5 en la estación MUN asciende a 9.8 µg/m³. Este valor es menor al promedio anual establecido por la NCAA (15 µg/m³), aunque mayor al valor guía 2021 de la OMS (5 µg/m³).

El valor medio anual de las concentraciones de la estación CCA asciende a 8.3 µg/m³. Esta concentración es menor al promedio anual establecido por la NCAA (15 µg/m³), aunque mayor al valor guía 2021 de la OMS (5 µg/m³). Se resalta que la cobertura fue de 65.8%.

El valor medio anual en la estación EIE fué de 5.7 µg/m³. Igualmente, la concentración es menor al promedio anual establecido por la NCAA (15 µg/m³), aunque mayor al valor guía 2021 de la OMS (5 µg/m³).

En la estación MUN, la relación entre las concentraciones medias anuales de MP2.5 (9.8 µg/m³) y de MP10 (26.7 µg/m³) fue 0.37. Este valor sugiere que en la zona de cobertura de la mencionada estación, hay una influencia importante de fuentes de emisión de la fracción gruesa de MP10.

En la estación CCA, la relación entre las concentraciones medias anuales de MP2.5 (8.3 µg/m³) y de MP10 (30.7 µg/m³) es 0.27. De la misma forma, este valor sugiere que, en la zona de la mencionada estación, hay influencia importante de fuentes de emisión de la fracción gruesa de MP10. Situación similar se presenta en EIE, estación que presenta un valor de 0.19.

**REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)**

La Figura 13 presenta las concentraciones horarias de CO. Todos los registros fueron menores a la concentración que establece tanto la NCAA y el valor guía de la OMS (30 mg/m³).

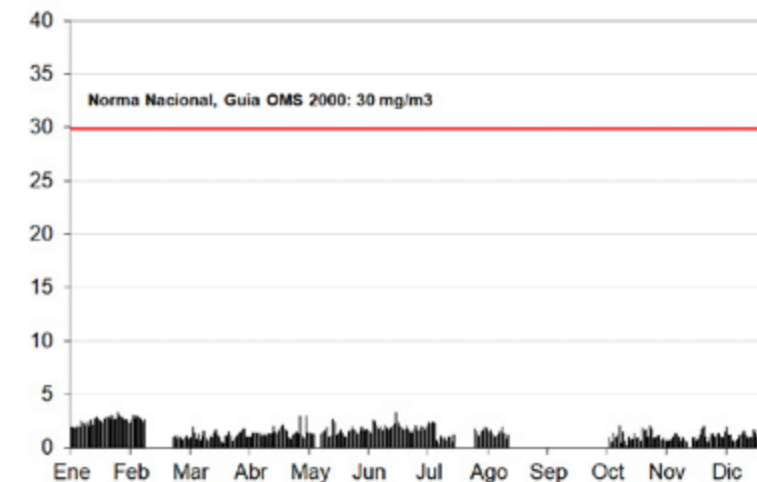
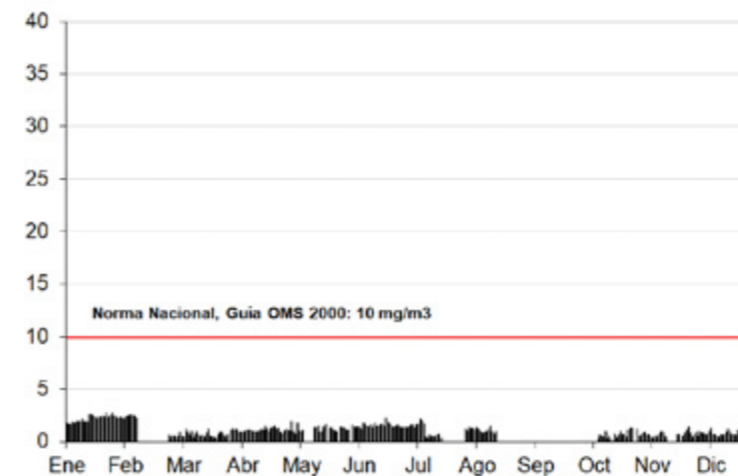


Figura 13: Promedio máximo horario de las concentraciones de CO (mg/m³). Año 2021.



La Figura 14 presenta las concentraciones octohorarias de CO. Todos los registros fueron menores a la concentración que establece tanto la NCAA y el valor guía de la OMS (10 mg/m³).

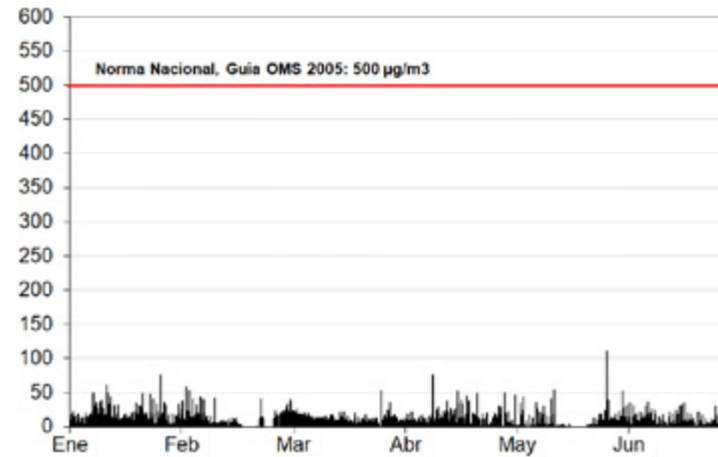
Estos registros indican que el CO no constituye un problema relevante en la calidad del aire ambiente en Cuenca.

Figura 14: Promedio máximo octohorario de las concentraciones de CO (mg/m³). Año 2021.

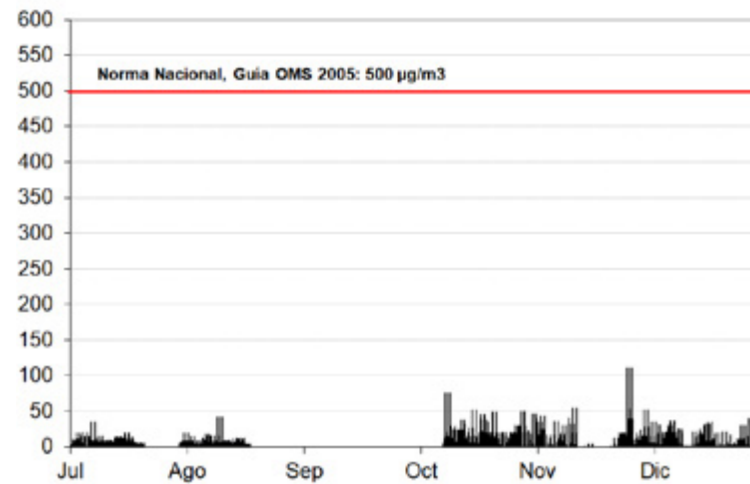
## REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)

### EXPOSICIÓN A CORTO PLAZO

Las Figuras 15 y 16 presentan las concentraciones en 10 min de SO<sub>2</sub> durante el año 2021. Todos los registros fueron menores a la concentración que establece tanto la NCAA y el valor guía de la OMS (500 µg/m<sup>3</sup>).

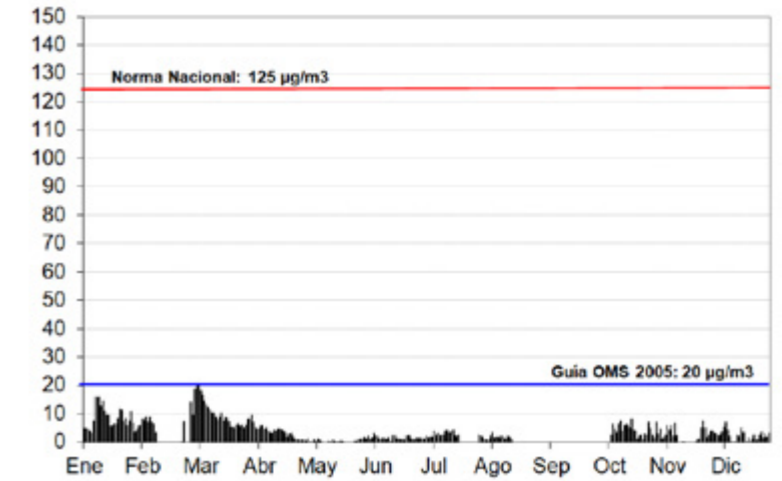


**Figura 15:** Promedio durante 10 min de las concentraciones de SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Enero – junio de 2021.



**Figura 16:** Promedio durante 10 min de las concentraciones de SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Julio – diciembre de 2021.

La Figura 17 presenta las concentraciones en 24 horas de SO<sub>2</sub>. Todos los registros fueron menores a la concentración que establece la NCAA (125 µg/m<sup>3</sup>) y al valor guía de la OMS (20 µg/m<sup>3</sup>).



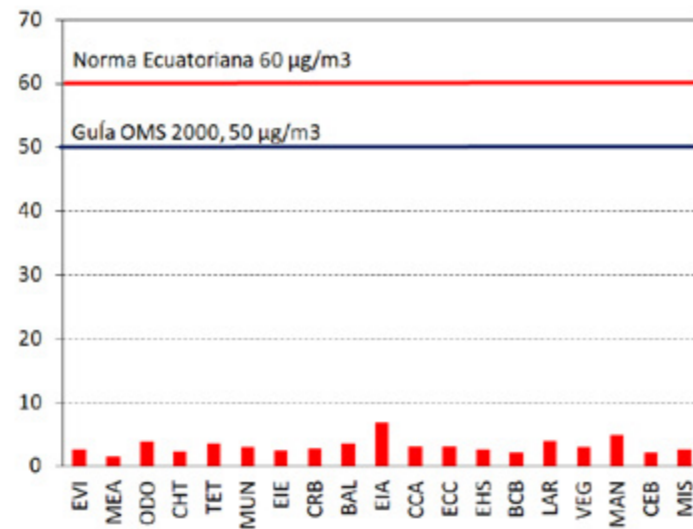
**Figura 17:** Promedio durante 24 horas de las concentraciones de SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021.

### EXPOSICIÓN A LARGO PLAZO

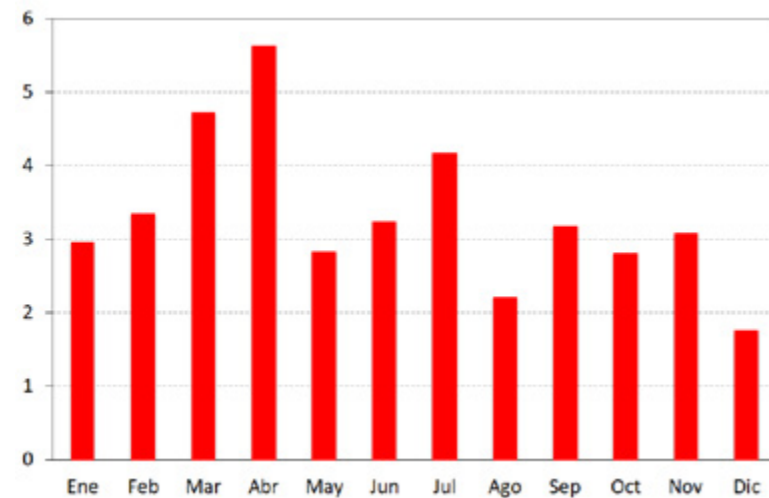
El valor medio de todas las concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> asciende a 3.3 µg/m<sup>3</sup>. Este valor es menor al promedio anual establecido por la NCAA (60 µg/m<sup>3</sup>).

## REGISTROS DE LA SUBRED PASIVA. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)

La Figura 18 presenta el promedio anual de SO<sub>2</sub>. Las concentraciones fueron menores al valor que establece la NCAA (60 µg/m<sup>3</sup>). En ninguna estación se registró una concentración media anual mayor al valor guía del año 2000, sugerido por la OMS (50 µg/m<sup>3</sup>).



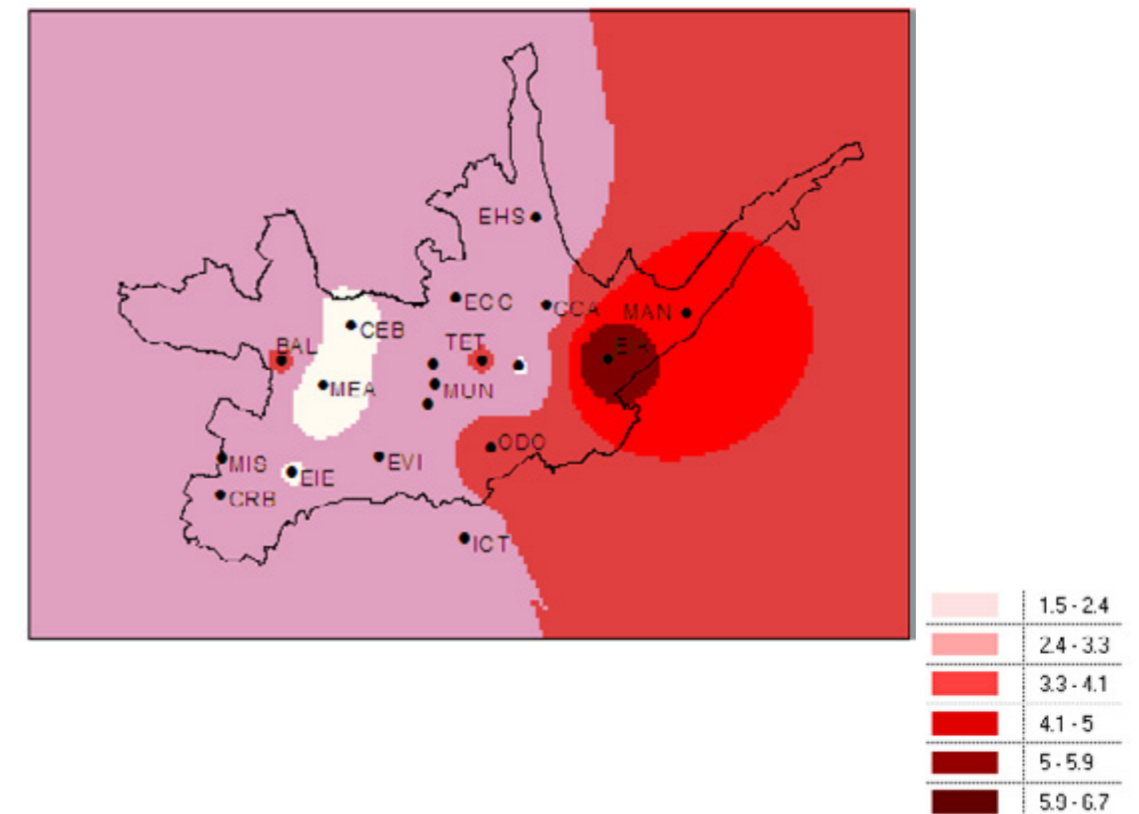
**Figura 18:** Dióxido de azufre. Promedio anual por estación (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021.



La Figura 19 presenta las concentraciones mensuales de SO<sub>2</sub>. La mayor concentración corresponde a abril (5.6 µg/m<sup>3</sup>).

**Figura 19:** Concentraciones medias mensuales de SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021.

La Figura 20 presenta la distribución espacial de la concentración media anual de SO<sub>2</sub>, sin considerar las estaciones de los Bomberos (BCB), Calle Larga (LAR) y Calle Vega Muñoz (VEG); a fin de obtener una tendencia general de los registros a escalas urbana y vecinal, sin la influencia de condiciones a microescala.

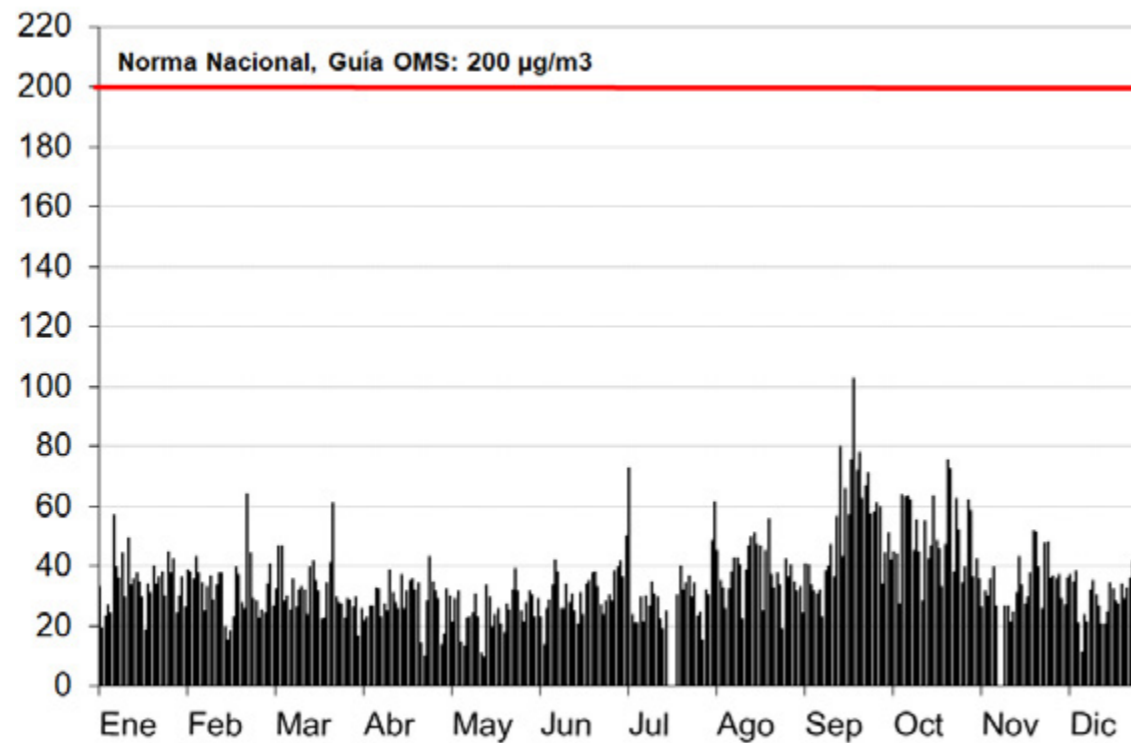


**Figura 20:** Distribución espacial de la concentración media de SO<sub>2</sub> para el año 2021 (µg/m<sup>3</sup>).

## REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA. DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO<sub>2</sub>)

### EXPOSICIÓN A CORTO PLAZO

La Figura 21 presenta las máximas concentraciones horarias en 24 horas de NO<sub>2</sub>. Todos los registros fueron menores a la concentración que establece tanto la NCAA y la guía de la OMS 2005 (200 µg/m<sup>3</sup>).



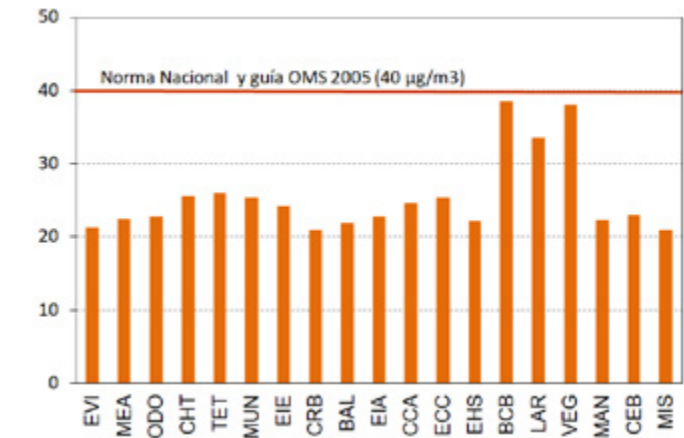
**Figura 21:** Promedio máximo horario de las concentraciones de NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021.

### EXPOSICIÓN A LARGO PLAZO

El promedio anual registrado en la estación MUN fué de 19.1 µg/m<sup>3</sup>, menor al promedio anual establecido por la NCAA (40 µg/m<sup>3</sup>) y por el valor guía de la OMS 2005 (40 µg/m<sup>3</sup>).

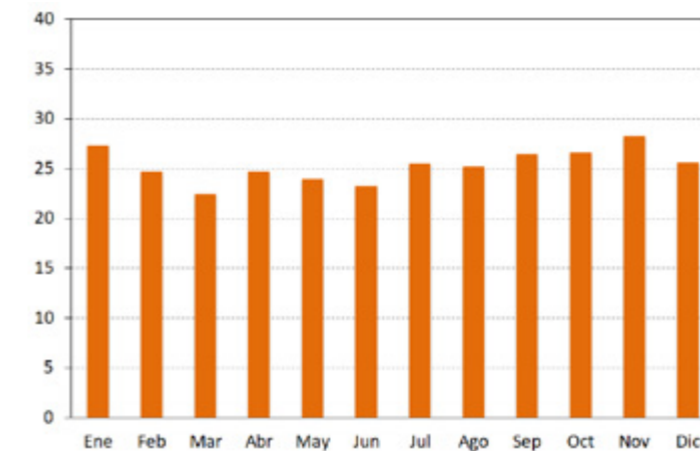
La Figura 22 indica las concentraciones medias anuales de NO<sub>2</sub>.

Los mayores valores corresponden a las estaciones de microescala en la Calle Vega Muñoz (VEG, 38.0 µg/m<sup>3</sup>) y Bomberos (BCB, 38.6 µg/m<sup>3</sup>). Estas concentraciones corresponden a las emisiones directas de tráfico vehicular, en vías urbanas con circulación importante de vehículos particulares y de transporte público.



**Figura 22:** Dióxido de nitrógeno. Promedio anual por estación (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021.

En ninguna de las estaciones, se superó la concentración media anual establecida por la NCAA y el valor guía de la OMS 2005 (40 µg/m<sup>3</sup>).



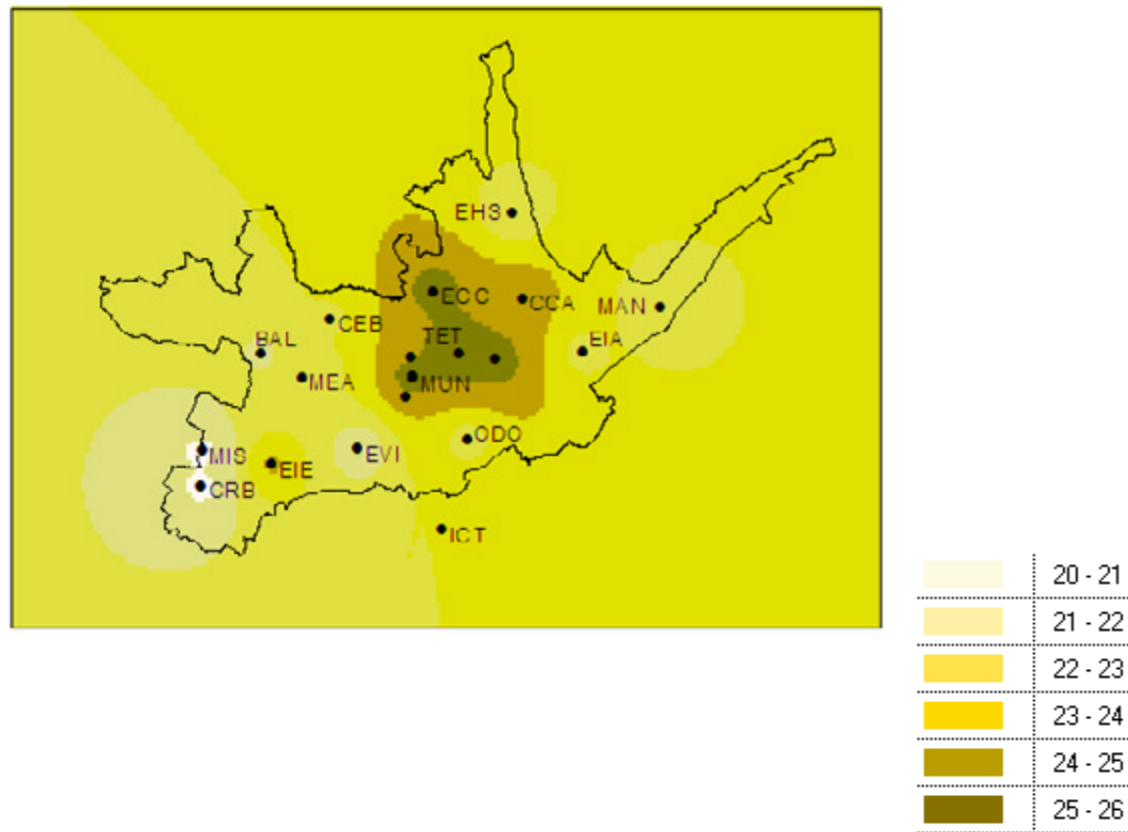
**Figura 23:** Concentraciones medias mensuales de NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021.

El valor medio de todas las concentraciones horarias de la estación MUN (19.1 µg/m<sup>3</sup>), con relación al valor medio anual del monitor pasivo (25.4 µg/m<sup>3</sup>) difiere en 33%, valor superior al rango de diferencias (hasta del 14%) para valores menores de 40 µg/m<sup>3</sup>, entre sensores automáticos y sensores pasivos de NO<sub>2</sub> (Hangartner, 2000).

La Figura 23 indica las concentraciones medias mensuales de NO<sub>2</sub>, que variaron entre Los valores de los otros meses variaron entre 22.5 y 28.3 µg/m<sup>3</sup>.



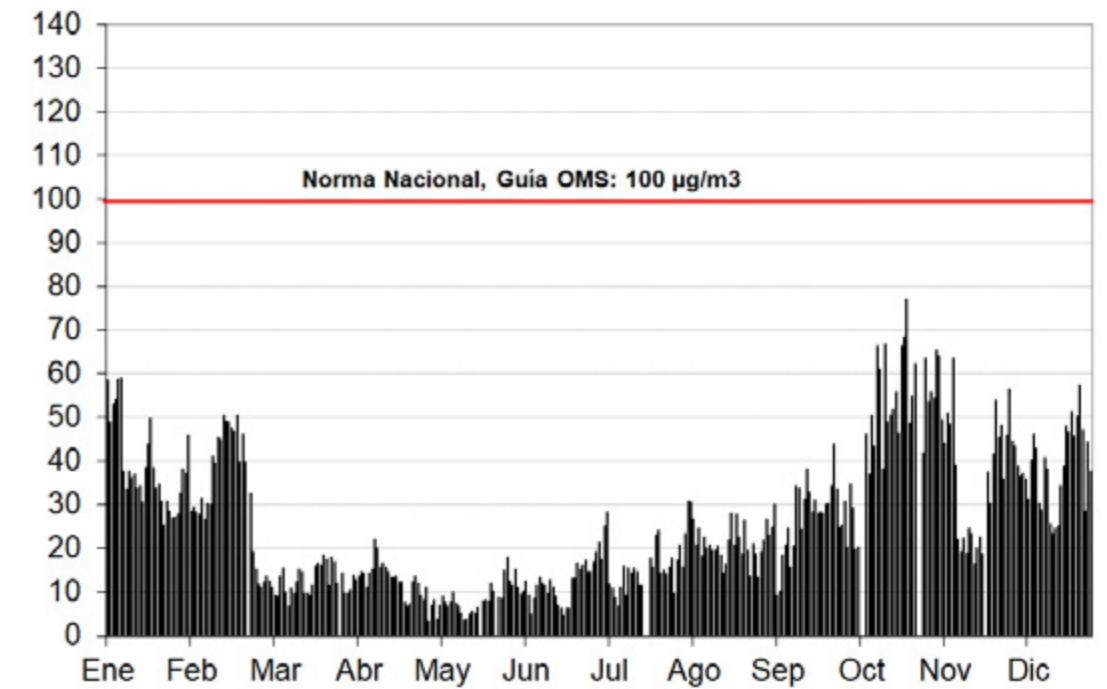
La Figura 24 presenta la distribución espacial de la concentración media anual de NO<sub>2</sub>. No se consideran los registros de las estaciones de la Calle Vega Muñoz (VEG), Bomberos (BCB) y Calle Larga (LAR); a fin de obtener una tendencia general de los registros a escalas urbana y vecinal, sin la influencia de condiciones a microescala. La concentración en la estación del Terminal Terrestre (TET, 26.0 µg/m<sup>3</sup>) registra la influencia de las emisiones del tráfico vehicular de vehículos a diésel.



**Figura 24:** Distribución espacial de la concentración media de NO<sub>2</sub> para el año 2021 (µg/m<sup>3</sup>).

## REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA. OZONO (O<sub>3</sub>)

La Figura 25 presenta las concentraciones octohorarias por día de O<sub>3</sub>. No se registraron superaciones del valor establecido tanto por la NCAA (100 µg/m<sup>3</sup>) y la guía de la OMS (100 µg/m<sup>3</sup>).

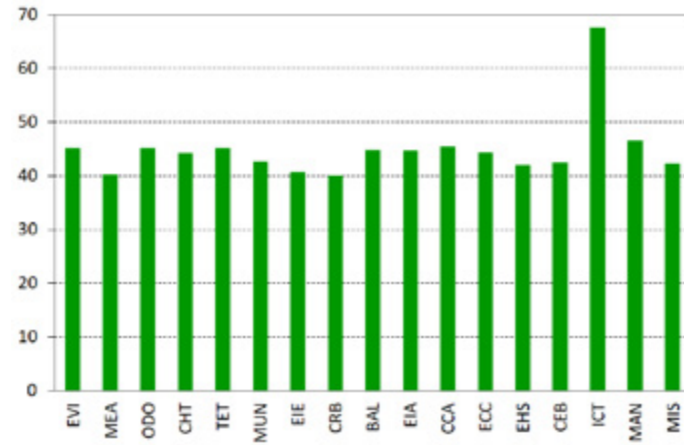


**Figura 25:** Promedio octohorario máximo por día de las concentraciones de O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021.

