

INFORME
DE LA
CALIDAD
CUENCA 2022

Aire



ALCALDÍA DE
CUENCA

EMOV

#Amor
x CUENCA

Cristian Zamora Matute

ALCALDE DE CUENCA

Darío Ordóñez Aray

GERENTE GENERAL DE EMOV EP

Edwin Paúl Feijoo Criollo

GERENTE TÉCNICO DE MOVILIDAD

Muestreo, Análisis, Adquisición de datos y Control de Calidad

Claudia Espinoza Molina

Cristian Caguana Romero

Emilio Heredia Rivadeneira

El informe de Calidad del Aire de Cuenca 2022 fue elaborado por

Claudia Espinoza Molina

Cristian Caguana Romero

Emilio Heredia Rivadeneira

Contribuyo en la elaboración, revisión del informe final

René Parra Narváez

Se solicita citar este documento de la siguiente manera

ALCALDIA DE CUENCA

RED DE MONITOREO DE LA EMOV EP

Informe de la Calidad del Aire 2022

Cuenca 2023.

INFORME
DE LA
CALIDAD
CUENCA 2022

Aire

#Amor
x CUENCA



ALCALDÍA DE
CUENCA

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	15
ANTECEDENTES.....	16
CONTAMINANTES DELAIREYSUSEFECTOS EN LA SALUD.....	17
Dióxido de nitrógeno. NO ₂	17
El material particulado.....	18
Dióxido de azufre (SO ₂).....	19
Monóxido de carbono (CO).....	19
Compuestos orgánicos volátiles (COV).....	20
Ozono troposférico (O ₃).....	21
DESCRIPCIÓN DE LA RED DE MONITOREO.....	22
Microsensores.....	28
Objetivos.....	29
Representatividad de datos.....	30
Estación automática de calidad del aire.....	30
Subredes activa, pasiva y depósito.....	30
Registros de Meteorología.....	31
LA CALIDAD DELAIRE EN LA CIUDAD DE CUENCA.....	33
Norma de Calidad del Aire Ambiente (NCAA).....	35
ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE DEL AÑO 2022.....	37
REGISTROS DE LA SUBRED DE DEPÓSITO. PARTÍCULAS SEDIMENTABLES (PS).....	37
REGISTROS DE LA RED ACTIVA. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS (MP ₁₀).....	40
Exposición a largo plazo.....	40
Exposición a corto plazo.....	40
REGISTROS DE LOS SENSORES AUTOMÁTICOS DE MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2.5 MICRAS (MP _{2.5}).....	41
Exposición a corto plazo.....	41
Exposición a largo plazo.....	42
REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA MONÓXIDO DE CARBONO (CO).....	43

ÍNDICE

REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA DIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂).....	45
Exposición a corto plazo.....	45
Exposición a largo plazo.....	47
REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO ₂).....	48
Exposición a corto plazo.....	48
Exposición a largo plazo.....	48
REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA. OZONO (O ₃).....	51
REGISTROS DE LA SUBRED PASIVA. OZONO (O ₃).....	52
TENDENCIAS DE LAS CONCENTRACIONES MEDIAS ANUALES.....	54
CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGÍA.....	57
CONCLUSIONES.....	61
REFERENCIAS.....	63
ANEXO A. REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA MUN.....	65
ANEXO B. REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA CCA.....	73
ANEXO C. REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA EIE.....	75
ANEXO D. REGISTROS DE LAS SUBREDES ACTIVA, PASIVA Y DE DEPÓSITO.....	79
ANEXO E. REGISTROS METEOROLÓGICOS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA MUN. AÑO 2022.....	86
ANEXO F. REGISTROS METEOROLÓGICOS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA EIE. AÑO 2022.....	90
ANEXO G. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN METEOROLÓGICA PARA EL AÑO 2022 GENERADOS MEDIANTE EL MODELO WEATHER RESEARCH FORECASTING (WRF) VERSIÓN 3.7.1, PARA EL CANTÓN CUENCA.....	92
ANEXO H. REGISTROS HORARIOS DE LAS ESTACIONES CON MICROSENSORES DURANTE EL AÑO 2022.....	103
ANEXO I. SIMULACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE MATERIAL PARTICULADO FINO (PM_{2.5}) DURANTE LAS PRIMERAS HORAS DEL AÑO 2022 EN CUENCA: EL EFECTO DE ADELANTAR LAS ACTIVIDADES DE COMBUSTIÓN.....	107
ANEXO J. ARTÍCULO: SIMULATING PM_{2.5} CONCENTRATIONS DURING NEW YEAR IN CUENCA, ECUADOR: EFFECTS OF ADVANCING THE TIME OF BURNING ACTIVITIES.....	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Código, dirección y contaminantes de las estaciones de monitoreo.....	25
Tabla 2: Métodos de medición y sensores de la estación automática MUN.....	27
Tabla 3: Métodos de medición y sensor de la estación automática CCA.....	27
Tabla 4: Métodos de medición y sensores de la estación automática EIE.....	28
Tabla 5: Métodos de medición y características de las estaciones que disponen de microsensores.....	29
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 2022.....	30
Tabla 7: Número de vehículos que aprobaron la Revisión Técnica Vehicular en el Cantón Cuenca durante el periodo 2008 – 2022.....	34
Tabla 8: Resumen de la Norma de Calidad del Aire Ambiente vigente desde el 4 de abril de 2011. Contaminantes convencionales.....	35
Tabla 9: Resumen de la Norma de Calidad del Aire Ambiente vigente desde el 4 de abril de 2011. Contaminantes no convencionales.....	36
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).....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

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 2022.....	24
Figura 2: Estación automática de calidad del aire y meteorología localizada en la estación MUN.....	26
Figura 3: Dispositivos empleados en el muestreo pasivo de contaminantes gaseosos.....	26
Figura 4: Detalle del dispositivo de muestreo pasivo.....	26
Figura 4.1: Estaciones de calidad del aire que cuentan con microsensores.....	28
Figura 5: Partículas sedimentables. Promedio mensual por estación (mg/cm^2 durante 30 días). Año 2022.....	37
Figura 6: Concentraciones medias anuales de partículas sedimentables (mg/cm^2 durante 30 días). Año 2022.....	38
Figura 7: Distribución espacial de la concentración media de partículas sedimentables para el año 2022 (mg/cm^2 durante 30 días).....	39
Figura 8: Promedio anual de las concentraciones de MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Año 2022.....	40
Figura 9: Concentraciones medias mensuales de MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Año 2022.....	40
Figura 10: Promedio durante 24 horas de las concentraciones de $\text{MP}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Año 2022. Estación MUN.....	41
Figura 11: Promedio durante 24 horas de las concentraciones de $\text{MP}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Año 2021. Estación CCA.....	42
Figura 12: Promedio máximo horario de las concentraciones de CO (mg/m^3). Año 2022. Estación MUN.....	43
Figura 13: Promedio máximo horario de las concentraciones de CO (mg/m^3). Año 2022. Estación EIE.....	43
Figura 14: Promedio máximo octohorario de las concentraciones de CO (mg/m^3). Año 2022. Estación MUN.....	44
Figura 15: Promedio máximo octohorario de las concentraciones de CO (mg/m^3). Año 2022. Estación EIE.....	44
Figura 16: Promedio durante 10 min de las concentraciones de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Enero – junio de 2022. Estación MUN.....	45
Figura 17: Promedio durante 10 min de las concentraciones de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	45
Figura 18: Promedio durante 10 min de las concentraciones de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Enero – junio de 2022. Estación EIE.....	46
Figura 19: Promedio durante 10 min de las concentraciones de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	46
Figura 20: Promedio durante 24 horas de las concentraciones de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Año 2022. Estación MUN.....	47
Figura 21: Promedio durante 24 horas de las concentraciones de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Año 2022. Estación EIE.....	47
Figura 22: Promedio máximo horario de las concentraciones de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Año 2022. Estación MUN.....	48
Figura 23: Dióxido de nitrógeno. Promedio anual por estación ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Año 2022.....	49
Figura 24: Concentraciones medias mensuales de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Año 2022.....	50
Figura 25: Distribución espacial de la concentración media de NO_2 para el año 2022 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 26: Promedio octohorario máximo por día de las concentraciones de O_3 ($\mu g/m^3$). Año 2022. Estación MUN.....	51
Figura 27: Ozono. Promedio anual por estación ($\mu g/m^3$). Año 2022.....	52
Figura 28: Concentraciones medias mensuales de O_3 ($\mu g/m^3$). Año 2022.....	53
Figura 29: Distribución espacial de la concentración media de O_3 para el año 2022 ($\mu g/m^3$).....	53
Figura 30: Concentraciones medias anuales de material particulado (MP_{10}) del periodo 2008 - 2022 ($\mu g/m^3$).....	54
Figura 31: Concentraciones medias anuales de material particulado ($MP_{2.5}$) del periodo 2012 - 2022 ($\mu g/m^3$). Estación MUN.....	54
Figura 32: Concentraciones medias anuales de partículas sedimentables (PS) del periodo 2014 - 2022 (mg/cm^2 durante 30 días).....	55
Figura 33: Concentraciones medias anuales de dióxido de nitrógeno (NO_2) del periodo 2014 - 2022 ($\mu g/m^3$).....	55
Figura 34: Concentraciones medias anuales de ozono (O_3) del periodo 2014 - 2022 ($\mu g/m^3$).....	56
Figura 35: Concentración de O_3 ($\mu g/m^3$) y radiación solar global (W/m^2) horarias para los días 15 hasta 19 de febrero de 2022. Estación MUN.....	57
Figura 36: Concentración de NO_2 ($\mu g/m^3$) y radiación solar global (W/m^2) horarias para los días 15 hasta 19 de febrero de 2022. Estación MUN.....	58
Figura 37: Concentración de $MP_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) y temperatura ($^{\circ}C$) horarias para los días 15 hasta 19 de febrero de 2022. Estación MUN.....	58
Figura 38: Temperatura ($^{\circ}C$) y radiación solar global (W/m^2) horarias para los días 15 hasta 19 de febrero de 2022. Estación MUN.....	59
Figura 39: Temperatura ($^{\circ}C$) y humedad relativa (%) horarias para los días 15 hasta 19 de febrero de 2022. Estación MUN.....	59
Figura 40: Velocidad del viento (m/s) y temperatura ($^{\circ}C$) horarias para los días 15 hasta 19 de febrero de 2022. Estación MUN.....	60



¡Cuenca, amor por el medio ambiente! Al asumir el liderazgo de la Corporación Municipal, nos hemos trazado diversas metas que, a través de logros concretos, beneficiarán a las familias cuencanas. Nuestro plan de trabajo gira en torno a dos ejes fundamentales: el cuidado del entorno y la seguridad de nuestro querido cantón. Cada dirección, fundación, empresa o entidad vinculada a la Alcaldía de Cuenca cumple con estos aspectos.

Junto con la Empresa de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV EP), trabajaremos incansablemente para mantener y mejorar las acciones tomadas por sus departamentos, en pro del bienestar de nuestra salud, el tesoro más preciado que tenemos como seres humanos. En esta línea, llevaremos a cabo diversas labores, como campañas de concienciación, fomento de la movilidad no motorizada, mejoras en los procedimientos de la Revisión Técnica Vehicular (RTV) y el Monitoreo de la Calidad del Aire.

El resultado de nuestros esfuerzos en el monitoreo del aire será importante, y no dejaremos de atender esta tarea para asegurar la calidad del aire que todos respiramos. Contar con un aire adecuado, monitoreado con estándares nacionales e internacionales, nos brinda la confianza de contribuir positivamente a la salud de nuestros ciudadanos.

Sin embargo, es crucial que tomemos conciencia y asumamos nuestra responsabilidad individual en este proceso. Cuenca es el reflejo de quienes somos, y gracias al cuidado diario, destacamos en múltiples áreas que nos convierten en un ejemplo local y nos posicionan como un destino atractivo a nivel mundial. Por todo esto y más, no claudicaremos en nuestro esfuerzo. Trabajaremos como un gran equipo, una gran familia, en colaboración con empresas públicas y privadas, con un objetivo claro: hacer de nuestra ciudad un modelo de buenas prácticas y amigable con el medio ambiente. Juntos demostramos amor por nuestros ciudadanos, por nuestros hijos, por nuestra tierra. Amor por Cuenca.

PH.D. Cristian Zamora
ALCALDE DE CUENCA





ALCALDÍA DE
CUENCA
2023 - 2027

MOV



Estamos en una nueva época en materia ambiental, donde preservar la calidad del aire que respiramos se ha convertido en una necesidad imperante para asegurar el futuro de las generaciones venideras. Es nuestro deber cuidar del medio ambiente y, en particular, de la pureza del aire para que nuestros hijos e hijas, los futuros ciudadanos de nuestro amado cantón, puedan disfrutar de su esplendor y vivir en una ciudad con protocolos y procedimientos que permitan una habitabilidad sostenible y respetuosa del entorno.

En ese sentido, la EMOV EP cuenta con una Red de Monitoreo de Calidad del Aire, la cual consta de 20 estaciones pasivas ubicadas en diferentes sectores de Cuenca, proporcionando información sobre la calidad del aire del cantón. Además, disponemos de tres estaciones automáticas que proveen datos en tiempo real sobre contaminantes y variables meteorológicas, con el propósito de contar con información veraz y oportuna para la toma de decisiones. Nuestro compromiso es garantizar un ambiente saludable como un derecho fundamental, y trabajamos con dedicación para el bienestar de los ciudadanos y su entorno.

El equipo de Monitoreo de Calidad del Aire trabaja rigiéndose por rigurosas normas y guías nacionales e internacionales, con el objetivo de brindar datos claros y confiables sobre la contaminación atmosférica a la ciudadanía. Por esta razón, nos complace presentar el Informe de Calidad del Aire correspondiente al año 2022 a la comunidad.

Nuestro compromiso en esta labor beneficia a toda la población que se mueve con seguridad, conscientes de que su aire está siendo constantemente monitoreado para salvaguardar la salud de los habitantes de Cuenca y de quienes nos visitan. El derecho a un medio ambiente sano está respaldado por instrumentos jurídicos tanto a nivel nacional como internacional, y como sociedad, es nuestra responsabilidad y deber contribuir a garantizar una vida con una mejor calidad del aire para las generaciones futuras.

Agradecemos profundamente a la empresa ETAPA por facilitarnos las instalaciones para el funcionamiento del laboratorio de la Red de Monitoreo, a la Universidad del Azuay por su apoyo incondicional, así como a las instituciones educativas Ignacio Escandón, Carlos Crespi, Héctor Sempértegui, Ignacio Andrade, Velasco Ibarra, Juan Montalvo, Herlinda Toral y Rafael Borja, y a la Red de Monitoreo Atmosférico de Quito de la Secretaría de Ambiente, por su colaboración en este proceso. Su respaldo ha sido fundamental para lograr nuestros objetivos.

Trabajando juntos, estamos comprometidos en cuidar nuestro entorno y asegurar un futuro más saludable y próspero para las próximas generaciones. Gracias por su atención y apoyo en esta importante misión.

Dr. Darío Alberto Ordóñez Aray
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 nuevos sensores de $MP_{2.5}$ y MP_1 , en las estaciones de El Cebollar, Terminal Terrestre y Condamine. La información registrada por las nuevas estaciones será incluida en el informe de calidad del aire del año 2022.

Los 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).



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.

CONTAMINANTES DEL AIRE Y SUS EFECTOS EN LA SALUD

DIÓXIDO DE NITRÓGENO. NO₂

El óxido nítrico (NO) es un gas incoloro que se genera por la combinación entre el nitrógeno (N₂) y el oxígeno (O₂) del aire, principalmente en los procesos de combustión; y en menor grado por la oxidación del nitrógeno de los combustibles. El dióxido de nitrógeno (NO₂), 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 NO₂. 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 (HNO₃), 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, NO_x y SO_2 . 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_{10}). Las emisiones de MP_{10} 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_{10} .

Se definen como partículas finas a aquellas con diámetro menor $2.5 \mu\text{m}$ ($\text{MP}_{2.5}$). 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 $\text{MP}_{2.5}$ forma parte del MP_{10} . El MP_{10} puede llegar hasta las vías respiratorias bajas, en tanto que el $\text{MP}_{2.5}$ puede penetrar hasta las zonas de intercambio de gases del pulmón. El $\text{MP}_{2.5}$ 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 (Peebles, 2020).

DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂)

El SO₂ es un gas incoloro, no inflamable y no explosivo que produce una sensación gustatoria a concentraciones entre 260 a 860 µg/m³. 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 (H₂SO₄), 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_3)

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_3 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_3 troposférico es un fuerte irritante que promueve el envejecimiento prematuro y la rigidez de los tejidos pulmonares. Según la OMS, las concentraciones horarias de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pueden irritar los ojos, nariz y garganta. La población más sensible corresponde a las personas que sufren asma, bronquitis crónica y enfisema. El O_3 afecta el normal desarrollo y crecimiento de plantas, y produce el deterioro de materiales como el caucho, colorantes textiles y pinturas.

El O_3 troposférico de origen antropogénico, es un contaminante secundario que se produce principalmente por las reacciones entre los NO_x y COV en presencia de radiación solar.

La distribución espacial y temporal del O_3 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_3 son complejos.

El O_3 reacciona con el óxido nitroso (NO). En el centro de las grandes ciudades, especialmente en las noches, puede haber menores concentraciones de O_3 , 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, SO₂, NO₂, O₃ y MP_{2.5}. 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_{2.5} (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_{2.5} 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 (NO₂) en muestras expuestas de 10 a 12 días consecutivos, dos veces por mes; de ozono (O₃) en muestras expuestas 10 a 12 días consecutivos, dos veces por mes; dióxido de azufre (SO₂), 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 (MP₁₀), conformada por 3 equipos semiautomáticos de alto volumen para la obtención de muestras durante 24 horas consecutivas de exposición; según lo establecido en la NCAA. El intervalo de 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; MP_{10} , $MP_{2.5}$ y MP_1 , CO , O_3 , NO_2 y SO_2 que están ubicados en los sectores de El Cebollar, Terminal Terrestre, Condamine, Juan Montalvo, Escuela Ignacio Escandon, 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_{10}), en la

alcaldía, y dos analizadores automáticos en la escuela Ignacio Escandon que miden CO y SO_2 , a tiempo real.

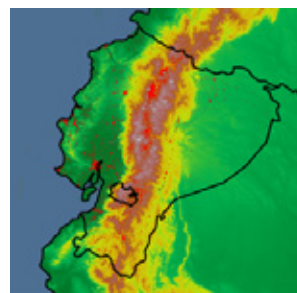
Las Tablas 2, 3 y 4 presentan los métodos de medición y sensores automáticos de las estaciones MUN, CCA y EIE.

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.

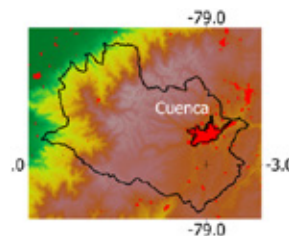
UBICACIÓN DEL CANTÓN CUENCA



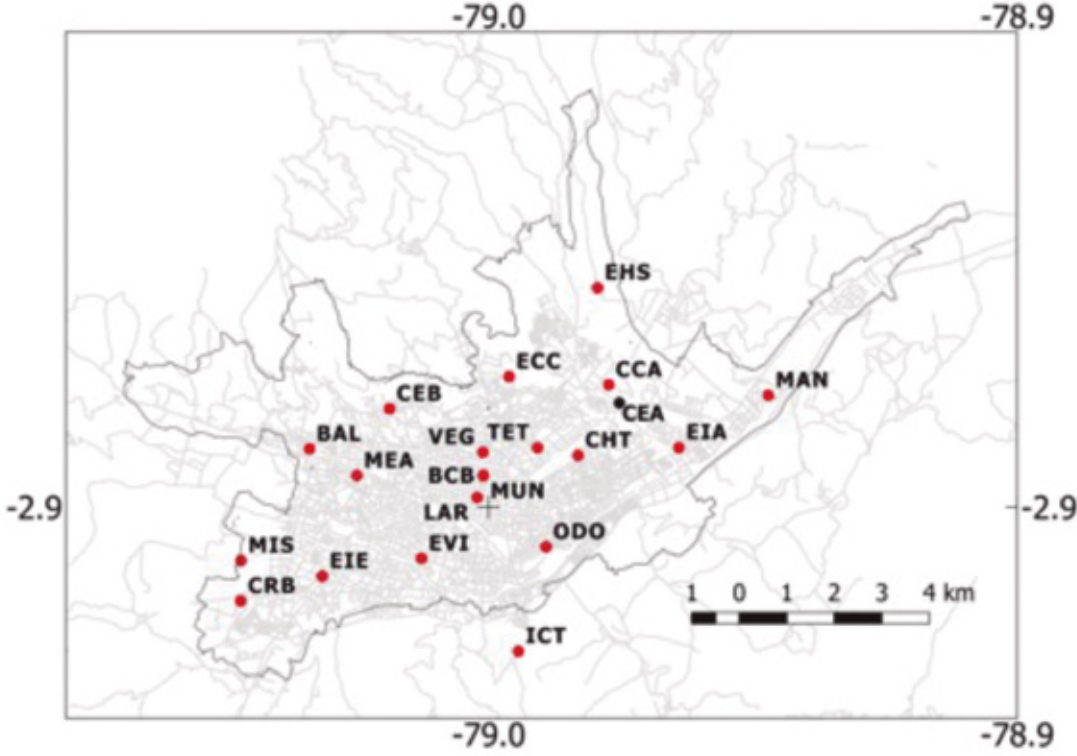
(a) Ubicación de Ecuador en Sudamérica



(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 2022

Código	Nombre	Ubicación	Contaminantes	Escala
MAN	Machángara	Jardines del Río y Calle Londres	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
EIA	Escuela Ignacio Andrade	Reino de Quito y Avenida González Suárez	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
EHS	Escuela Héctor Sempértegui	Camino a Ochoa León	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
CHT	Colegio Herlinda Toral	Altar Urco y Avenida Paseo de los Cañaris	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
TET	Terminal Terrestre	Avenidas Madrid y España	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
ECC	Escuela Carlos Crespi II	Calle de la Bandolía y Calle del Arpa	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
ODO	Facultad de Odontología - Universidad de Cuenca	Avenida Pasaje de Paraíso y Avenida 10 de Agosto	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
EVI	Escuela Velasco Ibarra	Avenida Felipe II y Avenida Isabel Católica	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
MEA	Mercado El Arenal	Avenida Remigio Crespo y Avenida de las Americas	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
BAL	Balzay CEA Universidad de Cuenca.	Avenida Ordóñez Laso y Avenida Cerezos	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
CRB	Colegio Rafael Borja	Vía a Baños	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
VEG	Vega Muñoz	Vega Muñoz y Luís Cordero	NO ₂ , SO ₂ , BTEX	Microescala
CCA	Colegio Carlos Arízaga Vega	Calle J. Lavalle y Calle A. Ricaurte	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, MP ₁₀ , BTEX, MP _{2.5}	Urbana, vecinal
MUN	Municipio	Calle Simón Bolívar y Calle Presidente Borrero	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , CO, MP _{2.5} , MP ₁₀ , PS, BTEX	Urbana, vecinal
EIE	Escuela Ignacio Escandón	Avenida Loja y Calle Ignacio de Rocha	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, MP ₁₀ , BTEX, MP _{2.5}	Urbana, vecinal
BCB	Estación de Bomberos	Calle Presidente Córdova y Luís Cordero	NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Microescala
LAR	Calle Larga	Calle Larga y Borrero	NO ₂ , SO ₂ , BTEX	Microescala
ICT	Antenas de Ictocruz	Camino a Ictocruz	O ₃	Regional
CEB	Cebollar	Calle del Cebollar	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
MIS	Misicata	Calle Carmela Malo	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , 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 EQOA-0992-087	Teledyne. T300
Dióxido de azufre (SO ₂)	Fluorescencia por radiación ultravioleta USEPA Método de referencia EQSA-0495-100	Teledyne. T100
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Corrimiento de fase de cavidad atenuada USEPA Método de referencia EQOA-0514-212	Teledyne. T500U
Material particulado fino (MP _{2.5})	Atenuación de rayos beta USEPA Método equivalente EQPM-0308-170	Met One BAM-1020
Material particulado fino (MP ₁₀)	Atenuación de rayos beta USEPA Método equivalente EQPM-0798-122	Met One BAM-1020
Ozono (O ₃)	Absorción de radiación ultravioleta USEPA Método equivalente EQOA-0992-087	Teledyne. T400
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		K17474

Tabla 2
Métodos de medición y sensores de la estación automática MUN.

Calidad del aire		
Contaminante	Método	Marca/modelo
Material particulado fino (MP _{2.5})	Atenuación de rayos beta USEPA Método equivalente EQPM-0308-170	Met One BAM-1020

Tabla 3
Métodos de medición y sensor de la estación automática CCA.

CALIDAD DEL AIRE		
Contaminante	Método	Marca/modelo
Material particulado fino (MP _{2.5})	Método estándar ISO 10473	Envea
Monóxido de carbono (CO)	Absorción de radiación infrarroja no dispersiva USEPA Método de referencia EQOA-0992-087	Teledyne. T300
Dióxido de azufre (SO ₂)	Fluorescencia por radiación ultravioleta USEPA Método de referencia EQSA-0495-100	Teledyne. T100
Meteorología		
Parámetro		Sensor
Velocidad y dirección del viento		Met One 034B

Tabla 4
Métodos de medición y sensores de la estación automática EIE.

MICROSENSORES

A finales de año 2021, la EMOV EP instaló 6 ESTACIONES DE microsensores de calidad del aire. Las estaciones se ubicaron en los sectores de La Condamine (CON), Parque Industrial (CCA), Control Sur (EIE), Centro Histórico (MUN), Terminal Terrestre (TER) y El Cebollar (CEB)(Figura 4.1). Las características de los microsensores se indican en la Tabla 5. Los registros generados por los microsencores se encuentran en fase de validación. En el último anexo (Anexo H) se incluye el comportamiento de los registros horarios de NO₂, O₃, MP_{2.5} y MP₁₀

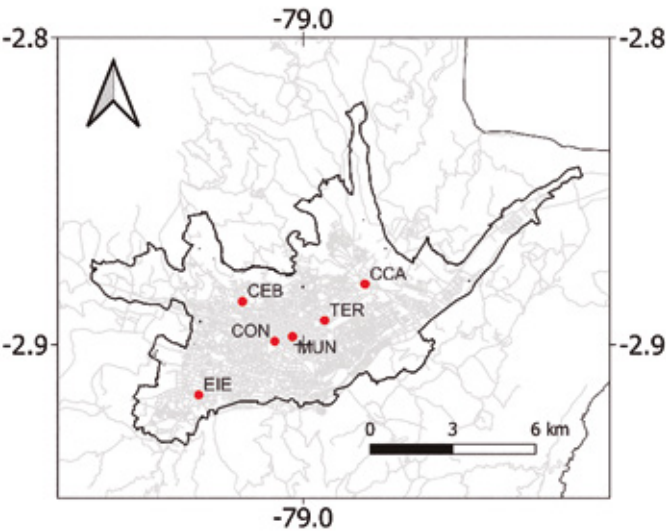


Figura 4.1
Estaciones de calidad del aire que cuentan con microsensores

Marca	Modelo	Contaminante	Rango de medición	Tecnología
ENVEA	Cairsens nmVOC	nmVOC	0 -16 ppm	PID
ENVEA	Cairsens NH ₃	NH ₃	0-25 ppm	Electrochemical
ENVEA	Cairsens H2S/CH4S	H2S/CH4S	0 - 200 ppm	Electrochemical
ENVEA	Cairsens CO	CO	0-20 ppm	Electrochemical
ENVEA	Cairsens NO ₂	NO ₂	0 - 0.25 ppm	Electrochemical
ENVEA	Cairsens O ₃ +NO ₂	O ₃ +NO ₂	0 - 0.25 ppm	Electrochemical
ENVEA	Cairsens SO ₂	SO ₂	0 - 1 ppm	Electrochemical

Tabla 5
Métodos de medición y características de las estaciones que disponen de microsensores

OBJETIVOS

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

- Vigilar permanentemente la calidad del aire con 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)
- Proporcionar información de calidad del aire y de variables meteorológicas para verificar el desempeño de modelos de simulación de la calidad del aire.
- 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 2022 la cobertura temporal por contaminante de la estación MUN, fue la siguiente: CO (95.6%), SO₂ (92.3%), O₃ (97.0%), MP_{2.5} (95.1%) y NO₂ (99.2%).