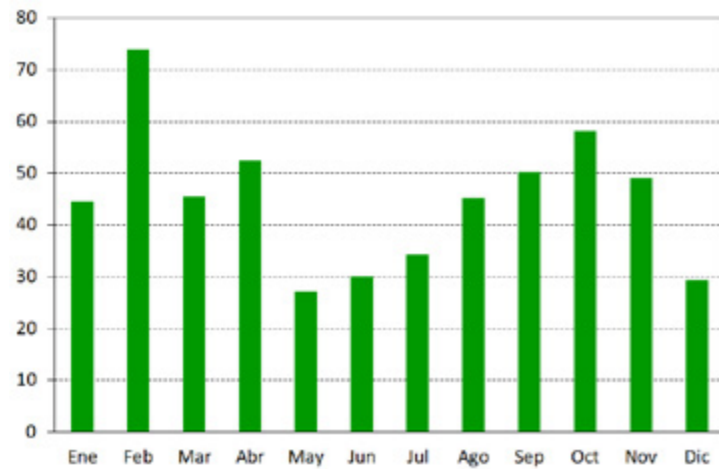
## REGISTROS DE LA SUBRED PASIVA. OZONO (O<sub>3</sub>)

La Figura 26 indica la concentración media anual de O<sub>3</sub> por estación. El valor más alto se registró en la estación Ictocruz (ICT), con 67.7 µg/m<sup>3</sup>. En años anteriores, esta misma estación presentó el mayor promedio anual de O<sub>3</sub> (EMOV EP, 2021; EMOV EP, 2020; EMOV EP, 2019; EMOV EP, 2018; EMOV EP, 2017; EMOV EP, 2016b; EMOV EP, 2015; EMOV EP, 2014; EMOV EP, 2013; EMOV EP, 2012; EMOV EP, 2011)

La altura media de la ciudad es de 2550 msnm, corresponde aproximadamente a la cota de casi todas las estaciones que registran O<sub>3</sub>. La altura de la estación ICT es de aproximadamente 2700 msnm. Al parecer la concentración a largo plazo de O<sub>3</sub> se incrementa con la elevación. Una situación similar se ha observado también en otros lugares como el Distrito Metropolitano de Quito (Parra and Díaz, 2007) y en los Pirineos catalanes (Ribas and Peñuelas, 2006).



**Figura 26:** Ozono. Promedio anual por estación (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021.

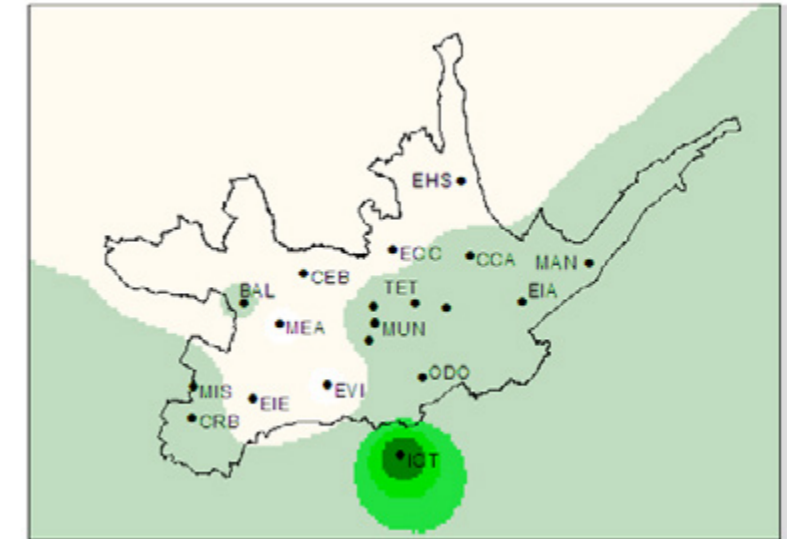


La Figura 27 indica que los sensores pasivos presentaron los mayores promedios mensuales en febrero (73.9 µg/m<sup>3</sup>) y octubre (58.2 µg/m<sup>3</sup>).

**Figura 27:** Concentraciones medias mensuales de O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021.

La estación MUN registró mayores valores de la radiación solar en octubre (Anexo C). Igualmente, los mapas modelados de la radiación solar (Anexo F) presentan en octubre valores mayores en el entorno de la zona urbana de Cuenca. Estos registros y resultados son consistentes con los niveles de O<sub>3</sub> en octubre. Aunque el sensor automático de la estación MUN presenta mayores concentraciones en febrero, comparados con enero y marzo; la magnitud de las concentraciones en febrero fueron menores en comparación con octubre.

La Figura 28 presenta la distribución espacial de la concentración media anual de O<sub>3</sub>, en donde se observa con claridad el valor más alto, registrado en la estación Ictocruz (ICT, 67.7 µg/m<sup>3</sup>).



35 - 40
40 - 50
50 - 55
55 - 60
60 - 65
65 - 68

**Figura 28:** Distribución espacial de la concentración media de O<sub>3</sub> para el año 2021 (µg/m<sup>3</sup>).

## TENDENCIAS DE LAS CONCENTRACIONES MEDIAS ANUALES

La Figura 29 presenta la tendencia de las concentraciones medias anuales de  $MP_{10}$ , para el periodo 2008 - 2021. El promedio del año 2021 ( $29.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) fue mayor al promedio del año 2020 ( $27.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), aunque menor a los promedios de los años anteriores. El promedio más bajo corresponde al año 2020, descenso se puede atribuir al descenso de emisiones por la restricción del COVID-19.

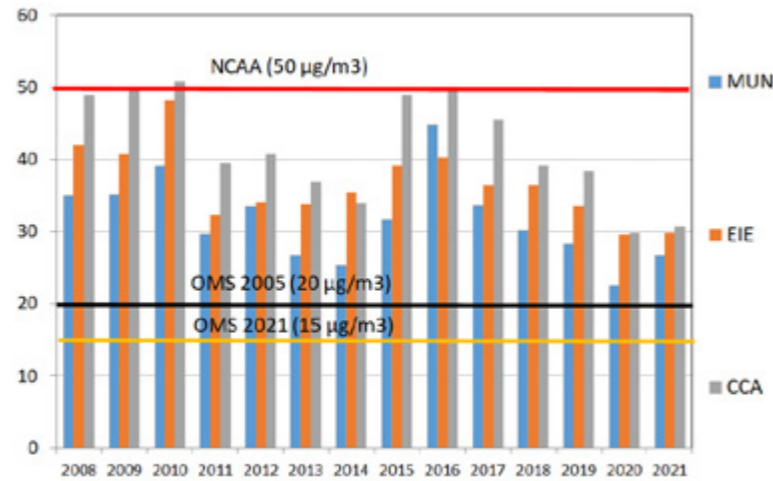


Figura 29:

Concentraciones medias anuales de material particulado ( $MP_{10}$ ) del periodo 2008 - 2021 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

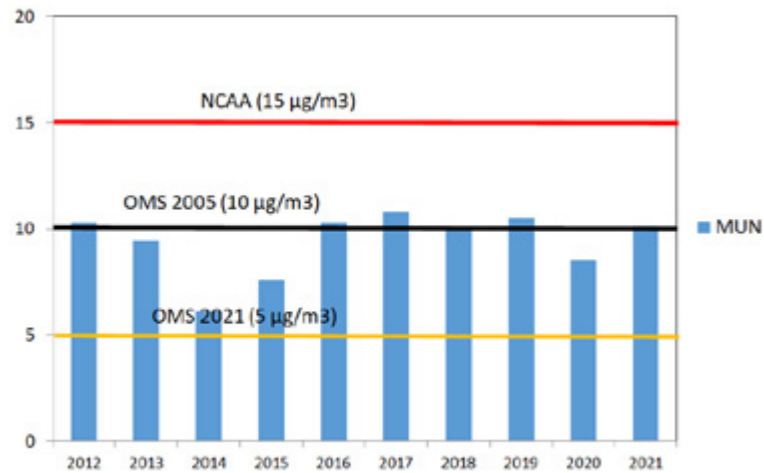


Figura 30:

Concentraciones medias anuales de material particulado ( $MP_{2.5}$ ) del periodo 2012 - 2021 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Estación MUN.

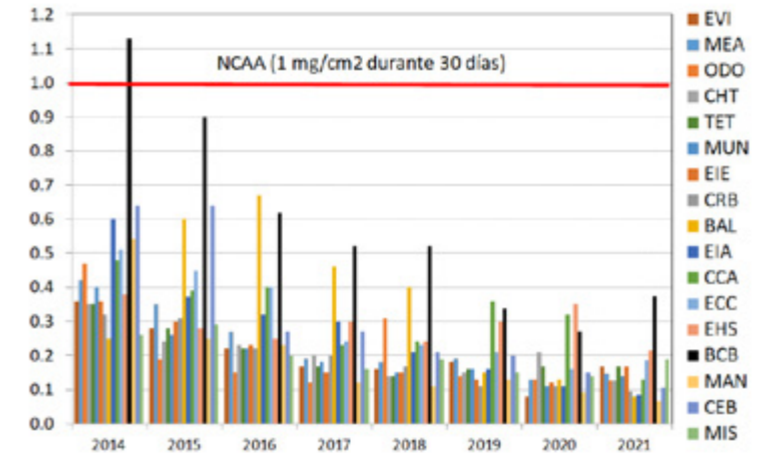


Figura 31: Concentraciones medias anuales de partículas sedimentables (PS) del periodo 2014 - 2021 ( $\text{mg}/\text{cm}^2$  durante 30 días).

La Figura 31 presenta la tendencia de las concentraciones medias de partículas sedimentables, desde el año 2008 hasta el 2021. El promedio del año 2021 del PS ( $0.15 \text{ mg}/\text{cm}^2$  durante 30 días) fué menor a los valores de todos los años anteriores.

El promedio del año 2021 de  $\text{NO}_2$  ( $23.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) fue ligeramente mayor al valor medio del año 2020 ( $22.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), y menor a los valores de los años 2017 hasta 2019 (Figura 32).

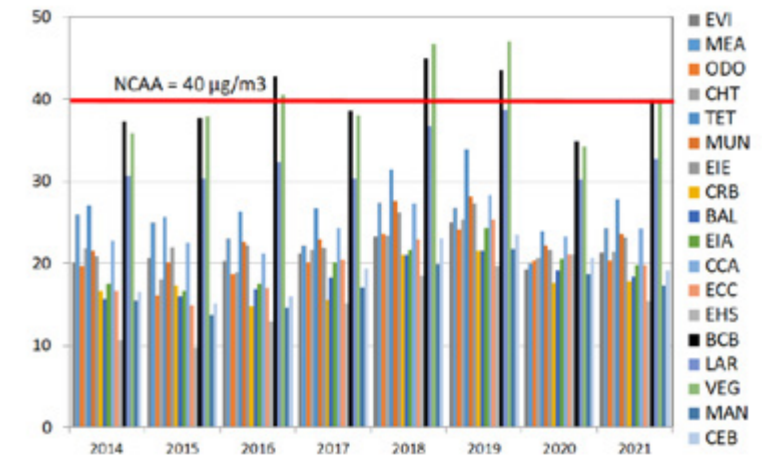


Figura 32:

Concentraciones medias anuales de dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) del periodo 2014 - 2021 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).





El promedio del año 2021 del O<sub>3</sub> (45.0 µg/m<sup>3</sup>) fue mayor a los promedios de los años 2014 hasta 2020 (Figura 33).

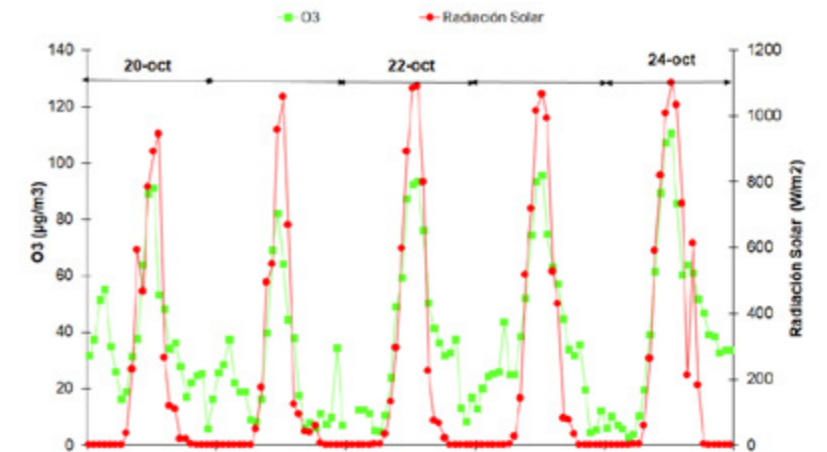
**Figura 33:** Concentraciones medias anuales de ozono (O<sub>3</sub>) del periodo 2014-2021 (µg/m<sup>3</sup>)

# CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGÍA

El análisis de los registros de la calidad del aire y de la meteorología, permite entender la influencia de las condiciones atmosféricas en el comportamiento de los contaminantes. Los registros que se presentan a continuación corresponden al periodo del 20 (miércoles) hasta el 24 (domingo) de octubre de 2021. Durante el 24 de octubre, se registraron las concentraciones horarias más altas de O<sub>3</sub> en relación con otros días del año 2021.

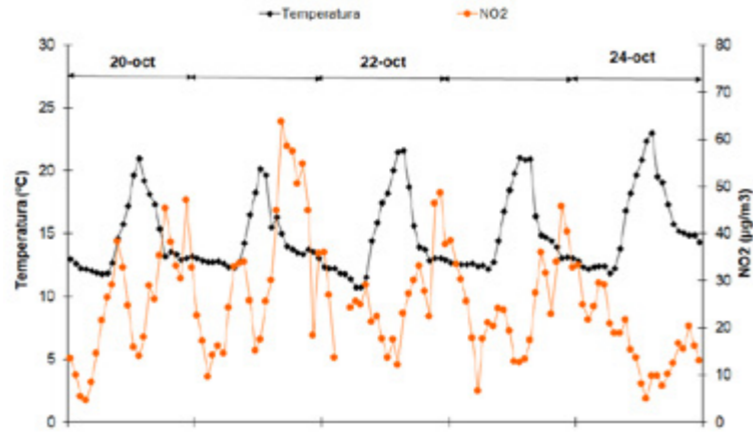
La Figura 34 presenta las concentraciones horarias de O<sub>3</sub> (Estación MUN) y los niveles de radiación solar (Estación CEA). Las máximas concentraciones de O<sub>3</sub> se registran hacia el mediodía, cuando son máximos también los niveles de radiación solar. El registro máximo fue de 110.5 µg/m<sup>3</sup>, a las 13:00 del 24 de octubre. A esa hora, la estación CEA registró

un nivel de radiación solar de 1100 W/m<sup>2</sup>. La radiación solar promueve las reacciones fotoquímicas que generan O<sub>3</sub>. El máximo valor observado el 24 de octubre (domingo) muy probablemente además incluya el efecto fin de semana, componente analizado en informes previos y de manera específica en Parra and Espinoza (2020).



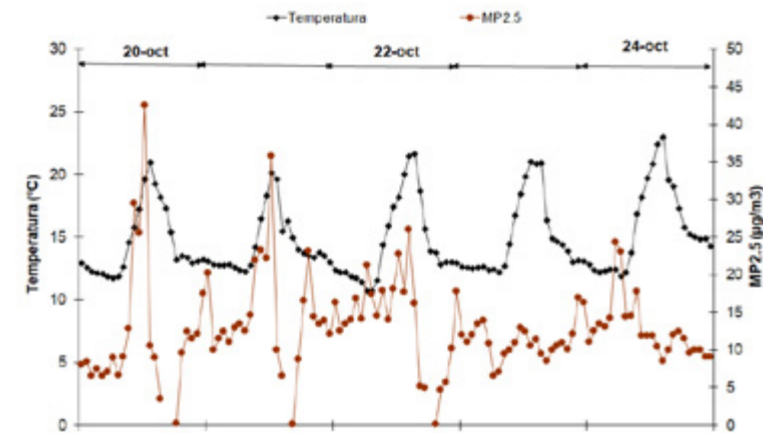
**Figura 34:** Concentración de O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>) y radiación solar global (W/m<sup>2</sup>) horarias para los días 20 hasta 24 de octubre de 2021. Estaciones automáticas MUN y CEA.

La Figura 35 presenta el comportamiento de la temperatura y los niveles de NO<sub>2</sub>. Al mediodía, los valores máximos variaron entre 21 y 24°C. Las correspondientes concentraciones de NO<sub>2</sub> disminuyen, debido a la su destrucción a partir de niveles altos de radiación solar. Se observa claramente el descenso de las concentraciones durante el sábado (23 de octubre) y especialmente el domingo (24 de octubre), debido a los menores niveles de tráfico, especialmente de vehículos que usan diésel.



**Figura 35:**

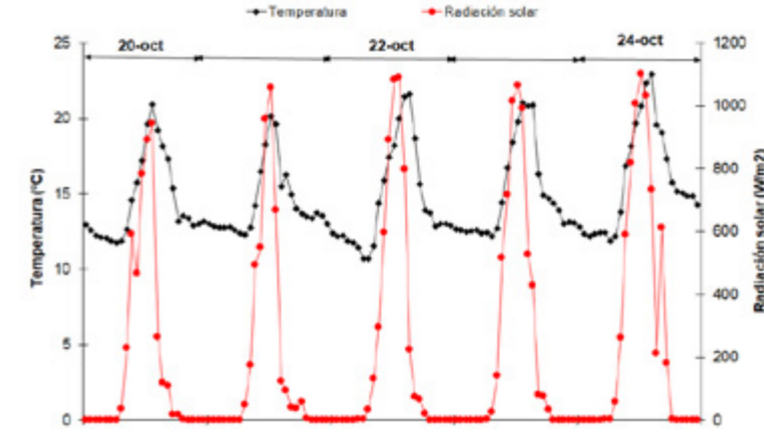
Concentración de NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) y temperatura (°C) horarias para los días 20 hasta 24 de octubre de 2021. Estación automática MUN.



La Figura 36 presenta las concentraciones de MP<sub>2.5</sub> y la temperatura. Igualmente, se observa el descenso de las concentraciones durante el 23 y 24 de octubre, debido a los menores niveles de tráfico, especialmente de vehículos que usan diésel

**Figura 36:**

Concentración de MP<sub>2.5</sub> (µg/m<sup>3</sup>) y temperatura (°C) horarias para los días 20 hasta 24 de octubre de 2021. Estación automática MUN.

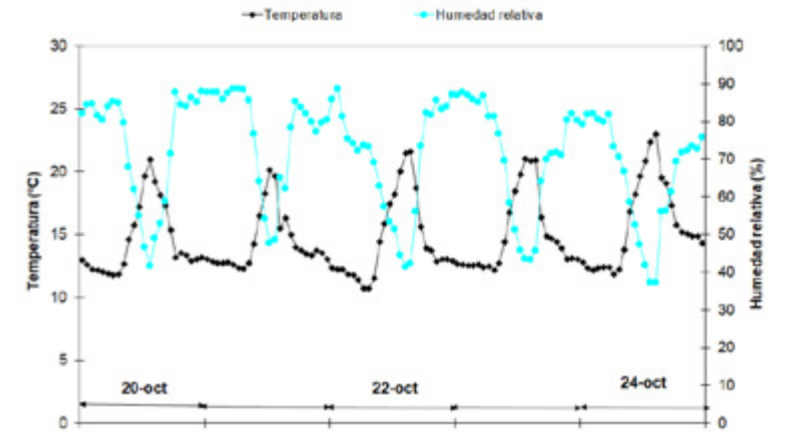


**Figura 37:**

Temperatura (°C) y radiación solar global (W/m<sup>2</sup>) horarias para los días 20 hasta 24 de octubre de 2021. Estaciones automáticas MUN y CEA.

La Figura 37 presenta la temperatura (Estación MUN) y la radiación solar global (Estación CEA). Las temperaturas máximas horarias típicamente se desplazan 1 o 2 horas, después de la intensidad máxima de radiación solar. Los valores más bajos de temperatura se registran hacia las 06:00, debido a la pérdida acumulada de calor desde la superficie, hasta que nuevamente incide la radiación solar.

La Figura 38 presenta la temperatura y la humedad relativa. Se observa claramente la anticorrelación entre las dos variables. Cuando la temperatura es máxima, hacia el mediodía (entre 21 y 24°C), los porcentajes de humedad relativa son mínimos (entre 40 y 50%). Por el contrario, los valores más altos de humedad relativa (entre 80 y 90%) se presentan en las horas de baja temperatura.

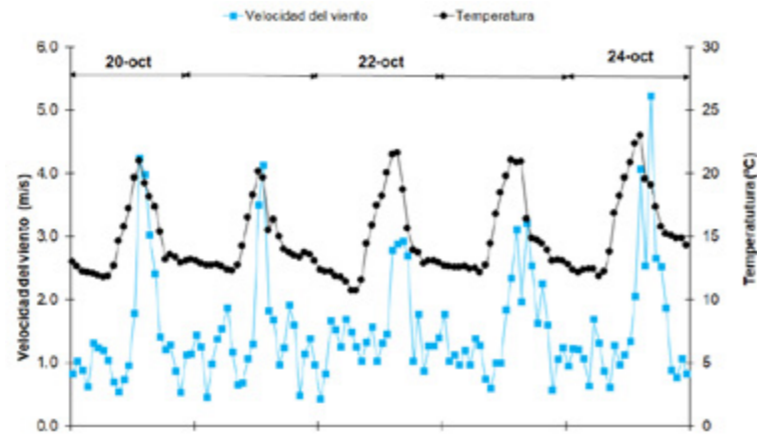


**Figura 38:**

Temperatura (°C) y humedad relativa (%) horarias para los días 20 hasta 24 de octubre de 2021. Estación automática MUN.

La Figura 39 presenta los valores de la temperatura y de la velocidad del viento. En Cuenca, típicamente los valores mayores de velocidad del viento se presentan al mediodía o primeras horas de la tarde. Este comportamiento se observa durante el 20 hasta el 24 de octubre.

El comportamiento de los registros de la calidad del aire y de su relación con la meteorología, es consistente y coherente



**Figura 39:** Velocidad del viento (m/s) y temperatura (°C) horarias para los días 20 hasta 24 de octubre de 2021. Estación automática MUN.

# CONCLUSIONES

## MATERIAL PARTICULADO $MP_{10}$

En la estación del Colegio Carlos Arízaga (CCA, ubicada al norte de la ciudad, a 300 m del parque industrial) se registró una concentración media anual de  $30.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En las estaciones Municipio (MUN) y Escuela Ignacio Escandón (EIE) se registraron concentraciones de  $26.6$  y  $29.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. En las tres estaciones, las concentraciones fueron menores al nivel de la NCAA ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ); aunque se superó el reciente valor guía de la OMS 2021 ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Durante el año 2021 se registraron 11 superaciones del reciente valor guía de la OMS en 24 horas ( $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). El 45%, 27% y 27% de estas superaciones se registraron en las estaciones EIE, CCA y MUN respectivamente. En ninguna de las 3 estaciones que registran  $MP_{10}$ , se superó la concentración de la NCAA establecida como promedio en 24 horas ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

## MATERIAL PARTICULADO $MP_{2.5}$

Los valores medios anuales de  $MP_{2.5}$  en las estaciones MUN ( $9.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), CCA ( $8.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), y EIE ( $5.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), fueron menores al promedio anual establecido por la NCAA ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), aunque mayores al valor guía 2021 de la OMS ( $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

El valor guía 2021 de la OMS ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para la concentración media en 24 horas de  $MP_{2.5}$  se superó en 40, 8 y 2 días, en las estaciones MUN, CCA y EIE, respectivamente.

## PARTÍCULAS SEDIMENTABLES (PS)

Todas las concentraciones fueron menores al valor establecido en la NCAA ( $1.0 \text{ mg}/\text{cm}^2$  durante 30 días).

## MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

Todos los registros fueron menores a la concentración que establece tanto la NCAA y el valor guía de la OMS para los valores máximos horarios ( $30 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) y valores máximos en períodos de 8 horas ( $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ ).

### DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)

El valor medio de todas las concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> fue de 4.1 µg/m<sup>3</sup>. Este valor es menor al promedio anual establecido por la NCAA (60 µg/m<sup>3</sup>).

Todos los registros de los promedios en periodos de 24 horas fueron menores a la concentración que establece la NCAA (125 µg/m<sup>3</sup>) y al valor guía de la OMS (20 µg/m<sup>3</sup>).

Todos los registros de las concentraciones medias en 10 min fueron menores a la concentración que establece tanto la NCAA y el valor guía de la OMS (500 µg/m<sup>3</sup>).

### DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO<sub>2</sub>)

La concentración media anual registrada por la estación automática MUN (19.1 µg/m<sup>3</sup>), fue menor a la concentración establecida en la NCAA (40 µg/m<sup>3</sup>) y al valor guía de la OMS (40 µg/m<sup>3</sup>).

De las estaciones pasivas, en ninguna se superó la concentración media anual establecida por la NCAA y el valor guía de la OMS (40 µg/m<sup>3</sup>).

Todas las concentraciones horarias registradas por la estación automática MUN, fueron menores a la concentración que establece tanto la NCAA como la guía de la OMS (200 µg/m<sup>3</sup>).

### OZONO (O<sub>3</sub>)

No se registró superaciones del valor establecido tanto por la NCAA (100 µg/m<sup>3</sup>) y la guía de la OMS (100 µg/m<sup>3</sup>).

### FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTACIONES AUTOMÁTICAS

Los registros de la calidad del aire y de su relación con los parámetros meteorológicos, indican que las estaciones automáticas están registrando información consistente.

## REFERENCIAS

Austin, W.; Heutel, G.; Kreisman, D. 2019. School bus emissions, student health and academic performance. *Econ. Educ. Rev.*, 70, 109–126.

Cacciottolo, M.; Wang, X.; Driscoll, I.; Woodward, N.; Saffari, A.; Reyes, J.; Serre, M.L.; Vizuete, W.; Sioutas, C.; E Morgan, T.; et al. 2017. Particulate air pollutants, APOE alleles and their contributions to cognitive impairment in older women and to amyloidogenesis in experimental models. *Transl. Psychiatry*, 7, e1022.

Calderón-Garcidueñas, L.; González-Maciel, A.; Reynoso-Robles, R.; Delgado-Chávez, R.; Mukherjee, P.S.; Kulesza, R.J.; Torres-Jardón, R.; Ávila-Ramírez, J.; Villarreal-Ríos, R. 2018. Hallmarks of Alzheimer disease are evolving relentlessly in Metropolitan Mexico City infants, children and young adults. APOE4 carriers have higher suicide risk and higher odds of reaching NFT stage V at 40 years of age. *Environ. Res.* 164, 475–487.

CARB. 2003. The ozone weekend effect in California. Staff Report, The Planning and Technical Support Division, The Research Division, Air Resources Board, California Environmental Protection Agency.

Centro de Estudios Ambientales. 2020. Estación Meteorológica Parque Industrial-CEA Universidad de Cuenca. Clima y Atmósfera. Cuenca, Ecuador.

El Mercurio. Hay nuevas reglas para circulación en Cuenca. Disponible en: <https://ww2.elmercurio.com.ec/2020/05/31/hay-nuevas-reglas-para-circulacion-en-cuenca/> (consultado en febrero de 2021).

EMOV EP. 2020. Informe de calidad del aire Cuenca 2019. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador. 113 p.

EMOV EP. 2019. Informe de calidad del aire Cuenca 2018. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador. 107 p.

EMOV EP. 2018. Informe de calidad del aire Cuenca 2017. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador. 121 p.

EMOV EP. 2017. Informe de calidad del aire Cuenca 2016. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador. 103 p.

Cacciottolo, M.; Wang, X.; Driscoll, I.; Woodward, N.; Saffari, A.; Reyes, J.; Serre, M.L.; Vizuete, W.; Sioutas, C.; E Morgan, T.; et al. 2017. Particulate air pollutants, APOE alleles and their contributions to cognitive impairment in older women and to amyloidogenesis in experimental models. *Transl. Psychiatry*, 7, e1022.

Calderón-Garcidueñas, L.; González-Maciel, A.; Reynoso-Robles, R.; Delgado-Chávez, R.; Mukherjee, P.S.; Kulesza, R.J.; Torres-Jardón, R.; Ávila-Ramírez, J.; Villarreal-Ríos, R. 2018. Hallmarks of Alzheimer disease are evolving relentlessly in Metropolitan Mexico City infants, children and young adults. APOE4 carriers have higher suicide risk and higher odds of reaching NFT stage V at 40 years of age. *Environ. Res.* 164, 475–487.

## REFERENCIAS

- Centro de Estudios Ambientales. 2020. Estación Meteorológica Parque Industrial-CEA Universidad de Cuenca. Clima y Atmósfera. Cuenca, Ecuador.
- EMOV EP. 2021. Informe de calidad aire Cuenca 2020. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador. 118 p.
- EMOV EP. 2020. Informe de calidad del aire Cuenca 2019. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador. 113 p.
- EMOV EP. 2019. Informe de calidad del aire Cuenca 2018. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador. 107 p.
- EMOV EP. 2018. Informe de calidad del aire Cuenca 2017. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador. 121 p.
- EMOV EP. 2017. Informe de calidad del aire Cuenca 2016. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador. 103 p.
- EMOV EP. 2016a. Inventario de emisiones atmosféricas del Cantón Cuenca 2014. Empresa Pública de Movilidad, Tránsito y Transporte, 86 p.
- EMOV EP. 2016b. Informe de calidad del aire Cuenca 2015. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador. 120 p.
- EMOV EP. 2015. Informe de calidad del aire Cuenca 2014. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador. 97 p.
- EMOV EP. 2014. Informe de calidad del aire Cuenca 2013. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador. 100 p.
- EMOV EP. 2013. Informe de calidad del aire Cuenca 2012. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador. 129 p.
- EMOV EP. 2012. Informe de calidad del aire Cuenca 2011. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador. 49 p.
- EMOV EP. 2011. Informe de calidad del aire de Cuenca 2010. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador. 54 p.

## REFERENCIAS

- Hangartner M. 2000. Limits and advantages of diffusion sampling in ambient air pollution monitoring. 7th International Conference on Atmospheric Science and Applications to Air Quality. Taipeh. Taiwan.
- Naciones Unidas. 2021. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- 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, Diaz 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.
- Parra, R. 2017. Efecto Fin de Semana en la Calidad del Aire de la Ciudad de Cuenca, Ecuador. Avances en Ciencias e Ingeniería. 9(15),104-111. DOI:<http://doi.org/10.18272/aci.v9i15.291>.
- Parra, R. 2018. Performance Studies of Planetary Boundary Layer Schemes in WRF-Chem for the Andean Region of Southern Ecuador. Atmospheric Pollution Research, 9, 411 – 428. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.11.011>.
- Parra, R.; Espinoza, C. 2020. Insights for Air Quality Management from Modeling and Record Studies in Cuenca, Ecuador. Atmosphere, 11, 998. <https://doi.org/10.3390/atmos11090998>
- Peebles, L. 2020. News Feature: How air pollution threatens brain health. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 117, 13856–13860.
- Ribas A, 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.
- WHO. 2021. WHO Global Air Quality Guidelines. Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization.

## Anexo

## A

REGISTROS  
DE LA  
ESTACIÓN  
AUTOMÁTICA  
MUN / CCA

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	20.7	11.5	2.7	7.3	8.9	6.8	6.2	7.1	9.7	11.8	10.8	18.3
2	3.9	7.1	5.7	4.2	7.8	5.1	8.2	9.5	12.9	12.3	10.1	15.4
3	5.0	9.0	3.7	5.1	10.8	5.7	11.9	9.9	8.7	10.3	11.7	11.9
4	3.8	8.5	6.7	6.3	8.1	10.5	11.4	15.7	9.9	7.8	13.5	9.9
5	4.9	7.6	7.1	6.2	8.4	6.5	13.2	19.0	8.5	8.0	14.3	12.2
6	8.5	7.6	17.9	7.4	6.3	6.7	13.8	15.2	11.0	8.9	14.5	11.1
7	5.4	9.8	16.3	7.2	5.9	7.1	11.0	13.4	14.8	nd	13.4	9.4
8	6.2	5.7	8.4	4.5	4.4	8.0	10.7	14.2	10.9	13.7	nd	13.3
9	8.2	8.9	4.9	9.1	5.4	nd	6.1	8.2	6.8	14.9	14.4	14.5
10	6.7	5.2	7.9	8.2	6.1	nd	5.2	5.5	7.4	17.0	14.2	10.0
11	7.0	8.6	8.1	6.9	6.6	nd	4.7	11.0	7.5	15.3	18.8	8.3
12	4.9	6.7	9.1	6.1	7.8	7.1	7.5	15.8	6.7	15.4	20.8	7.0
13	6.5	8.2	9.7	6.0	6.6	4.5	7.2	12.6	6.9	16.1	16.3	8.2
14	4.8	8.6	10.8	8.9	5.2	8.7	6.0	9.0	9.8	14.3	16.4	11.5
15	4.1	7.8	9.0	6.1	3.7	7.5	7.4	7.5	11.4	19.5	12.8	10.5
16	5.0	5.9	7.5	7.2	3.4	9.1	6.6	6.8	8.4	15.6	12.0	12.9
17	8.2	7.6	13.2	7.5	8.1	6.1	4.6	7.5	9.0	13.0	12.5	9.7
18	7.5	9.8	12.6	9.9	8.2	10.2	3.6	11.4	13.9	11.9	13.4	10.6
19	6.0	9.3	11.8	4.7	7.4	10.3	nd	12.5	10.4	11.8	14.0	10.1
20	7.1	11.3	10.6	15.1	6.7	9.1	nd	13.7	10.5	11.1	17.1	10.1
21	7.0	11.3	8.7	8.0	6.1	6.2	15.4	14.4	10.1	14.2	15.4	6.6
22	7.4	13.6	9.6	11.2	5.1	9.5	11.3	10.0	8.4	14.0	15.8	10.8
23	6.8	11.3	12.1	7.9	4.1	7.7	9.1	5.9	14.4	11.2	13.0	16.0
24	6.3	9.2	15.1	7.2	4.7	8.6	10.1	11.8	16.7	12.8	9.4	16.4
25	6.0	5.6	13.7	7.9	3.9	8.8	12.1	10.4	18.2	11.6	12.6	13.9
26	8.8	9.3	8.7	5.3	6.8	9.1	9.0	11.1	15.2	15.8	16.9	15.9
27	5.7	4.5	7.8	6.5	10.3	9.1	8.9	11.1	14.8	17.3	20.0	14.7
28	5.4	4.6	6.3	6.8	10.0	7.0	9.8	10.6	10.7	19.1	11.7	20.2
29	5.4		9.8	7.3	8.3	7.4	7.7	14.0	11.8	12.2	13.2	12.4
30	5.8		8.8	8.8	9.1	7.1	8.3	13.6	11.4	12.9	19.8	16.1
31	10.3		10.5		7.1		10.6	14.6		11.8		16.2
Promedio Año	9.8											

nd: no hay dato.

Tabla A 1:  
Concentración promedio en 24 horas de  $MP_{2.5}$  ( $\mu g/m^3$ ). Año 2021.



Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	1.9	2.7	1.0	1.8	1.2	2.0	1.7	1.1	nd	nd	1.0	1.3
2	1.8	3.0	1.2	1.1	0.9	1.7	2.0	1.5	nd	nd	1.2	1.1
3	1.9	2.8	0.8	1.1	3.0	1.7	1.9	1.6	nd	nd	1.2	1.3
4	2.1	2.9	1.0	1.0	1.5	1.8	1.8	1.9	nd	nd	0.8	1.3
5	1.9	2.9	1.9	1.4	1.4	1.6	2.0	1.9	nd	nd	1.0	1.1
6	2.5	2.7	1.4	1.4	1.3	1.3	2.4	1.5	nd	nd	0.7	1.0
7	2.3	2.5	0.9	1.5	1.3	2.6	2.2	1.6	nd	nd	0.5	1.5
8	2.1	2.7	1.3	1.4	nd	2.5	2.5	1.3	nd	1.0	0.7	2.0
9	2.4	nd	0.7	1.4	nd	2.1	2.3	1.1	nd	0.5	0.8	1.2
10	2.0	nd	1.1	1.2	nd	1.8	0.7	1.1	nd	1.4	1.0	1.2
11	2.6	nd	1.6	1.3	1.3	2.0	0.4	1.3	nd	1.0	1.4	0.7
12	2.2	nd	1.0	1.1	1.5	1.7	1.1	1.6	nd	1.2	1.3	0.5
13	2.8	nd	0.7	1.3	1.7	2.2	0.9	2.0	nd	2.1	1.0	0.8
14	2.9	nd	1.2	1.3	2.0	1.9	1.0	1.4	nd	0.5	0.6	0.9
15	2.7	nd	1.0	1.4	1.1	1.8	0.7	0.8	nd	1.5	1.0	1.2
16	2.5	nd	1.4	2.0	1.1	1.9	1.0	1.2	nd	0.6	0.8	1.3
17	2.3	nd	1.7	1.5	2.7	2.1	1.0	nd	nd	0.2	0.6	1.6
18	2.7	nd	1.2	1.3	2.4	2.2	0.5	nd	nd	1.0	0.9	1.2
19	2.9	nd	1.0	1.7	1.2	3.4	1.2	nd	nd	0.7	0.8	0.9
20	2.9	nd	0.6	1.9	1.3	2.4	nd	nd	nd	0.8	0.9	1.0
21	2.7	nd	0.5	2.2	1.5	2.0	nd	nd	nd	1.4	1.0	1.0
22	3.1	nd	1.2	1.8	1.2	1.9	nd	nd	nd	0.9	0.7	1.7
23	2.6	nd	1.2	1.6	0.9	1.7	nd	nd	nd	1.0	0.8	1.4
24	2.8	nd	1.5	1.0	1.2	2.1	nd	nd	nd	0.6	1.2	1.1
25	3.3	nd	1.1	0.8	1.5	1.8	nd	nd	nd	1.8	1.8	1.0
26	2.9	nd	0.6	1.2	1.7	1.5	nd	nd	nd	1.7	2.0	1.1
27	2.9	nd	0.9	1.4	2.0	1.5	nd	nd	nd	1.7	1.1	1.1
28	2.7	0.8	1.1	1.5	1.7	1.7	nd	nd	nd	1.0	0.5	1.2
29	2.6		1.4	1.3	1.6	2.1	nd	nd	nd	2.1	1.0	1.4
30	2.6		1.5	3.0	1.3	1.6	1.8	nd	nd	1.8	1.3	1.8
31	2.3		1.8		1.6		1.5	nd		0.9	1.3	1.3
Promedio Año	1.5											

nd: no hay dato.

**Tabla A 2:** Concentración máxima horaria de CO (mg/m<sup>3</sup>). Año 2021.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	1.8	2.4	0.5	1.2	1.0	1.6	1.4	1.0	nd	nd	0.7	0.6
2	1.8	2.4	0.9	0.9	0.8	1.5	1.5	1.4	nd	nd	0.8	1.0
3	1.7	2.5	0.5	1.0	1.8	1.4	1.6	1.2	nd	nd	0.9	0.9
4	1.9	2.5	0.5	0.9	1.1	1.4	1.4	1.3	nd	nd	0.6	0.9
5	1.8	2.5	1.2	1.0	1.0	1.4	1.6	1.1	nd	nd	0.7	0.7
6	1.9	2.4	0.9	1.2	1.1	1.2	1.7	1.3	nd	nd	0.5	0.7
7	1.9	2.3	0.6	1.2	nd	1.8	2.1	1.2	nd	nd	0.3	1.0
8	1.9	nd	1.0	1.1	nd	1.6	2.0	1.0	nd	nd	0.6	1.2
9	2.2	nd	0.4	1.1	nd	1.5	1.7	0.9	nd	0.3	0.5	0.7
10	1.9	nd	0.8	1.0	nd	1.4	0.5	0.9	nd	0.6	0.6	0.7
11	1.9	nd	1.0	0.9	nd	1.7	0.3	1.0	nd	0.6	0.9	0.6
12	1.9	nd	0.7	1.0	1.3	1.3	0.7	1.2	nd	0.5	1.0	0.4
13	2.6	nd	0.5	1.1	1.4	1.8	0.4	1.5	nd	1.0	0.8	0.7
14	2.6	nd	0.6	1.2	1.5	1.5	0.6	1.0	nd	0.2	0.5	0.7
15	2.5	nd	0.5	1.1	0.9	1.5	0.5	0.8	nd	0.6	nd	0.7
16	2.4	nd	0.8	1.5	1.0	1.6	0.6	1.0	nd	0.3	nd	0.9
17	2.2	nd	1.2	1.2	1.4	1.7	0.8	nd	nd	0.1	nd	1.2
18	2.4	nd	0.6	1.0	1.7	1.5	0.3	nd	nd	0.7	nd	1.0
19	2.4	nd	0.5	1.3	nd	2.2	nd	nd	nd	0.4	nd	0.7
20	2.4	nd	0.4	1.4	1.3	1.9	nd	nd	nd	0.6	0.7	0.7
21	2.4	nd	0.3	1.5	1.4	1.8	nd	nd	nd	1.0	0.7	0.7
22	2.8	nd	0.7	1.2	1.1	1.5	nd	nd	nd	0.7	nd	1.1
23	2.4	nd	0.9	1.3	1.0	1.4	nd	nd	nd	0.7	0.5	1.1
24	2.5	0.6	0.9	0.9	1.0	1.5	nd	nd	nd	0.5	0.8	0.9
25	2.7	0.5	0.6	0.8	nd	1.6	nd	nd	nd	1.1	1.1	0.8
26	2.4	0.5	0.5	1.0	1.4	1.4	nd	nd	nd	1.3	1.4	0.9
27	2.5	0.6	0.7	1.2	1.4	1.3	nd	nd	nd	1.3	0.9	0.8
28	2.3	0.4	nd	1.2	1.3	1.4	nd	nd	nd	nd	0.5	0.9
29	2.3		1.2	1.1	1.2	1.4	nd	nd	nd	nd	0.8	1.2
30	2.3		1.3	2.0	1.2	1.4	nd	nd	nd	1.2	0.9	1.3
31	2.2		1.1		nd		1.2	nd		0.6		1.1
Promedio Año	1.2											

nd: no hay dato.

**Tabla A 3:** Concentración máxima octohoraria de CO (mg/m<sup>3</sup>). Año 2021.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	4.9	8.0	18.8	7.0	0.2	2.2	1.3	1.6	ND		6.9	3.9
2	4.7	7.6	20.7	5.4	0.2	1.0	2.1	1.0	ND		3.0	3.3
3	4.5	9.0	20.6	4.7	0.9	1.5	1.5	0.7	ND		4.5	3.0
4	4.0	7.1	18.2	4.7	0.6	3.0	1.9	0.7	ND		1.3	2.4
5	3.2	8.8	16.7	5.8	1.3	2.0	1.8	2.1	ND		1.5	2.7
6	7.6	7.0	14.4	5.9	0.6	1.9	3.9	3.6	ND		2.7	3.7
7	16.1	6.4	13.4	4.4	0.5	1.2	2.4	1.5	ND		5.8	5.4
8	15.8	3.6	12.2	5.3	ND	1.1	3.3	1.9	ND		4.3	7.1
9	16.2	ND	11.3	3.9	ND	1.6	2.2	1.9	ND	2.7	5.9	4.2
10	12.7	ND	10.3	3.2	ND	1.0	2.7	1.3	ND	6.4	2.2	2.0
11	14.4	ND	10.4	3.2	0.5	1.2	2.7	1.9	ND	4.6	6.6	0.2
12	11.2	ND	9.0	4.3	0.2	1.9	3.9	1.4	ND	3.6	2.3	0.1
13	9.4	ND	7.9	4.0	0.6	0.4	4.3	1.2	ND	6.4	ND	0.1
14	9.5	ND	8.9	4.7	0.5	2.3	3.5	2.2	ND	7.5	ND	2.6
15	5.5	ND	10.2	4.6	0.1	2.2	3.8	1.8	ND	4.1	0.0	2.1
16	5.7	ND	7.7	4.2	0.1	1.1	4.4	0.9	ND	6.0	0.2	5.0
17	6.3	ND	8.9	3.9	0.5	1.2	2.4	ND	ND	6.5	0.0	3.5
18	6.4	ND	8.6	3.4	0.5	1.0	2.2	ND	ND	6.1	0.0	3.5
19	8.4	ND	7.3	1.7	0.2	1.0	2.5	ND	ND	5.0	0.0	0.3
20	11.7	ND	5.3	2.8	ND	0.8	ND	ND	ND	8.1	ND	1.4
21	11.5	ND	5.4	3.0	0.0	2.0	ND	ND	ND	4.3	ND	0.1
22	7.2	0.0	4.8	2.2	0.0	2.3	ND	ND	ND	4.0	0.1	1.4
23	8.3	7.3	6.1	1.3	0.0	2.4	ND	ND	ND	1.1	1.0	2.5
24	5.9	0.0	6.8	0.8	ND	1.2	ND	ND	ND	2.5	1.3	0.8
25	7.5	0.0	5.6	0.7	0.3	0.8	ND	ND	ND	2.6	5.1	1.0
26	11.0	0.0	6.2	0.6	0.4	1.3	ND	ND	ND	1.0	7.4	2.5
27	6.7	14.0	5.1	0.6	0.9	1.5	ND	ND	ND	3.0	5.1	3.8
28	3.6	9.5	6.2	0.7	1.3	1.1	ND	ND	ND	2.6	1.5	1.7
29	4.2	ND	8.1	0.3	1.4	1.6	ND	ND	ND	7.1	2.6	2.9
30	5.6		8.2	1.2	1.7	1.4	2.7	ND	ND	4.8	4.0	1.7
31	6.1		9.5		1.3		2.2	ND	ND	2.7		3.1
Promedio Año	4.1									1.5		

nd: no hay dato.

**Tabla A4:** Concentración promedio en 24 horas de SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	33.2	26.4	33.9	29.7	13.7	31.5	38.5	15.6	40.7	61.0	39.6	36.0
2	19.7	38.8	41.1	16.6	17.5	30.5	39.7	32.1	35.1	60.1	62.3	36.8
3	23.6	38.2	26.9	25.9	32.4	23.1	41.6	30.4	31.8	34.2	58.9	35.6
4	27.2	35.7	32.6	21.9	30.2	29.2	36.5	48.6	33.3	44.7	36.5	37.4
5	24.5	43.3	47.1	23.2	21.5	23.4	50.4	61.4	24.4	51.1	42.4	29.4
6	57.0	37.7	47.2	26.8	29.4	14.0	72.8	45.4	40.9	42.2	35.9	27.4
7	39.7	34.7	28.5	26.8	31.6	26.2	23.9	35.3	40.8	45.0	26.3	36.0
8	36.0	25.3	30.2	32.8	14.6	29.0	21.0	33.0	33.5	44.3	31.7	37.3
9	44.4	33.3	25.7	32.5	13.3	33.8	21.2	25.9	31.8	27.7	30.1	35.0
10	29.6	37.0	35.8	23.4	22.8	42.1	29.6	32.6	30.9	64.0	35.5	38.6
11	49.6	28.9	26.3	27.8	23.3	37.9	21.7	38.2	32.0	63.2	39.8	21.0
12	33.6	33.6	32.2	25.4	24.6	25.9	30.2	42.9	23.3	63.6	26.7	11.5
13	35.8	37.7	33.1	39.1	31.0	26.2	26.8	42.8	38.6	62.4	0.0	24.0
14	37.9	37.9	32.1	31.1	23.1	34.0	34.8	40.4	40.3	45.5	0.0	21.6
15	35.0	20.1	24.0	27.9	11.0	27.9	31.0	22.5	47.4	55.5	27.0	32.0
16	29.5	15.5	39.6	26.1	10.0	30.7	29.8	38.7	36.6	44.9	26.7	35.1
17	18.6	18.4	41.8	37.2	33.9	25.1	22.5	46.8	56.7	28.6	21.4	30.6
18	34.1	23.4	35.2	26.0	29.7	20.9	19.3	49.9	80.2	55.0	24.9	26.8
19	31.4	39.7	31.7	31.7	20.0	31.1	25.1	50.9	43.2	42.7	31.1	20.8
20	40.2	37.4	22.4	35.2	24.0	24.0	30.7	47.3	66.0	47.0	43.3	20.8
21	33.9	28.0	22.8	35.6	25.9	34.1	29.8	46.9	57.0	63.6	33.6	24.7
22	36.6	26.0	34.7	31.9	20.8	35.5	30.2	25.3	75.7	48.6	27.8	34.5
23	38.1	64.3	41.3	34.3	17.9	37.8	30.4	45.5	102.7	45.6	29.5	32.4
24	30.1	44.6	61.2	14.3	27.6	38.1	40.0	55.7	72.1	33.2	37.9	28.6
25	45.0	29.2	29.6	10.1	25.5	33.4	32.2	37.5	78.0	47.4	51.7	27.8
26	37.8	28.6	28.1	28.3	32.0	27.2	34.7	32.8	62.7	75.5	51.6	34.1
27	42.5	22.8	27.7	43.6	39.2	24.1	36.9	37.8	66.7	72.5	39.8	29.2
28	24.5	25.8	22.8	35.0	31.6	28.4	29.8	33.7	71.3	38.0	26.1	32.9
29		24.3	29.2	31.7	25.3	30.4	34.4	19.1	57.4	62.6	47.8	36.2
30	30.2		28.7	29.4	21.6	28.5	23.8	42.7	58.2	52.4	48.0	41.7
31	36.7		26.4		28.1		24.7	36.7		34.5		30.5
Promedio Año	34.9											

nd: no hay dato.

**Tabla A5:** Concentración máxima horaria de NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021.



REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA CCA

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	64.3	37.4	15.1	14.7	10.1	26.1	28.9	24.7	33.9	45.4	75.4	94.3
2	55.4	38.0	14.4	18.9	13.3	16.6	34.2	26.3	54.5	35.4	75.0	49.7
3	68.7	36.0	12.6	21.9	4.9	12.7	28.8	32.5	34.1	47.1	89.2	57.4
4	73.6	42.3	11.4	16.6	10.2	13.5	37.3	45.2	33.2	38.2	106.2	46.4
5	78.1	41.3	11.0	20.8	14.1	15.2	41.5	59.3	42.6	29.5	91.8	44.4
6	80.5	36.5	22.9	18.7	10.4	16.1	29.1	37.6	13.8	27.7	60.2	43.1
7	45.2	40.8	25.2	16.1	10.7	9.5	14.9	27.2	20.1	25.8	54.8	43.1
8	46.7	39.7	16.4	21.3	10.1	16.5	15.1	37.2	30.1	46.9	68.0	45.5
9	52.6	70.8	12.0	25.4	14.4	20.2	11.1	28.3	29.0	53.0	68.4	45.6
10	42.9	61.0	19.0	29.7	12.1	24.4	19.4	32.8	32.5	66.2	94.9	56.3
11	48.5	86.1	17.2	25.8	9.9	17.5	22.9	31.4	25.4	71.6	53.1	54.5
12	42.2	77.6	25.0	20.8	8.5	18.9	14.7	31.2	33.1	74.2	33.4	34.3
13	46.8	60.4	24.7	25.1	5.1	21.3	23.3	37.7	44.9	86.2	30.0	46.3
14	43.2	63.7	24.9	22.9	5.2	28.6	18.3	27.0	59.1	80.3	32.6	58.9
15	58.2	73.0	15.2	25.4	6.7	16.0	22.9	34.8	39.0	77.3	32.8	51.6
16	78.1	61.2	12.5	20.9	6.8	18.1	20.2	34.7	42.4	85.9	35.0	36.7
17	64.6	67.2	15.1	19.1	9.8	12.0	20.1	23.6	52.6	63.0	33.7	32.9
18	49.3	96.9	22.2	21.1	10.8	10.6	16.9	31.6	47.8	89.5	24.1	31.6
19	41.3	84.3	33.5	21.2	8.5	8.6	13.1	34.5	41.7	68.7	28.4	29.6
20	47.8	73.9	21.1	17.7	11.1	11.9	25.6	49.8	41.8	91.1	37.4	50.4
21	40.1	53.5	24.4	11.6	11.3	11.2	24.9	34.5	45.0	82.0	25.4	53.3
22	33.4	23.5	31.2	10.2	10.8	21.6	24.7	35.4	40.9	93.5	53.0	69.3
23	44.3	49.8	34.6	9.9	18.3	18.1	27.3	35.9	54.1	95.6	46.8	72.7
24	38.1	21.2	19.6	18.0	13.5	28.3	39.1	38.3	54.2	110.5	54.6	65.9
25	44.8	20.8	31.5	19.3	13.5	23.4	22.5	43.6	74.7	75.5	60.1	52.5
26	35.0	14.4	27.2	19.5	14.0	32.8	25.3	29.9	52.6	77.5	86.3	72.1
27	33.0	13.6	16.8	16.5	13.6	30.4	21.8	25.4	59.9	100.8	61.5	74.0
28	40.3	16.0	14.2	15.6	27.2	19.1	24.3	33.4	52.8	65.0	55.2	71.5
29	53.5		17.5	18.5	26.0	21.3	22.9	29.6	52.5	64.2	66.3	48.9
30	45.4		13.3	4.1	20.3	23.1	15.6	25.5	45.6	62.2	84.2	56.0
31	61.5		13.3		20.4		25.4	38.9		77.6		57.4
Promedio Año	37.5											

nd: no hay dato.

Tabla A 6: Concentración máxima octohoraria de O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	nd	8.2	5.3	6.7	7.1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	12.4
2	nd	8.0	5.1	6.4	7.5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9.8
3	nd	10.0	5.8	5.4	8.9	nd	nd	nd	nd	nd	nd	6.2
4	nd	7.3	6.0	6.4	9.4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5.7
5	3.3	7.3	6.0	8.0	6.9	nd	13.6	nd	nd	nd	10.3	7.3
6	6.6	7.3	14.8	9.5	9.4	nd	16.5	nd	nd	nd	10.9	7.1
7	47.2	6.8	14.6	7.0	5.1	nd	10.9	nd	nd	nd	9.1	7.8
8	8.0	7.0	7.0	7.7	5.3	nd	nd	nd	nd	nd	6.8	10.8
9	7.9	8.6	5.3	8.6	4.3	5.4	nd	nd	nd	nd	8.9	9.8
10	7.0	5.5	5.6	9.8	7.2	6.7	nd	nd	nd	nd	10.3	5.1
11	5.9	8.8	7.9	8.0	8.0	9.2	nd	nd	nd	nd	15.2	3.1
12	5.6	6.3	8.4	6.6	7.5	7.7	nd	nd	nd	11.6	15.0	3.1
13	46.3	9.5	7.8	8.8	8.0	7.0	nd	nd	nd	10.4	9.5	4.8
14	5.5	8.8	nd	8.6	6.8	8.1	nd	nd	nd	9.9	9.1	4.2
15	2.6	4.6	4.9	7.8	6.3	9.7	nd	nd	nd	12.4	9.8	5.9
16	4.8	4.1	3.8	7.9	4.4	9.2	nd	nd	nd	10.3	9.4	9.2
17	5.0	4.7	9.3	7.4	6.5	9.5	nd	nd	nd	8.4	11.8	7.5
18	5.0	5.8	9.5	7.1	9.0	8.2	nd	nd	nd	7.2	9.4	6.0
19	6.2	7.8	12.8	5.4	8.6	9.6	nd	nd	nd	5.3	8.6	2.8
20	8.7	7.3	10.0	6.7	9.9	7.9	nd	nd	nd	6.3	11.9	2.8
21	13.3	8.5	nd	11.1	7.2	7.5	nd	nd	nd	8.0	12.7	4.3
22	6.1	12.5	10.7	15.4	5.3	9.1	nd	nd	nd	7.8	11.0	5.9
23	6.6	12.7	nd	10.9	5.6	6.7	nd	nd	nd	5.4	7.3	9.8
24	5.8	10.4	19.7	7.8	5.4	10.0	nd	nd	nd	7.9	5.1	10.8
25	8.6	8.5	13.9	6.7	7.8	7.2	nd	nd	nd	4.8	9.2	8.5
26	8.3	6.5	8.2	6.6	8.7	8.3	nd	nd	nd	nd	11.3	9.1
27	5.1	5.0	6.0	9.3	11.2	8.3	nd	nd	nd	nd	11.8	8.5
28	4.9	4.0	7.2	5.5	9.6	7.8	nd	nd	nd	nd	7.5	11.4
29	4.5		7.3	6.7	6.7	8.0	nd	nd	nd	nd	9.7	7.7
30	6.1		7.9	8.1	6.6	5.9	nd	nd	nd	nd	16.3	6.8
31	8.6		9.8		8.1		nd	nd		nd		11.7
Promedio Año	8.3											

nd: no hay dato.

Tabla A 7: Concentración promedio en 24 horas de MP<sub>2.5</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021.

REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA EIE

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	12.8	3.1	1.3	nd	nd	nd	nd	nd	9.2	9.3	4.3	7.2
2	3.5	3.0	2.7	nd	nd	nd	nd	2.2	12.9	11.2	5.0	9.4
3	1.4	2.8	2.5	nd	nd	nd	nd	7.1	8.0	7.2	4.6	5.5
4	2.1	2.6	2.3	nd	nd	2.0	nd	11.6	6.7	6.8	6.9	3.4
5	1.5	2.6	3.7	nd	nd	4.3	nd	12.1	8.2	7.2	7.9	3.2
6	1.2	1.1	9.6	nd	nd	5.5	5.5	13.7	7.5	4.5	10.2	3.2
7	1.8	2.0	10.3	nd	nd	5.0	5.6	10.5	13.2	7.5	8.4	2.7
8	2.5	2.0	5.3	nd	nd	6.8	8.4	12.8	11.8	4.6	7.2	3.7
9	2.0	3.7	2.3	nd	nd	7.5	5.2	8.5	6.0	8.7	6.8	4.3
10	2.4	3.0	2.3	nd	nd	4.8	5.0	4.6	6.9	9.2	7.0	3.5
11	1.4	3.4	4.2	nd	nd	5.3	3.3	6.6	5.2	9.5	9.7	2.0
12	1.5	2.7	3.9	nd	nd	6.4	3.2	15.1	5.5	8.6	4.1	1.3
13	2.1	5.3	3.5	nd	nd	3.1	3.5	10.4	3.8	9.8	nd	1.1
14	3.2	6.0	1.5	nd	nd	5.6	4.6	9.2	6.1	8.2	nd	1.9
15	1.5	4.7	2.2	nd	nd	7.1	1.3	8.3	7.7	12.3	10.1	1.3
16	2.2	2.4	1.3	0.8	nd	7.7	nd	4.9	7.1	12.3	6.8	2.1
17	2.9	3.1	1.3	0.4	nd	7.4	nd	8.0	6.0	6.9	6.2	1.4
18	2.8	2.5	0.8	0.1	nd	9.4	nd	10.4	9.3	6.2	4.5	2.5
19	2.8	5.0	0.9	0.0	nd	7.7	nd	10.9	7.0	5.7	6.2	2.3
20	1.9	4.1	0.4	0.6	nd	8.0	nd	12.8	8.0	4.6	11.0	2.0
21	1.9	3.2	0.2	0.1	nd	4.5	nd	12.0	7.5	7.8	8.3	1.0
22	1.9	8.7	1.3	nd	nd	8.4	3.7	10.0	5.1	6.9	5.7	1.6
23	2.4	7.7	1.8	nd	nd	3.8	7.1	5.9	11.7	6.2	7.4	5.7
24	1.6	5.5	9.5	nd	nd	5.7	8.5	7.8	14.9	4.8	2.8	7.5
25	2.7	5.9	9.2	nd	nd	5.7	8.8	9.9	15.1	6.6	6.3	0.5
26	2.8	3.6	2.8	nd	nd	7.5	6.9	8.8	12.8	12.1	1.5	13.3
27	3.6	4.9	nd	nd	nd	6.3	7.0	11.0	11.0	10.5	10.0	7.9
28	2.6	1.7	nd	nd	nd	5.2	6.1	9.0	9.7	12.3	2.3	13.3
29	1.5		nd	nd	nd	1.5	nd	9.5	12.4	5.8	6.5	3.6
30	1.6		nd	nd	nd	nd	nd	8.7	10.3	7.6	8.6	1.9
31	2.3		nd		nd		nd	10.8		6.4		7.3
Promedio Año	5.7											

nd: no hay dato.

Tabla A 8: Concentración promedio en 24 horas de  $MP_{2.5}$  ( $\mu g/m^3$ ). Año 2021.

Anexo

B

REGISTROS DE LAS SUBREDES ACTIVA, PASIVA Y DE DEPÓSITO

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1			42.6									
2											43.1	23.6
3									40.5	53.1		
4								15.1				
5		37.2				31.1	32.7					
6	25.6			30.1	30.7							
7			27.6									
8											16.5	27.3
9									41.5	25.5		
10								32.5				
11		28.7				29.4	33.3					
12	21.8			22.2	29.5							
13			23.8									
14											24.8	41.5
15									43.8	36.7		
16								57.4				
17		24.8				40.8	31.6					
18	18.8			28.5	31.6							
19			29.4									
20											21.3	17.3
21									51.3	37.5		
22								37.4				
23		16.5				30.0	33.4					
24	22.4			25.1	21.6							
25			24.5									
26											35.3	16.7
27									37.2	29.7		
28								29.6				
29						23.4	29.2					
30	22.0			39.8	23.3							
31			30.1									43.3
<b>Media del año 2021</b>												<b>30.7</b>

nd: no hay dato.

**Tabla B 1:**  
Material particulado menor a 10 micras (MP<sub>10</sub>) del año 2021 (µg/m<sup>3</sup>). Estación Carlos Arízaga Vega (CCA).

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1			31.5									
2											33.9	25.1
3									34.0	40.5		
4								19.7				
5		30.6				29.6	27.8					
6	20.6			23.9	24.7							
7			25.2									
8											23.7	23.9
9									32.5	18.8		
10								27.0				
11		23.2				25.9	23.1					
12	21.6			26.2	24.0							
13			24.5									
14											17.5	44.8
15									36.8	20.1		
16								50.0				
17		16.7				32.4	24.5					
18	22.9			26.8	23.8							
19			24.4									
20											21.6	19.8
21									46.8	26.6		
22								25.9				
23		22.4				35.3	26.9					
24	18.7				25.2							
25			20.9									
26											24.3	14.0
27									26.1	20.8		
28								35.2				
29						25.2	26.6					
30	17.3			25.7	18.8							
31			23.9									49.2
<b>Media del año 2021</b>												<b>26.6</b>

nd: no hay dato.

**Tabla B 2:**  
Material particulado menor a 10 micras (MP<sub>10</sub>) del año 2021 (µg/m<sup>3</sup>). Estación Municipio (MUN).

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1			45.2									
2											45.4	42.5
3									29.2	52.0		
4								23.4				
5		34.5				25.8	40.1					
6	22.7			24.6	24.0							
7			32.2									
8											22.3	21.2
9									39.9	17.8		
10								26.5				
11						30.3	31.3					
12	21.6			23.0	28.8							
13			23.5									
14											20.6	44.1
15									38.5	20.2		
16								45.7				
17		27.7				38.2	24.6					
18	25.5			35.0	32.0							
19			32.0									
20											21.0	25.8
21									62.0	32.7		
22								35.8				
23		23.7				33.4	34.9					
24	22.5			25.5	25.3							
25			26.1									
26											20.9	14.4
27									34.5	16.7		
28								23.3				
29						24.4	24.2					
30	22.1											
31			24.6	32.1	20.7							47.5
<b>Media del año 2020</b>												<b>29.8</b>

nd: no hay dato.

**Tabla B 3:** Material particulado menor a 10 micras (MP<sub>10</sub>) del año 2021 (µg/m<sup>3</sup>). Estación Escuela Ignacio Escandón (EIE).

Código	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>EVI</b>	0.04	0.09	0.14	0.27	0.18	0.10	0.06	0.22	0.23	0.12	0.15	0.17
<b>MEA</b>	0.08	0.21	0.12	0.25	0.16	0.08	0.14	0.18	0.18	0.16	0.13	0.14
<b>ODON</b>	0.12	0.09	0.08	0.16	0.09	0.05	0.14	0.31	0.28	0.07	0.15	0.12
<b>CHT</b>	0.19	0.16	0.11	0.20	0.08	0.12	0.07	0.18	0.21	0.05	0.11	0.12
<b>TET</b>	0.14	0.21	0.10	0.26	0.13	0.09	0.11	0.14	0.17	0.09	0.08	0.17
<b>MUN</b>	0.08	0.11	0.10	0.28	0.15	0.07	0.08	0.17	0.17	0.10	0.08	0.14
<b>EIE</b>	0.13	0.06	0.13	0.19	0.16	0.07	0.09	0.13	0.18	0.10	0.10	0.17
<b>CRB</b>	0.04	0.15	0.17	0.13	0.12	0.07	0.05	0.13	0.19	0.10	0.05	0.09
<b>BAL</b>	0.17	0.15	0.33	0.22	0.15	0.07	0.12	0.17	0.47	0.13	0.12	0.08
<b>EIA</b>	0.17	0.24	0.12	0.14	0.13	0.09	0.08	0.17	0.22	0.06	0.13	0.08
<b>CCA</b>	0.23	0.48	0.18	0.46	0.28	0.16	0.09	0.24	0.25	0.09	0.09	0.13
<b>ECC</b>	0.23	0.15	0.23	0.33	0.24	0.31	0.10	0.18	0.18	0.13	0.19	0.18
<b>EHS</b>	0.43	0.20	0.17	0.26	0.17	0.36	0.26	0.29	0.32	0.33	0.37	0.21
<b>BCB</b>	0.24	0.19	0.44	0.31	0.20	0.16	0.13	0.27	0.60	0.34	0.17	0.37
<b>MAN</b>	0.19	0.10	0.09	0.10	0.13	0.06	0.08	0.07	0.12	0.09	0.10	0.06
<b>CEB</b>	0.05	0.14	0.15	0.27	0.15	0.10	0.18	0.20	0.24	0.14	0.14	0.10
<b>MIS</b>	0.16	0.14	0.12	0.14	0.09	0.07	0.08	0.18	0.26	0.15	0.09	0.19

N/D: No hay dato/registro

**Tabla B 4:** Partículas sedimentables (mg/cm<sup>2</sup> durante 30 días). Año 2021.



Código	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
EVI	14.6	10.2	20.1	26.4	25.1	16.7	22.4	24.3	28.5	22.4	21.8	22.6
MEA	21.3	11.1	26.8	16.1	14.0	21.1	26.7	24.7	27.1	27.0	29.3	22.8
ODO	24.1	24.8	18.7	24.2	23.8	22.1	22.5	23.3	18.9	23.7	22.2	24.4
CHT	26.3	16.5	27.8	28.1	24.7	30.1	26.3	26.6	24.3	25.2	28.5	22.8
TET	33.7	29.7	25.8	16.4	22.1	19.5	24.8	26.9	31.0	27.1	31.3	23.6
MUN	26.7	28.7	22.4	25.6	24.7	22.6	25.7	24.4	26.5	25.9	28.2	23.2
EIE	27.6	23.1	22.7	16.4	21.7	20.7	27.0	23.7	27.5	25.8	28.2	25.7
CRB	26.2	18.4	15.0	20.2	22.2	21.4	23.5	22.1	21.1	20.9	18.5	21.4
BAL	23.3	23.4	17.7	23.7	20.9	19.9	24.0	22.3	19.6	22.5	25.8	19.7
EIA	25.6	25.2	17.2	19.5	25.1	22.1	23.2	19.3	19.6	25.3	26.0	25.4
CCA	27.0	26.8	21.5	26.1	25.0	26.3	19.3	23.3	28.5	24.8	18.7	27.3
ECC	26.5	25.4	20.4	30.3	23.7	24.2	24.8	23.7	23.7	26.8	32.1	23.2
EHS	24.9	24.6	16.7	24.5	19.9	19.3	21.8	19.8	17.6	20.5	28.9	27.9
BCB	43.9	41.0	34.6	33.4	36.7	29.9	36.5	31.9	43.1	41.7	46.2	43.6
LAR	37.3	33.8	27.7	32.7	28.2	30.6	32.2	36.0	35.0	37.5	39.6	32.1
VEG	39.2	39.6	34.6	38.5	32.6	34.1	39.1	37.8	44.6	38.8	41.6	36.0
MAN	25.0	21.8	17.8	25.0	21.6	20.2	23.1	21.3	21.4	22.8	26.2	21.0
CEB	24.2	23.1	20.7	23.7	22.6	20.6	22.6	24.9	25.3	27.1	18.9	22.2
MIS	22.5	21.4	18.3	18.6	20.5	20.0	20.4	22.2	20.1	20.4	24.9	21.3

N/D: No hay dato/registro

**Tabla B 5:**  
Dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021.

Código	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
EVI	ND	0.98	ND	ND	0.98	ND	8.80	ND	ND	2.34	ND	2.47
MEA	5.07	0.20	ND	5.63	0.97	ND	0.53	ND	1.75	ND	ND	1.58
ODONT	ND	0.00	3.75	ND	3.12	0.34	ND	6.49	ND	5.77	ND	1.76
CHT	6.62	0.20	4.09	ND	ND	3.92	2.64	ND	ND	0.31	ND	6.68
TET	7.40	ND	7.84	ND	3.51	ND	5.62	ND	ND	4.99	3.51	1.41
MUN	1.17	14.63	5.80	ND	3.12	ND	ND	ND	ND	1.25	0.20	1.76
EIE	ND	7.23	ND	ND	12.68	ND	3.87	ND	9.37	ND	5.46	1.76
CRB	0.00	6.64	2.39	ND	4.10	ND	0.88	ND	5.65	ND	2.73	1.23
BAL	ND	0.39	8.69	ND	5.27	1.71	ND	ND	0.39	ND	0.58	1.23
EIA	1.56	0.78	9.21	ND	0.78	ND	6.16	ND	ND	4.68		1.58
CCA	ND	3.90	7.50	ND	1.17	8.87	1.23	1.36	ND	ND	5.27	1.06
ECC	0.58	ND	1.19	ND	2.73	ND	5.11	ND	ND	6.55	0.19	0.70
EHS	0.19	5.27	1.19	ND	ND	ND	5.99	ND	1.95	0.47	6.44	0.70
BCB	1.56	0.20	3.58	ND	0.78	ND	2.64	ND	ND	ND	0,00	1.94
LAR	ND	ND	ND	ND	3.31	2.90	4.23	ND	ND	4.05	ND	1.06
VEG	2.92	4.10	1.53	ND	0.19	1.71	1.76	ND	ND	3.90	ND	1.41
MAN	3.51	5.07	ND	ND	0.78	ND	ND	0,51	ND	0.78	6.44	1.41
CEB	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6.16	0.52	ND	0.77	ND	1.94
MIS	5.07	0.78	ND	ND	1.95	ND	7.04	ND	0.00	0.78	ND	

N/D: No hay dato/registro

**Tabla B 6:**  
Dióxido de azufre SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Año 2021.

Código	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
EVI	17.2	81.7	55.3	55.8	25.2	26.1	35.2	44.8	50.1	60.1	55.4	35.7
MEA	16.3	74.2	29.5	48.9	28.9	23.9	39.3	46.3	45.7	51.8	48.3	29.4
ODO	50.1	75.2	44.8	53.7	28.0	22.9	35.5	53.0	48.8	54.7	45.5	31.2
CHT	54.3	48.8	47.7	82.1	17.2	29.0	29.1	46.4	51.4	53.1	44.5	28.7
TET	57.0	72.5	40.3	49.4	25.8	24.5	36.4	46.5	49.9	61.0	54.1	26.2
MUN	53.0	81.5	32.9	45.8	26.1	25.1	31.4	34.3	53.2	47.6	52.7	29.9
EIE	42.5	68.2	37.0	43.6	23.3	23.6	34.6	38.2	50.3	53.3	44.3	30.5
CRB	35.0	67.5	49.2	48.9	20.7	32.8	24.4	44.1	42.1	50.6	42.5	23.8
BAL	55.6	68.9	40.0	49.7	30.8	39.7	37.0	43.9	49.0	48.3	43.9	31.3
EIA	48.6	76.3	54.3	58.3	22.5	28.8	29.6	45.7	51.1	50.8	44.0	26.3
CCA	49.8	77.2	44.0	50.5	19.3	32.8	31.6	42.1	47.4	67.9	53.0	30.1
ECC	47.7	76.8	43.4	49.9	34.4	28.9	30.3	44.9	46.2	60.1	45.8	25.1
EHS	46.7	71.6	45.6	42.2	23.5	27.4	30.8	43.8	47.8	67.9	41.9	16.7
CEB	20.3	71.1	48.2	47.7	32.7	30.1	35.5	42.1	49.6	57.9	48.4	25.8
ICT	70.4	99.6	79.2	69.6	47.8	49.0	52.5	59.5	71.3	83.8	73.8	55.2
MAN	54.7	72.7	43.5	53.8	26.3	31.4	34.3	46.5	50.3	68.1	49.9	27.6
MIS	36.7	72.5	39.3	41.9	27.8	35.8	36.2	45.2	50.0	51.9	46.6	25.2

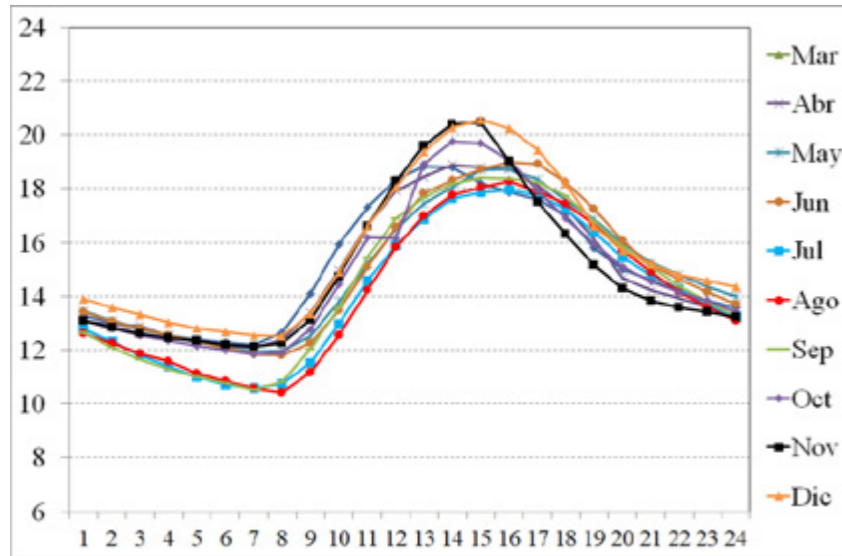
N/D: No hay dato/registro

**Tabla B 7:**  
Ozono ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Año 2021.

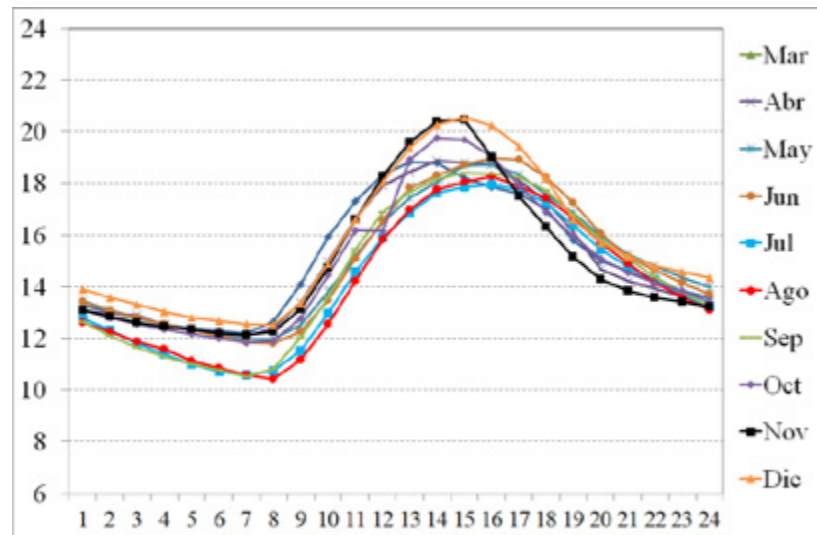
# Anexo

## REGISTROS METEOROLÓGICOS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA MUN. AÑO 2021



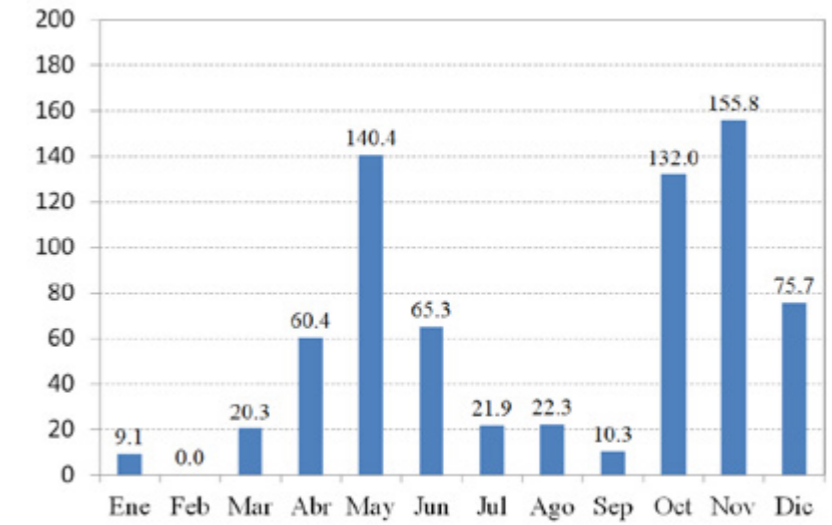


**Figura C 1:** Perfiles promedio diarios de la temperatura por mes (°C).

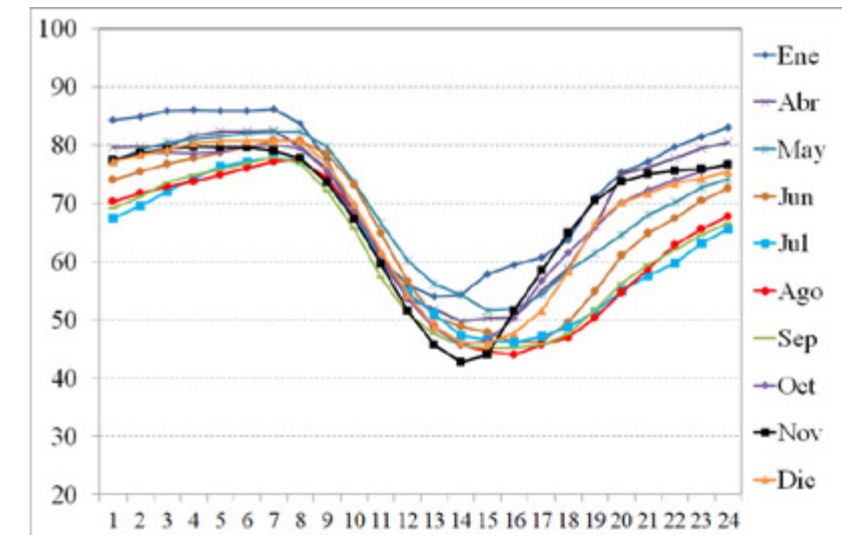


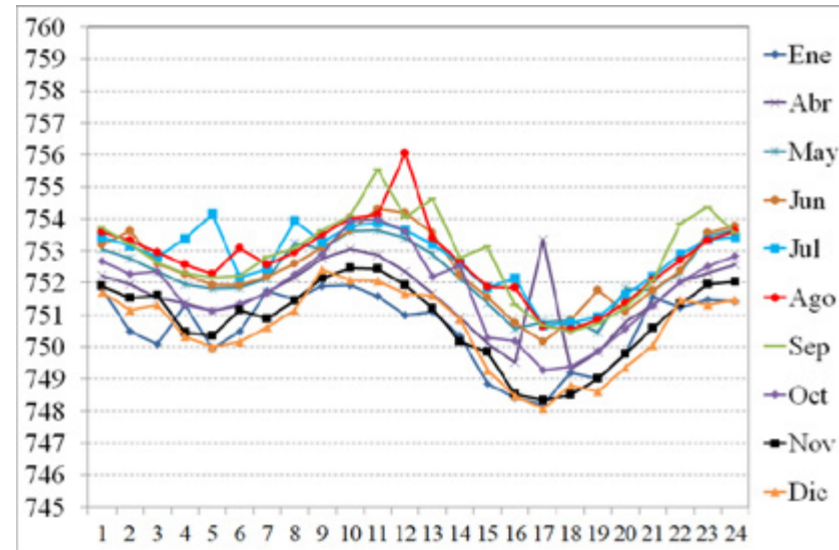
**Figura C 2:** Perfiles promedio diarios de la radiación solar global por mes (W m²)

**Figura C 3:** Precipitación mensual (mm mes<sup>-1</sup>)

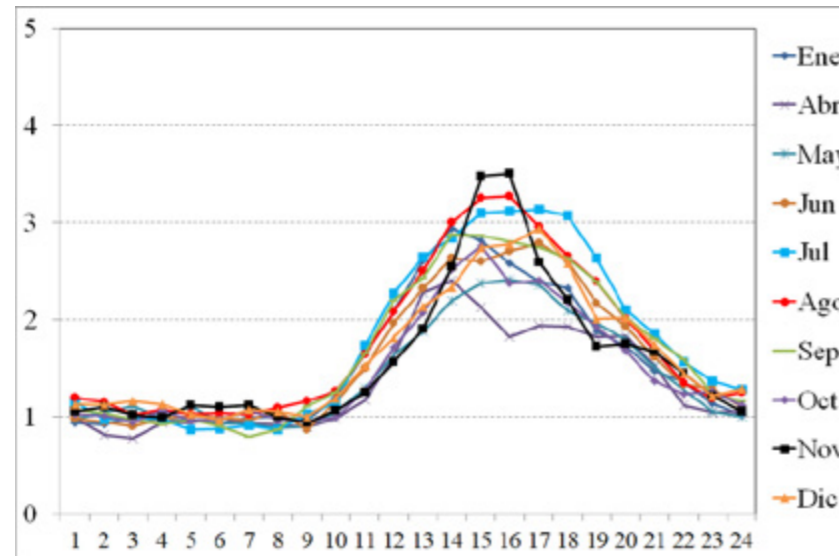


**Figura C 4:** Perfiles promedio diarios de la humedad relativa por mes (%).





**Figura C 5:** Perfiles promedio diarios de la presión atmosférica por mes (mbar).



**Figura C 6:** Perfiles promedio diarios de la velocidad del viento por mes (m s<sup>-1</sup>).

# Anexo

## REGISTROS METEOROLÓGICOS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA EIE. AÑO 2021.





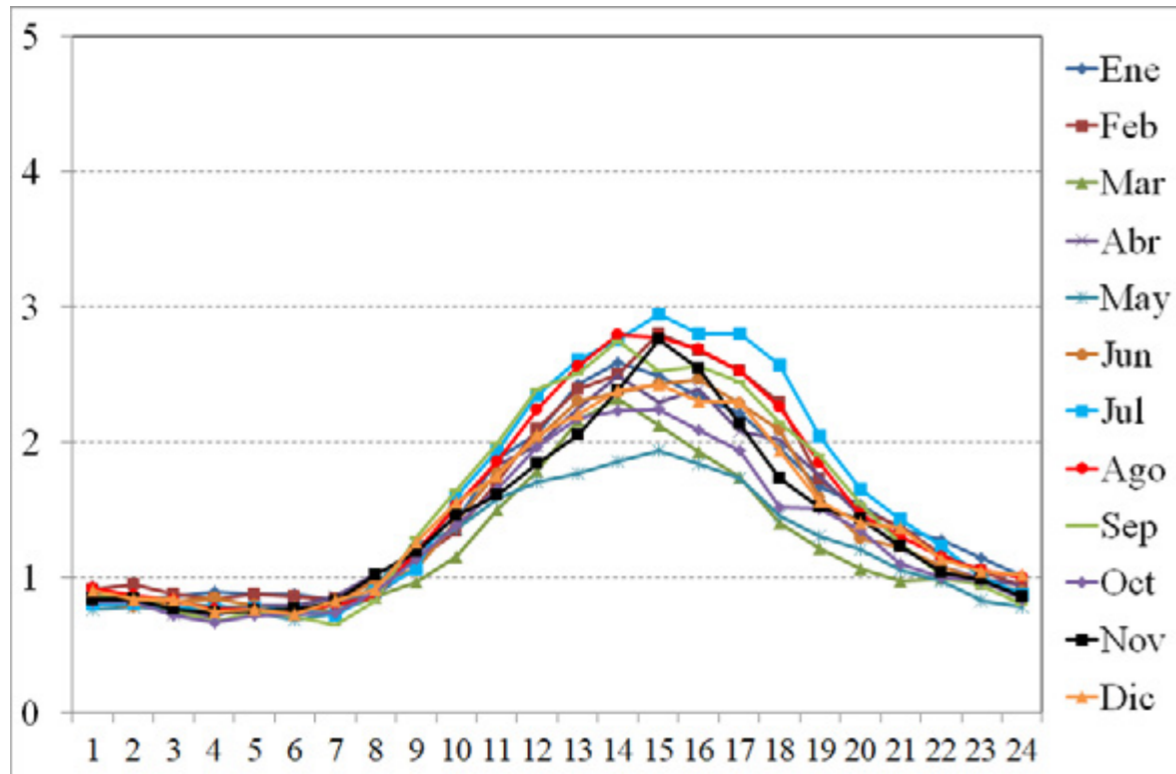


Figura D 1:  
Perfiles promedio diarios de la velocidad del viento por mes (m s<sup>-1</sup>)

# Anexo

REGISTROS  
METEOROLÓGICOS  
DE LA ESTACIÓN  
AUTOMÁTICA CEA  
(UNIVERSIDAD DE  
CUENCA).  
AÑO 2021.