El sensor automático de MP_{2.5} de la estación CCA tuvo una cobertura de 95.9%.

Durante el año 2022, el sensor automático de MP_{2.5} de la estación EIE presentó problemas operativos. Por este motivo no se reportan registros.

Los anexos A, B y C presentan las concentraciones procesadas en base a los registros de las estaciones automáticas.

SUBREDES ACTIVA, PASIVA Y DEPÓSITO

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

Material particulado MP₁₀; para el cálculo de las concentraciones medias diarias, se requiere al menos de 23 horas de muestreo. Para el cálculo de medias mensuales y anuales se necesita por lo menos de 2/3 del total período, con registros válidos.

Ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂) 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 D incluye los registros de las subredes activa, pasiva y de depósito.

Contaminante	Cobertura (%) *
Material particulado (MP ₁₀)	100.0
Ozono (O ₃)	100.0
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	100.0
Partículas sedimentables (PS)	100.0

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 2022.

(*) 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.

REGISTROS DE METEOROLOGÍA

El Anexo E presenta el procesamiento de los registros meteorológicos obtenidos durante 2022 de la estación MUN.

El Anexo F presenta el procesamiento de los registros de velocidad del viento de la estación EIE.





LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE CUENCA

La EMOV EP está actualizando el inventario de emisiones del Cantón Cuenca, tomando como base el año 2021. El informe de este inventario se encuentra en proceso de publicación. Sus resultados indican que las fuentes más importantes de emisión en el año 2021 fueron las siguientes:

Monóxido de carbono (CO)	tráfico vehicular 95.1%.
Óxidos de nitrógeno (NOx)	tráfico vehicular 89.8%, industrias 7.4%.
Compuestos orgánicos volátiles	
Diferentes del metano (COVNM)	uso de disolventes 36.0%, tráfico vehicular 31.8%, vegetación 21.3%, gasolineras 6.7%.
Dióxido de azufre (SO ₂)	industrias 98.0%, tráfico vehicular 1.5%.
Material particulado fino (MP _{2.5})	tráfico vehicular 65.0%, ladrilleras artesanales 27.2%, industrias 6.4%.
Material particulado (MP ₁₀)	tráfico vehicular 73.3%, ladrilleras artesanales 19.3%, industrias 6.1%.

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 2022, 92 314 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	9261
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
2022	92 314

Tabla 7
Número de vehículos que aprobaron la Revisión Técnica Vehicular en el Cantón Cuenca durante el periodo 2008 – 2022.

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 ₂)	Promedio anual: 40 µg/m ³ Promedio máximo en 1 hora: 200 µg/m ³
Dióxido de azufre (SO ₂)	Promedio en 24 horas: 125 µg/m ³ Promedio anual: 60 µg/m ³ Promedio en 10 minutos: 500 µg/m ³
Partículas sedimentables (PS)	1 mg/cm ² durante 30 días
Material particulado con diámetros menos 10 µm (MP ₁₀)	Promedio anual 50 µg/m ³ Promedio en 24 horas: 100 µg/m ³ (1)
Material particulado con diámetros menos 2.5 µm (MP _{2.5})	Promedio anual: 15 µg/m ³ Promedio en 24 horas: 50 µg/m ³ (2)
Monóxido de carbono (CO)	Promedio máximo en 8 horas: 10 000 µg/m ³ Promedio máximo en 1 hora: 30 000 µg/m ³
Ozono (O ₃)	Promedio en 8 horas: 100 µg/m ³ (3)

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

* Condiciones de referencia: temperatura de 25 °C y presión atmosférica de 760 mm de Hg. (1) Se sobrepasa la NCAA para MP₁₀ si el percentil 98 de las concentraciones en 24 horas es mayor o igual a 100 µg/m³. (2) Se sobrepasa la NCAA para MP_{2.5} si el percentil 98 de las concentraciones en 24 horas es mayor o igual a 50 µg/m³. (3) No se deberá exceder la concentración de 100 µg/m³ de O₃ más de una vez al año.

CONTAMINANTE	VALOR	UNIDAD	PROMEDIO DE MEDICIÓN
Benceno	5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual
Cadmio	5×10^{-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 10 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 _{2.5} (24 h)	50		25	15
MP _{2.5} (anual)	15		10	5
MP ₁₀ (24 h)	100		50	45
MP ₁₀ (anual)	50		20	15
SO ₂ (10 min)	500		500	
SO ₂ (24 h)	125	125	20	
SO ₂ (anual)	60	50		
CO (1 h)	30 000	30 000	30	
CO (8 h)	10 000	10 000	10	
O ₃ (8 h)	100	120	100	
O ₃ (8 h)				60*
NO ₂ (1 h)	200		200	
NO ₂ (anual)	40	40	40	

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).

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

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE DEL AÑO 2022

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

La Figura 5 presenta los promedios mensuales de la concentración de partículas sedimentables. La concentración más alta corresponde a la estación ODO, que registró 1.55 mg/cm² durante 30 días, en marzo. En las demás estaciones se registraron concentraciones menores al valor establecido en la NCAA.

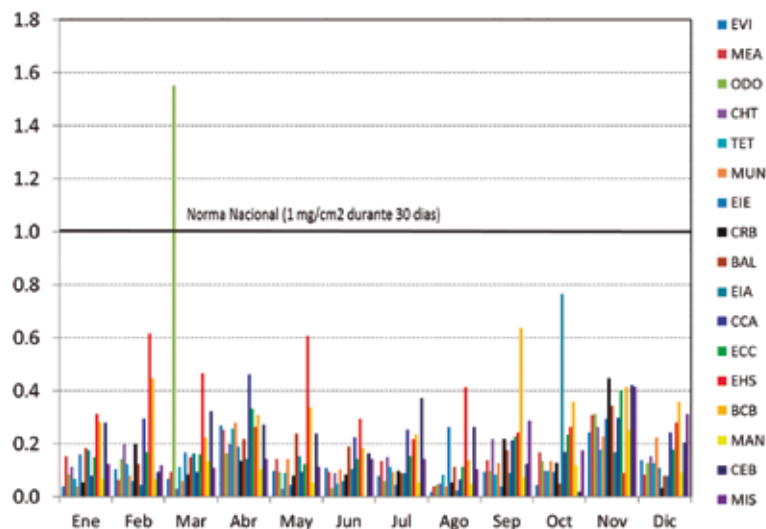


Figura 5
Partículas sedimentables. Promedio mensual por estación (mg/cm² durante 30 días). Año 2022.

La Figura 6 indica las concentraciones medias en el año de partículas sedimentables. Los mayores promedios se registraron en las estaciones EHS, BCB y ODO.

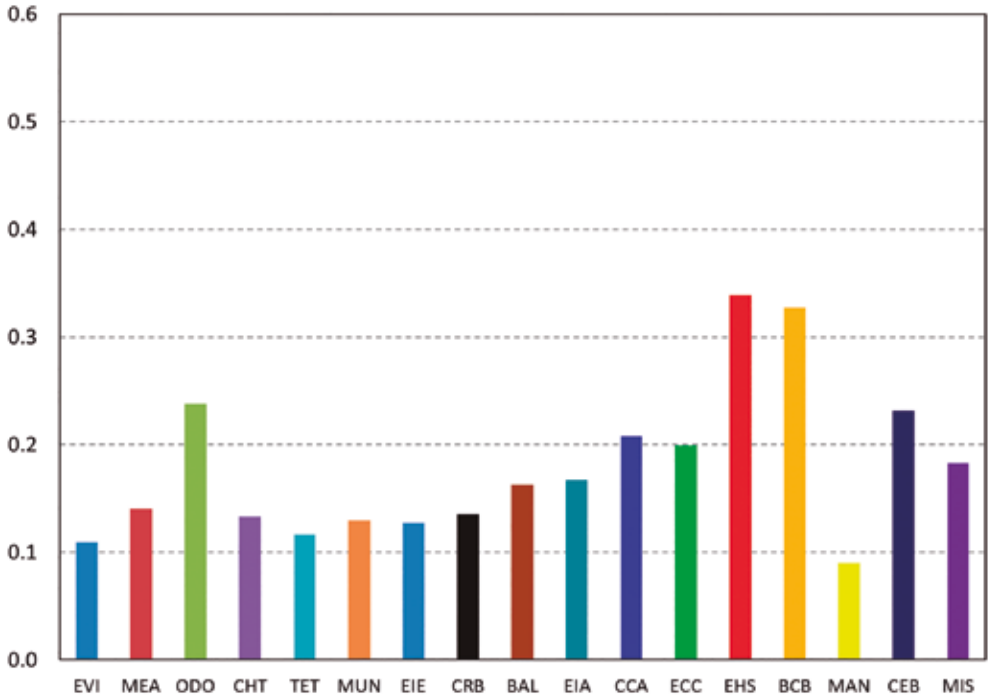


Figura 6
Concentraciones medias anuales de partículas sedimentables (mg/cm² durante 30 días). Año 2022.

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. Resaltan los mayores promedios en las estaciones de la escuela Hernán Sempértgui (EHS), El Cebollar (CEB) y la Facultad de Odontología (ODO).

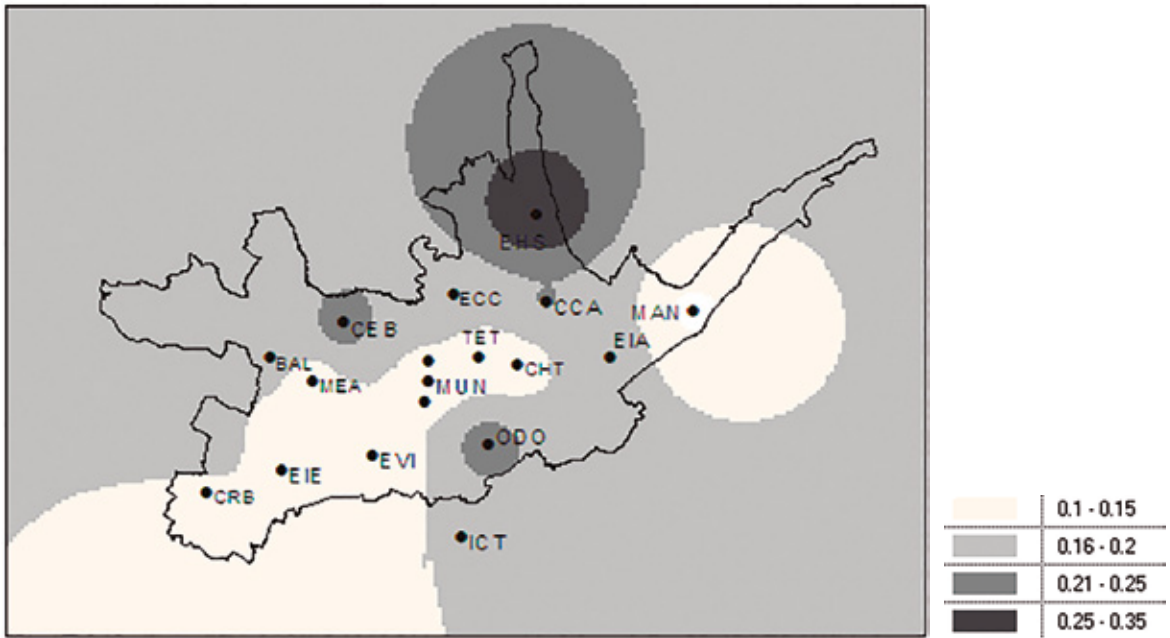


Figura 7
Distribución espacial de la concentración media de partículas sedimentables para el año 2022 (mg/cm² durante 30 días).

REGISTROS DE LA RED ACTIVA MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS (MP₁₀)

EXPOSICIÓN A LARGO PLAZO

La Figura 8 indica el promedio anual de MP₁₀. En la estación del Colegio Carlos Arízaga (CCA, ubicada al norte de la ciudad, a 300 m del parque industrial) se registró una concentración de 38.4 µg/m³. En las estaciones Municipio (MUN) y Escuela Ignacio Escandón (EIE) se registraron concentraciones de 28.2 y 35.3 µg/m³ respectivamente. En las tres estaciones, las concentraciones fueron menores al nivel de la NCAA (50 µg/m³); aunque se superó el valor guía de la OMS 2021 (15 µg/m³).

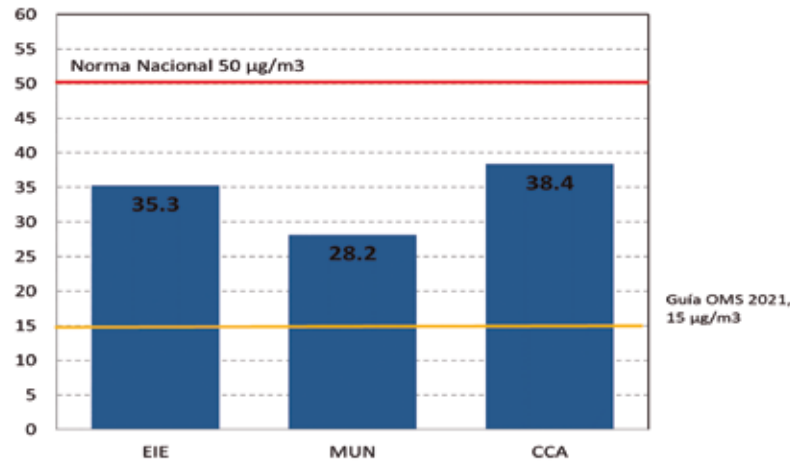


Figura 8
Promedio anual de las concentraciones de MP₁₀ (µg/m³).
Año 2022

La Figura 9 indica los promedios mensuales de MP₁₀. Las concentraciones variaron entre 18.1 y 46.3 µg/m³.

EXPOSICIÓN A CORTO PLAZO

Durante el año 2022 se registraron 23 superaciones del valor guía de la OMS en 24 horas (45 µg/m³). El 61%, 35% y 4% de estas superaciones se registraron en las estaciones CCA, EIE y MUN respectivamente.

En ninguna de las 3 estaciones que registran MP₁₀, se superó la concentración de la NCAA establecida como promedio en 24 horas (100 µg/m³).

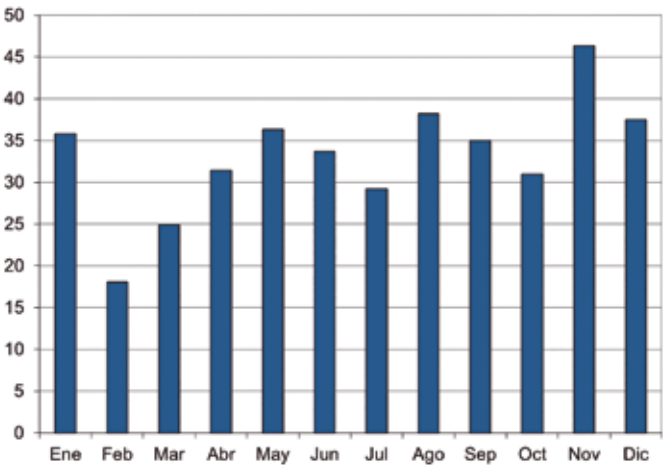


Figura 9
Concentraciones medias mensuales de MP₁₀ (µg/m³). Año 2022

REGISTROS DE LOS SENSORES AUTOMÁTICOS DE MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2.5 MICRAS (MP_{2.5})

EXPOSICIÓN A CORTO PLAZO

Las Figuras 10 y 11 presentan las concentraciones en 24 horas de MP_{2.5} en las estaciones MUN y CCA. Todas las concentraciones fueron menores a la concentración indicada por la NCAA (50 µg/m³). El percentil 98 de las concentraciones de 24 horas en las dos estaciones (MUN: 28.7 µg/m³, CCA: 26.4 µg/m³) fueron menores a 50 µg/m³.

En las estaciones MUN y CCA se superó en 116 y 62 días respectivamente el valor guía 2021 de la OMS (15 µg/m³). Se destacan las concentraciones del primero de enero (36.6 µg/m³ en MUN, 26.3 µg/m³ en CCA), cuyos niveles corresponden principalmente a las actividades de combustión (años viejos, fuegos pirotécnicos) para celebrar el inicio del año 2022.

Durante los días 2 y 3 febrero, se registraron promedios máximos en 24 horas entre 38.3 y 42.2 µg/m³ en la estación MUN, y entre 36.7 y 37.6 µg/m³ en la estación CCA. Estas concentraciones se han atribuido de manera preliminar al transporte de material particulado desde el norte del Perú (El Mercurio, 2022), que afectó a varias ciudades de la zona sur del Ecuador. El 6 de septiembre se registraron concentraciones de hasta 44.4 µg/m³. Por su magnitud, estos eventos de contaminación por MP_{2.5} requieren ser estudiados de manera específica.

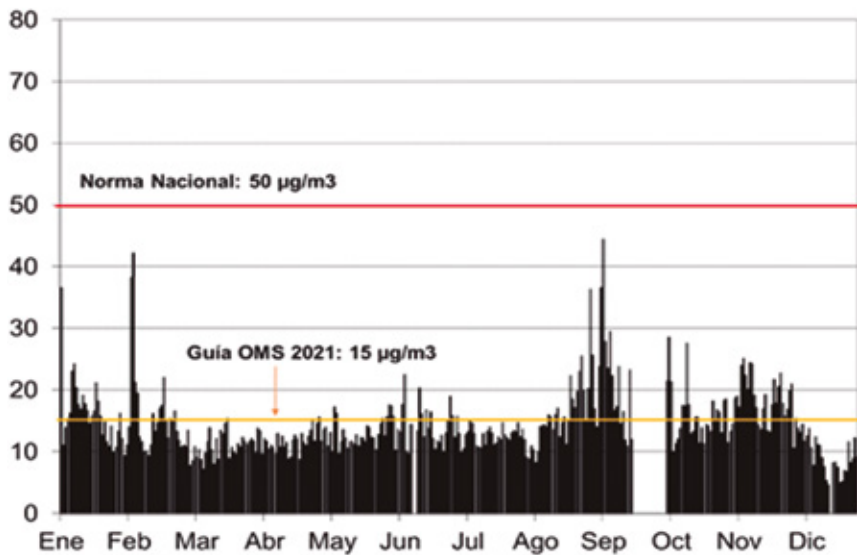


Figura 10

Promedio durante 24 horas de las concentraciones de MP_{2.5} (µg/m³). Año 2022. Estación MUN.

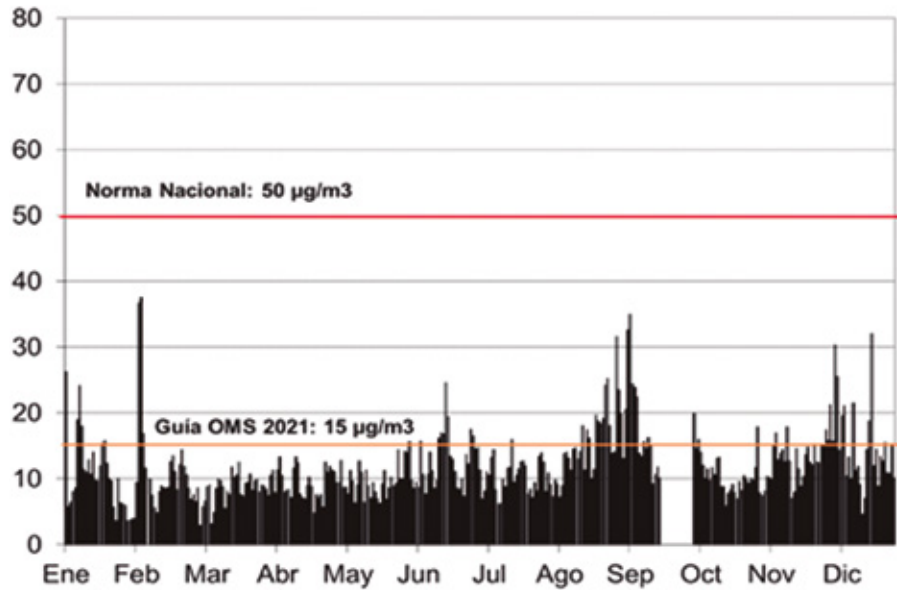


Figura 11

Promedio durante 24 horas de las concentraciones de $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$). Año 2022. Estación CCA.

EXPOSICIÓN A LARGO PLAZO

El valor medio anual de $PM_{2.5}$ en la estación MUN asciende a $14.5 \mu g/m^3$. Este valor es menor al promedio anual establecido por la NCAA ($15 \mu g/m^3$), aunque mayor al valor guía 2021 de la OMS ($5 \mu g/m^3$). El valor medio anual de las concentraciones de la estación CCA asciende a $11.8 \mu g/m^3$. Esta concentración es menor al promedio anual establecido por la NCAA ($15 \mu g/m^3$), aunque mayor al valor guía 2021 de la OMS ($5 \mu g/m^3$).

En la estación MUN, la relación entre las concentraciones medias anuales de $PM_{2.5}$ ($14.5 \mu g/m^3$)

y de PM_{10} ($28.2 \mu g/m^3$) fue 0.51. Este valor sugiere que, en la zona de cobertura de la mencionada estación, hay influencia importante de fuentes de emisión de las fracciones fina y gruesa de PM_{10} .

En la estación CCA, la relación entre las concentraciones medias anuales de $PM_{2.5}$ ($11.8 \mu g/m^3$) y de PM_{10} ($38.4 \mu g/m^3$) es 0.31. Este valor sugiere que, en la zona de la mencionada estación, hay influencia importante de fuentes de emisión de la fracción gruesa de PM_{10} .

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

Las Figuras 12 y 13 presentan las concentraciones máximas horarias de CO en las estaciones MUN y EIE, respectivamente. Todos los registros fueron menores a la concentración que establece tanto la NCAA y el valor guía de la OMS (30 mg/m³).

Figura 12
Promedio máximo horario de las
concentraciones de CO (mg/m³).
Año 2022. Estación MUN.

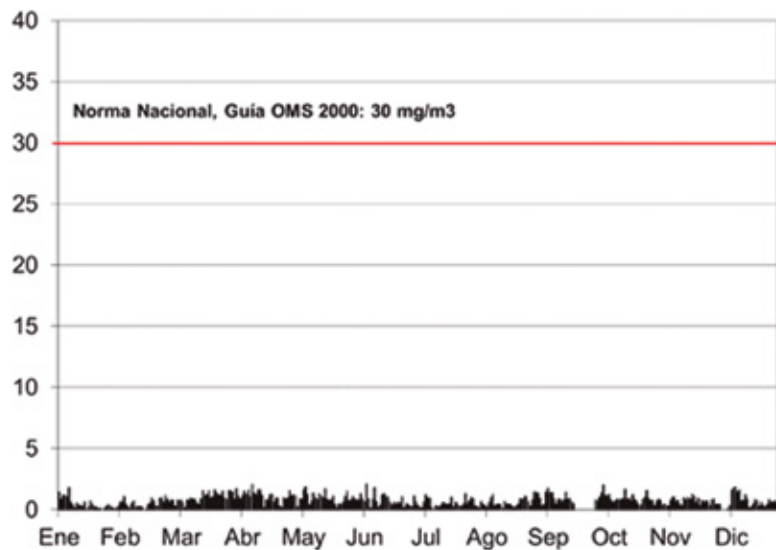
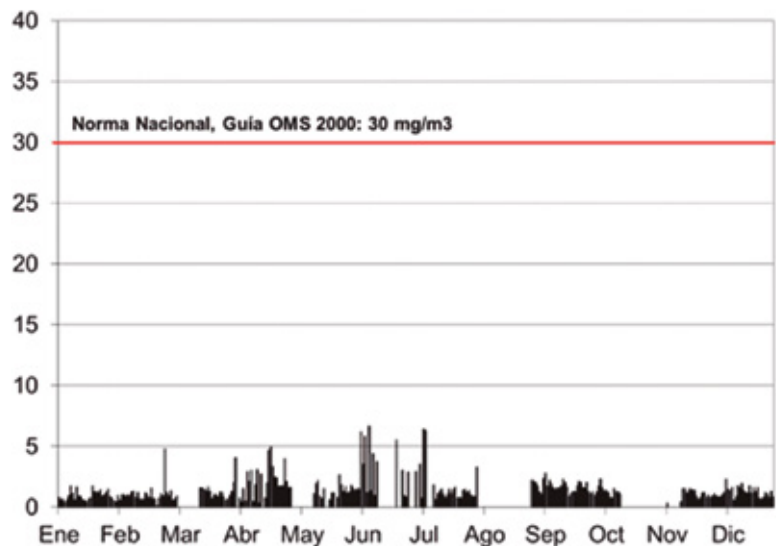


Figura 13
Promedio máximo horario de las
concentraciones de CO (mg/m³).
Año 2022. Estación EIE.



Las Figuras 14 y 15 presentan las concentraciones máximas 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).

Figura 14
Promedio máximo octohorario
de las concentraciones de CO
(mg/m³). Año 2022.
Estación MUN.

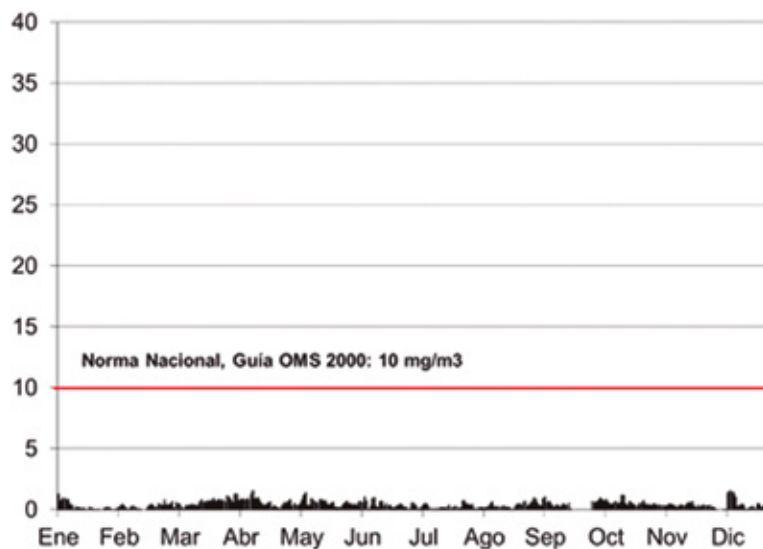
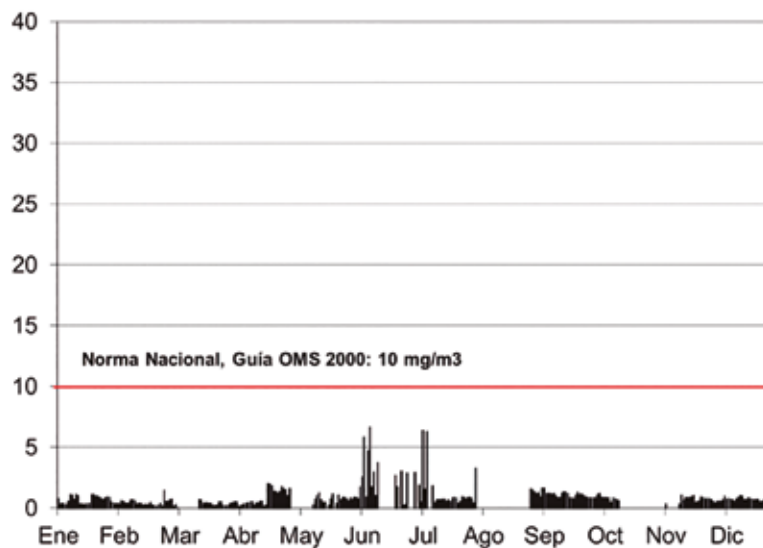


Figura 15
Promedio máximo octohorario
de las concentraciones de CO
(mg/m³). Año 2022.
Estación EIE.



REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂)

EXPOSICIÓN A CORTO PLAZO

Las Figuras 16 hasta 19 presentan las concentraciones en 10 min de SO₂ en las estaciones MUN y EIE. Todos los registros fueron menores a la concentración que establece tanto la NCAA y el valor guía de la OMS (500 µg/m³).

Figura 16
Promedio durante 10 min de las
concentraciones de SO₂ (µg/m³).
Enero – junio de 2022. Estación
MUN.

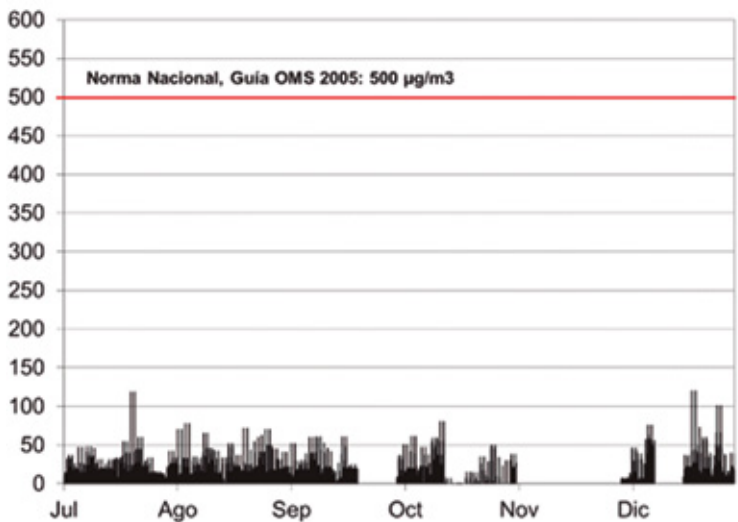
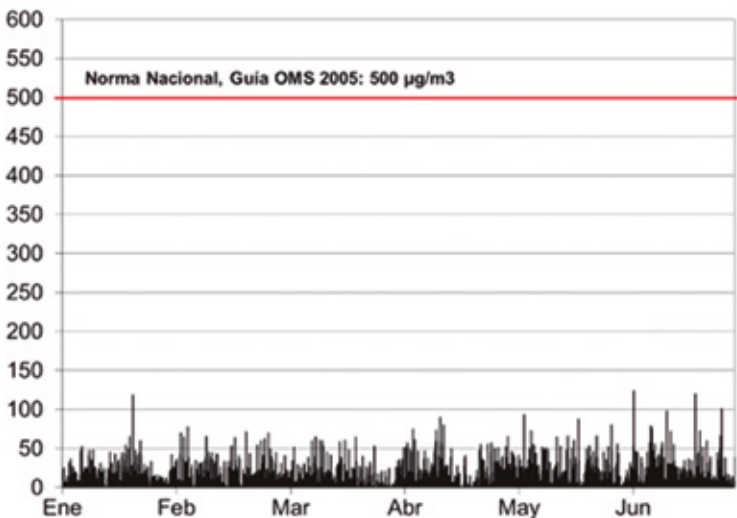


Figura 17
Promedio durante 10 min de las
concentraciones de SO₂ (µg/m³).
Julio – diciembre de 2022.
Estación MUN.

Figura 18
Promedio durante 10 min de las
concentraciones de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).
Enero – junio de 2022.
Estación EIE.

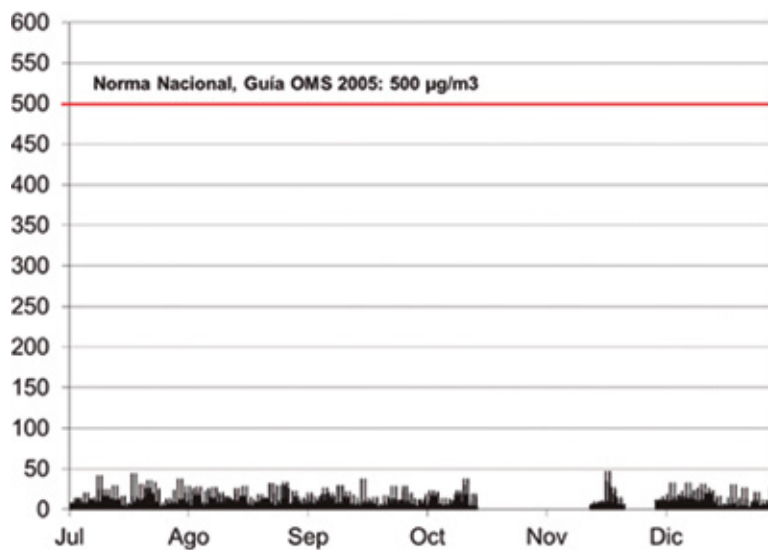
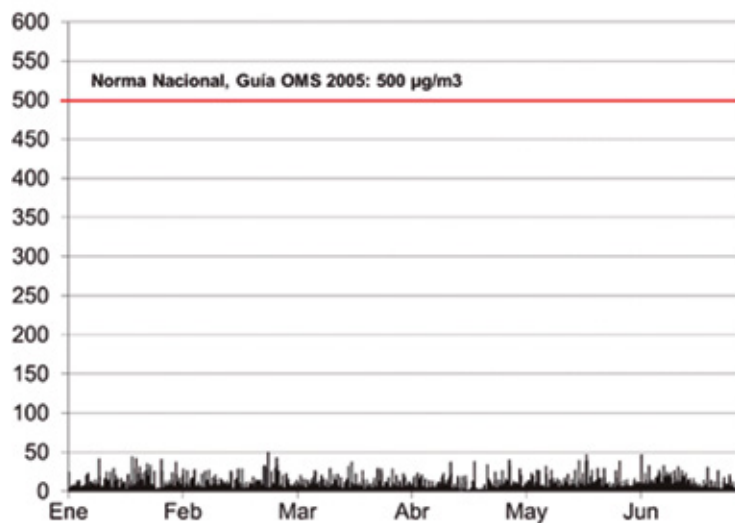


Figura 19
Promedio durante 10 min de las
concentraciones de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).
Julio – diciembre de 2022.
Estación EIE.

La Figuras 20 y 21 presentan las concentraciones en 24 horas de SO₂ en las estaciones MUN y EIE. Todos los registros fueron menores a la concentración que establece la NCAA (125 µg/m³) y al valor guía de la OMS (20 µg/m³).

Figura 20
Promedio durante 24 horas de las
concentraciones de SO₂ (µg/m³).
Año 2022. Estación MUN.

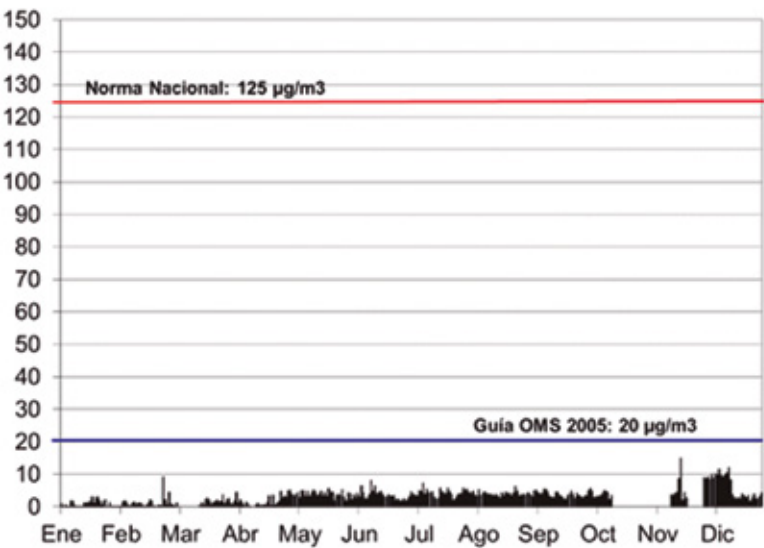
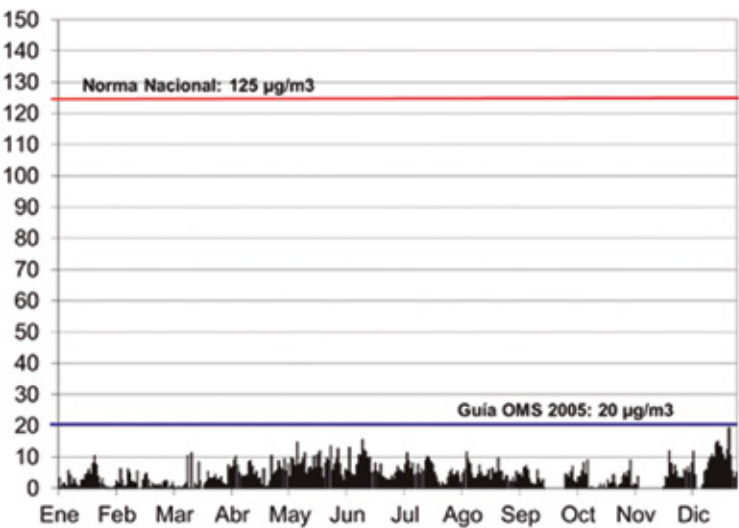


Figura 21
Promedio durante 24 horas de las
concentraciones de SO₂ (µg/m³).
Año 2022. Estación EIE.

EXPOSICIÓN A LARGO PLAZO

El valor medio anual de las concentraciones horarias de SO₂ fueron a 5.0 y 3.3 µg/m³ en las estaciones MUN y EIE respectivamente. Estos valores son menores al promedio anual establecido por la NCAA (60 µg/m³).

REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO₂)

EXPOSICIÓN A CORTO PLAZO

La Figura 22 presenta las máximas concentraciones horarias en 24 horas de NO₂. Todos los registros fueron menores a la concentración que establece tanto la NCAA y la guía de la OMS 2005 (200 µg/m³).

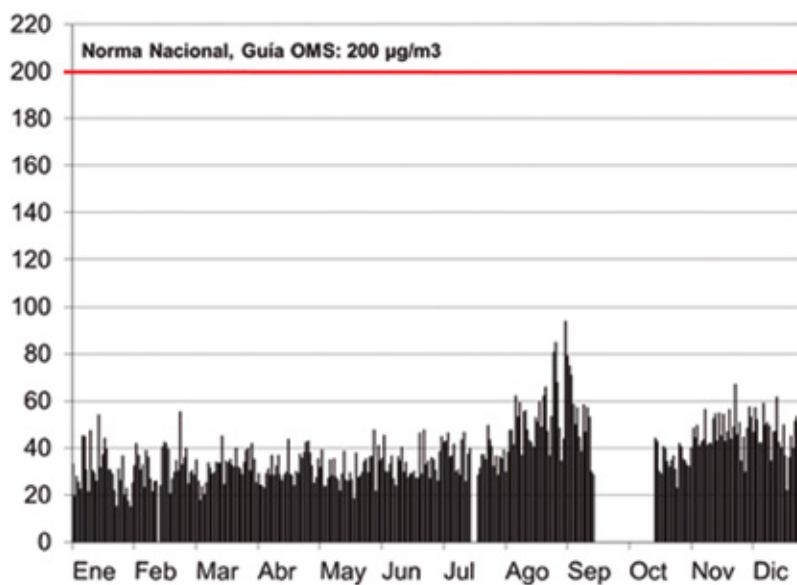


Figura 22
Promedio máximo horario de las concentraciones de NO₂ (µg/m³). Año 2022.
Estación MUN.

EXPOSICIÓN A LARGO PLAZO

El promedio anual registrado en la estación MUN fué de 20.5 µg/m³, menor al promedio anual establecido por la NCAA (40 µg/m³) y por el valor guía de la OMS 2005 (40 µg/m³).

La Figura 23 indica las concentraciones medias anuales de NO₂.

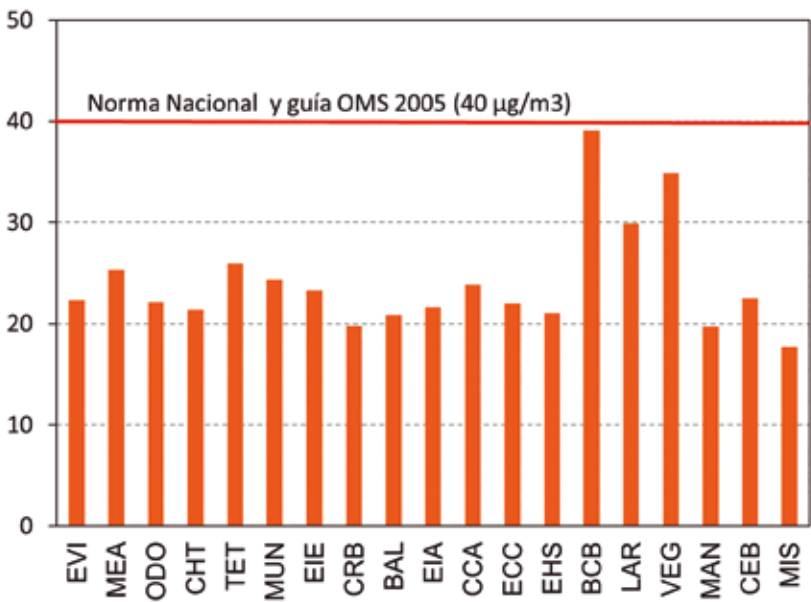


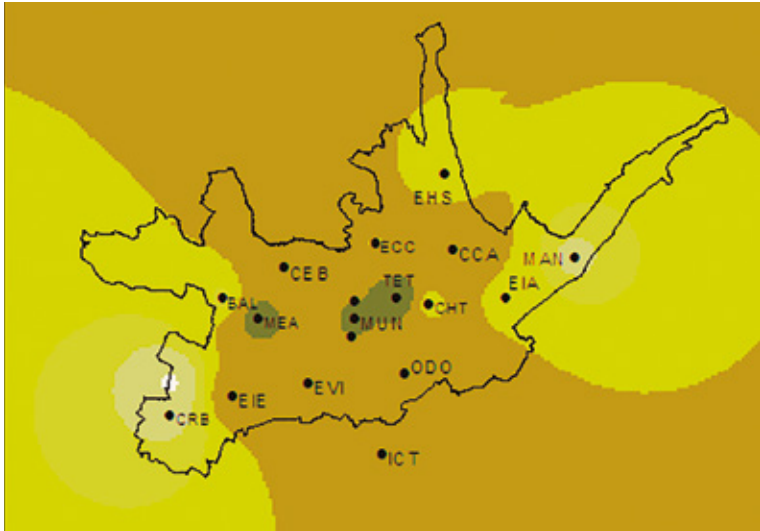
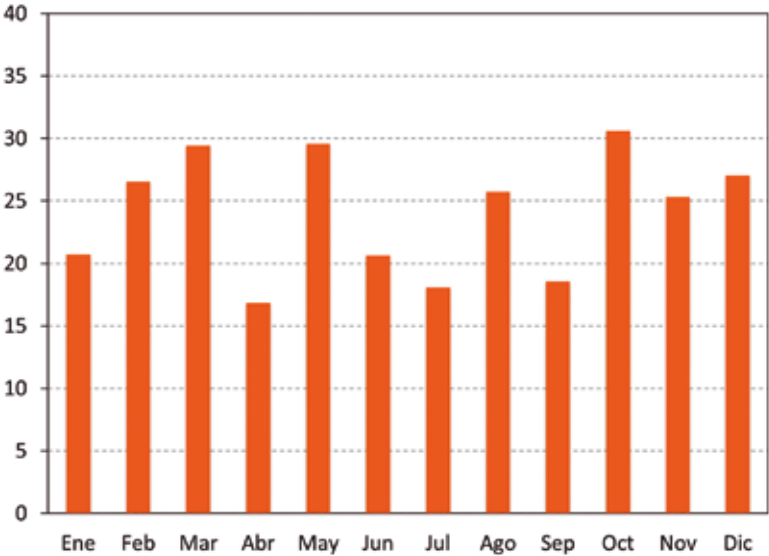
Figura 23
Dióxido de nitrógeno. Promedio anual por estación (µg/m³). Año 2022.

Los mayores valores corresponden a las estaciones de microescala en la Calle Vega Muñoz (VEG, 34.9 µg/m³) y Bomberos (BCB, 39.1 µg/m³). Estas concentraciones corresponden a las emisiones directas de tráfico vehicular, en vías urbanas con circulación importante de vehículos particulares y de transporte público. En ninguna de las estaciones, se superó la concentración media anual establecida por la NCA y el valor guía de la OMS 2005 (40 µg/m³),

El valor medio de todas las concentraciones horarias de la estación MUN (20.5 µg/m³), con relación al valor medio anual del monitor pasivo (24.4 µg/m³) difiere en 19%, valor comparable con la diferencia esperada (hasta del 14%) para valores menores de 40 µg/m³, entre sensores automáticos y sensores pasivos de NO₂ (Hangartner, 2000).

La Figura 24 indica las concentraciones medias mensuales de NO₂, que variaron entre los valores de los otros meses variaron entre 16.8 y 30.6 µg/m³.

Figura 24
Concentraciones medias mensuales de NO₂ (µg/m³).
Año 2022.



	17 - 18
	18 - 20
	20 - 21
	21 - 22
	22 - 24
	24 - 26

Figura 25
Distribución espacial de la concentración media de NO₂ para el año 2022 (µg/m³).

La Figura 25 presenta la distribución espacial de la concentración media anual de NO₂. 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. Las concentraciones en las estaciones del Terminal Terrestre (TET, 25.9 µg/m³) y Mercado El Arenal (MEA, 25.4 µg/m³) registra la influencia de las emisiones del tráfico vehicular de vehículos que usan diésel.

REGISTROS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA. OZONO (O₃)

La Figura 26 presenta las concentraciones octohorarias por día de O₃. Se registraron 7 superaciones del valor establecido tanto por la NCAA (100 µg/m³) y la guía de la OMS (100 µg/m³). Las superaciones se registraron en septiembre (4), octubre (1) y noviembre (2). Las mayores concentraciones en septiembre corresponden en parte a los elevados niveles de radiación solar (Anexos E y F).

El promedio de O₃ en desde julio hasta diciembre de 2022 fue de 66.5 µg/m³, valor mayor a al promedio de las concentraciones en 8 horas (66.5 µg/m³) sugerido por la OMS (WHO, 2021) para el semestre con mayores niveles de O₃.

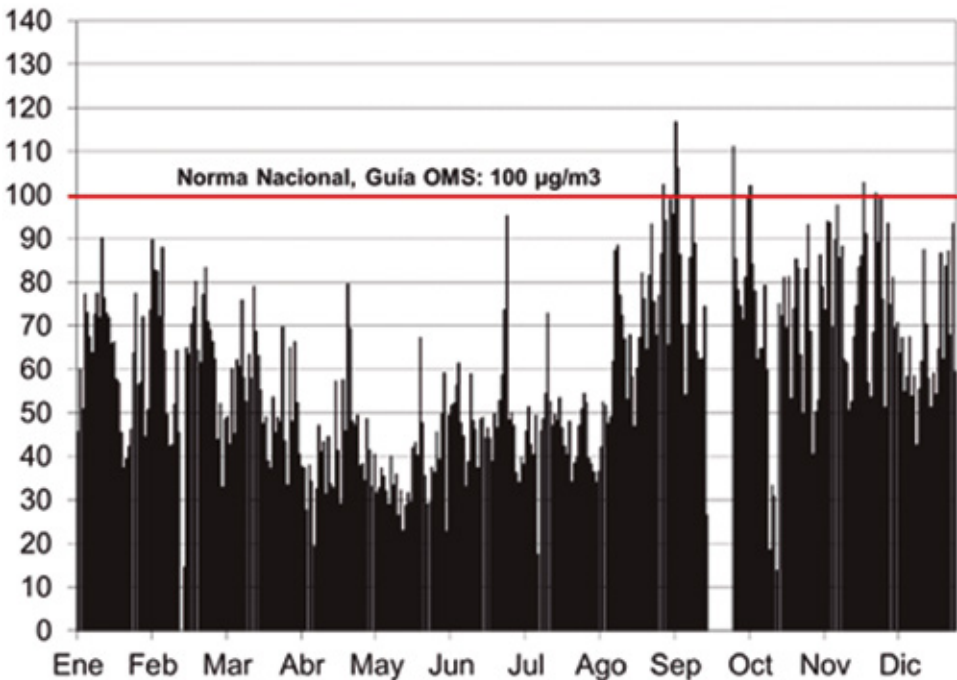


Figura 26
Promedio octohorario máximo por día de las concentraciones de O₃ (µg/m³).
Año 2022. Estación MUN.

REGISTROS DE LA SUBRED PASIVA. OZONO (O₃)

La Figura 27 indica la concentración media anual de O₃ por estación. El valor más alto se registró en la estación Ictocruz (ICT), con 63.4 µg/m³. En años anteriores, esta misma estación presentó el mayor promedio anual de O₃ (EMOV EP, 2022; 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 O₃. La altura de la estación ICT es de aproximadamente 2700 msnm. Al parecer la concentración a largo plazo de O₃ 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).

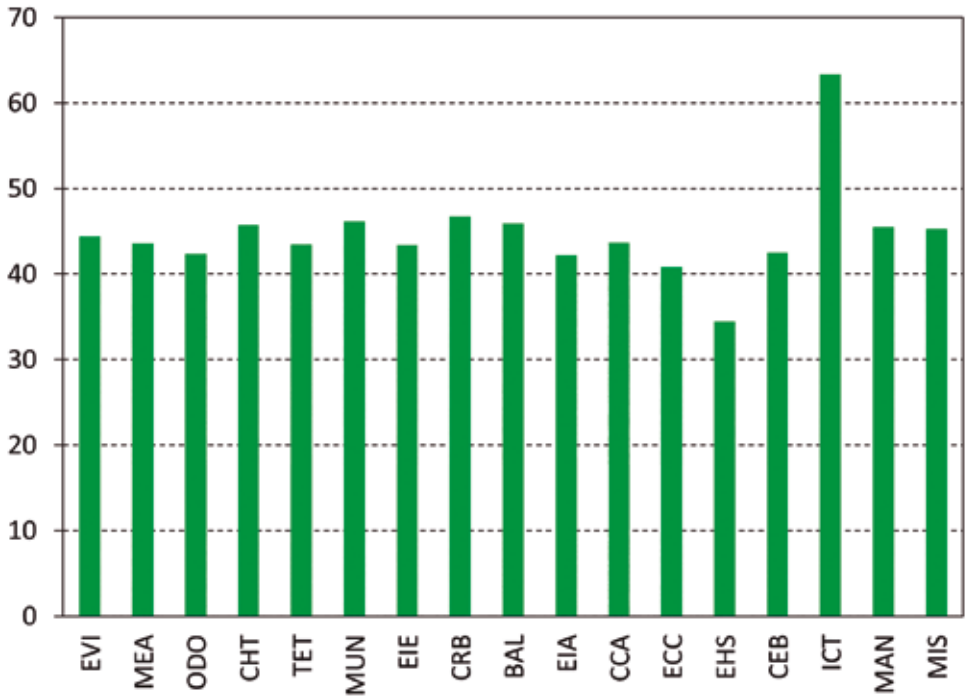
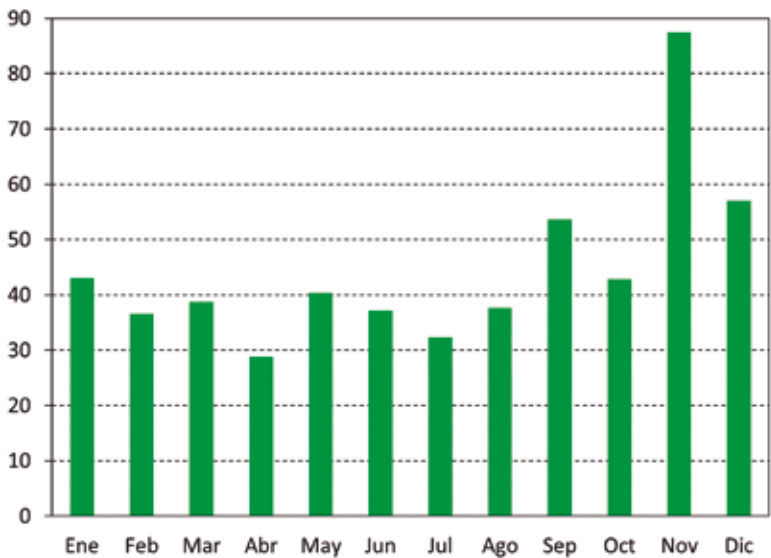


Figura 27
Ozono. Promedio anual por estación (µg/m³). Año 2022.

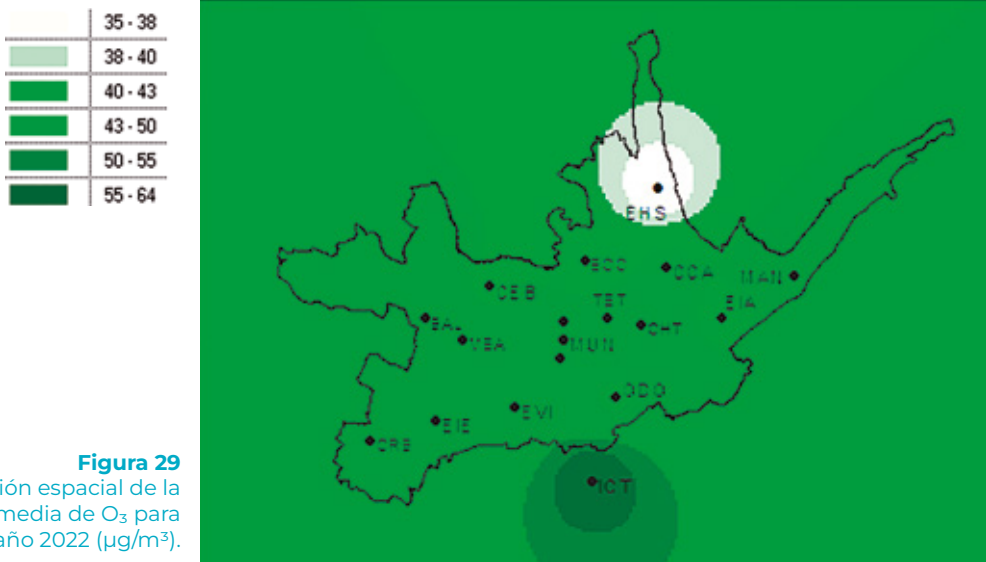
La Figura 28 indica que los sensores pasivos presentaron el mayor promedio mensual en noviembre (87.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Figura 28
Concentraciones medias
mensuales de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Año
2022.