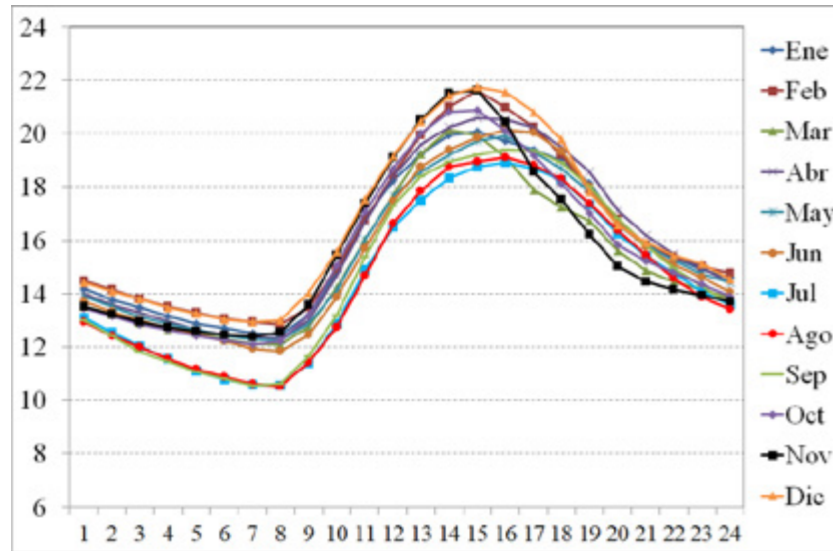


Figura E 1: Perfiles promedio diarios de la temperatura por mes (°C)

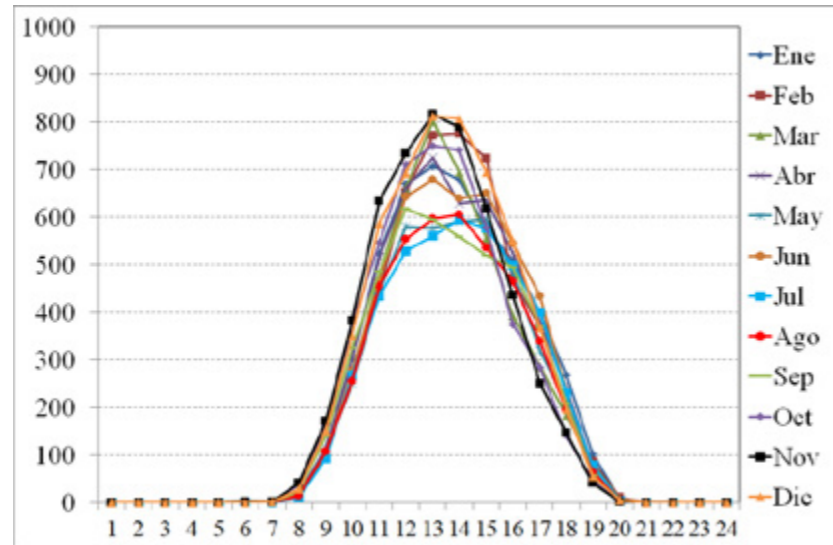


Figura E 2: Perfiles promedio diarios de la radiación solar global por mes (W m<sup>2</sup>)

Figura E 3: Precipitación mensual (mm mes<sup>-1</sup>)

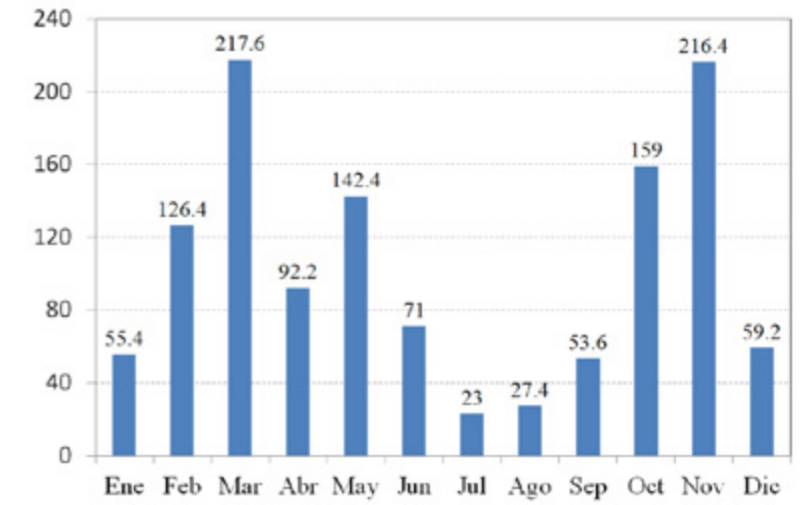
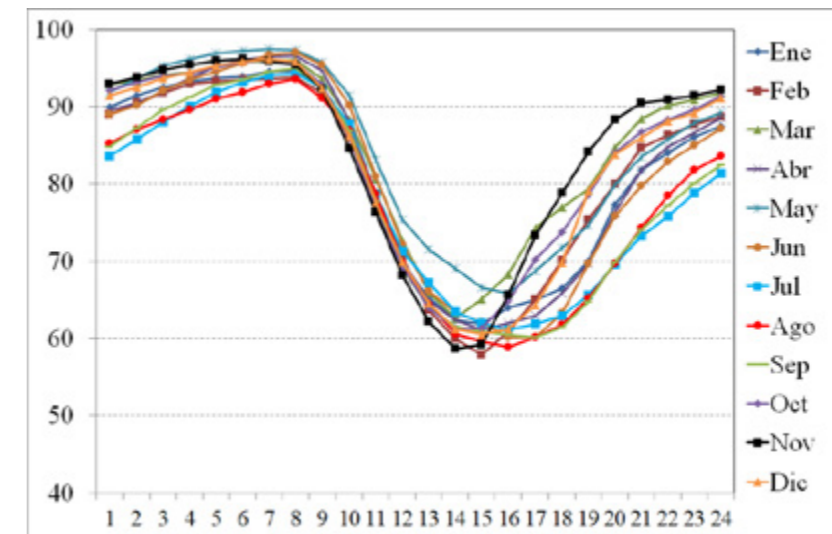
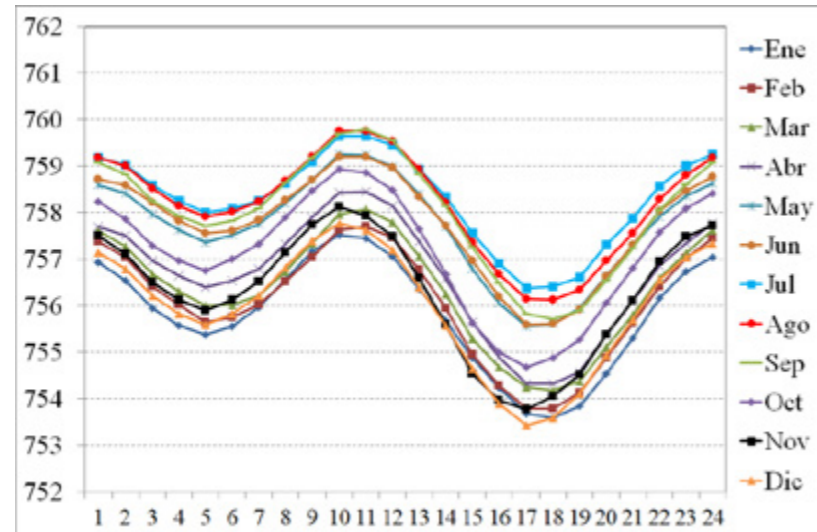
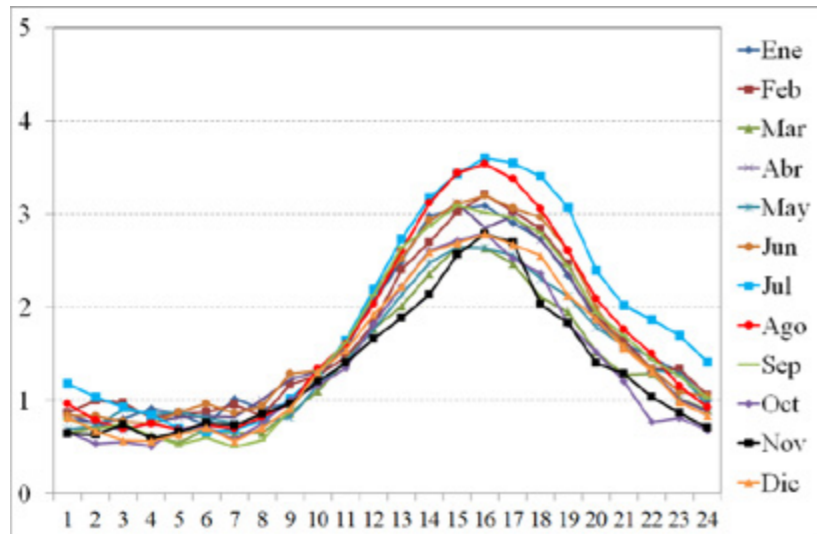


Figura E 4: Perfiles promedio diarios de la humedad relativa por mes (%)





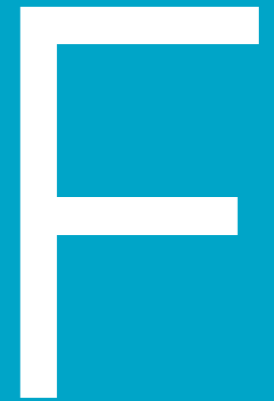
**Figura E 5:** Perfiles promedio diarios de la presión atmosférica por mes (mbar).



**Figura E 6:** Perfiles promedio diarios de la velocidad del viento por mes ( $m s^{-1}$ ).

# Anexo

## MAPAS METEOROLÓGICOS DEL CANTÓN CUENCA DURANTE EL AÑO 2021



## Resultados de la simulación meteorológica para el año 2021 generados mediante el modelo Weather Research Forecasting (WRF) versión 3.7.1, para el Cantón Cuenca

El modelo WRF versión 3.7.1 fue aplicado para simular la meteorología del año 2021, del Cantón Cuenca, a fin de complementar los registros de la Red de Monitoreo de Cuenca, y proporcionar información complementaria para entender mejor el comportamiento de los contaminantes del aire.

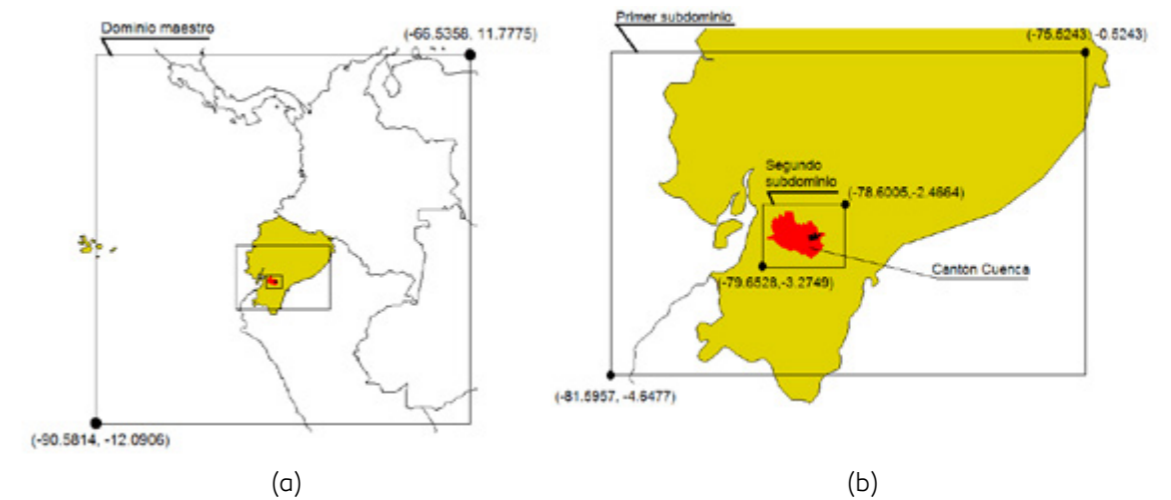
Las simulaciones numéricas se desarrollaron por medio de un dominio maestro y dos subdominios anidados, con resoluciones espaciales de 27 x 27 km, 9 x 9 km y 3 x 3 km respectivamente (Figura 1).

El segundo dominio anidado cubre al Cantón Cuenca, y se conforma de una malla de 31 filas y 40 columnas, con celdas de 3 km de lado. Las condiciones iniciales y de contorno se generaron a partir de la base de datos de reanálisis meteorológicos globales (NCEP2) del National Center of Atmospheric Research (NCAR) de los Estados Unidos.

Las simulaciones se desarrollaron para los días 1 hasta 27 de cada mes. Se obtuvieron valores medios mensuales de parámetros meteorológicos, mediante el promedio de todos los resultados

horarios proporcionados por el modelo.

Este documento presenta los mapas mensuales obtenidos por simulación para los parámetros meteorológicos: temperatura en superficie, radiación solar global, dirección y velocidad del viento en superficie; así como de la altura de la capa de mezcla.

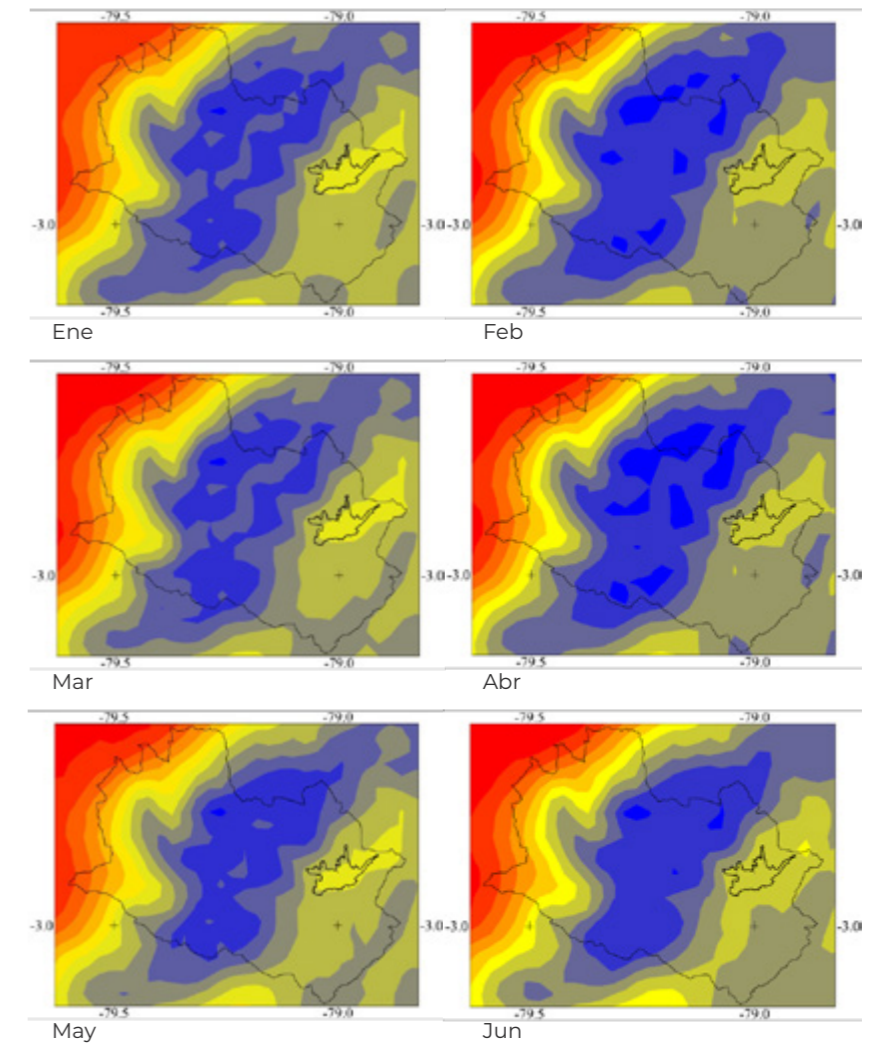
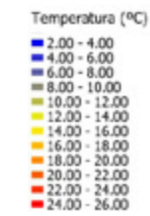


**Figura F 1:** Dominios de simulación para el Cantón Cuenca utilizando el modelo meteorológico Weather Research Forecasting (WRF) versión 3.7.1. (a) Dominio maestro (celdas de 27 km). (b) Subdominios anidados (celdas de 9 km para el primer subdominio, celdas de 3 km para el segundo subdominio)

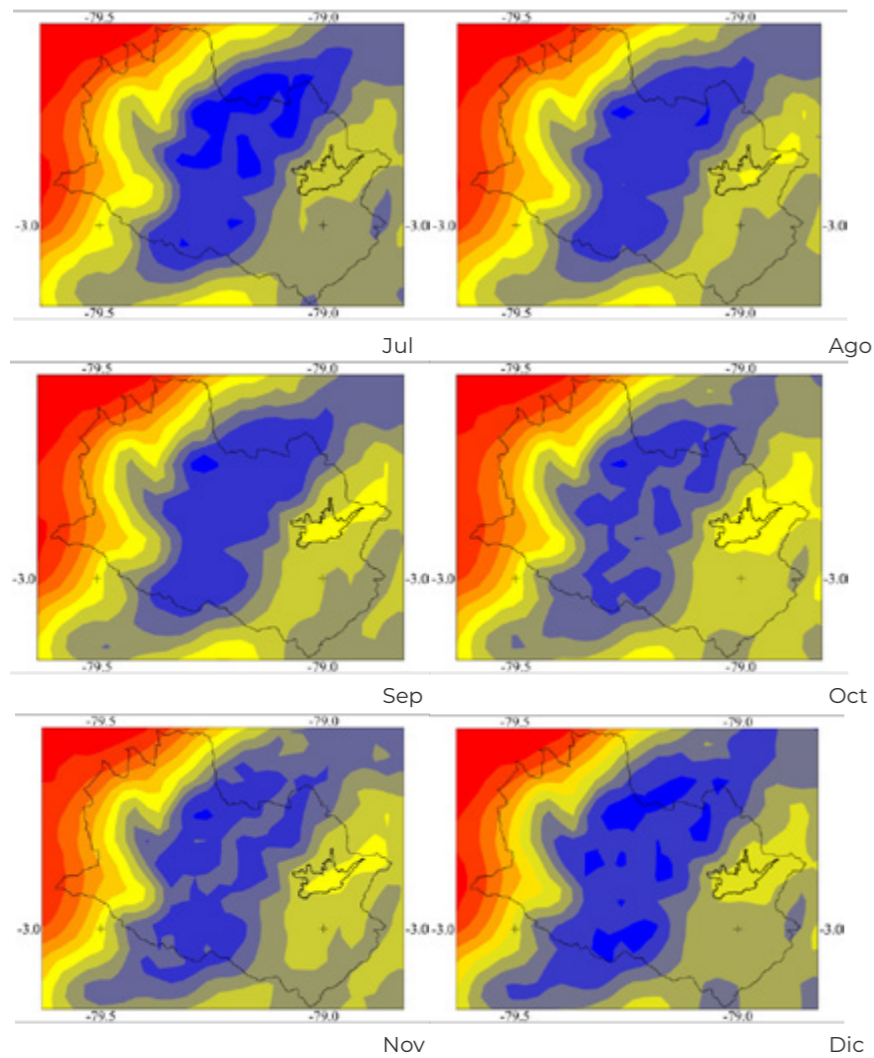


Parámetro	Valores	Observaciones
<b>Dominios (maestro. primer subdominio. segundo subdominio)</b>		
e_we	100, 76, 40	Número de celdas horizontales
e_sn	100, 52, 31	Número de celdas verticales
e_vert	26, 26, 26	Número de niveles verticales
dx.	27 000, 9000, 3000	Dimensión horizontal de celda, m
dy	27 000, 9000, 3000	Dimensión vertical de celda, m
<b>Parámetros físicos</b>		
mp_physics	4	WRF Single-Moment 5-class scheme
ra_lw_physics	4	RRTMG scheme
ra_sw_physics	4	RRTMG shortwave
sf_sfclay_physics	91	MMS similarity
sf_surface_physics	1	5-layer thermal diffusion:
bl_pbl_physics	1	Yonsei University scheme
cu_physics	1	Kain-Fritsch scheme

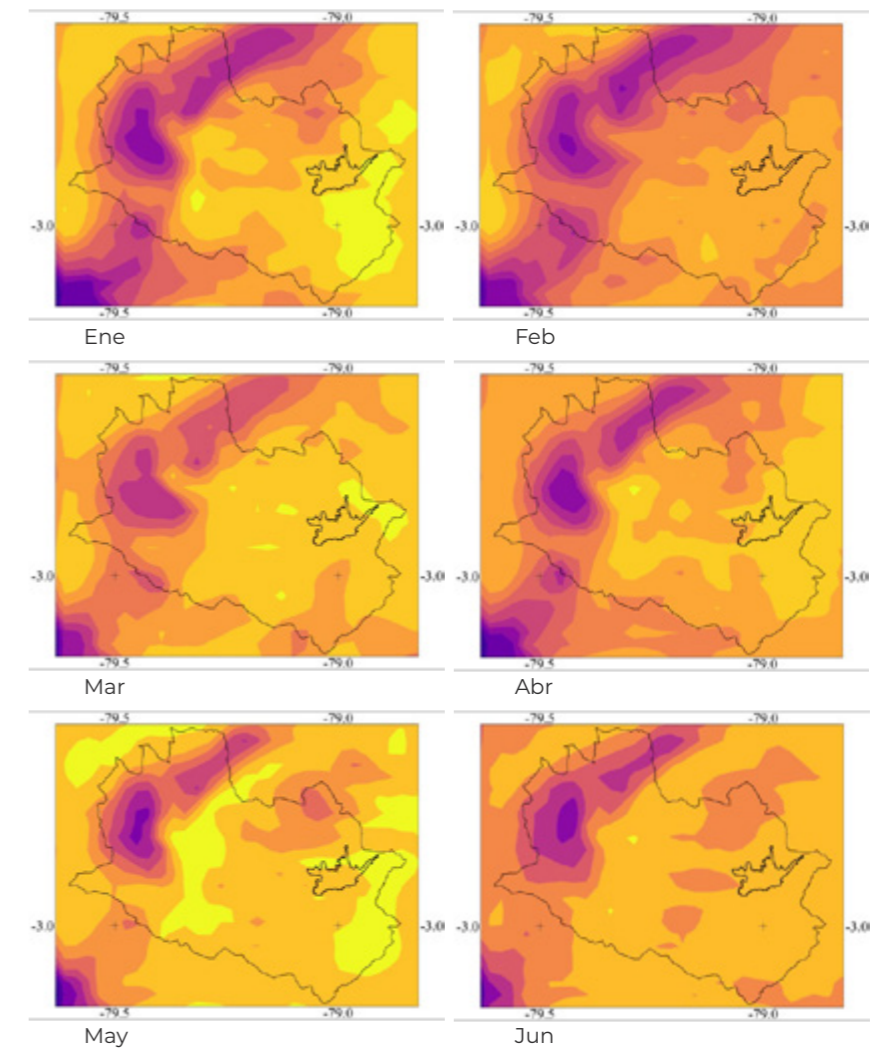
**Tabla F 1:** Parámetros de simulación meteorológica para el Cantón Cuenca.