La Figura 29 presenta la distribución espacial de la concentración media anual de O_3 , en donde se observa con claridad el valor más alto, registrado en la estación Ictocruz (ICT, 63.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

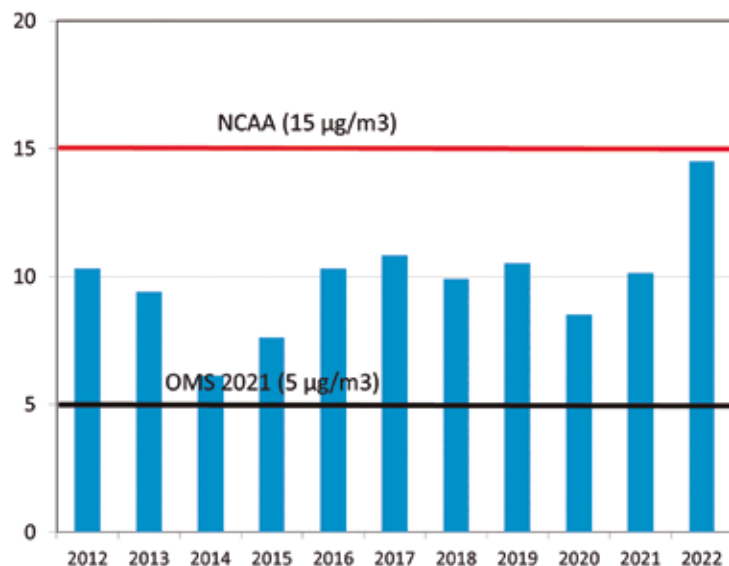
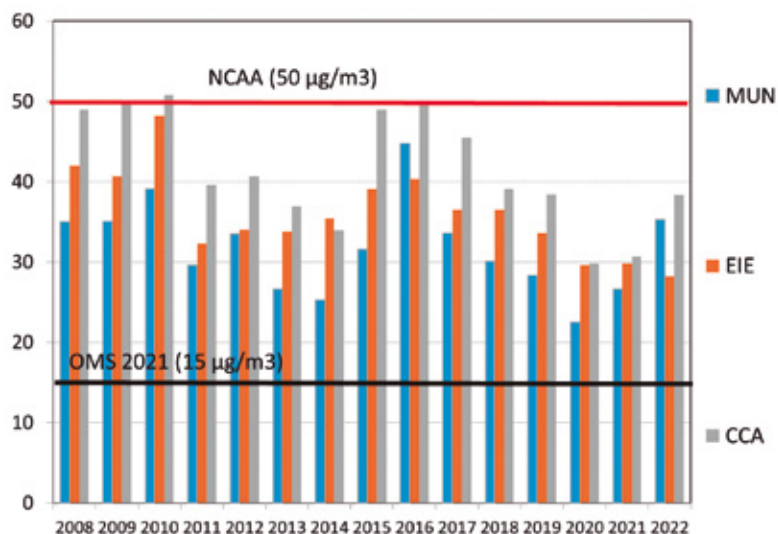
Figura 29
Distribución espacial de la
concentración media de O_3 para
el año 2022 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



TENDENCIAS DE LAS CONCENTRACIONES MEDIAS ANUALES

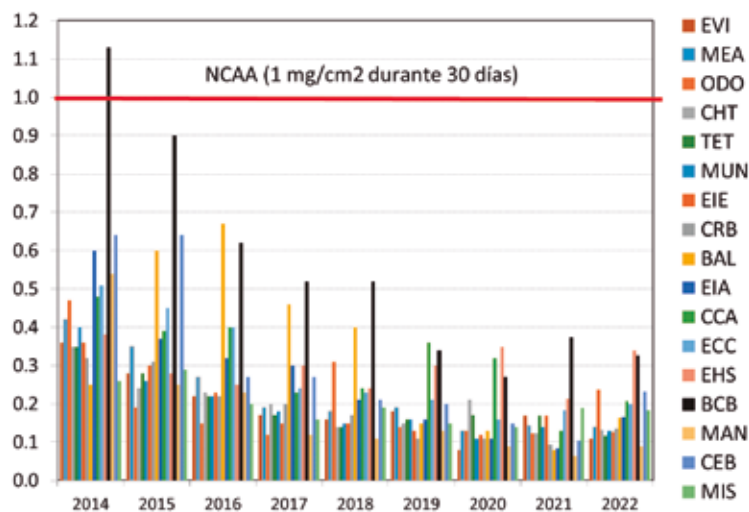
La Figura 30 presenta la tendencia de las concentraciones medias anuales de MP_{10} , para el periodo 2008 – 2022. El promedio del año 2022 ($33.9.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fue mayor al promedio de los años 2019 a 2021 (29.0 a $33.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), aunque menor a los promedios de los años 2015- 2018. El promedio más bajo corresponde al año 2020, descenso se puede atribuir al descenso de emisiones por la restricción del COVID-19.

Figura 30
Concentraciones medias anuales
de material particulado (MP_{10}) del
periodo 2008 - 2022 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



La Figura 31 presenta la tendencia de las concentraciones medias anuales de $MP_{2.5}$, para el periodo 2012 – 2022, en la estación MUN. El promedio del año 2022 ($14.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fue mayor al promedio de los años anteriores. El valor del año 2021 es menor a los promedios de 2016 hasta y 2019. El descenso en 2020 se puede atribuir al descenso de emisiones por la restricción del COVID-19.

Figura 31
Concentraciones medias anuales
de material particulado ($MP_{2.5}$)
del periodo 2012 - 2022 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).
Estación MUN.



La Figura 32 presenta la tendencia de las concentraciones medias de partículas sedimentables, desde el año 2008 hasta el 2022. El promedio del año 2022 del PS (0.18 mg/cm^2 durante 30 días) fué mayor a los valores de 2020 y 2021, aunque comparable al promedio de 2019.

Figura 32
Concentraciones medias anuales de partículas sedimentables (PS) del periodo 2014 - 2022 (mg/cm^2 durante 30 días).

El promedio del año 2022 de NO_2 ($24.1 \mu\text{g/m}^3$) fue mayor a los valores medio del año 2020 ($22.4 \mu\text{g/m}^3$) y 2021 ($23.3 \mu\text{g/m}^3$), y menor al valor de 2019 ($27.7 \mu\text{g/m}^3$) (Figura 33).

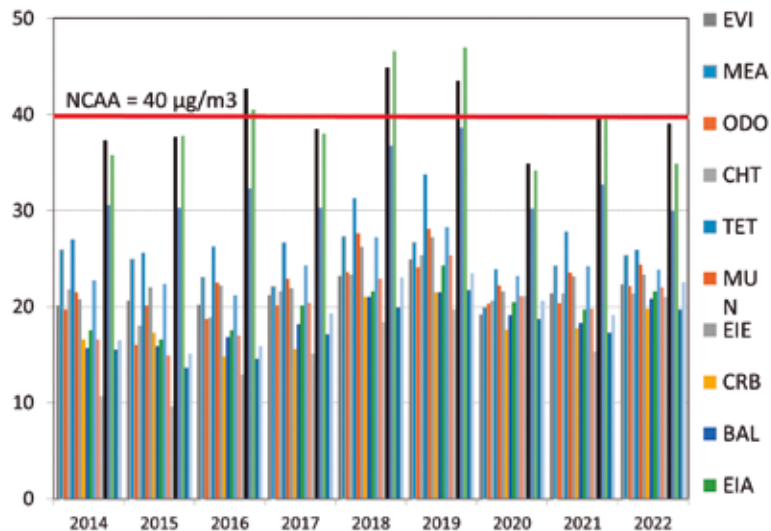


Figura 33
Concentraciones medias anuales de dióxido de nitrógeno (NO_2) del periodo 2014 - 2022 ($\mu\text{g/m}^3$).

El promedio del año 2022 del O_3 ($44.7 \mu g/m^3$) es comparable con el promedio de 2021 ($45.0 \mu g/m^3$), aunque mayor a los promedios de los años 2014 hasta 2020 (Figura 34).

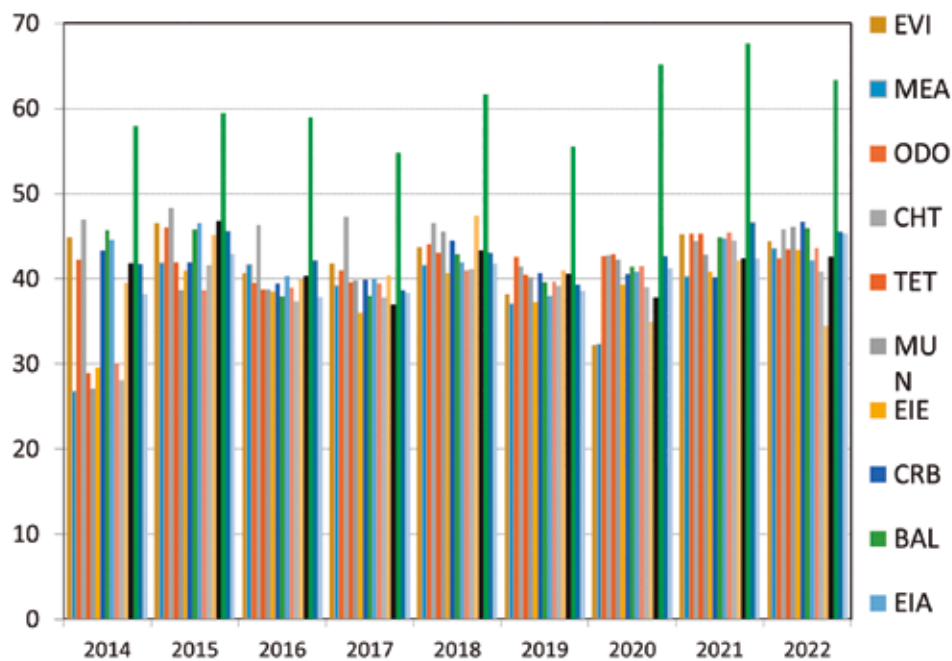


Figura 34

Concentraciones medias anuales de ozono (O_3) del periodo 2014 - 2022 ($\mu g/m^3$)

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 15 (martes) hasta el 19 (sábado) de febrero de 2022.

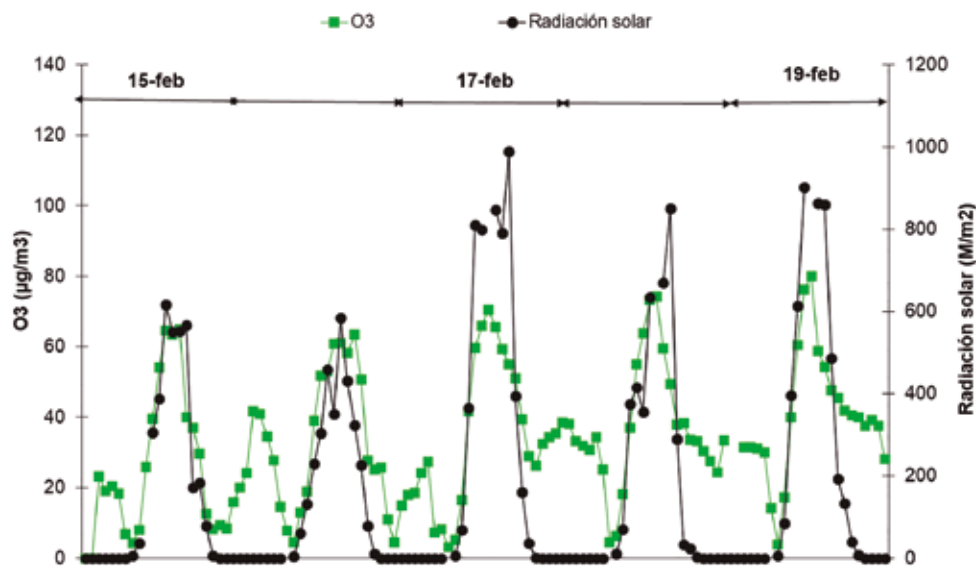
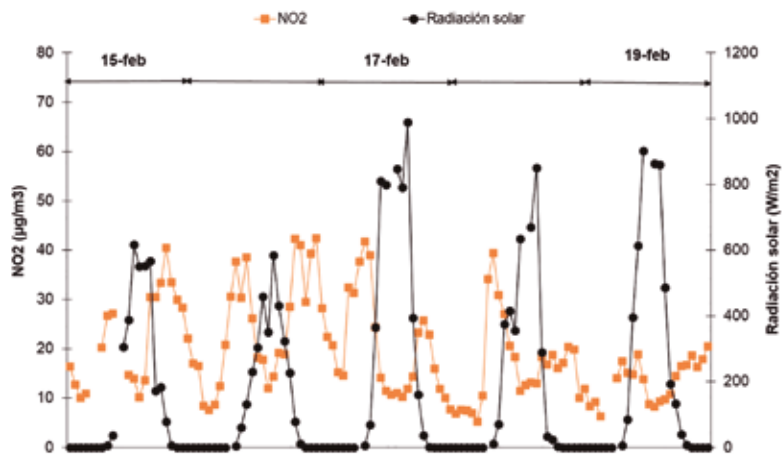


Figura 35

Concentración de O₃ (µg/m³) y radiación solar global (W/m²) horarias para los días 15 hasta 19 de febrero de 2022. Estación MUN.

La Figura 35 presenta las concentraciones horarias de O₃ y los niveles de radiación. Típicamente, las máximas concentraciones de O₃ se registran hacia el mediodía, cuando son máximos también los niveles de radiación solar. Para el periodo indicado, la concentración máxima de O₃ fue de 80.1 µg/m³,

el 19 de febrero. La radiación solar registrada fue de aproximadamente 900 W/m². La radiación solar promueve las reacciones fotoquímicas que generan O₃, e interactúan además las emisiones de óxidos de nitrógeno y de compuestos orgánicos volátiles principalmente.



La Figura 36 presenta el comportamiento de la radiación solar y los niveles de NO₂. Las concentraciones de NO₂ disminuyen al mediodía, debido a la su destrucción a partir de niveles altos de radiación solar, y su participación en la generación de O₃. Las concentraciones de NO₂ son mayores durante las primeras horas de la mañana y de la noche, por las emisiones de este contaminante, durante horas en la que la capa límite planetaria es baja.

Figura 36

Concentración de NO₂ (µg/m³) y radiación solar global (W/m²) horarias para los días 15 hasta 19 de febrero de 2022. Estación MUN.

La Figura 37 presenta las concentraciones de MP_{2.5} y la temperatura. Las concentraciones máximas horarias de MP_{2.5} se registran en las primeras horas de la mañana, cuando la capa límite planetaria es baja, por que hay limitación en la dispersión de las emisiones de MP_{2.5} y de otros contaminantes del aire.

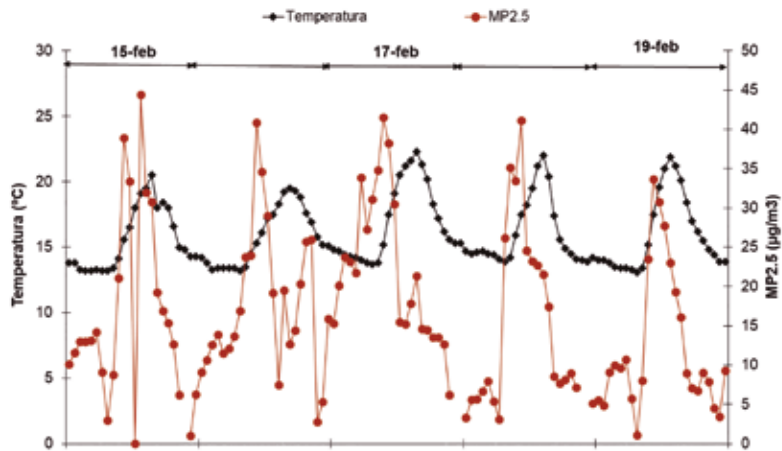
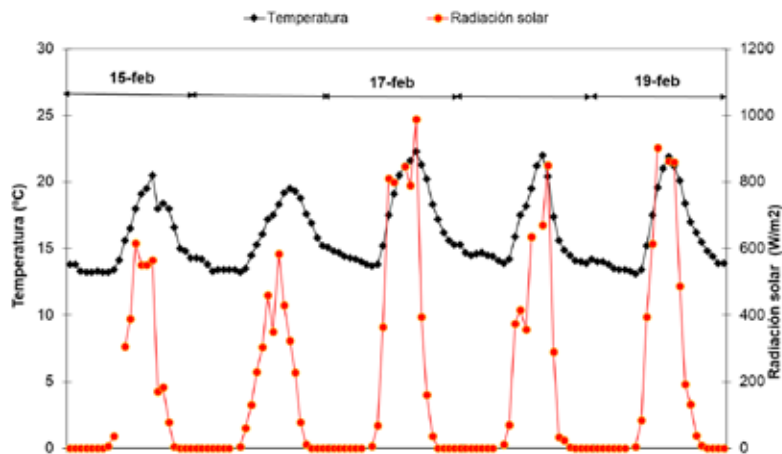


Figura 37

Concentración de MP_{2.5} (µg/m³) y temperatura (°C) horarias para los días 15 hasta 19 de febrero de 2022. Estación MUN.



La Figura 38 presenta la temperatura y la radiación solar global. Las temperaturas máximas horarias típicamente se desplazan entre 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.

Figura 38

Temperatura (°C) y radiación solar global (W/m²) horarias para los días 15 hasta 19 de febrero de 2022. Estación MUN.

La Figura 39 presenta la temperatura y la humedad relativa. Se observa claramente la anticorrelación entre las dos variables. Cuando la temperatura es máxima, hacia el mediodía y primeras horas de la tarde, los porcentajes de humedad relativa son mínimos. Por el contrario, los valores más altos de humedad relativa se presentan en las horas de baja temperatura.

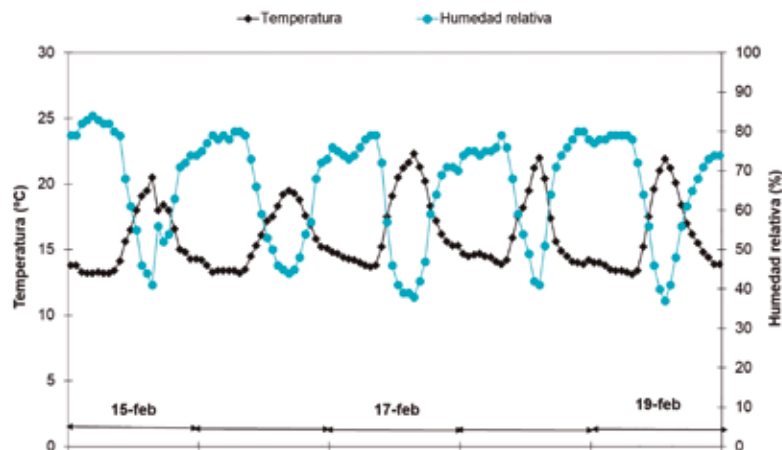


Figura 39

Temperatura (°C) y humedad relativa (%) horarias para los días 15 hasta 19 de febrero de 2022. Estación MUN.

La Figura 40 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, con una tendencia similar a la temperatura. Este comportamiento se observa durante el 15 hasta el 19 de febrero de 2022.

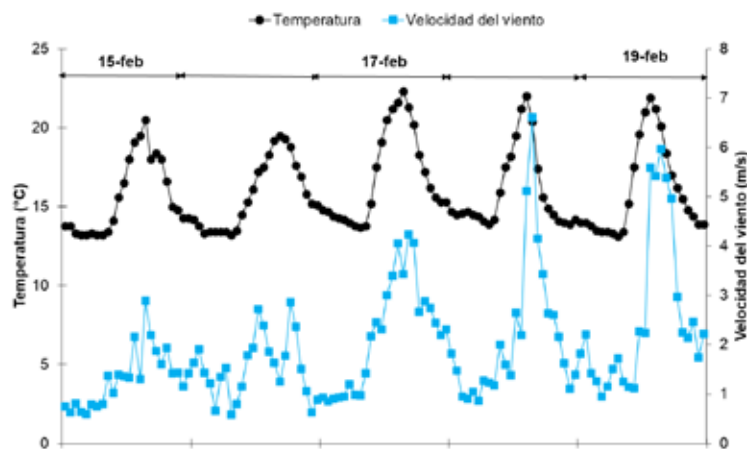


Figura 40
Velocidad del viento (m/s) y temperatura (°C) horarias para los días 15 hasta 19 de febrero de 2022. Estación MUN.

Los registros de variables meteorológicas y de calidad del aire indicados, presentaron un comportamiento coherente. El análisis de la influencia de estos parámetros permite entender de mejor manera, la compleja interacción entre las emisiones de los contaminantes, los niveles de calidad del aire y la influencia de las condiciones atmosféricas.

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 $38.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En las estaciones Municipio (MUN) y Escuela Ignacio Escandón (EIE) se registraron concentraciones de 28.2 y $35.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 2022 se registraron 23 superaciones del valor guía de la OMS en 24 horas ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El 61%, 35% y 4% de estas superaciones se registraron en las estaciones CCA, EIE 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 $MP_{2.5}$

En las estaciones MUN y CCA se superó en 116 y 62 días respectivamente el valor guía 2021 de la OMS ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Se destacan las concentraciones del primero de enero ($36.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en MUN, $26.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en CCA), cuyos niveles corresponden principalmente a las actividades de combustión (años viejos, fuegos pirotécnicos) para celebrar el inicio del año 2022.

Durante los días 2 y 3 febrero, se registraron promedios máximos en 24 horas entre 38.3 y $42.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación MUN, y entre 36.7 y $37.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación CCA. Estas concentraciones se han atribuido de manera preliminar al transporte de material particulado desde el norte del Perú (El Mercurio, 2022), que afectó a varias ciudades

de la zona sur del Ecuador. El 6 de septiembre se registraron concentraciones de hasta $44.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por su magnitud, estos eventos de contaminación por $MP_{2.5}$ requieren ser estudiados de manera específica. El valor medio anual de $MP_{2.5}$ en la estación MUN asciende a $14.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este valor es menor al promedio anual establecido por la NCAA ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$), aunque mayor al valor guía 2021 de la OMS ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

El valor medio anual de las concentraciones de la estación CCA asciende a $11.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta concentración es menor al promedio anual establecido por la NCAA ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$), aunque mayor al valor guía 2021 de la OMS ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Partículas Sedimentables (Ps)

La concentración más alta corresponde a la estación ODO, que registró $1.55 \text{ mg}/\text{cm}^2$ durante 30 días, en marzo. En las demás estaciones se registraron

concentraciones 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 mg/m^3) y valores máximos en períodos de 8 horas (10 mg/m^3).

Dióxido de azufre (SO₂)

El valor medio de todas las concentraciones horarias de SO₂ fue de $4.1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Este valor es menor al promedio anual establecido por la NCAA ($60 \text{ } \mu\text{g/m}^3$). Todos los registros de los promedios en períodos de 24 horas fueron menores a la concentración que establece la NCAA ($125 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) y al valor guía de la OMS ($20 \text{ } \mu\text{g/m}^3$)

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 ($500 \text{ } \mu\text{g/m}^3$).

Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Todas las máximas concentraciones horarias en 24 horas de NO₂ fueron menores a la concentración que establece tanto la NCAA y la guía de la OMS 2005 ($200 \text{ } \mu\text{g/m}^3$).

Todas las concentraciones de la media anual de NO₂ fueron menores a la concentración establecida por la NCAA y el valor guía de la OMS ($40 \text{ } \mu\text{g/m}^3$).

Ozono (O₃)

Se registraron 7 superaciones del valor establecido tanto por la NCAA ($100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) y la guía de la OMS ($100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$). Las superaciones se registraron en septiembre (4), octubre (1) y noviembre (2).

El promedio de O₃ en desde julio hasta diciembre de 2022 fue de $66.5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, valor mayor a al promedio de las concentraciones en 8 horas ($66.5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) sugerido por la OMS (WHO, 2021) para el semestre con mayores niveles de O₃.

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

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.

El Mercurio. 2022. <https://elmercurio.com.ec/2022/02/04/polvo-es-un-riesgo-para-vias-respiratorias-y-ojos/>.

EMOV EP. 2022. Informe de calidad aire Cuenca 2021. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador. 128 p.

EMOV EP. 2021. Informe de calidad del 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.

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. Taipei. 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>

Peeples, 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_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization.

ANEXO

REGISTROS
DE LA
ESTACIÓN
AUTOMÁTICA
MUN



Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	36.6	14.0	7.9	13.8	13.6	17.5	15.8	12.0	25.7	nd	18.5	21.0
2	11.1	38.3	8.6	13.4	14.0	15.8	13.0	9.2	17.0	nd	11.6	10.6
3	13.9	42.2	10.9	9.7	11.0	10.3	9.9	9.0	14.0	nd	13.3	15.5
4	15.5	21.2	9.1	12.1	13.2	13.8	10.6	11.0	23.8	nd	14.6	13.8
5	16.3	19.6	10.4	11.8	10.1	13.3	12.9	10.3	36.6	21.5	18.6	13.2
6	23.1	12.4	8.8	10.5	17.3	17.7	13.3	8.3	44.4	28.6	19.0	14.4
7	24.3	11.6	7.2	11.1	16.3	22.6	15.3	10.1	27.9	21.4	17.3	11.8
8	20.4	10.1	9.8	10.7	9.8	10.0	14.6	14.1	23.6	10.1	24.0	12.6
9	17.7	10.2	11.6	9.7	11.7	9.6	13.0	14.2	29.6	11.3	25.1	13.8
10	16.9	9.4	13.9	13.0	13.6	14.4	11.0	14.4	22.3	12.1	22.5	10.7
11	19.2	11.2	10.3	10.8	12.3	nd	10.8	14.1	16.7	13.9	20.2	7.8
12	17.8	16.1	8.0	12.6	10.7	nd	10.7	16.0	17.4	17.5	24.4	12.4
13	16.7	13.4	12.2	10.9	11.7	13.5	13.0	15.7	23.8	17.4	24.3	11.2
14	14.7	14.7	8.8	11.5	11.7	20.3	11.1	13.7	14.5	27.7	19.2	11.1
15	15.9	17.0	13.5	8.9	11.2	16.2	13.4	16.1	16.5	17.6	17.2	9.1
16	16.7	17.6	13.0	9.2	12.8	12.5	14.0	17.1	11.9	13.0	14.4	7.6
17	21.2	22.1	14.7	11.9	11.0	16.9	13.1	12.5	11.0	13.3	13.6	5.4
18	18.2	14.9	15.4	12.7	12.3	13.8	11.2	14.8	23.3	15.6	17.0	4.7
19	15.9	12.3	9.0	12.1	12.3	16.5	11.5	15.6	12.0	15.6	19.3	nd
20	12.8	15.5	10.8	8.8	11.6	12.2	12.4	11.3	nd	11.4	13.5	8.2
21	14.8	15.0	9.9	13.0	14.2	10.4	12.0	14.9	nd	13.9	13.3	8.4
22	11.6	16.7	9.7	11.5	13.9	11.8	14.7	22.4	nd	11.3	17.6	7.6
23	10.9	13.4	11.3	11.1	12.4	11.6	12.8	18.5	nd	14.5	21.7	5.0
24	14.2	11.9	10.8	12.6	12.3	12.7	12.3	17.2	nd	14.2	17.9	5.2
25	9.9	10.9	12.4	13.5	10.3	10.1	11.9	19.8	nd	13.3	20.7	7.0
26	10.9	11.2	11.8	15.4	12.8	13.1	13.1	23.1	nd	18.3	22.8	6.8
27	13.3	10.9	11.3	11.7	14.5	15.1	13.6	25.6	nd	15.3	17.9	11.6
28	16.3	13.6	11.7	14.6	15.4	19.0	13.2	20.0	nd	16.8	15.8	8.3
29	12.2		12.1	15.7	12.7	15.9	14.8	14.9	nd	16.4	16.9	9.0
30	9.4		11.7	11.8	15.8	12.4	12.4	20.3	nd	13.1	19.9	12.2
31	11.2		9.8		17.6		13.7	36.4		18.4		9.2
Media año		14.5										

nd: no hay dato.

Tabla A1
Concentración promedio en 24 horas de MP₂₅ (µg/m³). Año 2022.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	43.7	16.2	5.0	15.3	19.5	24.5	23.1	18.0	37.5	14.1	27.9	27.9
2	10.2	43.3	8.8	15.1	21.1	15.8	17.9	12.6	26.6	20.2	14.1	14.1
3	31.6	47.8	12.2	14.9	16.4	13.0	8.3	14.0	19.2	25.3	22.1	22.1
4	16.1	23.8	13.0	19.9	16.8	17.3	11.5	14.7	26.4	31.4	20.4	20.4
5	18.2	21.4	8.4	20.9	15.2	20.2	16.1	14.3	46.9	34.2	24.4	24.4
6	32.8	10.4	6.5	19.3	24.6	31.2	19.0	11.7	49.2	34.8	22.4	22.4
7	32.2	14.4	10.5	14.4	20.5	20.3	24.7	17.1	39.1	30.1	29.7	29.7
8	22.7	13.8	18.3	12.8	12.4	11.8	25.5	23.2	34.6	14.5	38.2	38.2
9	18.2	10.8	20.4	15.0	22.2	12.7	14.4	24.0	33.8	15.5	34.5	34.5
10	19.7	9.9	20.4	15.6	24.7	22.8	14.8	16.0	20.5	19.0	30.1	30.1
11	21.3	11.4	17.5	20.3	19.8	21.8	19.0	17.5	21.0	20.3	37.6	37.6
12	19.5	14.6	12.8	20.9	19.3	12.0	18.8	22.5	20.9	29.0	37.1	37.1
13	16.2	12.5	13.8	21.6	21.5	17.8	16.8	20.4	22.5	28.1	36.0	36.0
14	14.8	16.8	10.3	15.7	19.0	31.7	14.2	17.8	20.6	35.3	27.4	27.4
15	14.2	15.1	18.0	9.8	13.8	25.3	23.8	24.4	32.1	19.3	42.8	42.8
16	16.5	22.3	13.9	12.6	20.6	22.7	23.0	25.4	16.4	17.5	nd	nd
17	23.6	22.7	15.3	17.2	13.7	27.8	17.4	21.5	14.7	21.3	24.5	24.5
18	20.4	18.3	25.4	17.8	16.8	15.2	13.0	28.3	17.3	20.1	30.3	30.3
19	18.2	12.7	13.5	14.0	14.5	18.4	15.2	22.6	15.7	15.6	30.8	30.8
20	14.9	15.3	14.7	8.6	23.8	16.0	13.6	13.9	nd	11.8	20.0	20.0
21	18.0	19.0	14.7	14.1	24.1	13.3	17.0	16.7	nd	16.8	24.3	24.3
22	13.6	18.0	15.9	16.0	15.0	11.5	25.8	30.8	nd	13.8	21.3	21.3
23	7.7	14.3	17.8	14.1	14.8	12.0	17.9	25.7	nd	19.4	32.6	32.6
24	19.0	14.3	16.4	13.8	15.3	11.2	11.1	24.4	nd	19.0	30.1	30.1
25	12.1	9.4	18.7	23.2	15.3	9.1	17.9	33.0	nd	15.1	28.1	28.1
26	10.0	9.9	17.1	29.9	17.0	11.4	14.0	36.0	nd	24.3	27.3	27.3
27	10.1	10.6	14.4	22.6	25.7	18.0	14.9	37.6	nd	24.8	21.0	21.0
28	6.4	14.5	17.1	25.7	18.9	20.0	20.4	23.5	nd	31.5	23.2	23.2
29	7.8		17.8	22.7	17.3	17.3	25.8	17.4	nd	27.0	24.8	24.8
30	7.6		15.6	16.8	29.0	19.1	20.6	21.4	23.1	18.9	27.4	27.4
31	10.9		10.9		25.4		21.4	46.0		22.4		27.9
Media año		20.0										

nd: no hay dato.

Tabla A2
Concentración promedio en 24 horas de MP₁₀ (µg/m³). Año 2022.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	1.4	0.7	0.3	1.7	1.1	0.8	0.7	0.3	1.4	0.7	0.9	0.5
2	0.9	0.6	0.8	1.1	0.3	0.8	0.4	0.2	1.0	1.0	0.8	0.5
3	1.2	1.1	0.7	0.9	0.9	1.3	0.2	0.7	0.4	1.4	0.4	nd
4	1.2	0.5	0.8	1.2	0.9	0.9	0.2	0.4	0.4	2.0	0.5	nd
5	1.1	0.3	0.6	1.6	1.6	0.7	0.6	0.4	1.4	1.2	0.4	nd
6	1.8	0.1	0.2	1.3	1.9	2.1	1.2	0.2	1.8	1.1	0.3	0.0
7	0.6	0.6	0.8	1.6	1.3	0.9	1.0	0.6	1.4	1.3	0.8	0.4
8	0.4	0.7	0.8	1.1	0.4	0.1	1.0	1.0	1.4	0.8	1.0	1.6
9	0.1	0.2	1.0	2.1	0.7	0.9	0.2	1.3	0.9	0.6	1.0	1.8
10	0.5	0.3	0.9	1.4	1.4	1.8	0.1	0.4	0.5	0.7	0.7	1.9
11	0.4	0.3	0.8	1.2	1.0	0.7	0.4	0.5	0.9	0.9	0.8	1.5
12	0.4	0.2	0.5	1.6	0.9	0.2	0.3	0.4	0.9	0.8	0.4	1.6
13	0.3	nd	0.4	1.6	1.3	0.4	0.3	0.5	0.6	0.8	0.4	0.7
14	0.6	0.0	0.9	1.2	1.1	1.2	0.5	0.2	0.8	0.9	1.0	0.8
15	0.1	0.4	1.6	0.2	1.0	1.3	0.6	0.7	1.4	1.7	0.8	1.2
16	0.3	0.5	1.2	0.8	1.7	1.1	0.5	0.5	0.9	0.9	1.0	0.9
17	0.7	1.0	1.2	0.8	0.9	1.1	0.5	0.4	0.9	0.9	0.9	0.2
18	0.5	0.7	1.6	1.2	0.8	0.6	0.5	0.5	0.7	0.7	1.3	0.2
19	0.2	0.3	1.0	1.3	0.8	0.4	1.1	0.3	0.5	1.2	1.1	0.5
20	0.2	0.3	1.1	0.6	1.1	0.6	0.3	0.2	nd	0.9	0.6	0.9
21	0.1	0.9	1.6	1.0	0.5	0.5	0.6	0.4	nd	0.7	0.9	0.7
22	0.1	1.0	1.3	1.0	0.1	0.6	0.5	0.5	nd	0.4	0.4	0.3
23	nd	0.6	1.2	0.3	0.5	0.6	0.3	0.9	nd	0.4	0.8	0.6
24	0.1	1.2	1.2	0.2	0.5	1.1	0.3	0.9	nd	0.9	0.6	0.4
25	0.3	0.9	1.5	1.0	0.7	0.2	0.5	1.1	nd	1.0	0.7	0.2
26	0.5	0.6	1.0	0.8	1.1	0.5	1.3	1.1	nd	1.6	0.7	0.4
27	0.3	0.8	0.8	1.0	1.5	0.5	0.5	0.7	nd	1.0	0.4	0.8
28	0.2	0.7	1.6	1.6	0.7	0.3	0.7	0.3	nd	0.8	0.8	0.6
29	0.2		1.6	1.1	0.8	0.3	1.0	0.8	nd	0.8	0.9	0.6
30	0.1		1.4	1.2	1.1	1.2	0.9	1.5	0.8	0.4	0.5	0.7
31	0.3		0.9		0.8		0.3	1.4		0.7		0.5
Media año		0.79										

Tabla A3
Concentración máxima horaria de CO (mg/m³). Año 2022.

nd: no hay dato.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	1.3	0.2	0.1	1.3	0.6	0.4	0.6	0.1	0.9	0.6	0.5	0.2
2	0.7	0.4	0.6	1.3	0.4	0.3	0.4	0.1	0.6	0.6	0.4	0.1
3	0.9	0.4	0.5	0.8	0.3	0.7	0.1	0.2	0.4	0.8	0.4	nd
4	1.0	0.2	0.4	0.9	0.5	0.7	0.1	0.2	0.3	0.9	0.3	nd
5	0.9	0.1	0.2	0.9	0.8	0.6	0.2	0.2	0.9	0.8	0.4	nd
6	0.8	0.0	0.1	0.8	1.2	1.1	0.4	0.1	1.0	0.7	0.3	0.0
7	0.4	0.2	0.3	0.9	1.4	0.7	0.6	0.2	0.6	0.9	0.4	0.0
8	0.3	0.3	0.3	0.8	0.4	0.1	0.4	0.3	0.7	0.6	0.5	1.4
9	0.1	0.2	0.4	1.2	0.4	0.3	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
10	0.2	0.1	0.4	1.6	0.9	0.9	0.1	0.6	0.3	0.5	0.4	1.5
11	0.2	0.1	0.4	0.9	0.8	1.0	0.1	0.2	0.3	0.6	0.3	1.4
12	0.1	0.0	0.4	0.9	0.6	0.3	0.1	0.2	0.4	0.7	0.2	1.0
13	0.1	nd	0.3	0.9	0.5	0.2	0.1	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3
14	0.1	nd	0.6	0.6	0.8	0.7	0.1	0.2	0.3	0.6	0.4	0.3
15	0.0	0.1	0.8	0.4	0.8	0.7	0.2	0.3	0.5	1.2	0.3	0.4
16	0.1	0.3	0.6	0.4	0.7	0.3	0.2	0.3	0.4	1.2	0.3	0.4
17	0.2	0.4	0.7	0.5	0.7	0.5	0.2	0.2	0.4	0.5	0.5	0.1
18	0.1	0.4	0.7	0.5	0.4	0.3	0.1	0.2	0.5	0.4	0.6	0.1
19	0.0	0.2	0.7	0.6	0.4	0.4	0.4	0.1	0.1	0.7	0.6	0.1
20	0.0	0.2	0.7	0.2	0.5	0.2	0.1	0.1	nd	0.5	0.7	0.3
21	0.0	0.5	0.9	0.3	0.6	0.2	0.2	0.1	nd	0.4	0.3	0.3
22	0.0	0.4	0.7	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	nd	0.3	0.1	0.1
23	nd	0.4	0.8	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5	nd	0.3	0.4	0.5
24	0.1	0.8	0.9	0.1	0.2	0.5	0.1	0.5	nd	0.5	0.2	0.5
25	0.1	0.4	0.7	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	nd	0.5	0.3	0.2
26	0.2	0.4	0.8	0.6	0.5	0.2	0.7	0.7	nd	0.7	0.3	0.3
27	0.2	0.5	0.7	0.5	0.6	0.2	0.7	0.7	nd	0.5	0.3	0.4
28	0.1	0.7	1.1	0.7	0.7	0.1	0.5	0.3	nd	0.4	0.3	0.3
29	0.0		1.1	0.8	0.5	0.1	0.5	0.5	nd	0.4	0.4	0.3
30	0.0		0.8	0.3	0.5	0.5	0.3	0.7	0.7	0.4	0.2	0.5
31	0.1		0.6		0.4		0.5	0.9		0.5		0.6
Media año		0.45										

nd: no hay dato.

Tabla A4
Concentración máxima octohoraria de CO (mg/m³). Año 2022.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	3.4	2.4	0.1	1.1	6.2	8.0	5.1	4.3	2.1	4.5	4.9	3.8
2	0.7	1.6	0.9	7.6	9.5	4.2	7.2	4.4	3.6	3.6	3.8	3.3
3	1.8	6.2	2.0	6.3	5.7	2.6	5.7	5.4	2.0	5.3	5.6	6.1
4	1.6	2.7	0.5	7.0	8.1	6.1	5.8	4.1	5.4	7.1	9.1	5.5
5	0.7	0.7	0.2	9.2	4.0	5.6	5.1	2.1	4.2	2.3	0.8	7.0
6	5.8	1.1	0.6	10.4	9.9	13.1	7.8	5.0	4.7	1.9	1.7	5.1
7	4.2	6.1	0.3	7.5	9.4	5.1	11.4	6.2	3.6	3.7	1.1	8.2
8	1.3	5.0	0.3	5.2	7.3	4.2	8.9	11.7	6.6	3.7	3.8	11.9
9	3.1	2.2	0.9	4.0	14.8	4.2	6.2	9.4	7.3	5.7	nd	4.5
10	1.7	2.2	1.6	3.9	7.7	7.7	8.1	8.0	6.0	8.4	nd	nd
11	0.8	1.7	10.6	4.1	8.2	10.9	4.3	4.8	3.1	4.5	nd	nd
12	0.8	5.7	0.1	4.3	9.6	10.5	5.0	3.2	1.7	9.2	nd	nd
13	2.8	nd	11.4	8.4	11.4	15.6	7.8	3.3	1.3	0.0	nd	1.1
14	2.8	0.0	0.2	9.0	4.7	12.3	4.7	4.4	1.4	0.7	nd	5.4
15	4.5	2.7	1.9	7.2	6.5	11.7	6.4	7.5	5.9	0.2	nd	6.0
16	4.8	4.4	1.0	4.4	6.9	9.7	5.6	5.2	3.1	0.2	nd	8.3
17	6.2	5.0	8.6	5.4	6.1	10.0	9.1	4.0	1.9	0.1	nd	9.9
18	4.6	3.0	2.3	3.1	10.5	5.1	10.2	3.8	2.9	0.3	nd	11.1
19	8.1	0.5	nd	3.4	6.6	5.4	9.8	4.3	0.0	1.5	nd	10.0
20	10.6	1.8	1.4	1.2	11.0	8.3	8.5	5.9	nd	0.3	nd	14.3
21	7.7	1.0	2.2	6.2	12.1	5.6	7.8	2.7	nd	1.6	nd	15.2
22	3.9	1.2	5.5	0.5	6.7	4.7	5.1	6.4	nd	0.1	0.5	13.4
23	1.7	0.8	3.3	0.8	3.3	7.9	3.8	5.0	nd	2.9	3.9	13.3
24	3.3	1.3	3.2	2.4	8.1	3.9	2.1	5.2	nd	1.5	3.5	10.9
25	1.4	0.6	3.3	10.5	9.8	3.5	0.9	9.8	nd	1.8	12.0	9.3
26	0.7	2.0	4.6	4.4	9.1	2.8	2.0	5.4	nd	4.5	7.9	12.4
27	0.3	2.6	3.0	5.4	13.6	2.9	1.2	5.5	nd	1.8	4.6	19.5
28	0.3	2.4	2.8	6.0	5.8	2.7	1.2	2.6	nd	0.3	7.4	10.6
29	0.1		3.8	8.9	7.9	4.1	3.6	4.2	nd	1.1	5.5	5.7
30	0.3		1.9	7.0	9.5	2.9	5.3	4.0	4.6	1.5	3.4	3.6
31	0.9		1.4		12.7		6.3	2.4		3.9		5.2
Media año		5.0										

Tabla A5
Concentración promedio en 24 horas de SO₂ (µg/m³). Año 2022.

nd: no hay dato.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	33.2	25.2	29.5	42.0	32.3	47.6	34.9	36.5	67.8	nd	41.9	50.9
2	19.5	32.3	30.3	35.1	24.9	21.6	30.5	28.4	48.4	nd	40.3	34.4
3	27.9	41.8	28.5	25.3	27.5	41.2	26.0	36.5	34.4	nd	35.1	44.8
4	25.4	37.0	35.0	29.3	35.4	34.5	38.5	35.5	43.8	nd	34.4	29.6
5	22.5	30.6	26.0	24.1	31.7	35.6	44.9	39.3	93.7	nd	32.7	48.5
6	45.2	32.9	17.7	23.9	39.1	45.5	42.3	29.6	79.0	nd	32.1	57.4
7	44.8	23.1	23.6	23.0	23.6	29.9	42.9	38.1	74.8	nd	40.3	53.2
8	30.7	38.9	20.3	29.2	23.7	29.7	46.3	47.4	70.8	nd	48.3	46.8
9	21.5	36.1	25.2	31.2	27.1	33.2	36.2	47.4	58.7	nd	44.1	57.0
10	47.3	26.9	33.7	28.5	35.0	36.6	36.6	41.4	49.9	nd	49.7	51.8
11	30.5	21.3	31.4	37.0	28.2	26.9	41.6	62.0	57.2	nd	40.9	42.1
12	29.3	25.6	29.0	28.3	35.4	23.9	29.9	53.2	44.6	nd	42.7	42.2
13	26.0	25.8	29.5	32.3	27.6	36.4	31.0	59.3	38.3	nd	43.5	59.1
14	54.0	nd	33.9	36.9	26.5	34.3	28.3	36.9	58.3	nd	56.5	49.7
15	31.6	23.9	33.5	28.4	21.8	40.3	43.4	55.4	46.7	nd	41.2	50.8
16	37.2	40.4	33.4	26.1	28.9	29.8	46.7	55.8	57.1	nd	42.2	49.3
17	44.2	42.4	45.2	28.4	38.6	33.8	25.7	47.7	53.0	nd	41.7	34.5
18	39.3	41.7	24.5	29.7	26.5	27.5	37.4	43.1	29.9	nd	52.4	47.0
19	30.7	39.3	34.4	43.7	26.0	29.2	39.6	42.2	28.6	nd	54.6	46.9
20	30.8	20.5	33.6	28.8	29.5	28.9	41.9	40.5	nd	44.2	42.9	61.7
21	28.9	27.1	35.1	28.4	26.5	30.1	43.1	52.9	nd	42.7	54.8	42.3
22	22.0	29.6	32.7	23.8	18.5	27.2	35.0	50.9	nd	30.2	45.1	40.2
23	15.3	34.7	32.0	30.0	37.9	27.3	28.4	59.6	nd	28.8	54.5	49.8
24	31.1	30.2	39.9	29.3	27.5	46.4	31.4	48.8	nd	40.7	42.6	36.7
25	26.2	55.3	31.8	37.4	28.0	29.0	37.1	62.0	nd	39.4	46.9	21.8
26	36.6	33.0	31.2	35.6	29.6	47.5	37.1	65.9	nd	34.1	56.3	36.0
27	19.8	35.9	28.7	37.9	34.0	32.9	35.0	47.1	nd	31.9	43.7	45.2
28	22.8	40.0	33.9	42.5	35.5	34.5	49.6	36.8	nd	34.6	49.0	39.7
29	nd		39.0	43.0	29.3	26.8	43.4	53.4	nd	36.6	67.1	51.5
30	17.3		39.9	37.8	36.2	35.8	40.6	80.6	nd	30.8	45.7	53.4
31	14.9		30.1		36.4		32.1	84.9		22.9		50.8
Media año		37.73										

nd: no hay dato.

Tabla A6
Concentración máxima horaria de NO₂ (µg/m³). Año 2022.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	45.6	89.7	52.1	66.4	48.8	49.8	47.1	39.7	102.4	85.4	68.7	76.1
2	60.1	82.8	33.0	52.3	41.6	59.2	36.3	38.3	94.1	78.3	40.6	51.3
3	51.0	82.5	48.5	40.5	33.1	22.8	34.0	36.5	65.6	74.6	50.3	93.6
4	77.3	72.0	49.1	37.7	40.6	49.4	39.9	34.1	99.0	71.4	52.9	75.0
5	73.0	87.9	42.7	37.4	31.7	51.7	38.2	36.6	95.6	81.2	86.3	81.1
6	67.5	64.5	60.2	27.7	32.8	52.2	45.9	42.2	116.8	99.2	78.9	69.5
7	63.8	49.6	45.2	38.0	37.3	56.3	51.5	52.5	106.2	102.2	73.7	70.8
8	72.5	42.3	62.2	34.4	35.5	61.3	42.8	51.7	86.3	84.1	94.0	63.7
9	77.5	42.7	60.6	19.4	32.2	47.8	40.4	47.5	70.4	78.0	93.8	67.2
10	71.9	52.0	75.9	32.5	29.0	44.7	49.4	49.2	54.1	62.3	69.6	54.9
11	90.2	64.5	58.1	47.1	40.0	33.2	17.5	61.8	70.3	64.8	89.8	58.4
12	76.4	45.5	52.6	41.0	33.4	38.9	45.7	87.3	85.6	64.7	97.7	67.5
13	72.8	nd	63.5	43.5	35.9	59.1	48.7	88.4	99.2	79.2	85.6	53.8
14	71.8	14.7	57.9	31.4	26.3	48.2	54.4	77.0	88.9	60.0	88.3	58.5
15	65.8	64.9	79.0	44.6	32.3	46.2	72.8	72.4	64.0	18.6	62.4	42.6
16	66.3	63.4	68.8	33.7	22.9	37.5	52.7	66.9	62.3	33.5	61.6	55.6
17	57.8	70.5	63.2	32.7	28.7	48.5	47.2	53.2	62.5	30.8	50.6	61.9
18	56.9	74.3	55.3	57.3	31.7	49.0	49.6	68.0	74.4	13.9	52.7	87.5
19	45.5	80.1	47.6	41.4	29.5	44.3	48.2	58.4	26.6	75.1	67.5	70.2
20	37.3	64.4	49.2	29.1	42.0	46.5	53.4	46.9	nd	72.3	74.5	57.9
21	39.5	61.5	38.9	57.6	43.3	44.3	46.6	60.3	nd	81.2	83.5	51.2
22	42.3	77.1	37.1	45.8	40.2	38.7	42.3	67.3	nd	69.5	86.1	59.2
23	46.3	83.4	53.6	79.5	67.3	49.7	40.4	82.2	nd	81.3	102.9	54.2
24	63.8	71.0	45.5	69.3	47.7	46.7	48.1	76.2	nd	53.3	91.2	64.8
25	77.4	69.2	48.9	48.1	35.6	52.8	34.2	64.6	nd	74.0	57.0	86.7
26	56.5	66.3	47.8	47.0	29.1	58.7	38.5	81.4	nd	85.2	53.6	62.4
27	57.0	62.4	69.7	49.5	29.5	73.7	39.9	93.4	nd	83.2	68.6	83.6
28	72.1	43.9	43.6	37.9	37.5	95.4	47.1	75.5	nd	63.3	100.4	87.2
29	44.6		33.4	38.3	36.2	48.4	50.8	67.7	nd	49.8	89.1	67.9
30	50.7		65.1	34.6	45.6	50.0	54.5	76.9	111.2	83.0	99.1	93.6
31	73.6		48.0		39.3		52.3	86.6		93.2		59.5
Media año		58.6										

Tabla A7
Concentración máxima octohoraria de O₃ (µg/mw). Año 2022.

nd: no hay dato.

ANEXO

REGISTROS DE
LA ESTACIÓN
AUTOMÁTICA CCA

B

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	26.3	9.5	2.9	10.5	9.5	15.6	14.7	10.9	23.6	nd	17.9	17.5
2	5.8	36.7	5.8	11.3	12.8	9.8	11.3	9.2	19.9	nd	7.9	15.8
3	6.4	37.6	6.6	7.9	8.7	8.5	7.0	7.3	13.1	nd	7.4	21.3
4	8.1	16.9	8.9	11.4	8.7	9.6	8.2	9.8	20.5	19.9	8.2	15.7
5	8.7	11.6	9.1	13.4	7.7	8.7	11.1	9.2	32.7	14.7	10.4	30.4
6	19.0	nd	3.2	10.5	11.3	15.8	10.5	7.3	35.0	16.0	10.3	25.5
7	24.2	10.0	4.9	8.0	9.7	10.8	13.3	9.0	24.5	14.1	9.9	14.3
8	18.0	7.5	8.5	8.3	6.4	7.8	14.5	13.8	23.9	12.1	14.9	19.7
9	11.4	5.6	10.0	8.4	9.1	10.8	8.3	14.1	22.4	10.1	17.0	21.1
10	11.0	4.8	9.7	7.2	12.7	14.1	6.2	13.2	13.9	11.5	12.9	10.5
11	12.9	8.0	8.8	11.6	11.0	11.3	6.3	11.3	13.4	9.8	13.9	13.4
12	10.7	8.9	5.5	13.3	6.5	8.5	10.0	14.5	15.6	11.7	14.4	10.1
13	14.1	8.7	8.2	12.5	11.4	9.8	8.8	14.7	14.6	10.7	12.7	21.6
14	9.8	8.5	7.7	7.7	9.0	16.2	11.7	13.0	16.3	13.1	17.9	11.3
15	9.8	8.8	11.8	7.2	7.1	17.0	11.8	14.2	15.1	13.3	12.7	11.9
16	12.0	12.7	10.3	7.0	9.4	16.8	16.0	18.1	9.3	8.8	7.1	9.2
17	15.4	13.5	10.7	9.0	8.0	24.7	9.5	11.4	10.7	8.8	8.0	4.7
18	15.8	11.1	12.5	10.3	7.0	19.5	10.5	17.5	11.8	5.9	14.6	7.1
19	12.4	8.4	7.6	8.9	6.3	13.4	11.5	16.2	10.2	7.8	11.5	14.5
20	10.1	12.2	7.3	4.8	9.3	13.0	12.7	10.1	nd	8.4	8.9	18.8
21	9.8	14.4	9.3	7.7	11.3	11.1	12.8	11.5	nd	9.2	10.4	32.1
22	5.7	11.9	9.5	7.1	6.9	8.6	12.0	19.8	nd	7.9	13.7	12.0
23	3.6	10.7	10.8	7.6	8.7	8.4	7.8	18.8	nd	7.0	14.8	14.5
24	10.1	8.5	8.3	5.7	10.3	10.1	8.4	18.4	nd	9.6	12.6	8.9
25	6.4	6.9	9.7	12.6	8.9	7.4	7.2	19.2	nd	8.3	12.2	13.5
26	6.2	7.7	9.9	11.0	9.4	13.7	9.4	24.3	nd	10.4	15.4	12.8
27	6.0	6.5	8.0	11.9	14.5	12.3	8.2	25.3	nd	10.0	12.6	15.5
28	3.6	8.7	9.1	11.4	10.0	17.6	13.5	18.1	nd	9.4	12.5	10.9
29	3.7		9.0	11.1	10.0	16.6	14.0	13.9	nd	10.1	15.4	10.8
30	3.9		8.5	9.5	14.2	14.6	12.5	14.1	nd	9.8	15.2	15.4
31	4.0		7.5		14.0		8.1	31.7		11.7		10.2
Media año		11.8										

Tabla B1
Concentración promedio en 24 horas de MP_{2.5} (µg/m³). Año 2022.

nd: no hay dato.