**Figura F 2:** Valor promedio de la temperatura en superficie (°C) . Enero – junio de 2021.

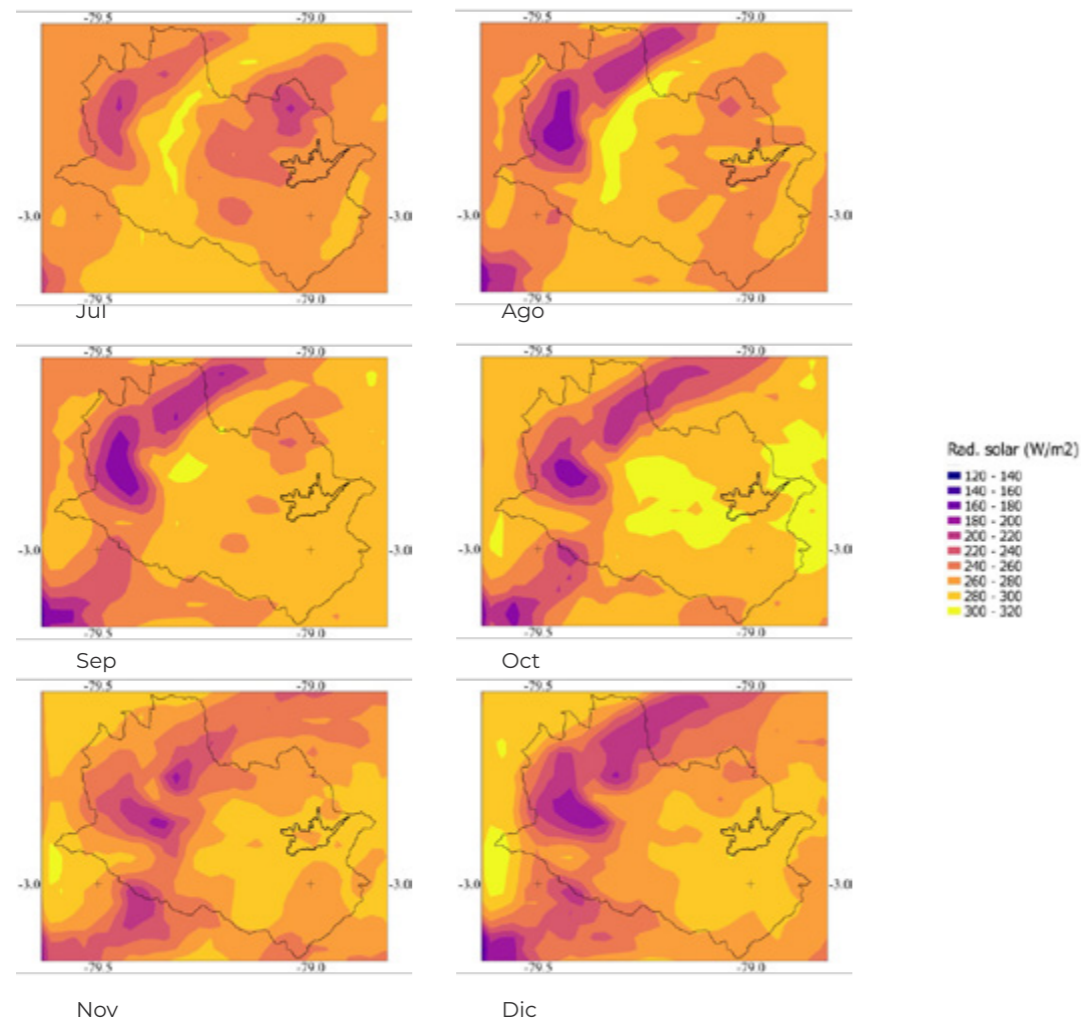


**Tabla F 3:** Valor promedio de la temperatura en superficie (°C). Julio – diciembre de 2021.

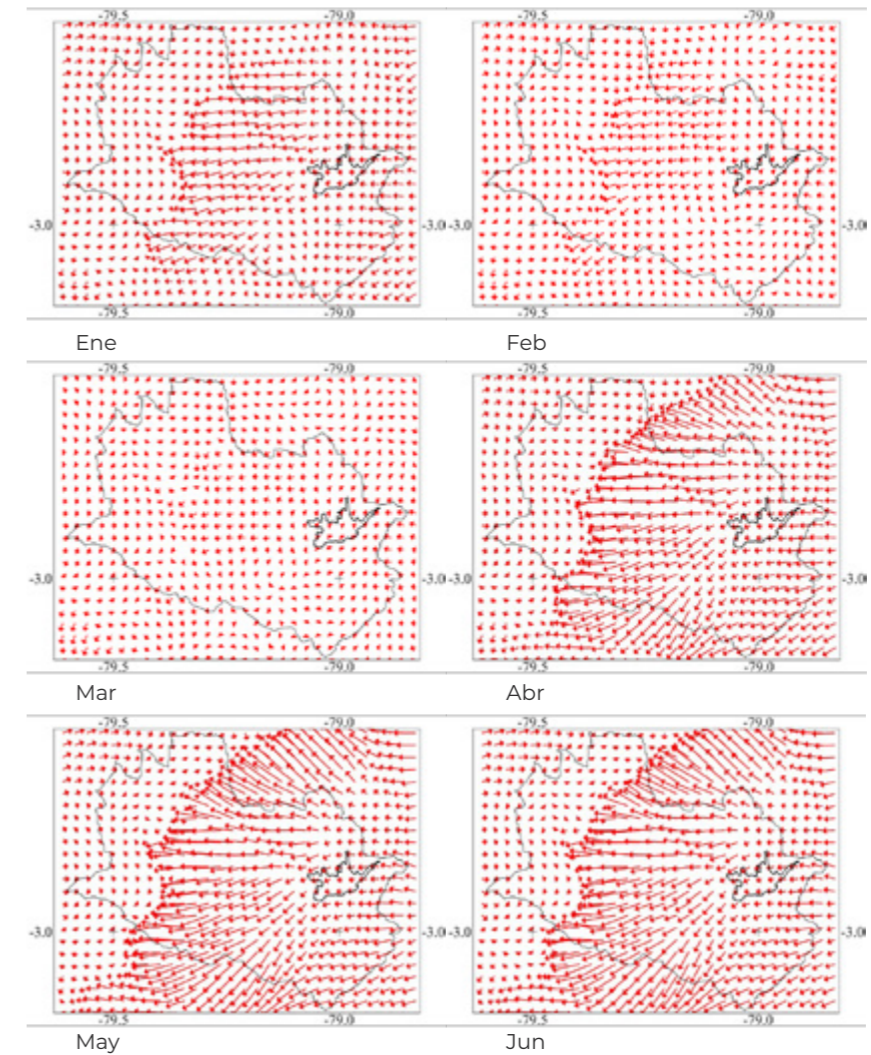


**Figura F 4:** Valor promedio de la radiación solar global en superficie (W/m<sup>2</sup>). Enero – junio de 2021.



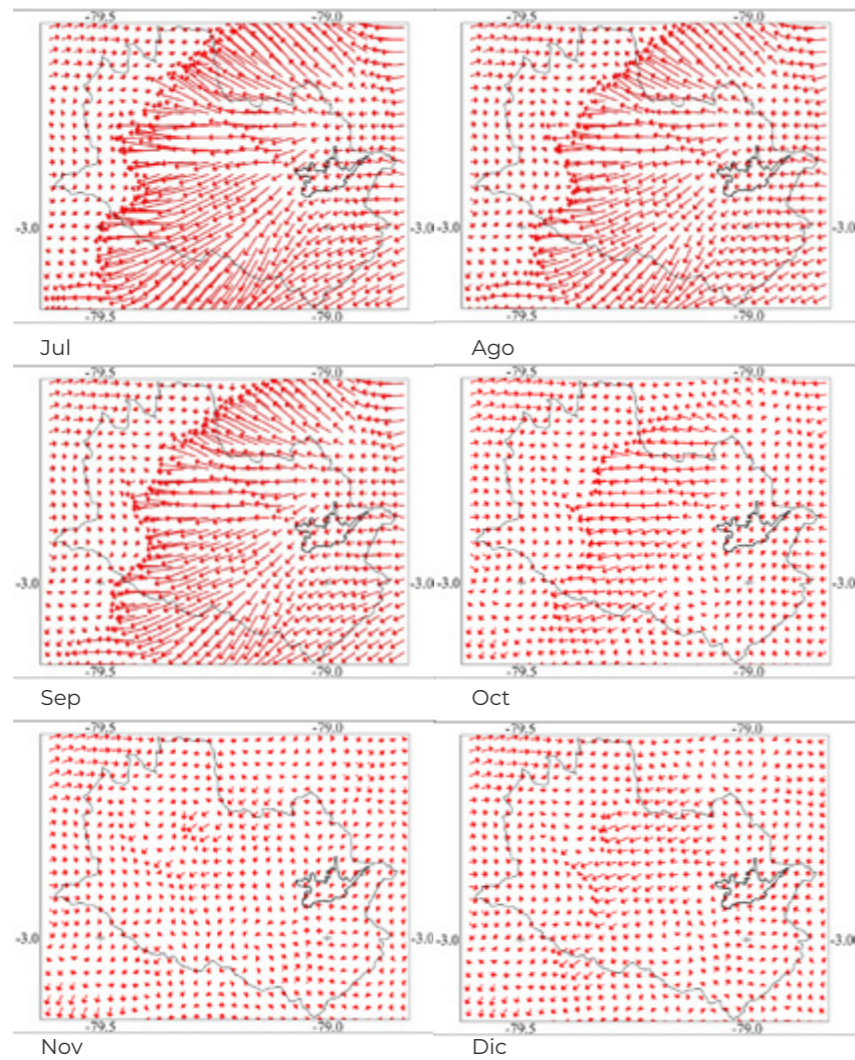


**Tabla F 5:** Valor promedio de la radiación solar global en superficie (W/m<sup>2</sup>). Julio – diciembre de 2021.

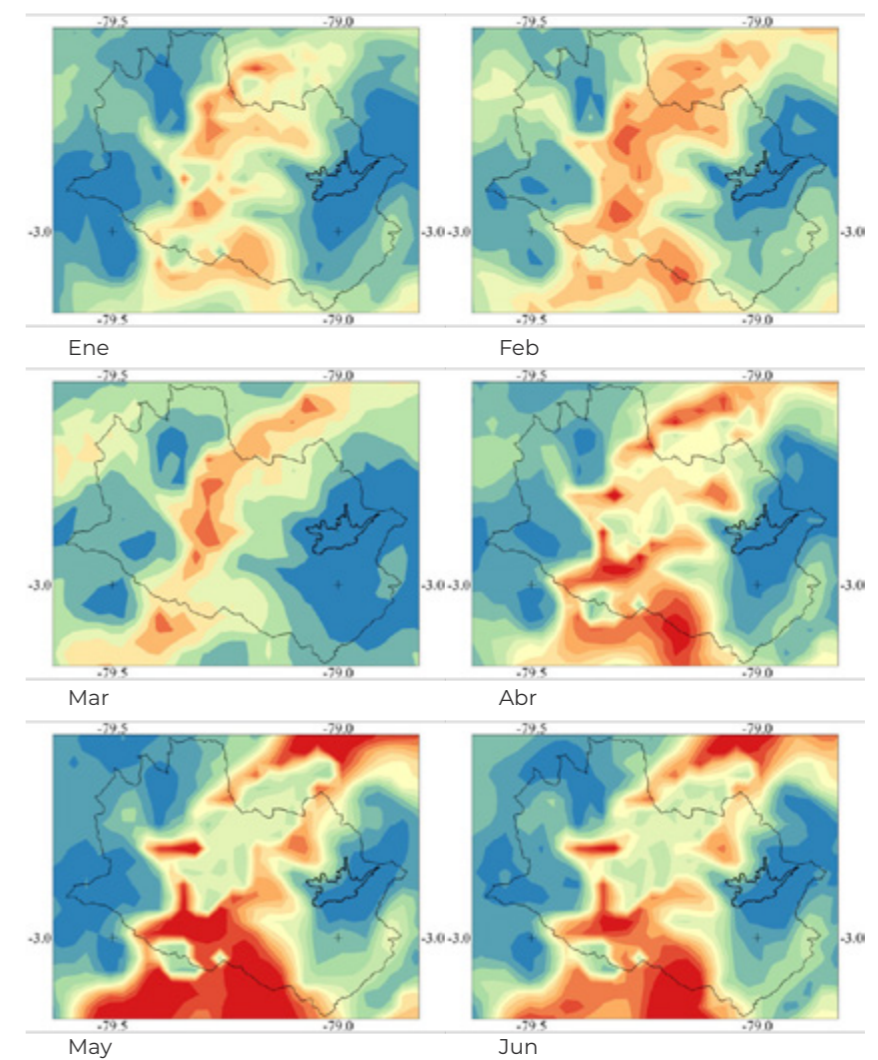
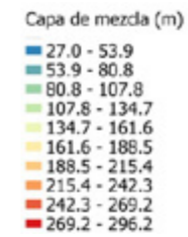


**Figura F 6:** Viento promedio en superficie (m/s). Enero – junio de 2021.



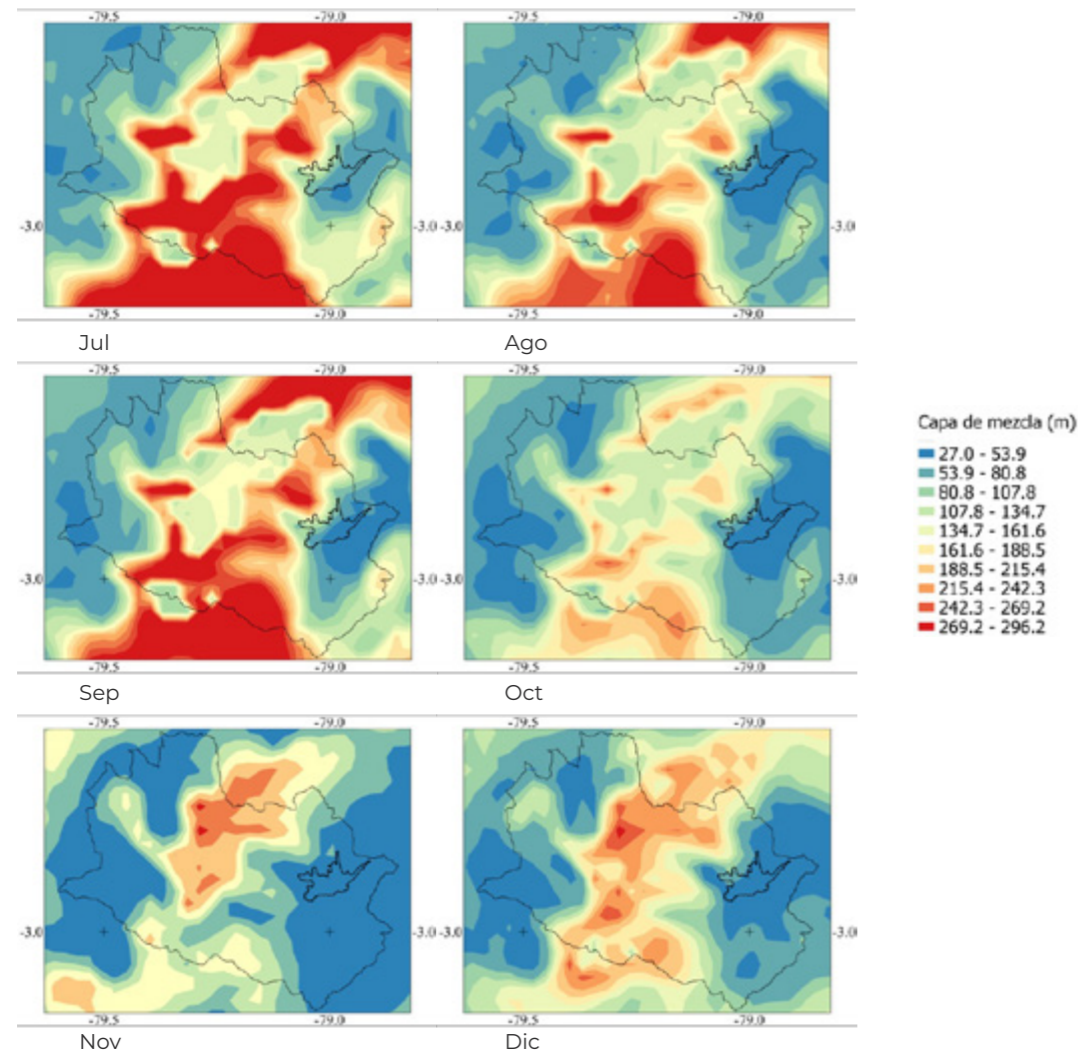


**Figura F 7:** Viento promedio en superficie (m/s). Julio – diciembre de 2021.



**Figura F 8:** Valor promedio de la altura de la capa de mezcla (m) para las 06h00. Enero – junio de 2021.





**Tabla F 9:** Valor promedio de la altura de la capa de mezcla (m) para las 06h00. Julio – diciembre de 2021.

Artículo: Parra, R.; Espinoza, C. 2020. Insights for Air Quality Management from Modeling and Record Studies in Cuenca, Ecuador. Atmosphere, 11, 998. <https://doi.org/10.3390/atmos11090998>

Anexo

G



Article

## Insights for Air Quality Management from Modeling and Record Studies in Cuenca, Ecuador

René Parra <sup>1,\*</sup> and Claudia Espinoza <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Simulación Computacional, Colegio de Ciencias e Ingenierías, Universidad San Francisco de Quito USFQ, Quito 170901, Ecuador

<sup>2</sup> Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Cuenca-EMOV, Cuenca 010206, Ecuador; cespinoza@emov.gob.ec

\* Correspondence: rparra@usfq.edu.ec

Received: 24 August 2020; Accepted: 12 September 2020; Published: 18 September 2020



**Abstract:** On-road traffic is the primary source of air pollutants in Cuenca (2500 m. a.s.l.), an Andean city in Ecuador. Most of the buses in the country run on diesel, emitting high amounts of NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>) and PM<sub>2.5</sub>, among other air pollutants. Currently, an electric tram system is beginning to operate in this city, accompanied by new routes for urban buses, changing the spatial distribution of the city's emissions, and alleviating the impact in the historic center. The Ecuadorian energy efficiency law requires that all vehicles incorporated into the public transportation system must be electric by 2025. As an early and preliminary assessment of the impact of this shift, we simulated the air quality during two scenarios: (1) A reference scenario corresponding to buses running on diesel (DB) and (2) the future scenario with electric buses (EB). We used the Eulerian Weather Research and Forecasting with Chemistry (WRF-Chem) model for simulating the air quality during September, based on the last available emission inventory (year 2014). The difference in the results of the two scenarios (DB-EB) showed decreases in the daily maximum hourly NO<sub>2</sub> (between 0.8 to 16.4 μg m<sup>-3</sup>, median 7.1 μg m<sup>-3</sup>), and in the 24-h mean PM<sub>2.5</sub> (0.2 to 1.8 μg m<sup>-3</sup>, median 0.9 μg m<sup>-3</sup>) concentrations. However, the daily maximum 8-h mean ozone (O<sub>3</sub>) increased (1.1 to 8.0 μg m<sup>-3</sup>, median 3.5 μg m<sup>-3</sup>). Apart from the primary air quality benefits acquired due to decreases in NO<sub>2</sub> and PM<sub>2.5</sub> levels, and owing to the volatile organic compounds (VOC)-limited regime for O<sub>3</sub> production in this city, modeling suggests that VOC controls should accompany future NO<sub>x</sub> reduction for avoiding increases in O<sub>3</sub>. Modeled tendencies of these pollutants when moving from the DB to EB scenario were consistent with the tendencies observed during the COVID-19 lockdown in this city, which is a unique reference for appreciating the potentiality and identifying insights for air quality improvements. This consistency supports the approach and results of this contribution, which provides early insights into the effects on air quality due to the recent operability of the electric tram and the future shift from diesel to electric buses in Cuenca.

**Keywords:** WRF-Chem; weekend effect; VOC-limited regime; COVID-19; Andean region

### 1. Introduction

On-road traffic is one of the most important sources of air pollutants in cities located in Ecuador [1,2]. Emissions from this source are exacerbated for cities located in the Andean region of the country, owing to their altitude, where the content of atmospheric oxygen is lower compared to at sea level. Therefore, combustion processes emit more primary pollutants in these cities [3].

In Cuenca (Lon. -79.0°, Lat. -2.9°, 2500 m. a.s.l.), which is a city located in the Southern Andean region of the country (Figure 1), during 2014, on-road traffic, among other pollutants, emitted 5981.0 and 384.0 t y<sup>-1</sup> of NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>) and PM<sub>2.5</sub>, respectively, representing 71.2% and 42.2% of the total emissions of each pollutant [4].

NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>) is mainly produced by the combination of atmospheric N<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>, when, under high temperatures and pressures, air is mixed with fuel in engines. Diesel engines work at pressures 1.5 times higher than those of gasoline engines of a comparable power [5], producing high quantities of NO<sub>x</sub>. Additionally, diesel vehicles emit 10 to 100 times more particulate mass than gasoline vehicles [6] and are major sources of nanoparticles [7].

Ozone (O<sub>3</sub>) is a secondary air pollutant produced from photochemical interactions between NO<sub>x</sub> and volatile organic compounds (VOC), through complex reactions under the influence of solar radiation [8]. Sources of VOC are diverse, including gasoline cars, service stations, the use of solvents, and vegetation.

NO<sub>2</sub> can increase the airway reactivity to cold air in asthmatics and the susceptibility to bacterial and viral infections of the lung [9]. O<sub>3</sub> is a strong oxidant and reactive pollutant, which increases the airway responsiveness, airway inflammation, respiratory infections, tissue permeability, exacerbation of asthma, and pulmonary function impairment [9,10].

PM<sub>2.5</sub> exhibits effects after both short-term and long-term exposure. Current World Health Organization (WHO) guidelines cannot guarantee complete protection against PM<sub>2.5</sub> effects [11], thus requiring the lowest possible concentrations to be achieved. Short-term exposition includes cardiovascular and respiratory effects. The International Agency for Research on Cancer (IARC) has classified outdoor air pollution and particulate matter from outdoor air pollution as carcinogenic to humans [12,13].

Although it was previously considered that air pollution mainly affects the lungs and cardiovascular system, recent literature has reported that it also threatens brain health, promoting Alzheimer's disease and affecting cognitive, behavioral, and academic performances [14–16]. In terms of brain effects, particulate matter is the component of air pollution that appears to be the most concerning [17].

#### 1.1. Emission Inventory from Cuenca

The municipality of Cuenca currently has about 640,000 inhabitants. It has a complex topography, with altitudes ranging from 1000 to 4000 m. a.s.l. (Figure 1). Table 1 presents a summary of the emission inventory from 2014 [4]. The total emission of NO<sub>x</sub> was 8402 t y<sup>-1</sup>, with on-road traffic (71.2%) and a power facility (18.5%) located in the northeast of the city being the most significant source. The total emission of PM<sub>2.5</sub> was 907 t y<sup>-1</sup>, with on-road traffic (42.4%), the handcrafted production of bricks (38.5%), and the power facility (11.3%) being the most significant sources. The handcrafted production of bricks corresponds to about 600 artisanal producers, mainly located in the northwest, outside of the urban area. The power facility is also situated outside of the urban area of Cuenca.

Buses emitted 1861.2 and 87.2 t y<sup>-1</sup> of NO<sub>x</sub> and PM<sub>2.5</sub>, respectively, representing 31.1% and 22.7% of the total on-road traffic emissions of each pollutant (Table 2). Even heavy diesel vehicles emitted

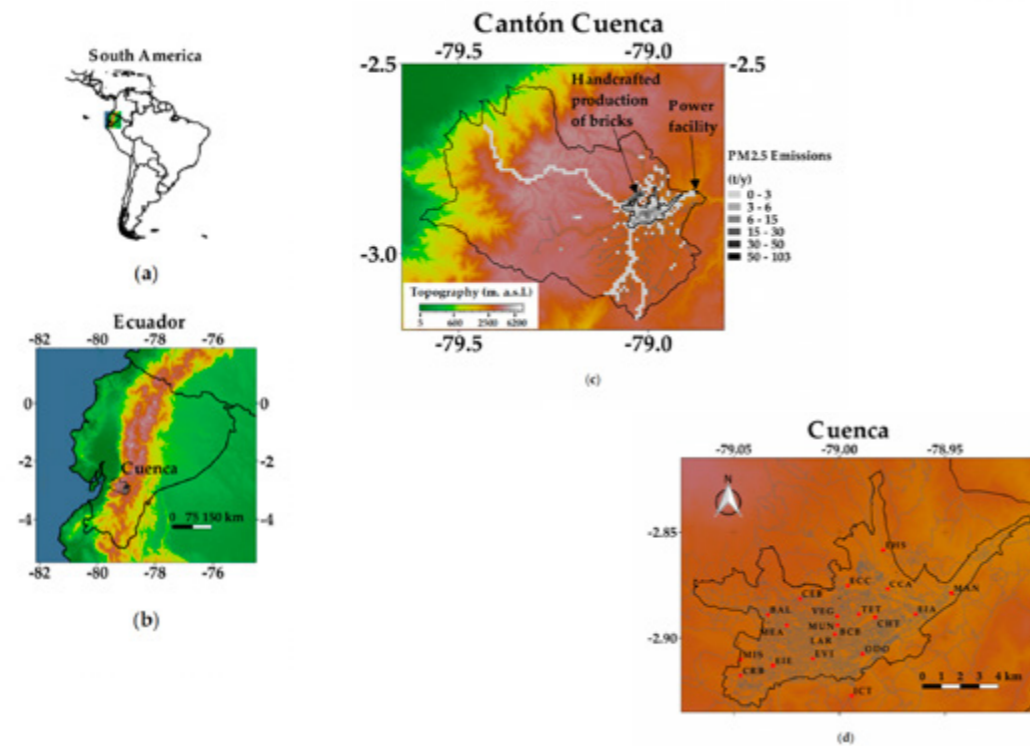


higher quantities of NO<sub>x</sub> and PM<sub>2.5</sub>, compared with buses, producing 36.9% and 63.4%, respectively, of the total on-road traffic emissions of each. Gasoline vehicles emitted 30.3% and 7.0% of the NO<sub>x</sub> and PM<sub>2.5</sub> from on-road traffic.

The total emission of non-methane volatile organic compounds (NMVOC) was 15,310 t y<sup>-1</sup>, with on-road traffic (39.6%), the use of solvents (29.7%), and vegetation (19.5%) being the most important sources (Table 1). Gasoline cars emitted 72.8% of the NMVOC from on-road traffic (Table 2), representing a priority source that needs to be controlled. NMVOC from on-road traffic includes exhaust and evaporative (diurnal emissions, running losses, and hot-soak emissions) emissions.

The number of buses considered in the emission inventory from 2014 was 2304 [4]. This quantity includes urban buses, whose total is currently 475 units. According to the Ecuadorian regulation, the public transport service comprises the following areas of operation: Urban, intraregional, interprovincial, national, and international.

The quality of hourly emission maps derived from the emission inventory from 2014 [4], which is the most recent, was verified when these emissions were incorporated into a 3D-Eulerian model for studying the influence of six planetary boundary layer schemes for modeling the air quality in Cuenca [18]. Modeling is also a powerful approach for foreseeing the effects on air quality, due to changes in the emission inventories [19], which can help define policies, programs, and projects for air quality management.



**Figure 1.** Location of: (a) Ecuador and (b) Cuenca. (c) PM<sub>2.5</sub> emissions (t y<sup>-1</sup>). (d) Urban area of Cuenca and the air quality stations (red dots). MUN station (2500 m. a.s.l.) provides short-term air quality levels and meteorology. The others are passive stations for monitoring monthly-mean air quality concentrations. Nomenclature of stations: MUN, Municipio; EHS, Escuela Héctor Sempértegui; ECC, Escuela Carlos Crespi; CCA, Colegio Carlos Arizaga; MAN, Machángara; CEB, Cebollar; BAL, Balzay; VEG, Vega Muñoz; TET, Terminal Terrestre; EIA, Escuela Ignacio Andrade; MEA, Mercado El Arenal; BCB, Bomberos; CHT, Colegio Herlinda Toral; LAR, Calle Larga; MIS, Misicata; CRB, Colegio Rafael Borja; EIE, Escuela Ignacio Escandón; EVI, Escuela Velasco Ibarra; ODO, Facultad de Odontología; ICT, Ictocruz.

**Table 1.** Summary of air pollutant emissions from Cuenca (Ecuador). Year 2014 [4].

Source	NO <sub>x</sub>		CO		NMVOC		SO <sub>2</sub>		PM <sub>10</sub>		PM <sub>2.5</sub>	
	t y <sup>-1</sup>	%	t y <sup>-1</sup>	%	t y <sup>-1</sup>	%	t y <sup>-1</sup>	%	t y <sup>-1</sup>	%	t y <sup>-1</sup>	%
On-road traffic	5981.0	71.2	58,283.4	94.9	6065.4	39.6	67.9	4.0	800.2	55.6	384.0	42.4
Vegetation	-	-	-	-	2982.0	19.5	-	-	-	-	-	-
Industries	654.4	7.8	257.7	0.4	156.2	1.0	1025.9	60.4	73.1	5.1	52.1	5.7
Power facility	1553.8	18.5	334.4	0.5	126.8	0.8	595.0	35.1	102.1	7.1	102.1	11.3
Use of solvents	-	-	-	-	4551.7	29.7	-	-	-	-	-	-
Service stations	-	-	-	-	851.1	5.6	-	-	-	-	-	-
Domestic GLP consumption	137.9	1.6	21.5	0.0	4.6	0.0	0.0	0.0	9.1	0.6	9.1	1.0
Air traffic	24.2	0.3	36.0	0.1	5.4	0.0	4.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.0
Landfills	-	-	-	-	32.4	0.2	-	-	-	-	-	-
Handcrafted production of bricks	51.0	0.6	2465.4	4.0	534.2	3.5	4.1	0.2	353.4	24.6	349.3	38.5
Dust erosion	-	-	-	-	-	-	-	-	96.8	6.7	9.7	1.1
Mining	-	-	-	-	-	-	-	-	4.4	0.3	0.0	0.0
<b>Total</b>	<b>8402</b>	<b>100</b>	<b>61,398</b>	<b>100</b>	<b>15,310</b>	<b>100</b>	<b>1697</b>	<b>100</b>	<b>1439</b>	<b>100</b>	<b>907</b>	<b>100</b>

NO<sub>x</sub>: nitrogen oxides. CO: carbon monoxide. NMVOC: non-methane volatile organic compounds. SO<sub>2</sub>: sulfur dioxide. PM<sub>10</sub>: particulate matter with diameter ≤ 10 μm. PM<sub>2.5</sub>: particulate matter with diameter ≤ 2.5 μm.

**Table 2.** Summary of air pollutant emissions from on-road traffic of Cuenca (Ecuador). Year 2014. Disaggregated emissions from diesel vehicles.

Pollutant	Unit	Gasoline Vehicles	Diesel Vehicles				Total
			Automobile	Pick-Up	Bus	Heavy	
NO <sub>x</sub>	t y <sup>-1</sup>	1810.1	4.8	97.6	1861.2	2207.3	5981.0
	%	30.3	0.1	1.6	31.1	36.9	100.0
1-8 CO	t y <sup>-1</sup>	52,429.8	12.0	340.5	2520.3	2980.8	58,283.4
	%	90.0	0.0	0.6	4.3	5.1	100.0
1-8 NMVOC	t y <sup>-1</sup>	4417.2	3.9	97.5	693.4	853.6	6065.4
	%	72.8	0.1	1.6	11.4	14.1	100.0
1-8 SO <sub>2</sub>	t y <sup>-1</sup>	30.7	0.3	6.1	8.2	22.7	67.9
	%	45.2	0.4	8.9	12.1	33.4	100.0
1-8 PM <sub>10</sub> exhaust	t y <sup>-1</sup>	32.9	1.5	28.5	108.4	302.3	473.6
	%	6.9	0.3	6.0	22.9	63.8	100.0
PM <sub>2.5</sub> exhaust	t y <sup>-1</sup>	15.6	1.2	23.8	81.7	227.8	350.0
	%	4.4	0.3	6.8	23.3	65.1	100.0
PM <sub>10</sub> tire wear	t y <sup>-1</sup>	6.5	0.0	1.0	3.2	8.9	19.6
	%	33.4	0.2	4.9	16.2	45.4	100.0
PM <sub>2.5</sub> brake wear	t y <sup>-1</sup>	11.4	0.1	1.6	5.5	15.4	34.0
	%	33.5	0.2	4.7	16.2	45.4	100.0
PM <sub>10</sub> pavement	t y <sup>-1</sup>	13.7	0.1	2.0	4.6	12.9	33.3
	%	41.2	0.2	6.0	13.8	38.7	100.0

Table 2. Cont.

Pollutant	Unit	Gasoline Vehicles	Diesel Vehicles				Total
			Automobile	Pick-Up	Bus	Heavy	
PM <sub>10</sub> resuspension	t y <sup>-1</sup>	189.1	1.0	20.5	16.6	46.5	273.7
	%	69.1	0.4	7.5	6.1	17.0	100.0
1-8 PM <sub>10</sub> Total	t y <sup>-1</sup>	242.3	2.6	52.0	132.8	370.6	800.2
	%	30.3	0.3	6.5	16.6	46.3	100.0
1-8 PM <sub>2.5</sub> Total	t y <sup>-1</sup>	26.9	1.2	25.4	87.2	243.3	384.0
	%	7.0	0.3	6.6	22.7	63.4	100.0

NO<sub>x</sub>: nitrogen oxides. CO: carbon monoxide. NMVOC: non-methane volatile organic compounds. SO<sub>2</sub>: sulfur dioxide. PM<sub>10</sub>: particulate matter with diameter ≤ 10 μm. PM<sub>2.5</sub>: particulate matter with diameter ≤ 2.5 μm. PM<sub>10</sub> Total corresponds to the summation of PM<sub>10</sub> exhaust, PM<sub>10</sub> tire wear, PM<sub>10</sub> pavement, and PM<sub>10</sub> resuspension. PM<sub>2.5</sub> Total corresponds to the summation of PM<sub>2.5</sub> exhaust and PM<sub>2.5</sub> brake wear. Gray background indicates the total values per pollutant.

### 1.2. The Air Quality from Cuenca

The air quality stations are mainly located in the urban area. There is one automatic station located in the historic center (MUN station, Figure 1), which, since 2012, has monitored the short-term air quality (CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and O<sub>3</sub>) and meteorology [20]. Additionally, there are about 20 passive stations for measuring monthly-mean air quality concentrations (NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>). Measurement of the air quality is based on the methods established in the Ecuadorian air quality regulation under the responsibility of the Municipality of Cuenca, which, for this purpose, is the entity accredited by the National Environmental Authority. The air quality network's current equipment is described in the report on the air quality from 2019 [20], which corresponds to the directives established by the USA Environmental Protection Agency and European. As part of its operation, corresponding quality assurance and quality control activities are permanently performed.

From 2012 to 2019, all daily records of NO<sub>2</sub> (maximum 1-h mean) were lower than the WHO guideline (200 μg m<sup>-3</sup>). From 2008 to 2019, the annual mean NO<sub>2</sub> concentrations (passive stations) varied between 5.5 and 47.2 μg m<sup>-3</sup> [20–26]. Annual mean NO<sub>2</sub> concentrations higher than the WHO guideline (40 μg m<sup>-3</sup>) [11] were measured at Bomberos (BCB) and Vega Muñoz (VEG), which are microscale stations located at a street canyon supporting the high level of traffic of gasoline and diesel (buses) vehicles.

From 2012 to 2019, during fourteen days, the PM<sub>2.5</sub> concentrations (24-h mean) were higher than the WHO guideline (25 μg m<sup>-3</sup>). The annual mean PM<sub>2.5</sub> concentrations varied between 6.1 and 10.8 μg m<sup>-3</sup>. During four years in this period, this mean was higher than the WHO guideline (10 μg m<sup>-3</sup>, [11]).

From 2012 to 2019, the maximum 8-h mean O<sub>3</sub> concentrations were higher than the WHO guideline (100 μg m<sup>-3</sup>) during specific days from March 2013 (8), April 2013 (5), September 2015 (2), and September 2017 (3).

Studying the growing historical dataset or air quality records promotes the understanding of the complex behavior of air pollutants in Cuenca. Based on the records from 2013 to 2015, the weekend effect (WE), which is a phenomenon characterized by increased concentrations of O<sub>3</sub> during weekends, although the emissions of NO<sub>x</sub> and VOC are typically lower in comparison to weekdays, was identified in the urban area of Cuenca [27], suggesting the presence of a VOC-limited regime for O<sub>3</sub> production. This finding provided the first insights into the influence of decreased on-road traffic emissions during weekends.