ANEXO

REGISTROS DE
LA ESTACIÓN
AUTOMÁTICA EIE



Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0.8	0.6	0.7	4.1	nd	1.4	nd	0.9	2.0	1.0	nd	1.1
2	0.6	1.0	0.9	nd	nd	1.5	2.9	3.3	1.8	1.3	nd	1.0
3	0.7	1.0	nd	0.8	nd	1.5	nd	nd	1.3	1.8	nd	0.9
4	0.4	0.9	nd	0.5	nd	6.2	3.5	nd	1.1	2.3	nd	0.9
5	0.7	1.0	nd	1.6	nd	3.5	0.8	nd	2.4	1.6	nd	1.0
6	1.0	1.0	nd	0.6	nd	5.9	6.4	nd	2.8	1.4	nd	1.2
7	1.8	1.3	nd	3.0	nd	1.2	6.3	nd	1.8	1.4	0.3	2.3
8	1.2	1.3	nd	2.1	nd	6.7	nd	nd	2.2	1.2	nd	1.5
9	0.6	0.8	nd	3.0	nd	1.4	nd	nd	1.9	0.8	nd	1.4
10	1.7	1.2	nd	0.5	nd	4.4	nd	nd	1.6	0.8	nd	1.6
11	0.9	0.7	nd	1.8	1.1	1.0	1.9	nd	1.5	1.6	nd	0.6
12	0.9	0.7	nd	3.1	1.9	3.8	0.7	nd	1.6	1.3	nd	0.9
13	0.7	0.7	nd	0.3	2.2	nd	1.1	nd	1.6	1.3	nd	1.8
14	0.6	1.2	1.6	2.7	0.9	nd	1.3	nd	1.8	1.1	0.5	1.6
15	0.5	1.1	1.6	nd	0.7	nd	1.5	nd	2.3	nd	1.5	1.9
16	0.7	0.8	1.5	0.8	1.5	nd	1.1	nd	2.1	nd	1.6	1.4
17	0.8	1.6	1.3	2.0	nd	nd	0.8	nd	1.7	nd	1.2	1.2
18	1.8	0.7	1.7	4.7	nd	nd	1.1	nd	0.9	nd	1.5	1.2
19	1.3	0.7	1.3	5.0	0.6	nd	1.5	nd	1.2	nd	1.5	1.8
20	1.3	0.2	0.7	3.4	1.2	nd	1.1	nd	1.3	nd	1.4	1.2
21	1.2	0.8	1.0	2.5	1.2	nd	1.5	nd	1.3	nd	1.4	1.6
22	1.5	1.1	1.1	2.4	nd	5.6	1.7	nd	1.8	nd	1.0	1.3
23	1.0	1.0	0.9	1.7	0.8	nd	0.8	nd	2.1	nd	0.7	1.6
24	1.0	4.8	1.3	1.8	2.7	nd	0.8	nd	2.0	nd	0.8	0.7
25	1.2	1.2	1.2	1.8	1.9	3.0	0.8	nd	1.6	nd	1.2	0.7
26	1.5	1.0	0.9	4.0	1.3	1.0	1.4	nd	1.6	nd	1.2	0.8
27	0.9	1.3	0.6	2.1	1.7	0.9	1.5	nd	2.0	nd	0.8	1.2
28	0.8	0.6	0.7	1.6	1.2	2.9	1.2	nd	1.3	nd	1.0	1.1
29	0.6		1.0	1.6	1.3	nd	1.4	nd	1.1	nd	0.8	0.8
30	0.4		1.3	nd	1.8	nd	1.0	2.2	1.3	nd	0.9	1.3
31	1.0		2.0		1.6		0.9	2.2		nd		0.9
Media año		1.5										

Tabla C1
Concentración máxima horaria de CO (mg/m³). Año 2022.

nd: no hay dato.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0.8	0.4	0.2	0.6	nd	0.9	nd	0.4	1.4	0.9	nd	0.6
2	0.4	0.6	0.3	0.6	nd	0.9	2.9	3.3	1.2	0.9	nd	0.5
3	0.4	0.6	0.1	0.2	nd	0.8	nd	nd	1.2	1.1	nd	0.6
4	0.4	0.5	nd	0.2	nd	1.8	1.9	nd	1.0	1.2	nd	0.6
5	0.3	0.4	nd	0.3	nd	2.6	0.6	nd	1.7	0.9	nd	0.6
6	0.6	0.5	nd	0.3	nd	5.9	6.4	nd	1.7	0.9	nd	0.7
7	1.1	0.7	nd	0.4	nd	1.0	1.6	nd	1.2	0.9	0.3	1.0
8	1.1	0.7	nd	0.4	nd	4.7	6.3	nd	1.2	0.8	nd	0.8
9	0.8	0.6	nd	0.6	nd	6.7	nd	nd	1.2	0.9	nd	0.8
10	1.1	0.4	nd	0.6	nd	1.8	nd	nd	1.2	0.5	nd	0.8
11	1.1	0.4	nd	0.3	0.3	3.0	1.9	nd	1.2	0.9	nd	0.7
12	0.4	0.4	nd	0.4	0.8	1.0	0.5	nd	1.0	0.8	nd	0.6
13	0.3	0.3	nd	0.4	1.0	3.8	0.7	nd	0.9	0.7	nd	0.8
14	0.3	0.3	0.7	0.6	1.3	nd	0.7	nd	0.9	0.6	0.4	0.9
15	0.3	0.3	0.7	0.6	0.7	nd	0.7	nd	1.3	nd	1.1	1.0
16	0.4	0.3	0.4	0.2	0.5	nd	0.8	nd	1.4	nd	0.7	1.0
17	0.4	0.5	0.5	0.3	0.5	nd	0.8	nd	1.3	nd	0.9	0.7
18	1.1	0.3	0.5	2.0	nd	nd	0.6	nd	1.2	nd	0.9	0.7
19	1.1	0.2	0.4	2.0	0.3	nd	0.7	nd	0.9	nd	0.9	0.9
20	1.0	0.1	0.4	1.9	0.8	nd	0.6	nd	0.9	nd	1.0	0.8
21	1.0	0.3	0.2	1.4	1.2	nd	0.9	nd	0.8	nd	1.0	0.8
22	0.9	0.4	0.2	1.4	nd	2.7	0.9	nd	1.1	nd	0.5	0.7
23	0.8	0.2	0.3	1.3	0.4	1.8	0.9	nd	1.3	nd	0.5	0.7
24	0.7	1.5	0.6	1.4	1.1	nd	0.4	nd	1.2	nd	0.6	0.7
25	0.9	0.6	0.6	1.8	0.7	3.0	0.6	nd	1.2	nd	0.9	0.5
26	1.0	0.6	0.2	1.6	0.9	0.3	1.0	nd	1.1	nd	0.8	0.6
27	0.9	0.7	0.2	1.6	0.9	0.3	0.9	nd	0.9	nd	0.8	0.7
28	0.5	0.7	0.2	1.0	0.8	2.9	0.8	nd	0.9	nd	0.8	0.6
29	0.5		0.3	1.6	0.7	nd	0.9	nd	0.9	nd	0.8	0.6
30	0.3		0.4	nd	0.9	nd	0.9	1.6	0.8	nd	0.7	0.9
31	0.4		0.4		0.7		0.8	1.6		nd		0.9
Media año		0.9										

nd: no hay dato.

Tabla C2
Concentración máxima octohoraria de CO (mg/m3). Año 2022.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0.9	0.2	0.2	1.8	4.0	2.2	3.2	4.5	4.3	3.3	nd	8.9
2	0.2	1.5	1.2	4.5	3.4	3.8	4.7	4.1	3.7	4.9	nd	8.6
3	0.7	1.8	nd	1.2	3.8	2.7	3.7	4.8	3.1	5.6	nd	9.1
4	0.1	1.4	nd	2.3	4.4	4.1	3.6	3.5	4.9	4.8	nd	8.4
5	0.1	0.3	nd	1.3	2.8	3.0	3.4	3.4	5.0	2.8	nd	10.1
6	1.8	0.4	nd	0.5	5.0	6.4	5.0	5.3	4.2	3.1	nd	8.9
7	1.7	1.2	nd	1.5	4.9	4.2	4.7	3.5	3.8	3.2	nd	10.2
8	0.3	1.6	nd	1.0	3.2	2.6	7.4	4.0	4.0	3.3	nd	9.6
9	0.1	0.8	nd	0.0	4.7	2.6	3.9	4.5	5.4	3.9	nd	11.6
10	0.1	1.2	nd	0.1	3.3	3.7	5.5	4.1	5.4	4.9	nd	9.7
11	0.0	1.0	nd	0.0	4.2	8.2	4.2	3.9	4.5	4.7	nd	9.2
12	0.2	0.8	nd	0.5	5.2	4.8	4.4	3.7	3.3	4.5	nd	10.0
13	1.2	0.1	nd	1.0	4.8	6.5	4.6	3.7	3.0	2.2	nd	10.4
14	1.0	0.4	0.7	0.7	3.6	4.0	3.0	3.4	2.9	3.6	3.7	12.1
15	1.4	1.1	1.3	0.4	3.8	4.3	2.4	4.0	4.5	nd	3.6	8.3
16	1.6	2.2	0.9	0.7	4.8	4.7	2.7	3.3	4.4	nd	4.2	3.8
17	3.1	1.9	2.4	0.5	3.3	4.0	5.7	2.8	3.6	nd	4.4	2.7
18	1.2	0.3	2.8	1.4	4.4	3.0	4.6	4.3	3.3	nd	8.6	2.5
19	3.0	0.1	2.1	3.5	3.2	3.0	4.2	3.5	2.6	nd	15.1	2.7
20	3.1	0.3	0.9	0.4	5.7	3.7	4.1	4.5	2.2	nd	2.1	2.6
21	1.8	0.6	1.3	3.6	4.4	3.4	5.8	4.1	3.3	nd	4.4	4.0
22	0.6	0.4	1.5	0.5	4.4	3.2	4.6	4.1	3.9	nd	2.8	3.2
23	1.9	9.2	2.1	1.1	1.9	3.5	3.7	3.4	5.0	nd	nd	2.9
24	2.2	2.2	1.5	1.7	3.6	2.1	2.0	4.3	3.9	nd	nd	3.6
25	0.1	0.6	1.8	4.8	4.0	2.3	2.6	6.2	2.7	nd	nd	1.7
26	1.4	4.4	3.7	2.7	3.5	1.7	3.7	4.7	4.2	nd	nd	2.7
27	0.2	0.9	1.0	3.3	5.3	1.9	3.9	3.4	3.6	nd	nd	3.9
28	0.2	0.7	2.1	3.1	3.1	2.6	4.0	3.6	3.3	nd	nd	2.6
29	0.1		2.5	5.0	1.9	2.0	5.7	3.9	2.8	nd	nd	2.6
30	0.0		1.1	5.1	4.3	2.2	5.1	3.6	3.3	nd	nd	3.2
31	0.1		0.9		4.0		5.4	4.1		nd		4.3
Media año		3.3										

Tabla C3
Concentración promedio en 24 horas de SO₂ (µg/m³). Año 2022.

nd: no hay dato.

ANEXO

REGISTROS DE
LAS SUBREDES
ACTIVA, PASIVA Y
DE DEPÓSITO

D

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1			29.7									
2											36.2	59.6
3									38.6	55.6		
4								34.3				
5		28.8				31.0						
6	59.6			37.2	32.9							
7			19.9									
8											56.5	38.1
9									32.8	34.2		
10								35.8				
11		23.8				23.4	23.9					
12	45.4			25.3	44.8							
13			22.6									
14											76.4	44.7
15									31.8	33.4		
16								52.3				
17		35.4				53.2	43.5					
18	49.4			53.2	23.4							
19			29.7									
20											48.9	41.6
21									33.4	33.4		
22								27.5				
23		26.2				35.8	32.3					
24	37.7			46.3	44.1							
25			49.1									
26											73.6	42.5
27									40.4	37.9		
28								31.8				
29						25.8	40.1					
30	31.6			35.2	43.1							
31			23.2									23.5
Media del año 2022												38.4

Tabla D1
Material particulado menor a 10 micras (MP₁₀) del año 2022 (µg/m³). Estación Carlos Arízaga Vega (CCA).

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1			39.0									
2											23.9	38.3
3									35.5	26.4		
4								29.7				
5		29.8				28.2						
6	44.0			24.6	28.2							
7			13.7									
8											40.8	27.3
9									39.1	21.6		
10								26.5				
11		14.0				20.0	16.7					
12	27.1			17.3	18.9							
13			21.0									
14											59.9	33.3
15									28.3	23.0		
16								44.4				
17		32.1				34.5	16.7					
18	25.9			32.0	24.9							
19			18.0									
20											34.7	26.9
21									30.7	28.0		
22								27.3				
23						27.1	19.0					
24	27.5			15.5	28.3							
25			30.7									
26											33.3	25.4
27									29.1	30.6		
28								41.4				
29						29.6	26.6					
30	15.8			21.6	37.9							
31			15.1									36.0
Media del año 2022												28.2

Tabla D2
Material particulado menor a 10 micras (MP₁₀) del año 2022 (µg/m³). Estación Municipio (MUN).

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1			23.4									
2											27.6	50.4
3									30.7	37.9		
4								45.5				
5		29.1				34.8	35.6					
6	49.8			28.5	44.4							
7			19.6									
8											46.6	36.0
9									41.5	22.2		
10								44.9				
11		19.1				40.3	25.7					
12	29.4			21.7	56.2							
13			17.3									
14											56.7	33.7
15									32.2	18.2		
16								59.1				
17		30.1				54.3	34.0					
18	28.2			35.8	33.0							
19			23.0									
20											42.3	31.8
21									38.1	27.2		
22								26.6				
23		24.6				31.9	28.6					
24	32.1			36.3	42.4							
25			33.3									
26											37.2	43.1
27									42.3	35.3		
28								46.4				
29						35.0	41.0					
30	33.9			40.7	42.3							
31			20.2									43.3
Media del año 2022												35.3

Tabla D3
Material particulado menor a 10 micras (MP₁₀) del año 2022 (µg/m³). Estación Escuela Ignacio Escandón (EIE).

Código	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
EVI	0.04	0.10	0.07	0.27	0.10	0.11	0.08	0.02	0.09	0.04	0.24	0.14
MEA	0.15	0.06	0.09	0.25	0.14	0.09	0.13	0.04	0.14	0.17	0.31	0.08
ODO	0.08	0.14	1.55	0.16	0.09	0.03	0.06	0.04	0.10	0.13	0.31	0.13
CHT	0.11	0.20	0.03	0.20	0.03	0.09	0.15	0.05	0.22	0.10	0.26	0.15
TET	0.07	0.12	0.11	0.26	0.09	0.05	0.11	0.08	0.08	0.10	0.18	0.13
MUN	0.04	0.08	0.06	0.28	0.14	0.10	0.09	0.04	0.13	0.13	0.23	0.22
EIE	0.16	0.06	0.17	0.19	0.04	0.06	0.04	0.26	0.04	0.09	0.29	0.11
CRB	0.05	0.20	0.08	0.13	0.08	0.08	0.10	0.05	0.22	0.13	0.45	0.03
BAL	0.18	0.12	0.15	0.22	0.24	0.19	0.09	0.11	0.17	0.05	0.34	0.08
EIA	0.17	0.04	0.16	0.14	0.15	0.10	0.09	0.02	0.09	0.77	0.17	0.08
CCA	0.08	0.29	0.09	0.46	0.09	0.22	0.25	0.06	0.21	0.17	0.30	0.24
ECC	0.15	0.17	0.16	0.33	0.12	0.14	0.15	0.11	0.23	0.23	0.40	0.18
EHS	0.31	0.62	0.47	0.26	0.61	0.29	0.22	0.41	0.24	0.26	0.09	0.28
BCB	0.28	0.45	0.22	0.31	0.34	0.18	0.24	0.14	0.64	0.36	0.41	0.36
MAN	0.07	0.07	0.13	0.10	0.05	0.00	0.05	0.05	0.07	0.12	0.25	0.09
CEB	0.28	0.09	0.32	0.27	0.24	0.16	0.37	0.26	0.12	0.02	0.42	0.20
MIS	0.12	0.12	0.11	0.14	0.11	0.14	0.14	0.10	0.29	0.17	0.41	0.31

Tabla D4
Partículas sedimentables (mg/cm² durante 30 días). Año 2022.

Código	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
EVI	18.9	24.0	24.9	14.0	26.9	20.7	16.4	29.0	12.7	27.9	27.1	25.4
MEA	18.5	27.0	25.6	17.7	31.6	22.4	21.9	29.0	19.9	35.0	30.2	25.3
ODO	19.5	24.0	24.4	14.3	27.8	22.3	13.5	19.8	22.4	25.2	27.5	24.6
CHT	19.6	22.8	28.1	13.3	30.3	15.8	13.7	24.3	19.2	25.1	23.5	21.2
TET	27.7	29.3	29.2	18.6	32.1	23.8	18.3	20.3	23.7	34.0	22.4	31.8
MUN	16.7	27.9	34.8	15.6	31.2	18.0	23.0	28.1	23.6	32.9	16.1	24.7
EIE	17.5	28.0	30.4	16.2	27.3	22.2	15.0	26.5	15.4	29.7	30.4	21.1
CRB	14.3	21.7	26.7	16.9	22.9	19.3	11.5	27.2	9.7	24.0	18.1	24.9
BAL	18.1	23.8	25.0	16.7	27.4	17.7	11.3	23.8	13.1	25.9	27.5	19.7
EIA	17.2	22.6	24.3	16.9	28.2	20.1	13.2	26.8	11.4	25.2	22.7	30.7
CCA	21.9	25.5	29.0	15.8	29.7	19.5	18.8	26.0	17.7	29.8	24.0	28.5
ECC	20.2	23.7	33.0	14.2	25.6	17.3	15.8	22.1	16.5	27.7	23.9	24.1
EHS	18.9	22.4	24.7	14.1	25.3	21.7	15.0	19.9	19.7	26.3	22.2	22.2
BCB	34.0	47.0	48.5	27.7	43.7	30.8	37.3	37.1	35.8	53.2	31.2	42.3
LAR	26.3	32.9	39.4	21.8	34.9	25.3	27.9	22.3	21.2	43.5	27.3	36.3
VEG	30.4	39.8	44.0	23.5	38.7	29.7	31.5	38.3	30.7	41.7	32.1	38.7
MAN	17.7	19.6	24.0	13.0	26.6	14.6	11.7	22.9	9.5	24.3	25.2	27.6
CEB	20.0	24.4	23.4	17.8	25.4	18.4	19.2	23.5	22.6	27.2	25.9	22.4
MIS	16.4	18.3	19.4	11.9	26.3	12.1	8.1	22.3	7.7	23.8	23.8	22.4

Tabla D5
Dióxido de nitrógeno NO₂ (µg/m³). Año 2022.

Código	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
EVI	44.8	35.2	41.5	31.1	34.6	40.0	30.0	34.0	45.2	41.9	93.4	60.4
MEA	41.3	33.5	40.6	25.1	35.1	41.9	30.9	39.1	51.7	42.9	83.7	57.0
ODO	39.4	29.3	36.0	28.7	43.7	26.1	31.8	22.3	52.6	42.0	95.2	61.2
CHT	41.8	37.1	33.9	33.1	41.3	34.8	35.2	42.7	59.6	43.6	91.9	54.4
TET	52.8	34.6	38.0	27.3	40.8	36.6	32.6	23.6	51.7	43.1	86.8	54.2
MUN	48.0	38.7	41.8	27.8	40.2	38.2	32.1	40.6	55.5	42.7	92.7	55.3
EIE	40.6	41.5	41.3	27.1	39.3	33.9	31.3	38.5	49.9	39.6	79.7	58.0
CRB	42.1	44.5	46.6	32.2	36.8	43.0	34.2	42.7	59.5	47.1	71.6	60.2
BAL	45.7	28.6	34.8	31.0	42.0	37.1	38.9	33.5	56.0	52.1	91.2	60.4
EIA	36.4	37.8	31.3	23.6	43.6	35.8	25.3	42.2	49.5	39.6	82.8	58.2
CCA	34.3	35.9	46.0	25.7	34.8	35.4	31.5	39.8	51.8	41.7	92.4	54.3
ECC	38.0	34.0	33.8	28.2	39.2	33.4	29.5	34.2	52.1	38.7	81.6	47.5
EHS	31.3	28.0	30.0	18.0	35.5	28.4	22.4	33.0	40.1	28.7	69.9	48.1
CEB	47.1	27.3	35.6	30.0	39.3	40.2	33.3	31.4	52.3	45.6	79.7	48.7
ICT	67.1	58.2	53.4	45.5	59.2	55.0	45.4	55.8	75.3	59.5	114.4	71.7
MAN	44.9	43.0	38.9	27.1	42.3	36.7	31.8	41.0	55.4	37.6	90.0	57.4
MIS	36.5	35.3	36.5	29.3	39.8	35.6	34.0	45.9	55.0	43.1	89.9	62.6

Tabla D6
Ozono (µg/m³). Año 2022.

ANEXO

E

REGISTROS
METEOROLÓGICOS
DE LA ESTACIÓN
AUTOMÁTICA
MUN. AÑO 2022.

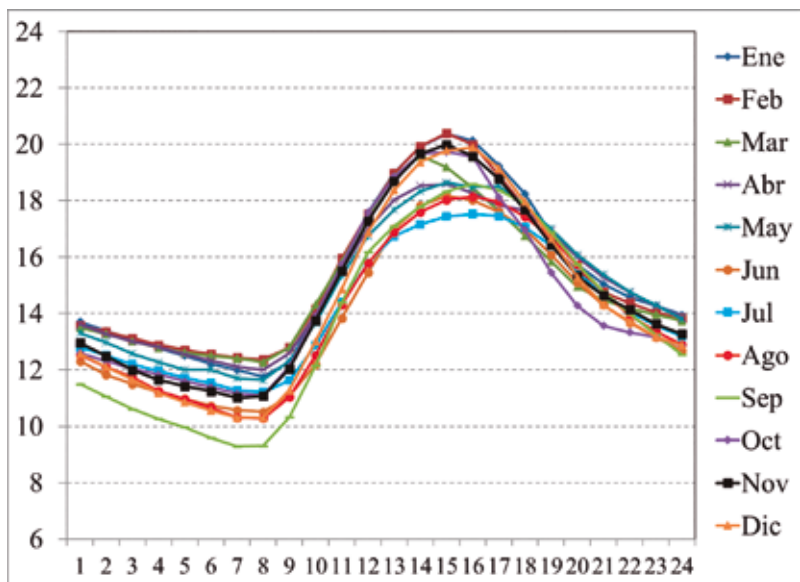


Figura E1:
Perfiles promedio diarios de
la temperatura por mes (°C).

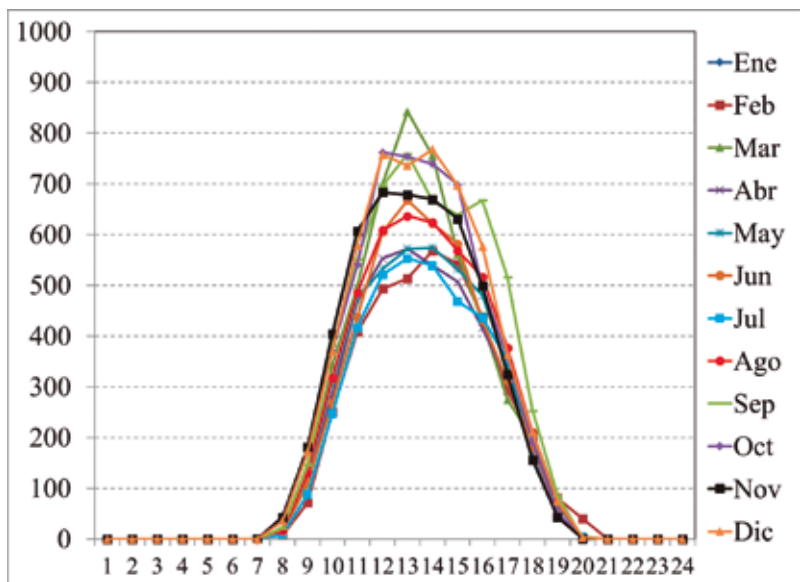


Figura E2:
Perfiles promedio diarios de
la radiación solar global por
mes ($W m^{-2}$)

Figura E3
Precipitación mensual (mm mes⁻¹)

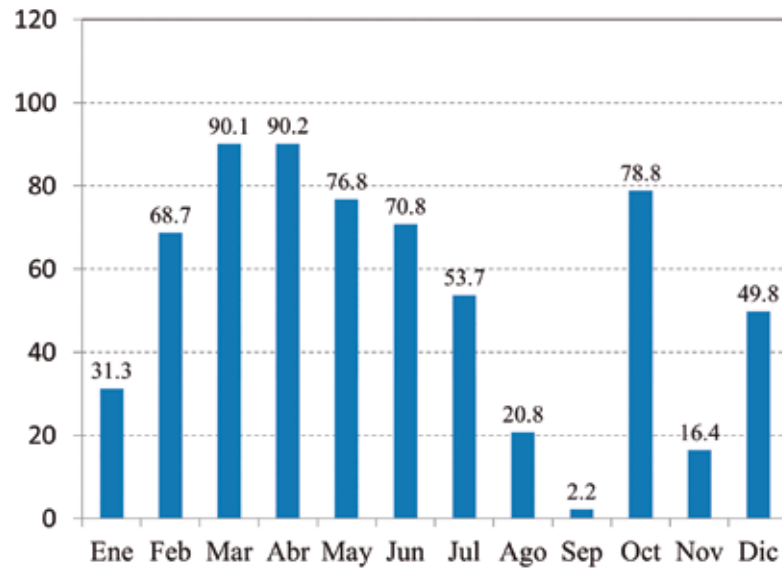
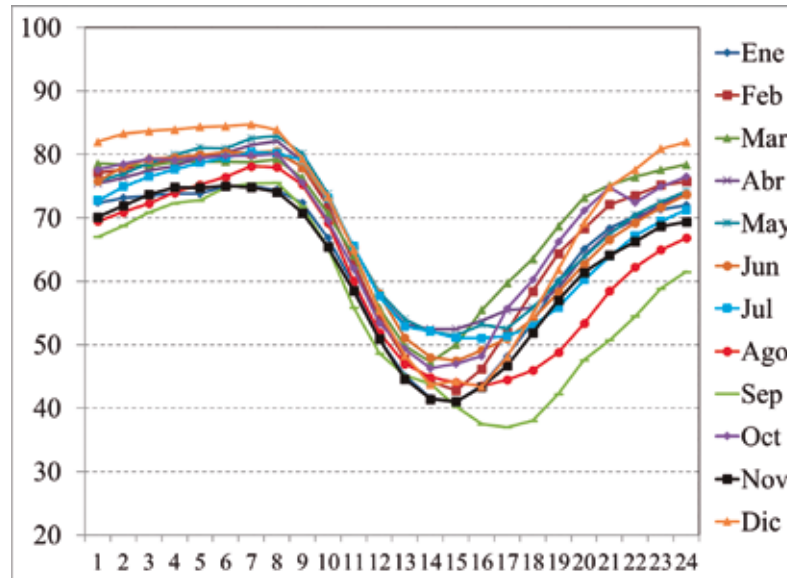


Figura E4
Perfiles promedio diarios de la
humedad relativa por mes (%).



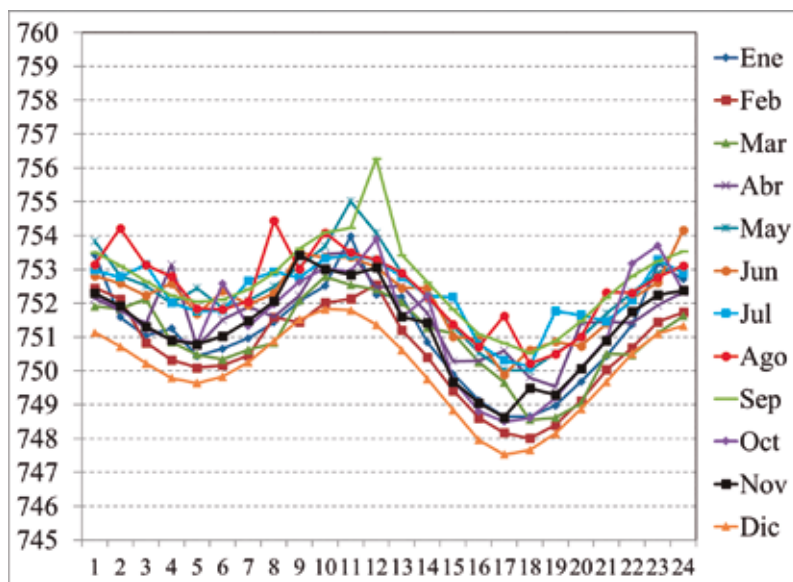


Figura E5
Perfiles promedio diarios de la presión atmosférica por mes (mbar)

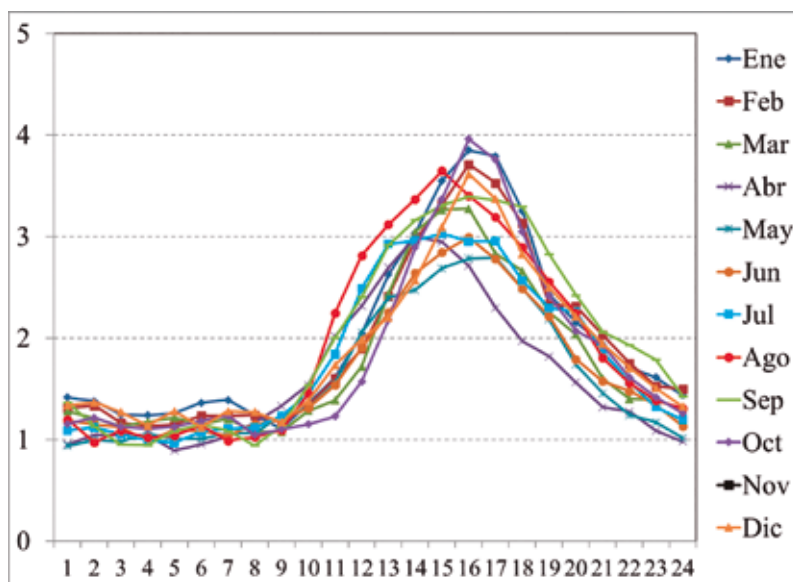


Figura E6
Perfiles promedio diarios de la velocidad del viento por mes ($m s^{-1}$)

ANEXO

A large, stylized white letter 'F' is centered within a solid blue square. The 'F' is composed of a vertical stem and two horizontal bars, with a slight gap between the bars.

REGISTROS
METEOROLÓGICOS
DE LA ESTACIÓN
AUTOMÁTICA EIE.
AÑO 2022.

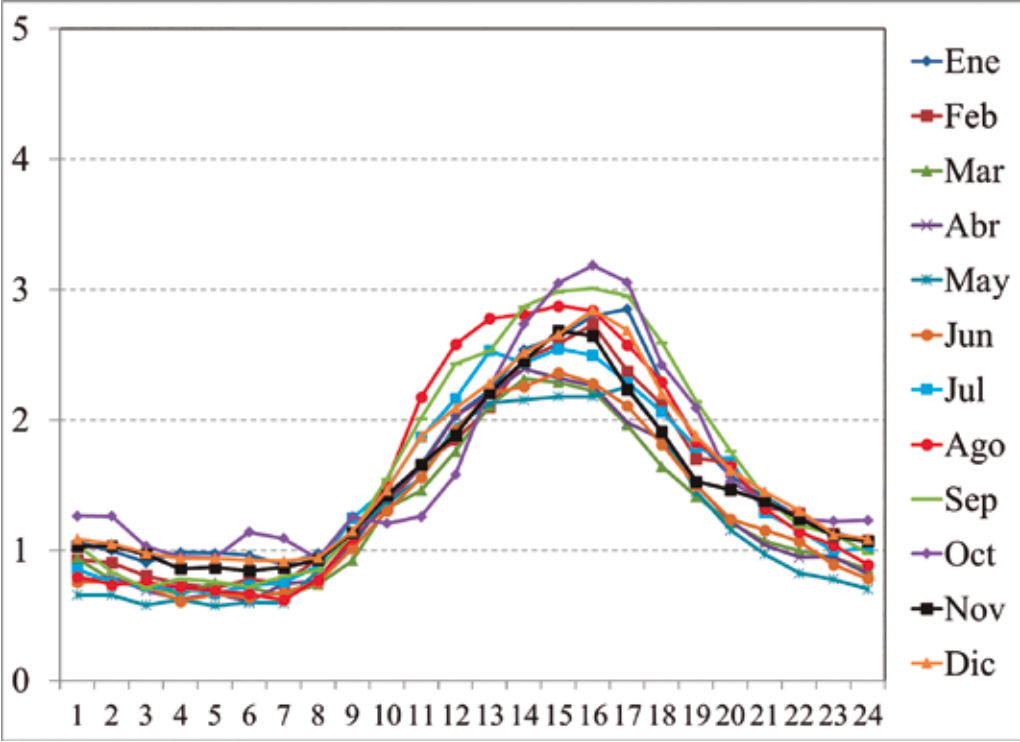


Figura F1
Perfiles promedio diarios de la velocidad del viento por mes (m s^{-1})

ANEXO

A large, white, stylized letter 'G' is centered within a solid blue rectangular box. The 'G' is thick and modern, with a slight gap at the bottom right.

RESULTADOS DE
LA SIMULACIÓN
METEOROLÓGICA
PARA EL AÑO 2022
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 2022, del Cantón Cuenca, con el 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 G1). 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 los valores medios mensuales de los 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.

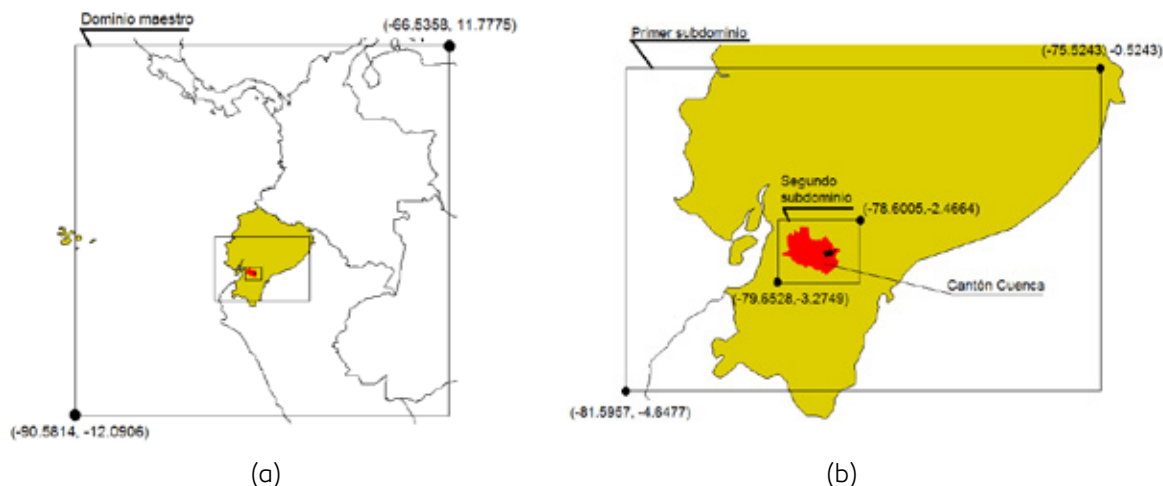


Figura G1

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
Dominios (maestro. primer subdominio. segundo subdominio)		
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
Parámetros físicos		
mp_physics	4	WRF Single-Moment 5-class scheme
ra_lw_physis	4	RRTMG scheme
ra_sw_physics	4	RRTMG shortwave
sf_sfclay_physics	91	MM5 similarity
sf_surface_physics	1	5-layer thermal diffusion:
bl_pbl_physics	1	Yonsei University scheme
cu_physics	1	Kain-Fritsch scheme

Tabla C1
Parámetros de simulación meteorológica para el Cantón Cuenca

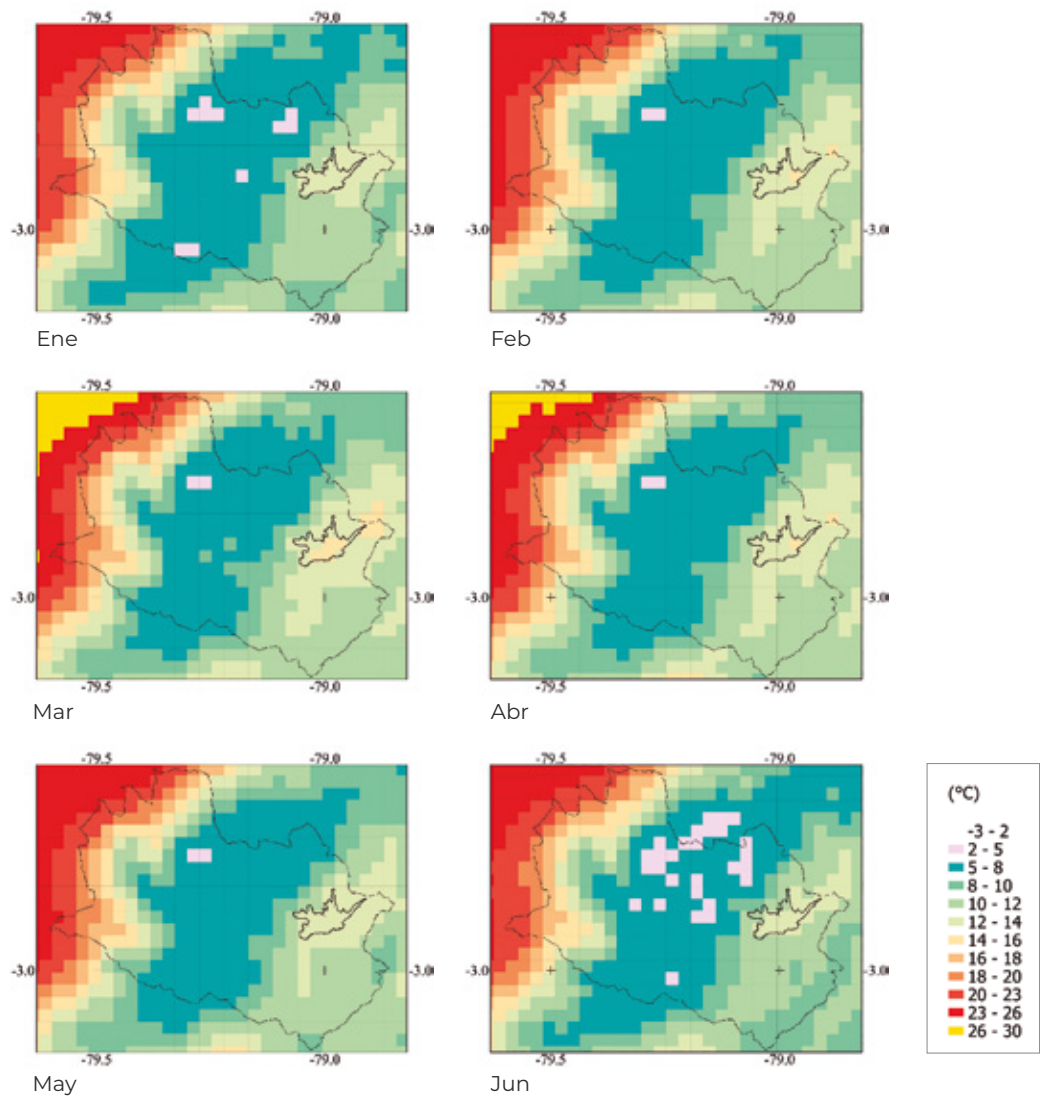


Figura G2
Valor promedio de la temperatura en superficie (°C). Enero – junio de 2022.

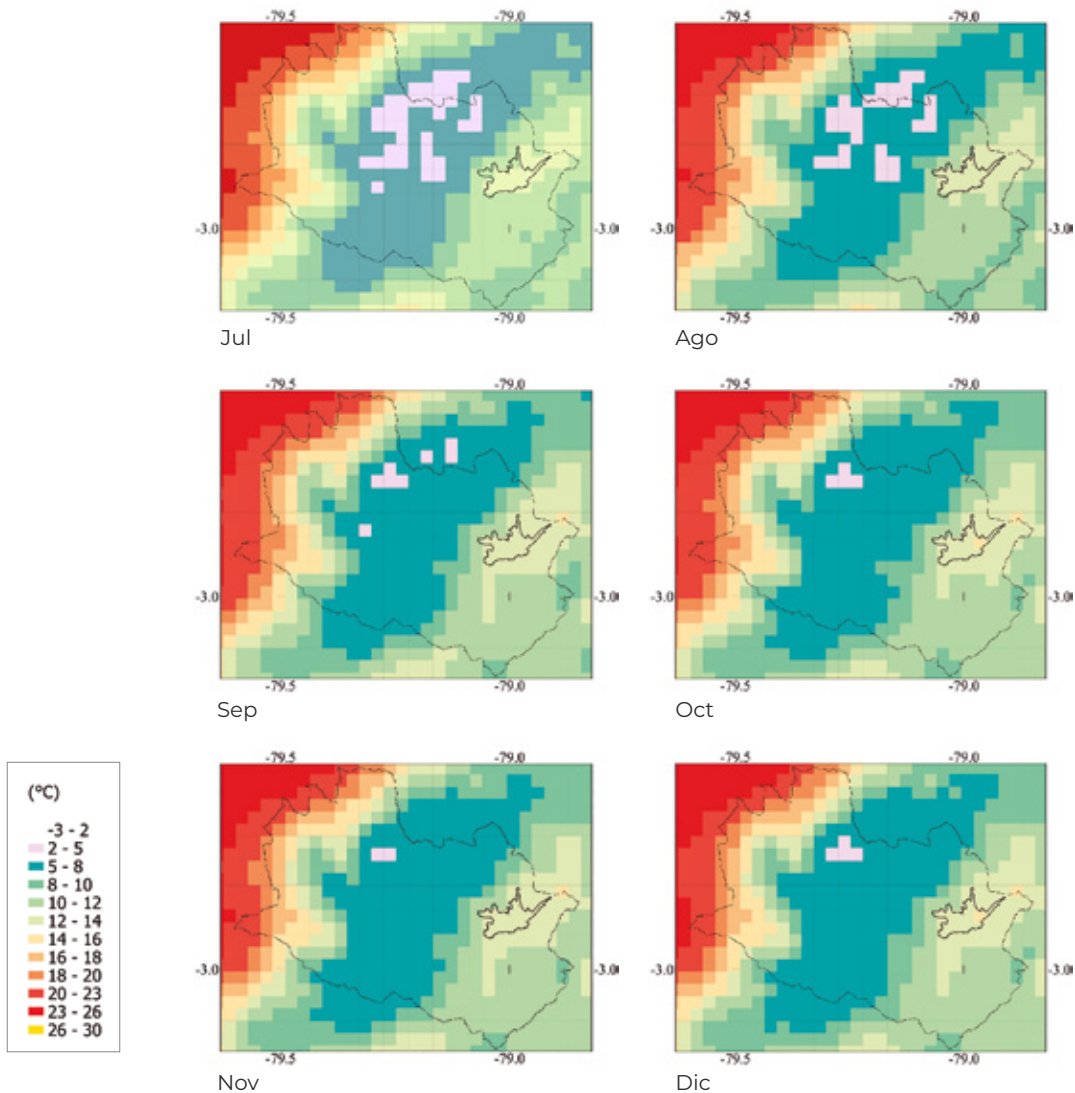


Figura G3
Valor promedio de la temperatura en superficie (°C). Julio – diciembre de 2022.

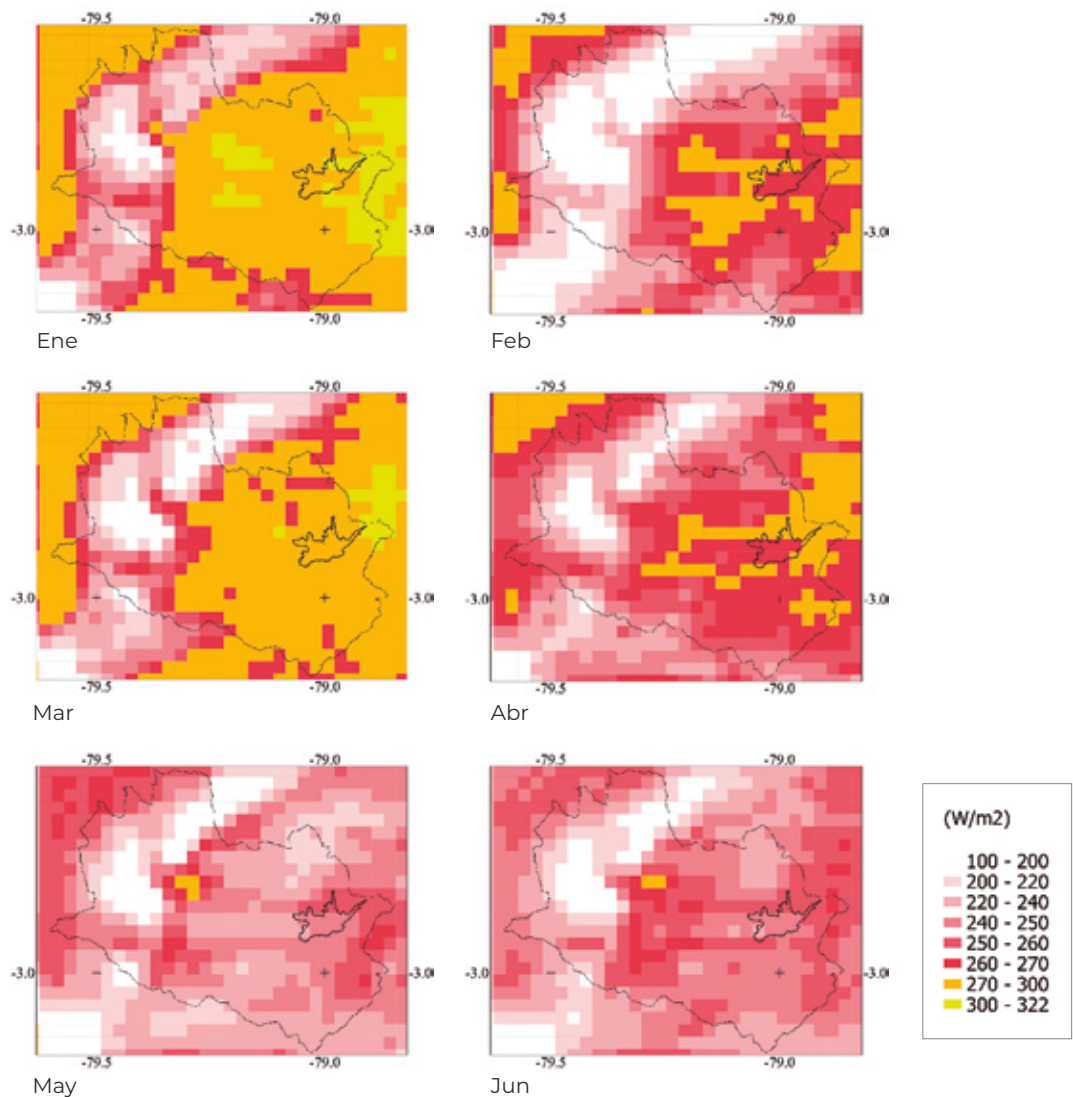


Figura G4
Valor promedio de la radiación solar global en superficie (W/m²). Enero – junio de 2022.

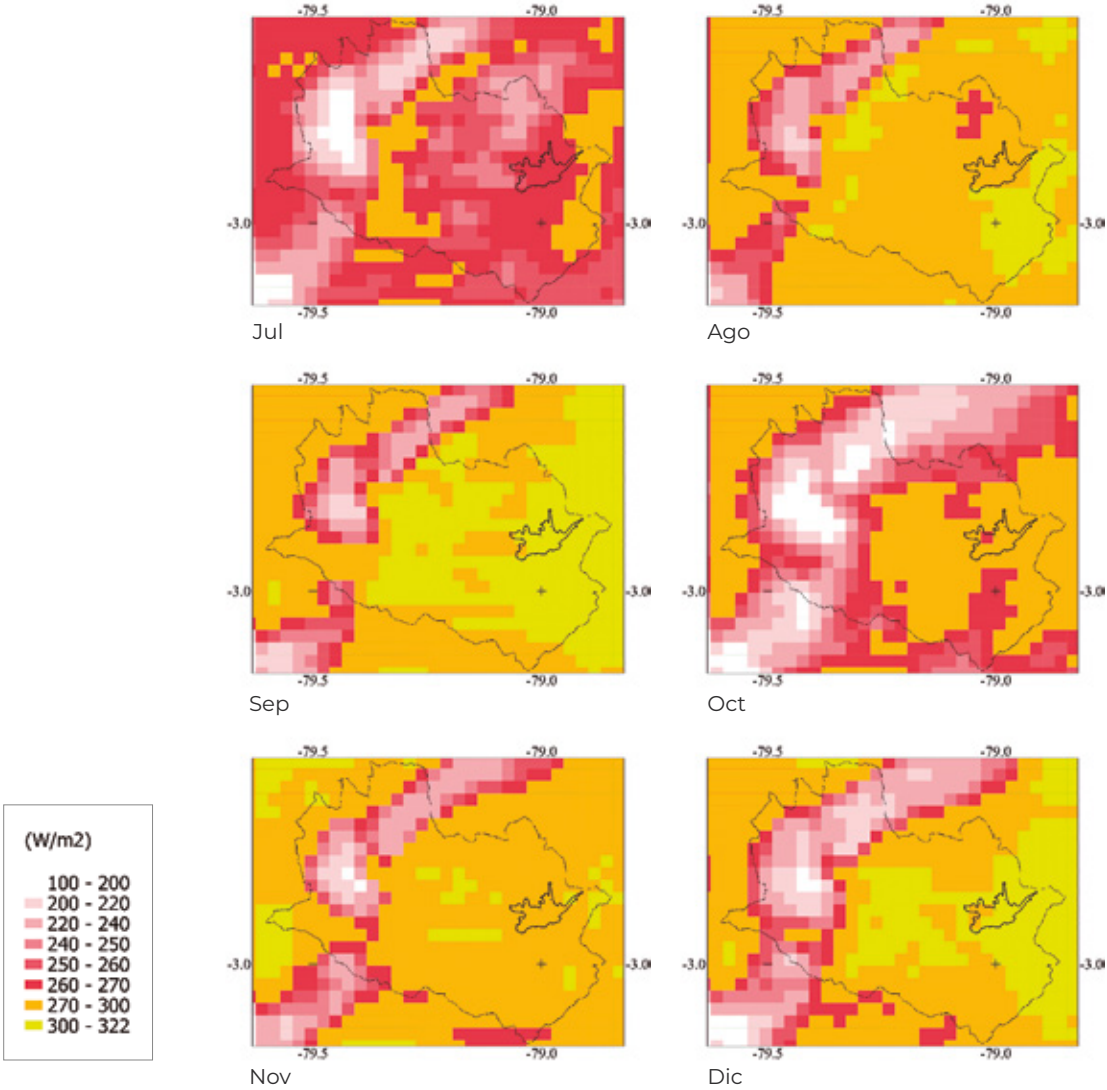


Figura G5
Valor promedio de la radiación solar global en superficie (W/m²). Julio – diciembre de 2022.

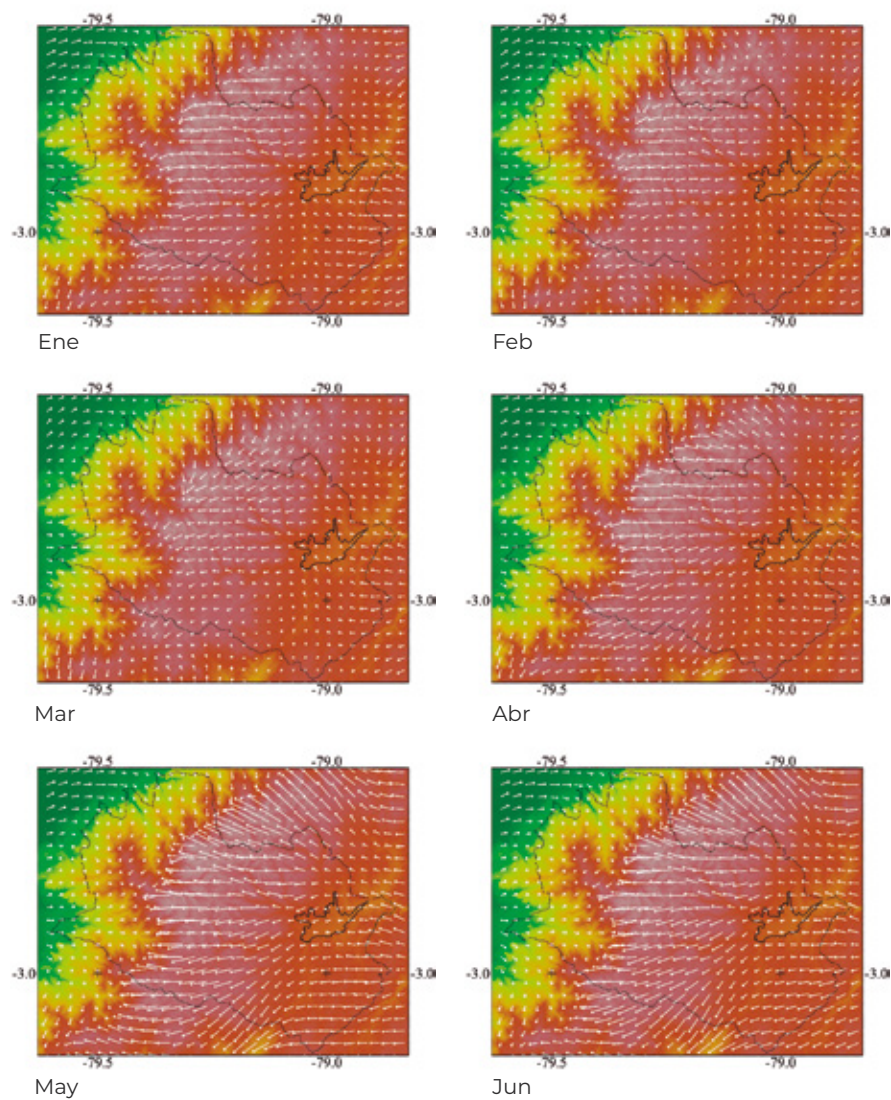


Figura G6

Viento promedio en superficie (m/s). Enero – junio de 2022.

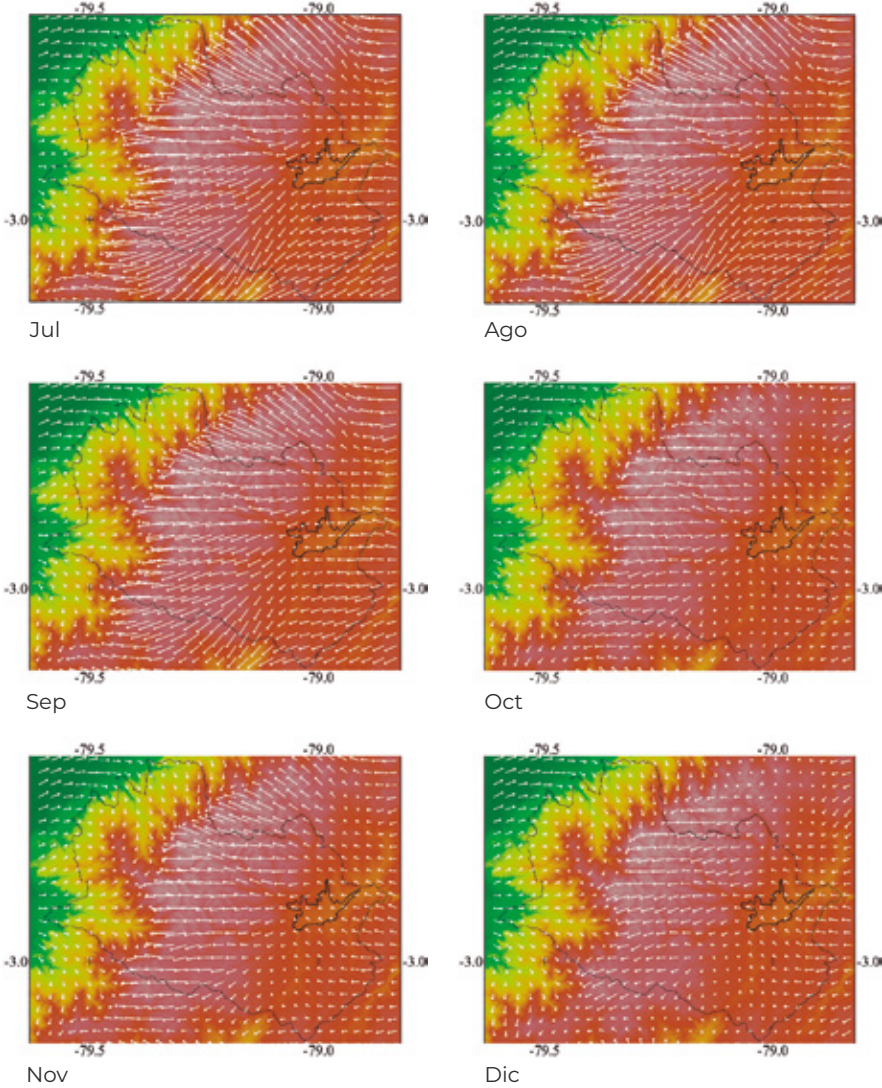


Figura G7
Viento promedio en superficie (m/s). Julio – diciembre de 2022.