### 1.3. Actions for Controlling Air Pollutant Emissions

One of the most relevant controls of air pollutant emissions in Cuenca is the technical vehicular revision (RTV, due to its acronym in Spanish). According to the RTV regulation, it is mandatory that vehicles running in Cuenca must demonstrate each year that their exhaust emissions are lower than the levels established in the national regulation as a requirement to allow their use. Currently, through the RTV, CO and HC emissions from gasoline cars and the opacity of diesel vehicle emissions are measured. Today, NO<sub>x</sub> emissions from on-road traffic are not controlled.

Another component currently affecting air pollutant emissions is the operation of an electric tram, conceived as the new core of the public transportation system of Cuenca that aims to solve the problems associated with on-road traffic. The building of this facility began at the end of 2013. However, different problems and conflicts have appeared related to restricted mobility and effects on local commercial activities [28]. After several years of delay, the electric tram began to work during the time of writing this manuscript. The electric tram alleviates the air pollutant emissions along its



route, which includes the historic center. However, the displaced buses will move their emissions to new routes.

In the future, under the framework of the Ecuadorian energy efficiency law [29], all vehicles incorporated into the public transportation system must be electric by 2025. The shift from diesel to electric buses will eliminate or reduce the exhaust emissions from diesel buses, decreasing, as a consequence, the  $\text{NO}_x$  and  $\text{PM}_{2.5}$  emissions.

#### 1.4. The Forced Lockdown Owing to COVID-19

To reduce the spread of COVID-19, several measures, such as lockdowns, quarantine, stay at home, and transportation restrictions were applied world-wide. The corresponding effects on air quality have begun to be reported from different regions. Nakada and Urban (2020) [30] reported drastic reductions in  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ , and  $\text{CO}$  in Sao Paulo (Brazil), although an increase in  $\text{O}_3$  concentrations. Jia et al. (2020) [31] reported an insignificant impact on reducing air pollution in Memphis (U.S.A.). Sicard et al. (2020) [32] reported increased  $\text{O}_3$  concentrations in four European cities (Nice, Rome, Valencia, and Turin) and Wuhan (China). Otmani et al. (2020) [33] reported reductions in  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{SO}_2$ , and  $\text{NO}_2$  in Salé (Morocco).

In Ecuador, based on the infected people and the pandemic declaration by WHO, the government declared (decree 1017) the exception status on 16 March 2020 [34]. One of the measures of this status was a restriction on mobility. During the following days, on-road traffic and other activities notably reduced, therefore decreasing the emission of air pollutants.

Although the exception status was officially maintained in Cuenca until 24 May 2020, some activities restarted on 17 May 2020 [35]. On 25 May 2020, the status was relaxed, alleviating the restriction of on-road traffic and other activities, and allowed buses employed for regional transportation to reactivate their service. Since 01 June 2020, urban buses in Cuenca have returned to service.

The air quality records from the exception status provide a unique opportunity to learn and appreciate the potentiality for air quality improvement as a consequence of the decrease in activities, such as on-road traffic.

This contribution explores the following issues of the air quality in Cuenca:

- Verification of the presence of the WE in Cuenca after 2015;
- The effects on air quality due to the future shift from diesel to electric buses;
- The air quality during the COVID-19 lockdown, and its comparison to previous weeks and years;
- A holistic analysis of these interrelated components to identify insights for air quality management.

## 2. Method

### 2.1. WE in Cuenca

To complete the analysis of 2013 to 2015, and based on the same approach presented in Parra (2017) [27], we obtained mean-daily profiles for  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ , and  $\text{O}_3$  for each year of the period 2016 to 2019, and considering weekdays, Saturdays, and Sundays. We obtained the maximum 8-h mean  $\text{O}_3$  concentrations to quantify the variation (percentage) of this pollutant from Saturdays and Sundays, compared to weekdays. These  $\text{O}_3$  concentrations were obtained from the hourly values obtained between 9:00 and 16:00, considering that, during this period, typically, the  $\text{O}_3$  concentrations are higher. This approach was used in a study of the WE in Santiago (Chile) [36] and Quito (Ecuador) [37].

### 2.2. Shift from Diesel to Electric Buses

As an early and preliminary assessment of the impact owing to the shift from diesel to electric buses, established in the Ecuadorian efficiency law, we simulated the air quality in Cuenca under two scenarios: (1) A reference scenario corresponding to buses running on diesel (DB) and (2) the future scenario with electric buses (EB). We used the Eulerian Weather Research and Forecasting with Chemistry (WRF-Chem V3.2) model [38] for simulating the air quality during September of 2014, based on the most recent emission inventory of Cuenca [4]. WRF-Chem is a state-of-the-art chemical transport model that requires, as the input, hourly maps of speciated emissions. Hourly maps were built using factors for activity data, considering the differences between weekdays and weekends and the influence of meteorology on vegetation emissions. September was selected because its on-road traffic and other activity levels are representative for the other months. Additionally, during specific days of September 2015 (2) and September 2017 (3),  $\text{O}_3$  concentrations were higher than the WHO guideline ( $100 \mu\text{g m}^{-3}$ , maximum 8-h mean), partly due to the high levels of near zenith solar radiation reaching the region of Ecuador during this month.

For the DB scenario, all of the emissions sources of Table 1 were included when building the hourly emissions maps. For the EB scenario, as a first assumption, all of the combustion emissions ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NMVOC}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$  exhaust, and  $\text{PM}_{2.5}$  exhaust) from buses (Table 2) were eliminated.

Initial and boundary conditions were generated using the final National Centers for Environmental Prediction (NCEP FNL) Operational Global Analysis data [39]. Meteorological simulations were carried out using a master domain of  $70 \times 70$  cells ( $27 \times 27$  km each) and three nested sub-domains. The third sub-domain ( $100 \times 82$  cells of 1 km each, and 35 vertical levels) covers the region of the Cantón Cuenca (Figure 1). For the third sub-domain, the option of WRF-Chem for the chemical transportation of pollutants was activated, selecting the carbon bond mechanism-Z (CBMZ) [40] for gaseous pollutants and the model for simulating aerosols interactions and chemistry (MOSAIC) for aerosols [41]. One crucial feature of WRF-Chem is the possibility to apply online approach modeling, allowing simultaneous treatment with feedback between meteorological and air quality variables. For this study, the option for direct effects between aerosols and meteorology was activated, using four aerosol bins. Working with direct effects improved the performance when modeling the air quality in Cuenca, compared to modeling without feedback [18].

Table 3 indicates the physics options used for the simulation. We selected the Yonsei University (YSU) for the planetary boundary layer scheme—one of the options of WRF-Chem—which provided the best modeling performance for modeling the air quality in Cuenca [18].

**Table 3.** Weather Research and Forecasting with Chemistry (WRF-Chem V3.2) physics parameterization for modeling the air quality in Cuenca [42].

Component	Option	Scheme/Model
Microphysics	4	WRF Single-moment 5-class
Planetary Boundary Layer	1	Yonsei University (YSU)
Cumulus Parameterization	5	Grell 3D Ensemble
Shortwave	2	Goddard
Longwave	1	RRTM
Land Surface	2	Unified Noah Land Surface
Surface Layer	1	MM5 Similarity



2.3. Air Quality during the COVID-19 Lockdown

We compared the short-term air quality (maximum 8-h mean CO, maximum 1-h mean NO<sub>2</sub>, 24-h mean PM<sub>2.5</sub>, and maximum 8-h mean O<sub>3</sub>) records obtained from the MUN station during 17 March 2020 to 16 May 2020 (61 days), with records from the following periods:

- Weeks before the exception status (01 January 2020 to 16 March 2020), and;
- From 17 March to 16 May, of previous years, from 2015 to 2019. Although there is information available from 2012, we selected 2015 onwards, because records after this year covered at least 70% of days. We selected this percentage to assure the representativeness of records.

The short-term air quality concentrations used for comparison are congruent with the WHO guidelines [9,11] and the Ecuadorian air quality regulation. The maximum 1-h mean corresponds to the maximum hourly mean concentration per day. The maximum 8-h mean corresponds to the maximum mean concentration for eight consecutive hours per day. We conducted Wilcoxon tests to establish if the distributions were statistically equal or different.

3. Results and Discussion

3.1. WE in Cuenca

In agreement with the results from 2013 to 2015 [27], from 2016 to 2019, the mean-daily profiles of CO, NO<sub>2</sub>, and PM<sub>2.5</sub> showed lower concentrations on Saturdays and Sundays, compared to weekdays. However, O<sub>3</sub> profiles were higher. Figure 2 depicts the profiles from 2018. The profiles of other years presented similar configurations.

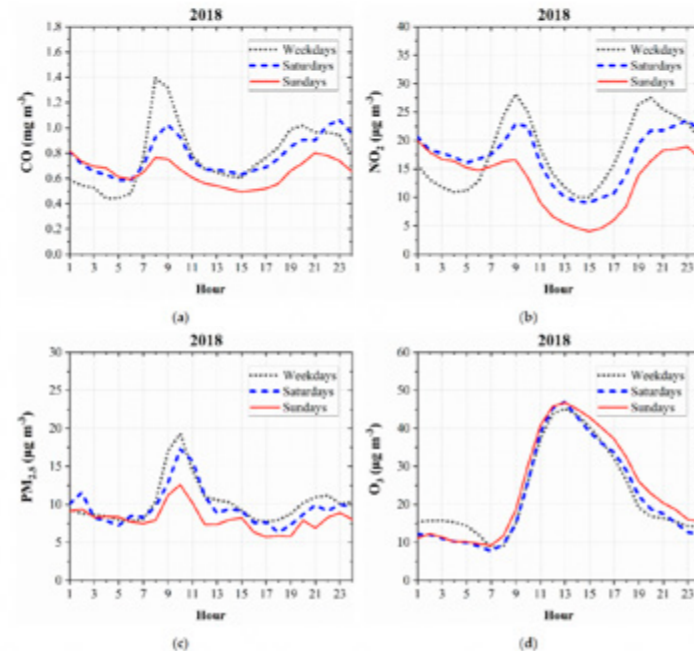


Figure 2. Mean-daily profiles from 2018: (a) CO, (b) NO<sub>2</sub>, (c) PM<sub>2.5</sub>, and (d) ozone (O<sub>3</sub>).

From 2013 to 2019, the increase in the maximum 8-h mean O<sub>3</sub> concentrations of Saturdays and Sundays compared to weekdays varied between 2.6% and 11.8% and 5.6% and 15.8%, respectively (Figure 3). Although we limited our analysis to the yearly period, our results confirm the presence of the WE in the urban area of Cuenca, where on-road traffic is the most relevant air pollutant source. More insights can be drawn in the future, through an analysis of the historical records per season or month.

Diesel vehicles, representing 10.8% of the total fleet from Cuenca, reduce their activity during weekends. Therefore, significant reductions in NO<sub>x</sub> and PM<sub>2.5</sub> emissions take place on weekends compared to weekdays. The lower activity of gasoline vehicles, which cover 89.2% of the fleet, during weekends, mainly decreases the emissions of CO and NMVOC. Therefore, the decrease of CO, NO<sub>x</sub>, and PM<sub>2.5</sub> emissions during weekends produced, on average, lower concentrations of these pollutants (Figure 2). Other sources, such as small industries, also reduce their emissions during weekends, but the decrease in on-road traffic is more significant.

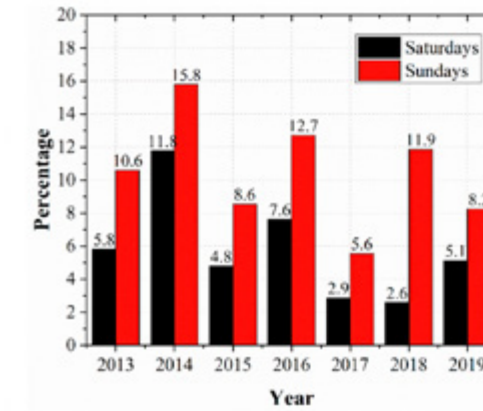


Figure 3. Increase in the maximum 8-h mean O<sub>3</sub> concentrations from Saturdays and Sundays compared to weekdays. Period of 2013 to 2019.

3.2. Shift from Diesel to Electric Buses

At the location of the MUN station, differences between the simulated scenarios (DB - EB) showed decreases in CO (between 0.00 and 0.14 mg m<sup>-3</sup>, median 0.02 mg m<sup>-3</sup>), NO<sub>2</sub> (0.8 to 16.4 µg m<sup>-3</sup>, median 7.1 µg m<sup>-3</sup>), and 24-h mean PM<sub>2.5</sub> (0.2 to 1.8 µg m<sup>-3</sup>, median 0.9 µg m<sup>-3</sup>) concentrations. However, the maximum 8-h mean O<sub>3</sub> increased (1.1 to 8.0 µg m<sup>-3</sup>, median 3.5 µg m<sup>-3</sup>) (Figure 4).

At the passive stations, the results of EB compared to the DB scenario (Figure 5) showed decreases in mean-monthly NO<sub>2</sub> (0.2 to 5.6 µg m<sup>-3</sup>, median 3.8 µg m<sup>-3</sup>), although increases in mean-monthly O<sub>3</sub> (0.0 to 5.7 µg m<sup>-3</sup>, median 3.9 µg m<sup>-3</sup>) (Figure 5). The smallest differences, for both NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>, were computed at Ictocruz (ICT) and Escuela Héctor Sempértegui (EHS), which are passive stations located in the south and north, respectively, in terms of the consolidated urban area of Cuenca (Figure 1), and, therefore, are only influenced by on-road traffic emissions to a small degree.

Figure 6 shows the modeled maps of NO<sub>2</sub> (1-h mean at 7:00 local time (LT)) and O<sub>3</sub> (maximum 8-h mean) concentrations of the DB and EB scenarios, from 12 September 2014. The Supplementary Materials section shows movies of the hourly modeled concentrations of NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> from 12 September 2014, for both the DB and EB scenarios.

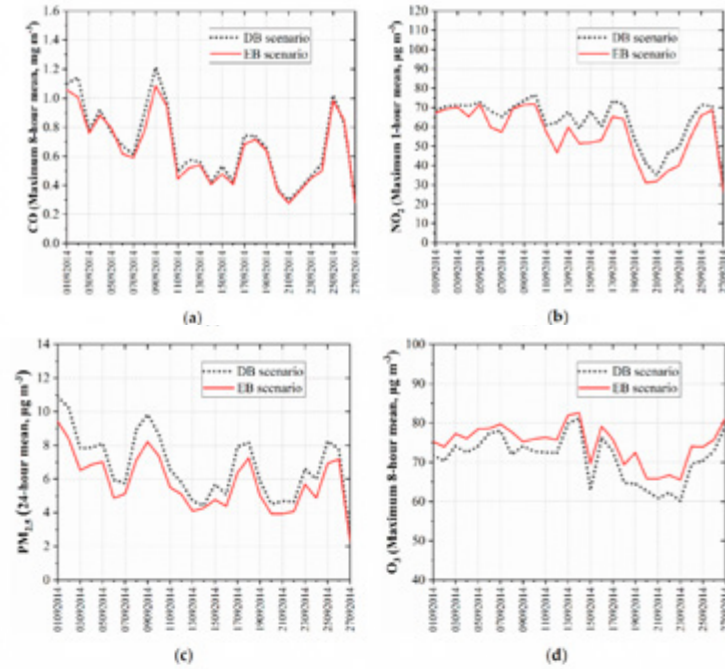


Figure 4. Modeled concentrations from September 2014 for the scenarios DB (diesel buses) and EB (electric buses). (a) Maximum 8-h mean CO, (b) maximum 1-h mean NO<sub>2</sub>, (c) 24 h mean PM<sub>2.5</sub>, and (d) maximum 8-h O<sub>3</sub> mean.

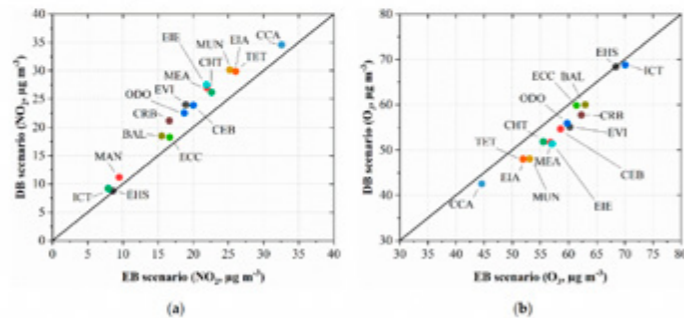


Figure 5. Comparison of modeled mean-monthly concentrations of September 2014. Horizontal axis: EB (electric buses) scenario. Vertical axis: DB (diesel buses) scenario. (a) NO<sub>2</sub> and (b) O<sub>3</sub>. Nomenclature corresponds to the passive stations.

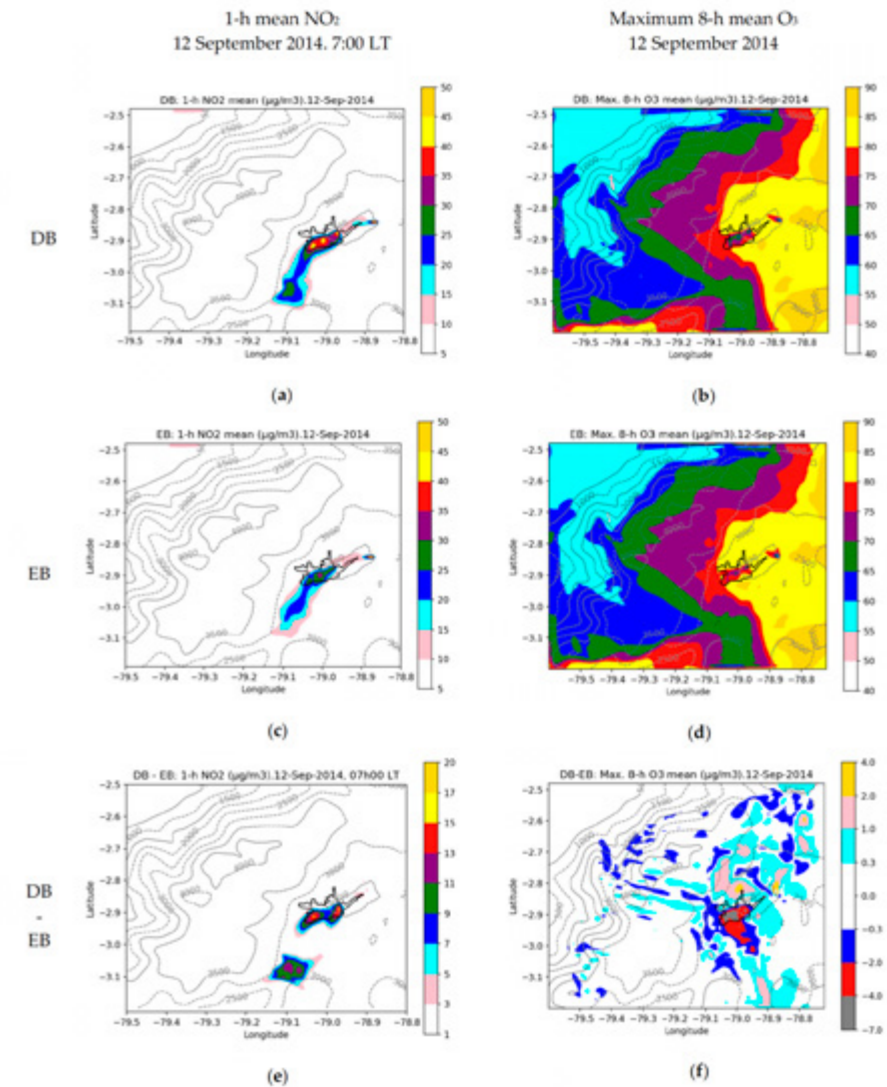


Figure 6. Modeled NO<sub>2</sub> (1-h mean at 7:00 LT): (a) DB, (c) EB, and (e) DB – EB. Modeled O<sub>3</sub> (maximum 8-h mean): (b) DB, (d) EB, and (f) DB-EB. 12 September 2014.



For the DB scenario, NO<sub>x</sub> (NO<sub>2</sub> concentrations up to 45 µg m<sup>-3</sup>) in the urban area titrate O<sub>3</sub>, reducing its concentrations (up to about 75 µg m<sup>-3</sup>) compared to the levels computed for surrounding zones of the urban area (up about 85 µg m<sup>-3</sup>). For the EB scenario, NO<sub>x</sub> (NO<sub>2</sub> concentrations up to 35 µg m<sup>-3</sup>) titrate to a lower degree, allowing higher O<sub>3</sub> concentrations (up to about 80 µg m<sup>-3</sup>) in the urban area of Cuenca. When shifting to the EB scenario, modeled differences showed NO<sub>2</sub> decreases between 3 and 15 µg m<sup>-3</sup>, and O<sub>3</sub> increases between 3 and 7 µg m<sup>-3</sup>.

The modeled results indicate that the primary benefits of shifting from diesel to electric buses, as a mandatory action established in the Ecuadorian efficiency law, are decreases in the maximum 1-h mean NO<sub>2</sub> (median 7.1 µg m<sup>-3</sup>) and the 24-h mean PM<sub>2.5</sub> (median 0.9 µg m<sup>-3</sup>). However, this shift can increase the maximum 8-h mean O<sub>3</sub> concentrations (median 3.5 µg m<sup>-3</sup>).

Apart from decreasing their short-term concentrations, lowering the NO<sub>2</sub> and PM<sub>2.5</sub> will also reduce their annual mean levels, promoting the attainment of the WHO guidelines and the air quality regulation. We highlight the benefits of reducing air pollution and particulate matter, owing to their carcinogenicity to humans [12,13], and the effects of particulate matter on the brain, which, according to recent literature, is the component of air pollution that appears to be the most concerning [17]. The modeled results and VOC-limited regime for photochemical O<sub>3</sub> production suggest that VOC controls should accompany future NO<sub>x</sub> reduction to avoid an increase in O<sub>3</sub> levels in the urban area of Cuenca.

In the future, the RTV should incorporate both NO<sub>x</sub> and VOC emission controls to verify the proper condition of exhaust catalysts for gasoline cars. Additionally, the RTV should incorporate NO<sub>x</sub> and PM<sub>2.5</sub> controls for diesel vehicles.

The direction of change in pollutants between the DB and EB scenarios was consistent with that observed during the COVID-19 lockdown. Although other sources reduced their activities, the absence of buses allowed, to a high degree, a reduction in NO<sub>x</sub> and PM<sub>2.5</sub> in the urban area of Cuenca. This consistency supports the validity of the approach used in this contribution to assess the effects of the future shift from diesel to electric buses in Cuenca.

The modeled results provide a preliminary estimation of air quality benefits based on the assumption that all diesel buses belonging to public transportation in the future will be replaced by electric buses. An updated emission inventory and the proposal of an appropriate future electric bus fleet (electric and hybrid) configuration will refine these results. Another limitation of our study is the period employed for modeling. Although September was considered representative, it is advisable to model other months or even the entire yearly period.

Another scenario deserving exploration is the control of emissions from heavy diesel vehicles, which contributed the largest percentages of on-road emissions of NO<sub>x</sub> (36.9%) and PM<sub>2.5</sub> (63.4%) in 2014. The effects of NMVOC controls should be explored for gasoline cars, especially for older vehicles. Due to their emissions, other sources deserving dedicated assessments are industrial activities, the power facility, and the handcrafted production of bricks.

The operation of the tram project will produce changes in the public transportation system of Cuenca. The routes of buses need to be appropriately redesigned to define the best way to incorporate them. Emissions from buses will be redistributed, alleviating their magnitude on the historic center, although moving emissions to areas under the influence of new routes.

Table 4 presents a comparison with other assessments on the influence of moving to electric vehicles. Minet et al. (2020) [43] and Soret et al. (2014) [44], although using WRF as the meteorological model, used Polair3D and the Community Multiscale Air Quality Model (CMAQ) as the chemical transport model when studying the effects on the air quality in areas of Canada and Spain, respectively. Minet et al. (2020) reported decreases in NO<sub>2</sub> and PM<sub>2.5</sub>, although they did not focus on O<sub>3</sub>. In agreement with the

tendencies of our modeled results, Soret et al. (2014) reported decreases in NO<sub>2</sub> and PM<sub>2.5</sub>, but increases in O<sub>3</sub>. One advantage of using WRF-Chem is the possibility to apply an online approach, allowing simultaneous treatment with feedback between meteorological and air quality variables.

Nogueira et al. (2019) [45] and Varga et al. (2019) [46] applied an approach based on changes in emissions when assessing the effects in São Paulo (Brazil) and Cluj-Napoca (Romania), respectively. These assessments, summarized in Table 4, reported decreases in NO<sub>x</sub> emissions.

Although the replacement of diesel buses by electric buses will reduce the emissions along the routes used by these vehicles, the generation of electricity will produce air pollution in the areas of influence of the fossil fuel power facilities belonging to the Ecuadorian mix. From 2001 to 2018, electricity came from renewable sources (43.5% to 73.6%), fossil fuels (26.2% to 52.2%), and importations (0.1% to 11.5%) [47]. Non-renewable sources include the combustion of fuel oil, diesel, naphtha, natural gas, bunker, oil, and liquid petroleum gas. The impact on air quality due to the electricity produced in Ecuador is a topic deserving of further research.

Table 4. Comparison with other assessments on the influence of electric vehicles on air quality.

Component	Case or Reference				
	This Assessment	Minet et al. (2020) [43]	Soret et al. (2014) [44]	Nogueira et al. (2019) [45]	Varga et al. (2019) [46]
Region	Cuenca, Ecuador	Toronto and Hamilton area, Canada	Barcelona and Madrid, Spain	São Paulo, Brazil	Cluj-Napoca, Romania
Period	September 2014	20 to 26 March and 14 to 20 August 2016	3 to 5 October 2011		
Approach	Emission changes and air quality modeling	Emission changes and air quality modeling	Emission changes and air quality modeling	Emission changes	Emission changes
Models	WRF-Chem	WRF, Polair3D	WRF, CMAQ		
Spatial resolution	1 km <sup>2</sup>	1 km <sup>2</sup>	1 km <sup>2</sup>		
Approach	Online	Offline	Offline		
Main results reported	Decrease in NO <sub>2</sub> (7.1 µg m <sup>-3</sup> ) and PM <sub>2.5</sub> (0.9 µg m <sup>-3</sup> ) Increase in O <sub>3</sub> (3.5 µg m <sup>-3</sup> )	Mean exposure decrease to NO <sub>2</sub> (6% to 11%) and PM <sub>2.5</sub> (9% to 13%)	Decrease in NO <sub>2</sub> (35 µg m <sup>-3</sup> ) and PM <sub>10</sub> (8 µg m <sup>-3</sup> ) Increase in O <sub>3</sub> (4 µg m <sup>-3</sup> )	Decrease in NO emissions by a factor of four to five	Decrease in 6.4 t y <sup>-1</sup> of NO <sub>x</sub> emissions
Observation	Median values of short-term air quality changes. Based on the shift of 2304 diesel buses to electric buses	Mainly focused on NO <sub>2</sub> , PM <sub>2.5</sub> , and BC. Based on the elimination of the emissions of 250 to 1000 diesel trucks at the corridor level.	Based on three fleet electrification scenarios (13%, 26%, and 40%) by replacing conventional with electric vehicles	Renovation buses to Euro 5 and the incorporation of electric buses	Based on the shift of 41 Euro 3 diesel buses to electric buses



3.3. Air Quality during the COVID-19 Lockdown

The concentrations of CO and NO<sub>2</sub> were lower during the COVID-19 lockdown compared to previous records from 2020 (Figure 7). The maximum 8-h mean CO mean decreased from 0.74 (median) to 0.60 mg m<sup>-3</sup>. The maximum 1-h mean NO<sub>2</sub> decreased from 36.8 (median) to 16.3 μg m<sup>-3</sup>. The distributions of CO and NO<sub>2</sub> during the lockdown period were statistically different, with lower levels compared to distributions from 01 January 2020 to 16 March 2020 (Table 5).

Additionally, the concentrations of PM<sub>2.5</sub> were lower during the restriction (Figure 7). The 24-h mean PM<sub>2.5</sub> decreased from 9.6 (median) to 5.7 μg m<sup>-3</sup>. The peak after 17 March 2020 can be associated with the arrival of volcanic ash from the Cayambe—one of the currently active volcanoes in Ecuador [48]—which produced light ash fallout in Cuenca on 24 March 2020 [49]. This peak influenced the PM<sub>2.5</sub> records from 17 March to 16 April 2020, which showed a distribution statistically equal to records from 01 January to 16 March 2020.

During the first days of the lockdown, the O<sub>3</sub> concentrations increased. The maximum 8-h mean O<sub>3</sub> rose from 52.2 to 55.7 μg m<sup>-3</sup>, with the last value being the median from the first month after 17 March 2020. The median from 17 March 2020 to 16 May 2020 was 47.1 μg m<sup>-3</sup>. The distribution of O<sub>3</sub> from 17 March to 16 April 2020 was statistically different, showing higher values compared to the distribution from 01 January to 16 March 2020 (Table 4). However, the distribution of O<sub>3</sub> from 17 March to 16 May 2020 was statistically equal, showing similar levels to the distribution from 01 January to 16 March 2020.

The seasonal behavior of the maximum 8-h mean O<sub>3</sub> in Cuenca shows a decrease during April and May, with the lowest concentrations during June and July (Figure 8). After this, O<sub>3</sub> increases, typically reaching the highest values during September. Therefore, the O<sub>3</sub> decrease during the second month of the lockdown relates to its seasonal variation. Figure 8 shows that the O<sub>3</sub> levels during the COVID-19 lockdown were higher than the concentrations from previous years (2015 to 2019).

Figure 8 shows the mean profile (maximum 8-h mean) of O<sub>3</sub> concentrations deduced from the records of the period 2015 to 2019 and the concentrations from 2020. The profile from 2020 shows, in general, higher concentrations compared to the mean of the previous years. From 01 January to 16 March, the O<sub>3</sub> concentrations from 2020 were 10.0 μg m<sup>-3</sup> (median) higher than the mean profile from previous years. During the lockdown (17 March to 16 May 2020), this difference increased to 13.9 μg m<sup>-3</sup> (median), indicating a net increase of 3.9 μg m<sup>-3</sup>, which is consistent with the increase (3.5 μg m<sup>-3</sup>, median) obtained by modeling when assessing the air quality effects of moving from DB to EB.

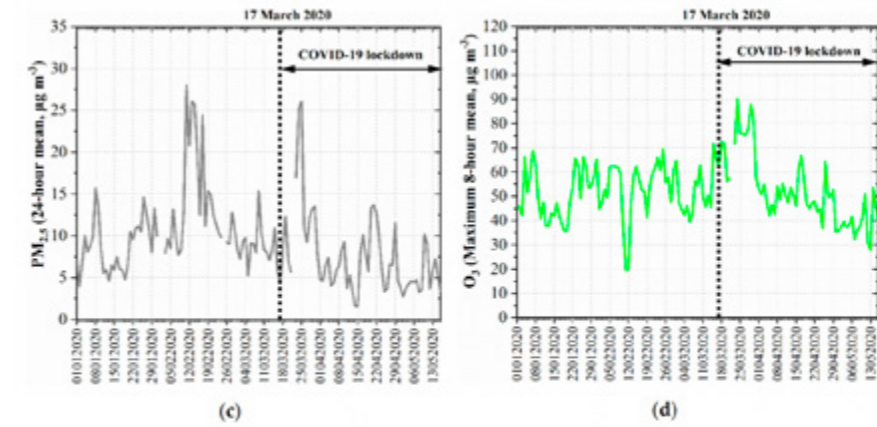
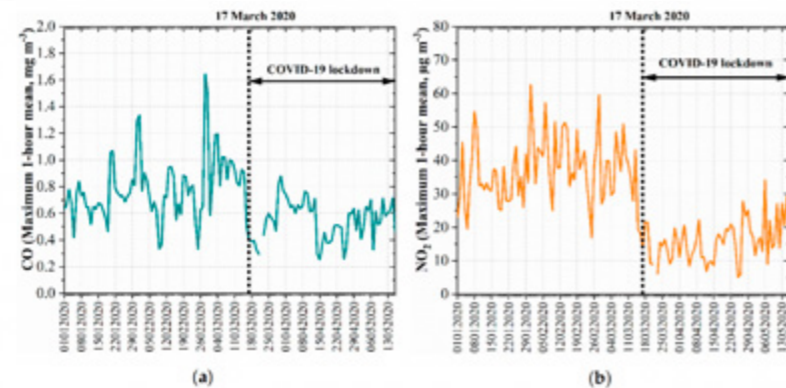
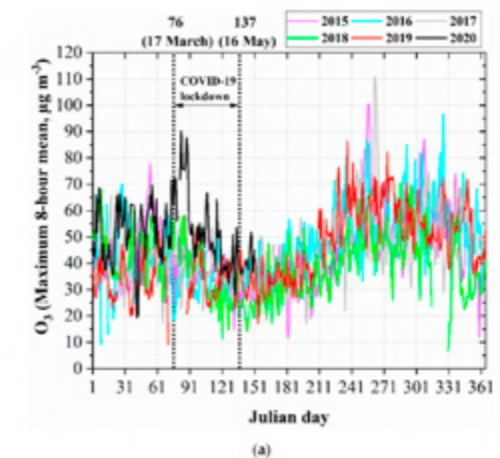


Figure 7. Air quality in Cuenca from 01 January to 16 May 2020. (a) Maximum 8-h mean CO. (b) Maximum 1-h mean NO<sub>2</sub>. (c) 24-h mean PM<sub>2.5</sub>. (d) Maximum 8-h mean O<sub>3</sub>.

Table 5. Wilcoxon tests of short-term air quality records from 2020. Distributions of records were statistically equal if  $p > 0.05$  (green background). Distributions of records were statistically different if  $p < 0.05$  (gray background).

Compared Periods		Maximum 8-h Mean CO	Maximum 1-h Mean NO <sub>2</sub>	24-h Mean PM <sub>2.5</sub>	Maximum 8-h Mean O <sub>3</sub>
3-6		Probability $p$			
01 January to 16 March	17 March to 16 April	0.004	$1.9 \times 10^{-9}$	0.516	0.004
1-6 01 January to 16 March	17 March to 16 May	$7.1 \times 10^{-4}$	$3.5 \times 10^{-18}$	$8.7 \times 10^{-4}$	0.824





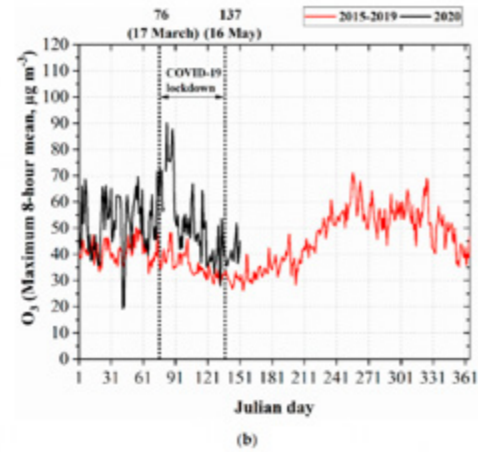


Figure 8. (a) Maximum 8-h mean O<sub>3</sub> from 2015 to 2020. (b) Mean maximum 8-h O<sub>3</sub> from 2015 to 2019 and maximum 8-h O<sub>3</sub> from 2020. Urban area (MUN station) of Cuenca.

Figure 9 compares the records from the lockdown to previous years. The median values of CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and O<sub>3</sub> from 2015 to 2019 varied between 0.74 and 1.24 mg m<sup>-3</sup>, 22.9 and 37.0 µg m<sup>-3</sup>, 4.2 and 9.4 µg m<sup>-3</sup>, and 32.4 and 37.3 µg m<sup>-3</sup>, respectively. During the COVID-19 lockdown, the medians of CO and NO<sub>2</sub> dropped to 0.57 mg m<sup>-3</sup> and 15.3 µg m<sup>-3</sup>, respectively. The PM<sub>2.5</sub> during 2020 was 6.2 µg m<sup>-3</sup>, so it was higher than the value from 2015. However, O<sub>3</sub> during 2020 increased to 49.8 µg m<sup>-3</sup>.

The distributions of CO and NO<sub>2</sub> during the lockdown period from 2020 were statistically different, showing lower concentrations compared to the distributions of the same period from 2015 to 2019 (Table 6). Similarly, the distribution of O<sub>3</sub> was statistically different, showing higher levels compared to the previous years. The distribution of PM<sub>2.5</sub> during the lockdown period from 2020 was statistically equal, only showing similar concentrations to 2016.

The low PM<sub>2.5</sub> median from 2015 (4.2 µg m<sup>-3</sup>) can be associated with the reduction in traffic—especially buses—in the historic center, due to activities of the construction of the electric tram. This project’s construction activities caused the closing of streets and changes in the routes of buses and limited the use of particular vehicles [28]. The operation of this project will produce changes in the public transportation system of Cuenca. At the time of writing this manuscript, the tram was being tested, and it will officially start working during the upcoming weeks.

The decrease in CO, NO<sub>2</sub>, and PM<sub>2.5</sub> from 17 March to 16 May 2020, compared to previous weeks (01 January to 16 March 2020), was consistent with the decrease of these pollutants compared to previous years (2015 to 2019). Although other activities, such as some industries, probably reduced their activities, these changes can be associated, to a high degree, with reductions in on-road traffic. During the restriction, all types of vehicles reduced their activity. Buses did not work, and, therefore, there were essential reductions in NO<sub>2</sub> and PM<sub>2.5</sub>.

On the other hand, the increase in O<sub>3</sub> concentrations is consistent with the hypotheses behind the WE [50]. Among them, the results suggested that the following could have a leading role:

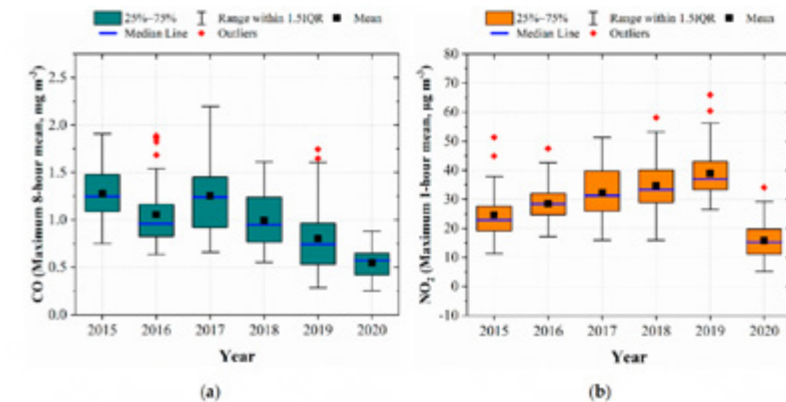
- There is a VOC-limited regime, with a VOC/NO<sub>x</sub> ratio lower than 8. Under this regime, VOC limits O<sub>3</sub> production, and NO<sub>x</sub> reduction promotes O<sub>3</sub> production, and;
- Less O<sub>3</sub> is titrated because NO<sub>x</sub> emissions are lower compared to weekdays.

Other mechanisms, such as the reduction in soot, can contribute to higher O<sub>3</sub> concentrations. More studies are required to define the participation of these and other hypotheses behind the WE in Cuenca.

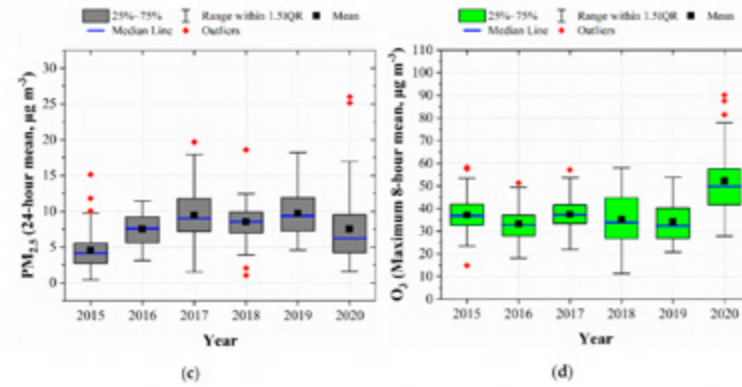
Figure 10 shows the mean profiles of global solar radiation from 2017 to 2020 (MUN station), corresponding to the period 17 March to 16 May. These profiles indicate the mean levels of solar radiation from 9:00 to 16:00, representing the hours when O<sub>3</sub> concentrations are typically higher. The profile of 2020 did not show higher values compared to previous years. The corresponding Wilcoxon tests indicated that the distributions of global radiation records from 2020 were statistically equal compared to the previous three years. These results indicate that the increase in O<sub>3</sub> concentrations during 2020 is not related to higher solar radiation levels. Apart from changes in the emissions of precursors, another factor potentially involved is the long-range transport of O<sub>3</sub>. From 1 January to 16 May of 2020, Terra and Aqua satellites [51] identified forest fires, mainly in Colombia and Venezuela, toward the northeast of Ecuador. In addition, forest fires were mostly identified in the north of Peru and the center of Brazil. At the latitude of Cuenca, forest fires were less abundant and mainly at the center and west of South America. Although the influence of forest fires is outside the scope of this study, their occurrence from 1 January to 16 May suggests their emissions were not the leading cause of O<sub>3</sub> increases during the COVID-19 lockdown.

The effects of the COVID-19 lockdown and modeled results presented in this contribution provide an early reference for the potential changes in the air quality of Cuenca during the next few years.

Although we focused our analyses on Cuenca, our results can act as a preliminary reference for other medium-large Ecuadorian cities, which share similar features with regards to their vehicular fleets and emission contributions [1,2].



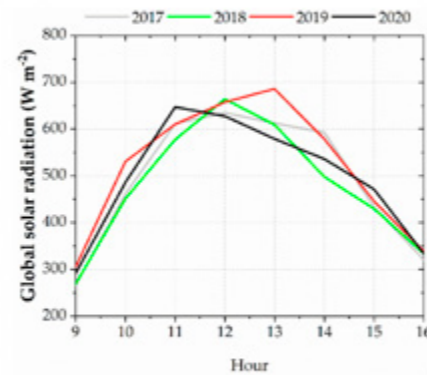




**Figure 9.** Air quality in Cuenca (MUN station) from 17 March to 16 May from 2015 to 2020. (a) Maximum 8-h mean CO. (b) Maximum 1-h mean NO<sub>2</sub>. (c) 24-h mean PM<sub>2.5</sub>. (d) Maximum 8-h mean O<sub>3</sub>.

**Table 6.** Wilcoxon tests of short-term air quality and global solar radiation records from 17 March to 16 May. Distributions of records were statistically equal if  $p > 0.05$  (green background). Distributions of records were statistically different if  $p < 0.05$  (gray background).

Compared Periods		Maximum 8-h Mean CO	Maximum 1-h Mean NO <sub>2</sub>	24-h Mean PM <sub>2.5</sub>	Maximum 8-h Mean O <sub>3</sub>	Global Solar Radiation
1-7 2019	2020	$6.1 \times 10^{-15}$	$1.7 \times 10^{-18}$	$2.2 \times 10^{-4}$	$1.2 \times 10^{-7}$	0.108
1-7 2018	2020	$7.2 \times 10^{-16}$	$1.1 \times 10^{-15}$	0.04	$2.1 \times 10^{-15}$	0.181
1-7 2017	2020	$8.7 \times 10^{-18}$	$5.6 \times 10^{-15}$	0.007	$1.8 \times 10^{-10}$	0.660
1-7 2016	2020	$1.7 \times 10^{-8}$	$2.0 \times 10^{-14}$	0.503	$7.5 \times 10^{-15}$	
1-7 2015	2020	$8.7 \times 10^{-18}$	$2.7 \times 10^{-9}$	$3.1 \times 10^{-5}$	$8.6 \times 10^{-15}$	



**Figure 10.** Mean profiles of global solar radiation from 2017 to 2020 in the urban area (MUN station) of Cuenca. Period 17 March to 16 May.

**4. Conclusions and Summary**

Based on records from seven years (2013 to 2019), we confirmed the presence of the WE in the urban area of Cuenca, where on-road traffic is the most relevant air pollutant source. The VOC-limited regime for O<sub>3</sub> production explains, at least in part, the mean increase in O<sub>3</sub> concentrations during weekends, despite the decreased emissions of NO<sub>x</sub> and VOC, in comparison to weekdays. This regime is behind a counterintuitive variation of O<sub>3</sub> owing to the variation of NO<sub>x</sub> emissions: The increase in NO<sub>x</sub> emissions decreases O<sub>3</sub> concentrations, and the decrease in NO<sub>x</sub> emissions increases the O<sub>3</sub> levels.

Our preliminary assessment, based on the assumption that all diesel buses will be replaced by electric buses, implies the elimination of 1861.2 t y<sup>-1</sup> of NO<sub>x</sub> and 81.7 t y<sup>-1</sup> of PM<sub>2.5</sub> exhaust emissions (Table 2). The modeled results indicated decreases in NO<sub>2</sub> and PM<sub>2.5</sub> but increases in O<sub>3</sub> concentrations. The direction of these changes was consistent with the VOC-limited regime presented in Cuenca.

The effects of the limitation of activities during the COVID-19 lockdown also showed consistent variations (NO<sub>2</sub> decrease and O<sub>3</sub> increase) in comparison to the VOC-limited regime for O<sub>3</sub> production.

There was consistency between the WE, the effects on air quality during the COVID-19 lockdown, and the modeled results owing to the future shift in the public transportation system of Cuenca. This consistency supports the modeling approach used in this contribution for assessing future air quality scenarios, owing to changes in the emission inventories. The same approach can be used to assess the effects of reductions in other emission sources, such as old gasoline cars (high NMVOC emissions). Moreover, the modeled results and their consistency with the WE and the effects of the COVID-19 lockdown support the validity of the emission inventory from 2014, which, although not a recent one, is a useful component for modeling purposes. Future emissions inventories should follow the same approach used when building the emission inventory from 2014.

Our findings suggest that VOC emission controls should accompany a future reduction in NO<sub>x</sub> emissions to avoid an increase in O<sub>3</sub> levels in the urban area of Cuenca. In the future, the RTV should incorporate both NO<sub>x</sub> and VOC emission controls to verify the proper condition of exhaust catalysts for gasoline cars. Furthermore, the RTV should incorporate NO<sub>x</sub> and PM<sub>2.5</sub> controls for diesel vehicles.

The operation of the electric tram system will produce changes in the transportation system of Cuenca. Emissions from buses will be redistributed, alleviating their magnitude in the historic center. The effects of the COVID-19 lockdown and modeled results presented in this contribution provide an early reference for the potential changes in the air quality of Cuenca during the upcoming years, due to the recent operability of the electric tram and the future shift from diesel to electric buses in Cuenca.

**Supplementary Materials:** The following are available online at <http://www.mdpi.com/2073-4433/11/9/998/s1>, Movies of the hourly modeled maps of NO<sub>2</sub> (12-Sep-2014\_NO2\_DB, 12-Sep-2014\_NO2\_EB) and O<sub>3</sub> (12-Sep-2014\_O3\_DB, 12-Sep-2014\_O3\_EB) from 12-Sep-2014.

**Author Contributions:** Conceptualization, methodology, modeling, validation, formal analysis, and writing—review and editing, R.P.; passive monitoring, laboratory analysis, data processing, and curation, C.E. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Acknowledgments:** This research is part of the project “Emisiones y Contaminación Atmosférica en el Ecuador 2020-2021”. Simulations were done on the High-Performance Computing system at the USFQ.

**Funding:** This research received no external funding.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.



## References

- Ministerio del Ambiente. *Inventario de Emisiones de contaminantes del aire para los cantones Esmeraldas, Ibarra, Santo Domingo, Manta, Portoviejo, Milagro, Riobamba, Ambato y Latacunga, Año Base 2010*; Ministerio del Ambiente: Quito, Ecuador, 2012.
- Ministerio del Ambiente. *Inventario de Emisiones de contaminantes del aire para los cantones Loja, Azogues, Babahoyo y Quevedo, Año Base: 2010*; Ministerio del Ambiente: Quito, Ecuador, 2013.
- Molina, M.; Molina, L. Megacities and Atmospheric Pollution. Critical review. *J. Air Waste Manag. Assoc.* **2004**, *54*, 644–680. [CrossRef] [PubMed]
- EMOV EP. *Inventario de Emisiones Atmosféricas del Cantón Cuenca 2014*; Empresa Pública de Movilidad: Tránsito y Transporte, Cuenca, Ecuador, 2016; 86p.
- Lloyd, A.C.; Cackette, T.A. Diesel engines: Environmental impact and control. *J. Air Waste Manag. Assoc.* **2001**, *51*, 809–847. [CrossRef] [PubMed]
- Jacobson, M.Z. *Atmospheric Pollution History, Science and Regulation*; University Press: Cambridge, UK, 2002; p. 399.
- Biswas, P.; Wu, C.Y. Nanoparticles and the environment. *J. Air Waste Manag. Assoc.* **2005**, *55*, 708–746. [CrossRef] [PubMed]
- Finlayson, B.J.; Pitts, J., Jr. Tropospheric air pollution: Ozone, airborne toxics, polycyclic aromatic hydrocarbons, and particles. *Science* **1997**, *276*, 1046–1051. [CrossRef] [PubMed]
- WHO. *Air Quality Guidelines for Europe, Second Edition. World Health Organization Regional Publications, European Series*; WHO: Geneva, Switzerland, 2000; No. 91.
- Phalen, R. *Introduction to Air Pollution Science—A Public Health Perspective, Science and Regulation*; Jones & Bartlett Learning: Burlington, LA, USA, 2013; p. 331.
- WHO. *WHO Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide. Global update 2005. Summary of Risk Assessment*; WHO: Geneva, Switzerland, 2006.
- IARC. International Agency for Research on Cancer. Available online: <https://publications.iarc.fr/538> (accessed on 13 August 2020).
- Loomis, D.; Grosse, Y.; Lauby-Secretan, B.; El Ghissassi, F.; Bouvard, V.; Benbrahim-Tallaa, L.; Guha, N.; Baan, R.; Mattock, H.; Straif, K. The carcinogenicity of outdoor air pollution. *Lancet Oncol.* **2013**, *14*, 1262–1263. [CrossRef]
- Calderón-Garcidueñas, L.; González-Maciel, A.; Reynoso-Robles, R.; Delgado-Chávez, R.; Mukherjee, P.S.; Kulesza, R.J.; Torres-Jardón, R.; Ávila-Ramírez, J.; Villarreal-Ríos, R. Hallmarks of Alzheimer disease are evolving relentlessly in Metropolitan Mexico City infants, children and young adults. APOE4 carriers have higher suicide risk and higher odds of reaching NFT stage V at  $\leq 40$  years of age. *Environ. Res.* **2018**, *164*, 475–487. [CrossRef]
- Cacciottolo, M.; Wang, X.; Driscoll, I.; Woodward, N.; Saffari, A.; Reyes, J.; Serre, M.L.; Vizuete, W.; Sioutas, C.; E Morgan, T.; et al. Particulate air pollutants, APOE alleles and their contributions to cognitive impairment in older women and to amyloidogenesis in experimental models. *Transl. Psychiatry* **2017**, *7*, e1022. [CrossRef]
- Austin, W.; Heutel, G.; Kreisman, D. School bus emissions, student health and academic performance. *Econ. Educ. Rev.* **2019**, *70*, 109–126. [CrossRef]
- Peeples, L. News Feature: How air pollution threatens brain health. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2020**, *117*, 13856–13860. [CrossRef]
- Parra, R. Performance studies of planetary boundary layer schemes in wrf-chem for the andean region of southern Ecuador. *Atmos. Pollut. Res.* **2018**, *9*, 411–528. [CrossRef]
- Baklanov, A.; Schlünzen, K.; Suppan, P.; Baldasano, J.; Brunner, D.; Aksoyoglu, S.; Carmichael, G.; Douros, J.; Flemming, J.; Forkel, R.; et al. Online coupled regional meteorology chemistry models in Europe: Current status and prospects. *Atmos. Chem. Phys.* **2014**, *14*, 317–398. [CrossRef]
- EMOV EP. *Informe de calidad del aire Cuenca 2019. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador*; EMOV EP: Cuenca, Ecuador, 2020; 114p.
- EMOV EP. *Informe de calidad del aire Cuenca 2013. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador*; EMOV EP: Cuenca, Ecuador, 2014; 100p.
- EMOV EP. *Informe de calidad del aire Cuenca 2014. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador*; EMOV EP: Cuenca, Ecuador, 2015; 97p.
- EMOV EP. *Informe de calidad del aire Cuenca 2015. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador*; EMOV EP: Cuenca, Ecuador, 2016; 120p.
- EMOV EP. *Informe de calidad del aire Cuenca 2016. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador*; EMOV EP: Cuenca, Ecuador, 2017; 103p.
- EMOV EP. *Informe de calidad del aire Cuenca 2017. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador*; EMOV EP: Cuenca, Ecuador, 2018; 121p.
- EMOV EP. *Informe de calidad del aire Cuenca 2018. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador*; EMOV EP: Cuenca, Ecuador, 2019; 107p.
- Parra, R. Efecto Fin de Semana en la Calidad del Aire de la Ciudad de Cuenca, Ecuador. *ACI At. Cienc. Ing.* **2017**, *9*, 104–111. [CrossRef]
- Rumé, S. Reflexiones antropológicas sobre la difícil ejecución del proyecto tranvía en Cuenca. *Revista Interuniversitaria de Estudios Urbanos de Ecuador* **2018**, *4*, 25–34.
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. Available online: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/Ley-Eficiencia-Energe%CC%81tica.pdf> (accessed on 13 June 2020).
- Nakada, L.Y.; Urban, R.C. COVID-19 pandemic: Impacts on the air quality during the partial. *Sci. Total Environ.* **2020**, *730*, 1–5. [CrossRef] [PubMed]
- Jia, C.; Fu, X.; Bartelli, D.; Smith, L. Insignificant impact of the “Stay-At-Home” order on ambient air quality in the Memphis metropolitan area, U.S.A. *Atmosphere* **2020**, *11*, 630. [CrossRef]
- Sicard, P.; De Marco, A.; Agathokleous, E.; Feng, Z.; Xu, X.; Paoletti, E.; Diéguez, J.J.; Calatayud, V. Amplified ozone pollution in cities during the COVID-19 lockdown. *Sci. Total Environ.* **2020**, *735*, 1–10. [CrossRef]
- Otmani, A.; Benchrif, A.; Tahri, M.; Bounakhla, M.; Chakir, E.M.; Bouch, M.E.; Krombi, M. Impact of Covid-19 lockdown on PM10, SO2 and NO2 concentrations in Salé City (Morocco). *Sci. Total Environ.* **2020**, *735*, 1–5. [CrossRef]
- Presidencia de la República del Ecuador. Consultas de Decretos. 2020. Available online: [https://minka.presidencia.gob.ec/portal/usuarios\\_externos.jsf](https://minka.presidencia.gob.ec/portal/usuarios_externos.jsf) (accessed on 13 June 2020).
- El Mercurio. Hay Nuevas Reglas Para Circulación en Cuenca. Available online: <https://ww2.elmercurio.com.ec/2020/05/31/hay-nuevas-reglas-para-circulacion-en-cuenca/> (accessed on 13 June 2020).
- Seguel, R.; Morales, S.; Leiva, M. Ozone weekend effect in Santiago, Chile. *Environ. Pollut.* **2012**, *162*, 72–79. [CrossRef]
- Parra, R.; Franco, E. Identifying the Ozone Weekend Effect in the air quality of the northern Andean region of Ecuador. *Wit Trans. Ecol. Environ.* **2016**, *207*, 169–180.
- WRF. Weather Research and Forecasting Model. Available online: <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model> (accessed on 13 June 2020).
- NCEP. NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, Continuing from July 1999. Available online: <https://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/> (accessed on 13 June 2020).
- Zaveri, R.; Peters, L. A new lumped structure photochemical mechanism for large-scale applications. *J. Geophys. Res.* **1999**, *104*, 387–415. [CrossRef]
- Zaveri, R.; Easter, R.; Fast, J.; Peters, L. Model for simulating aerosol interactions and chemistry (MOSAIC). *J. Geophys. Res.* **2008**, *113*, 1–29. [CrossRef]
- Skamarock, W.; Klemp, J.; Dudhia, J.; Barker, D.; Duda, M.; Huang, X.; Wang, W.; Powers, J. *A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR/TN-475+STR. NCAR Technical Note. Mesoscale and Microscale Meteorology Division*; National Center for Atmospheric Research: Boulder, CO, USA, 2008.



43. Minet, L.; Chowdhury, T.; Wang, A.; Gai, Y.; Daniel Posen, I.; Roorda, M.; Hatzopoulou, M. Quantifying the air quality and health benefits of greening freight movements. *Environ. Res.* **2020**, *183*, 109193. [CrossRef]
44. Soret, A.; Guevara, M.; Baldasano, J.M. The potential impacts of electric vehicles on air quality in the urban areas of Barcelona and Madrid (Spain). *Atmos. Environ.* **2014**, *99*, 51–63. [CrossRef]
45. Nogueira, T.; Dominutti, P.A.; Vieira-Filho, M.; Fornaro, A.; Andrade, M.F. Evaluating Atmospheric Pollutants from Urban Buses under Real-World Conditions: Implications of the Main Public Transport Mode in São Paulo, Brazil. *Atmosphere* **2019**, *10*, 108. [CrossRef]
46. Varga, B.O.; Mariasiu, F.; Miclea, C.D.; Szabo, I.; Sirca, A.A.; Nicolae, V. Direct and Indirect Environmental Aspects of an Electric Bus Fleet Under Service. *Energies* **2020**, *13*, 336. [CrossRef]
47. Parra, R. Contribution of Non-renewable Sources for Limiting the Electrical CO<sub>2</sub> emission factor in Ecuador. *WIT Trans. Ecol. Environ.* **2020**, *244*, 65–77.
48. Bernard, B.; Battaglia, J.; Proaño, A.; Hidalgo, S.; Vásconez, F.; Hernandez, S.; Ruiz, M. Relationship between volcanic ash fallouts and seismic tremor: Quantitative assessment of the 2015 eruptive period at Cotopaxi volcano, Ecuador. *Bull. Volcanol.* **2016**, *78*, 80. [CrossRef]
49. El Mercurio. Cenizas del Volcán Sangay Cayeron Sobre Cuenca de Forma Leve. Available online: <https://ww2.elmercurio.com.ec/2020/03/25/cenizas-del-volcan-sangay-caen-sobre-cuenca-de-forma-leve/> (accessed on 17 June 2020).
50. CARB. The ozone weekend effect in California. In *Staff Report, the Planning and Technical Support Division, the Research Division, Air Resources Board, California Environmental Protection Agency*; CARB: Sacramento, CA, USA, 2003.
51. Worldview. Available online: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> (accessed on 9 September 2020).



© 2020 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