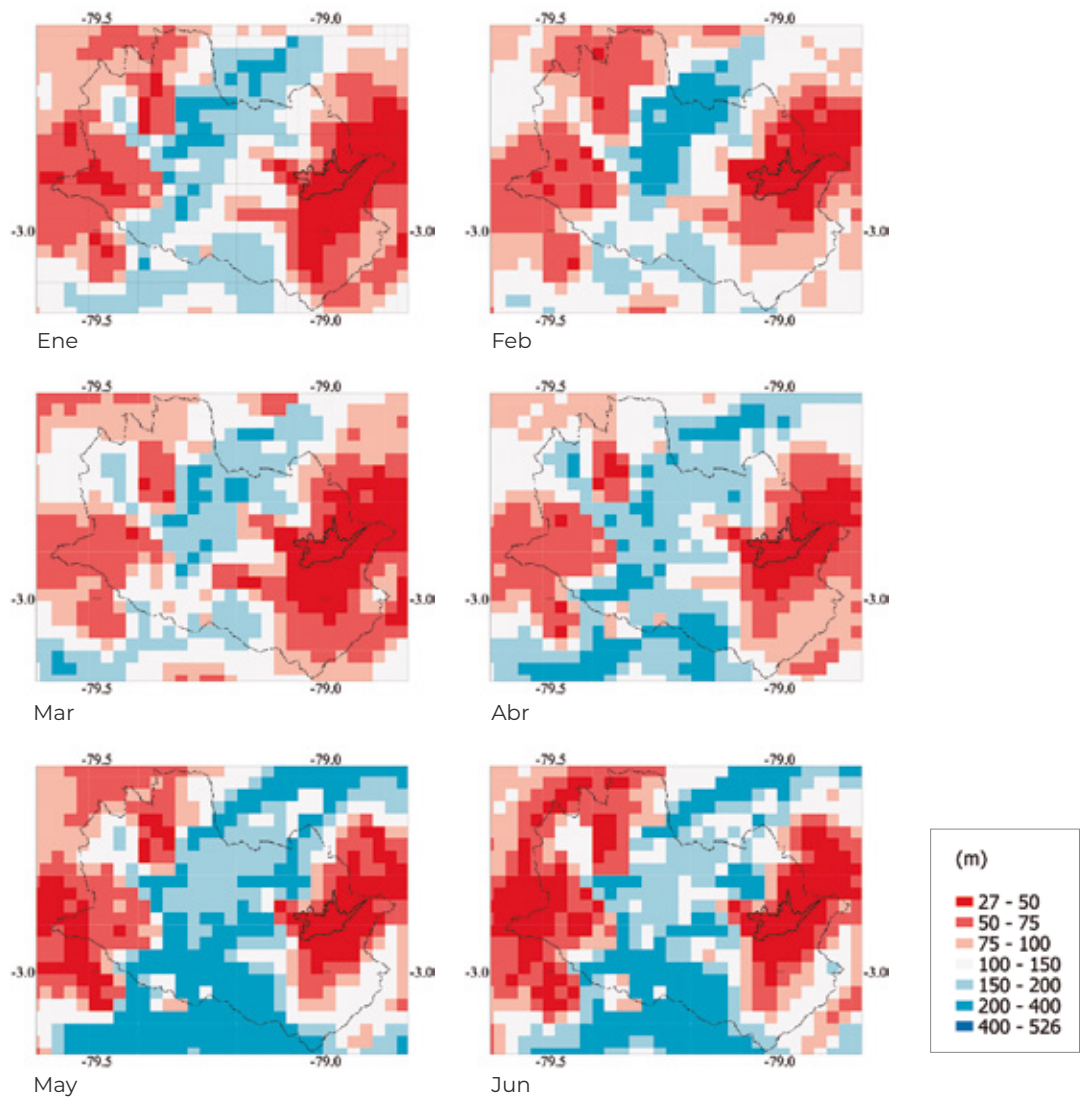


Figura G8
Valor promedio de la altura de la capa de mezcla (m) para las 06:00. Enero – junio de 2022.

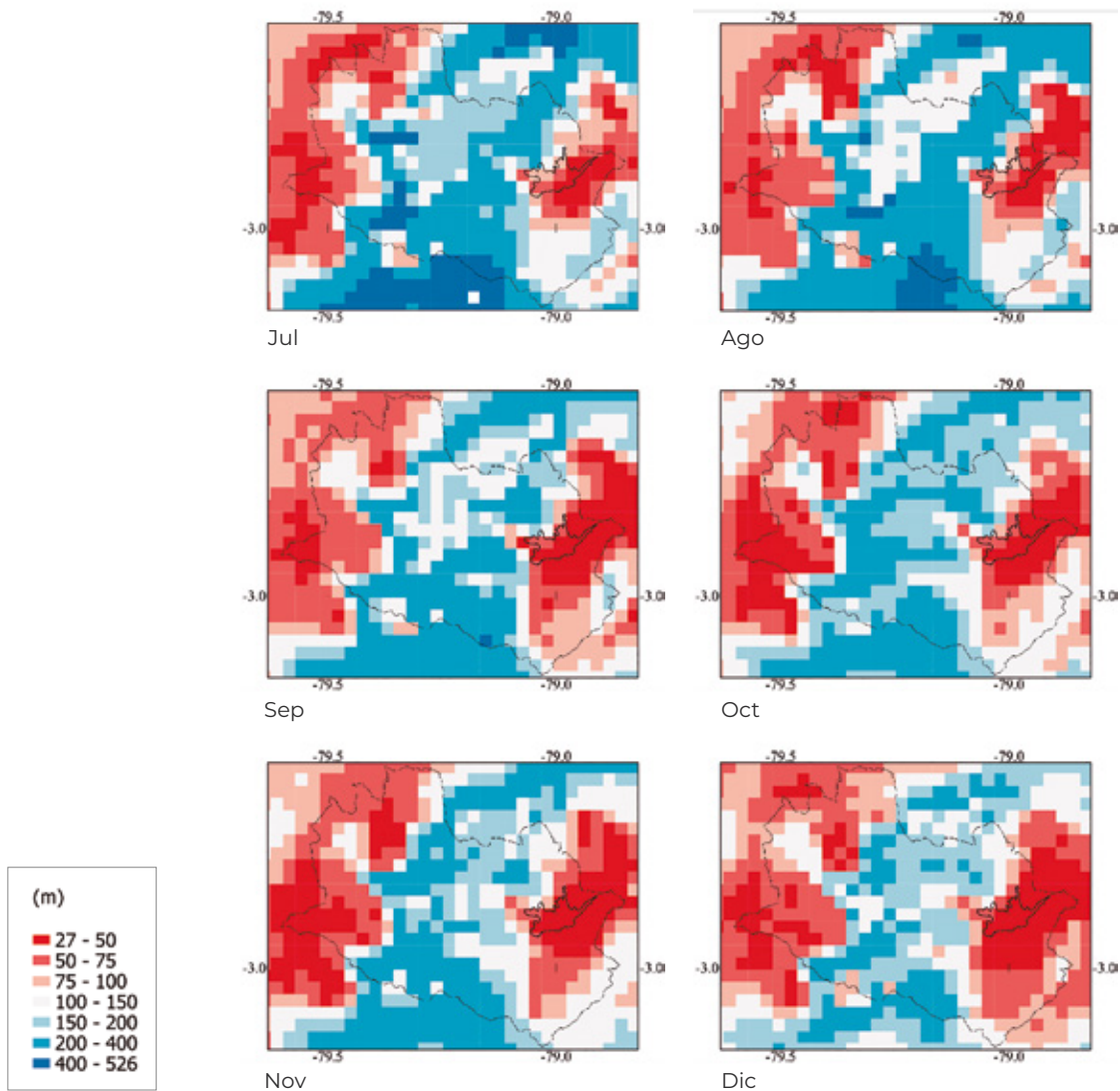


Figura G9
Valor promedio de la altura de la capa de mezcla (m) para las 06:00. Julio – diciembre de 2022.

ANEXO

REGISTROS
HORARIOS DE LAS
ESTACIONES CON
MICROSENSORES
DURANTE EL
AÑO 2022

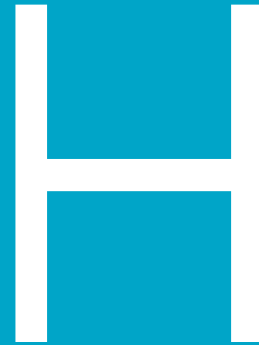


Figura H1
Dióxido de nitrógeno

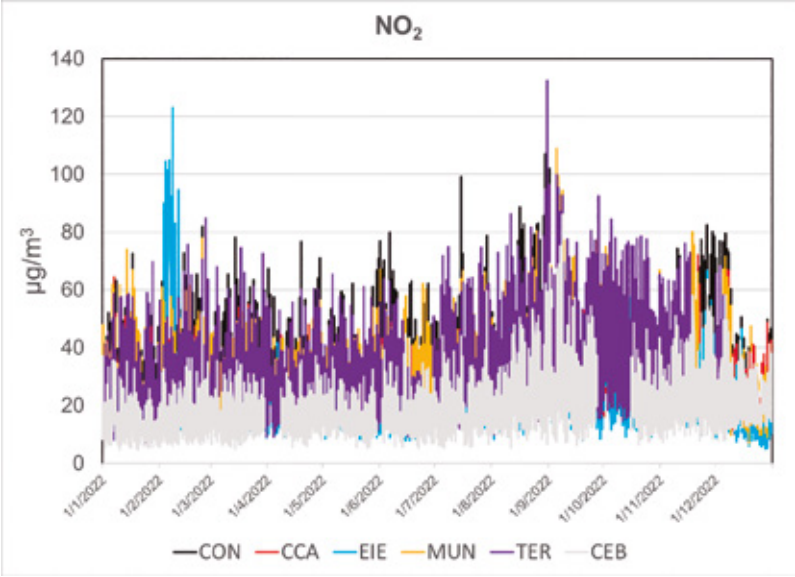
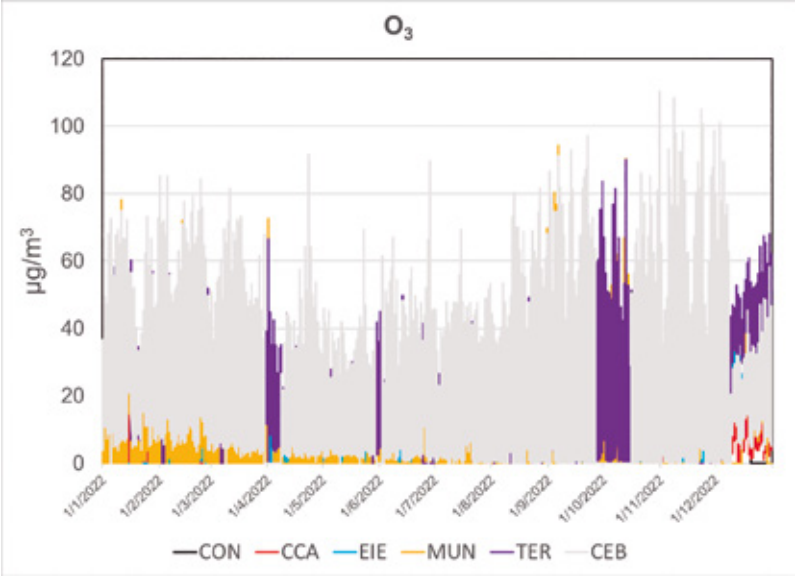


Figura H2
Ozono



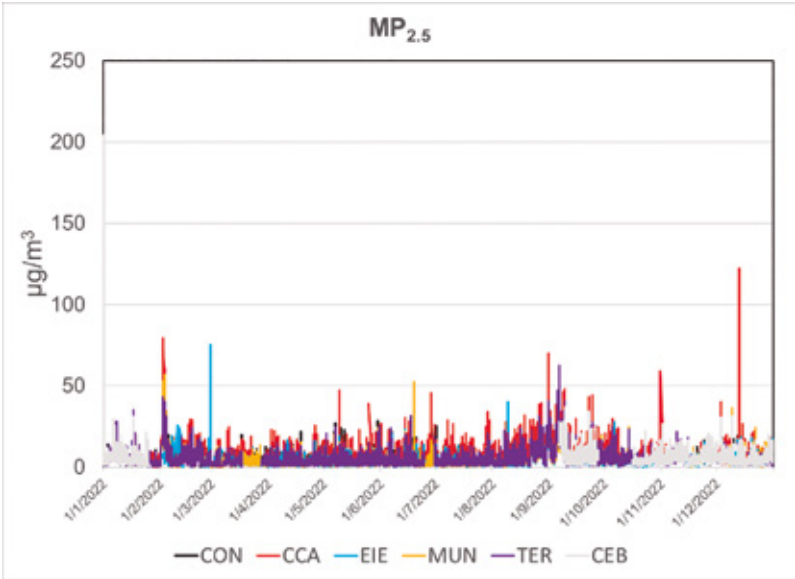


Figura H3
Material particulado con diámetro
menor a 2.5 µm

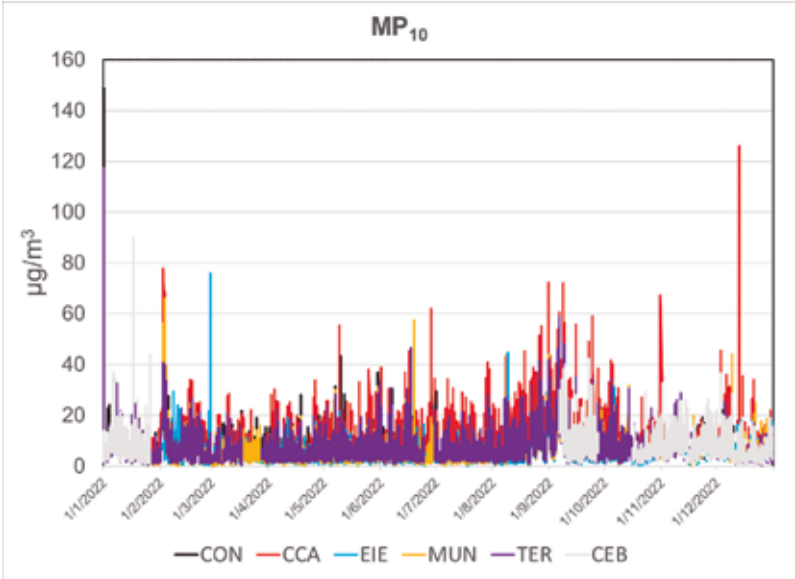


Figura H4
Material particulado con diámetro
menor a 10 µm

ANEXO

I

SIMULACIÓN DE LA
DISPERSIÓN DE MATERIAL
PARTICULADO FINO
(PM_{2.5}) DURANTE LAS
PRIMERAS HORAS DEL
AÑO 2022 EN CUENCA: EL
EFECTO DE ADELANTAR
LAS ACTIVIDADES DE
COMBUSTIÓN

El uso de fuegos artificiales y quema de años viejos incrementan los niveles de material particulado fino ($PM_{2.5}$) en la atmósfera, con impactos directos en la salud pública. Las emisiones de estas fuentes se generan principalmente luego de la medianoche, durante las primeras horas del año nuevo. En estas horas, la capacidad de la atmósfera para dispersar los contaminantes del aire es limitada, y como consecuencia, se generan niveles de $PM_{2.5}$ que generalmente superan tanto el límite de la norma ecuatoriana de la calidad del aire y la concentración recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Durante el 1 de enero de 2022, la red de monitoreo de Cuenca concentraciones (máximo promedio en 24 horas) entre 27.3 y 40.6 $\mu g\ m^{-3}$, valores mayores al nivel recomendado por la OMS (15 $\mu g\ m^{-3}$).

La mejor manera de reducir el impacto de estas emisiones consiste obviamente en reducir la cantidad de fuegos artificiales y de años viejos que se queman para recibir al año nuevo. También se pueden seleccionar fuegos artificiales y monigotes hechos de materiales que generan menores emisiones. Una opción menos explorada consiste en adelantar las emisiones a periodos anteriores a la medianoche, durante la tarde o primeras horas de la noche del 31 de diciembre, cuando la atmósfera generalmente tiene una mayor capacidad para dispersar los contaminantes atmosféricos, generando por lo tanto, menores niveles de contaminación.

En el artículo titulado *Simulating $PM_{2.5}$ Concentrations during New Year in Cuenca, Ecuador: Effects of Advancing the Time of Burning Activities* (Parra et al., 2022), publicado en mayo de 2022, en el journal *Toxics* (<https://www.mdpi.com/2305-6304/10/5/264>), se analiza y cuantifica el efecto en la calidad del aire, de adelantar estas emisiones a periodos anteriores a la medianoche.

Con este propósito, se estimaron las emisiones de $PM_{2.5}$ en Cuenca, debido al uso de fuegos pirotécnicos y quema de años viejos, para festejar el inicio del año 2022. Estas emisiones, sumadas al aporte de otras fuentes de fondo (tráfico vehicular, industrias), se usaron para estudiar la dispersión del contaminante durante los días 31 de diciembre de 2021 y 1 de enero de 2022. Para ello, se utilizó el modelo Weather Research and Forecasting with Chemistry (WRF-Chem), un modelo de última generación, que permite simular numéricamente variables meteorológicas, como la velocidad y dirección del viento, así como la dispersión de contaminantes del aire como el $PM_{2.5}$. Los resultados indicaron que las concentraciones en las seis estaciones de la red de monitoreo que miden $PM_{2.5}$, fueron aceptablemente modeladas (Figura G.1).

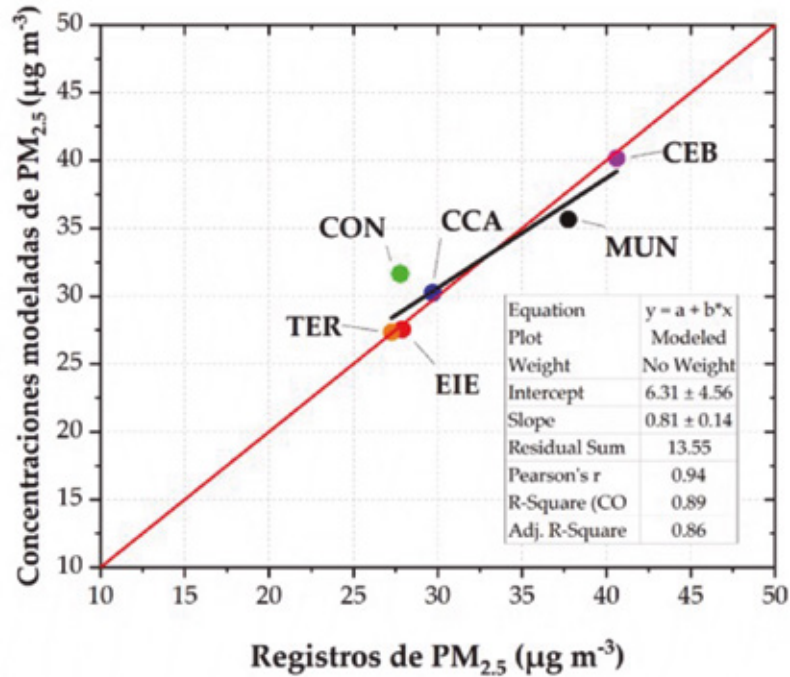
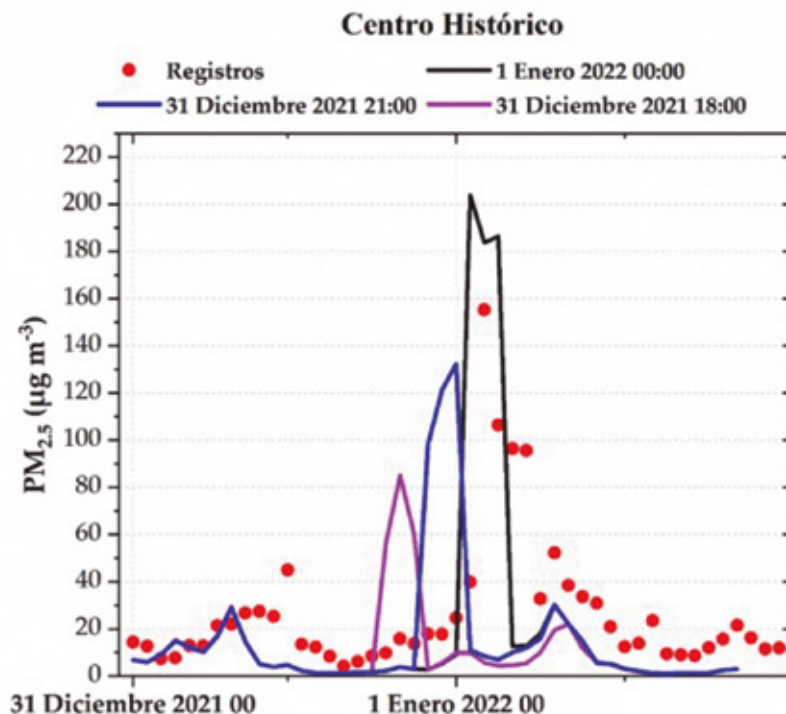


Figura G1
Comparación de los registros de $PM_{2.5}$ (promedio máximo en 24 horas) y las concentraciones modeladas para el periodo 31 de diciembre de 2021 al 1 de enero de 2022. Los puntos y la nomenclatura corresponden a las estaciones: CEB (El Cebollar), MUN (Municipio), CCA (Colegio Carlos Arízaga), CON (La Condamine), EIE (Escuela Ignacio Escandón), TER (Terminal Terrestre). La línea negra indica el ajuste entre registros y los valores modelados. La línea roja corresponde a un ajuste perfecto.

Adicionalmente, se realizaron experimentos numéricos de la dispersión de $PM_{2.5}$, asumiendo que las emisiones por año nuevo se adelantan a las 18:00 y 21:00 del 31 de diciembre de 2021 respectivamente. La Figura G.2 indica los registros horarios y las concentraciones modeladas para el escenario de referencia y de estos dos escenarios hipotéticos, en la estación del Municipio (MUN), que se localiza en el Centro Histórico de Cuenca.

Los resultados indicaron que si las emisiones por el festejo del año nuevo hubiesen empezado a las 18:00 o 21:00, las concentraciones en promedio hubiesen sido entre 51.4 y 33.2% menores respectivamente, en comparación con las concentraciones que corresponden a la quema de años viejos y fuegos pirotécnicos, iniciando a las 00:00 del 1 de enero de 2022.

**Figura G2**

Centro Histórico de Cuenca (estación MUN): Registros horarios y concentraciones modeladas de $PM_{2.5}$ para el periodo 31 de diciembre de 2021 al 1 de enero de 2022. Los puntos rojos corresponden a los registros de calidad del aire. Las líneas continuas indican las concentraciones modeladas para el escenario de referencia (línea negra, emisiones generadas a partir de las 00:00 del 1 de enero de 2022) y los dos escenarios hipotéticos (línea violeta, emisiones generadas a partir de las 18:00 del 31 de diciembre de 2021; línea azul, emisiones generadas a partir de las 21:00 del 31 de diciembre de 2021).

Se desarrollaron experimentos similares para los días 31 de diciembre de 2016 hasta 2020. Los resultados indicaron que si las emisiones por el festejo del año nuevo hubiesen empezado a las 18:00 del 31 de diciembre, se hubiesen generado concentraciones menores entre 21.4 y 61.0%, con relación al escenario de referencia. Si las emisiones hubiesen empezado a las 21:00, las concentraciones hubiesen sido entre 2.3 y 40.7% menores con relación al escenario de referencia. Las menores concentraciones para los escenarios hipotéticos se producen por una mejor

capacidad de la atmósfera para dispersar el $PM_{2.5}$ en periodos anteriores a la medianoche.

Reducir y adelantar la quema de años viejos y fuegos pirotécnicos a horas anteriores a la medianoche son opciones para reducir el impacto de estas actividades en la calidad del aire en Cuenca. Para su aplicabilidad se deben considerar varios componentes, como los que se indican en el texto completo del artículo se incluye a continuación.

ANEXO

A large, stylized white letter 'J' is centered within a solid blue rectangular area. The 'J' is thick and has a curved bottom.

ARTÍCULO: SIMULATING
PM_{2.5} CONCENTRATIONS
DURING NEW
YEAR IN CUENCA,
ECUADOR: EFFECTS OF
ADVANCING THE TIME
OF BURNING ACTIVITIES



Article

Simulating PM_{2.5} Concentrations during New Year in Cuenca, Ecuador: Effects of Advancing the Time of Burning Activities

René Parra^{1,*}, Claudia Saud¹ and Claudia Espinoza²¹ Instituto de Simulación Computacional (ISC-USFQ), Colegio de Ciencias e Ingenierías, Universidad San Francisco de Quito USFQ, Quito 170901, Ecuador; csaud@usfq.edu.ec² Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Cuenca, Empresa Pública de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca, EMOV EP, Cuenca 010206, Ecuador; cespinoza@emov.gob.ec

* Correspondence: rparra@usfq.edu.ec

Abstract: Fine particulate matter (PM_{2.5}) is dangerous to human health. At midnight on 31 December, in Ecuadorian cities, people burn puppets and fireworks, emitting high amounts of PM_{2.5}. On 1 January 2022, concentrations between 27.3 and 40.6 µg m⁻³ (maximum mean over 24 h) were measured in Cuenca, an Andean city located in southern Ecuador; these are higher than 15 µg m⁻³, the current World Health Organization guideline. We estimated the corresponding PM_{2.5} emissions and used them as an input to the Weather Research and Forecasting with Chemistry (WRF-Chem 3.2) model to simulate the change in PM_{2.5} concentrations, assuming these emissions started at 18:00 LT or 21:00 LT on 31 December 2021. On average, PM_{2.5} concentrations decreased by 51.4% and 33.2%. Similar modeling exercises were completed for 2016 to 2021, providing mean decreases between 21.4% and 61.0% if emissions started at 18:00 LT. Lower mean reductions, between 2.3% and 40.7%, or even local increases, were computed for emissions beginning at 21:00 LT. Reductions occurred through better atmospheric conditions to disperse PM_{2.5} compared to midnight. Advancing the burning time can help reduce the health effects of PM_{2.5} emissions on 31 December.

Keywords: WRF-Chem; air quality modeling; fine particles; planetary boundary layer; atmospheric stability



Citation: Parra, R.; Saud, C.; Espinoza, C. Simulating PM_{2.5} Concentrations during New Year in Cuenca, Ecuador: Effects of Advancing the Time of Burning Activities. *Toxics* **2022**, *10*, 264. <https://doi.org/10.3390/toxics10050264>

Academic Editors: Matthias Karl and Yuan Cheng

Received: 30 March 2022

Accepted: 17 May 2022

Published: 19 May 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 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 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Fireworks to welcome in the new year are customary across different parts of the world [1,2]. Around midnight on 31 December in Ecuador, it is also a tradition to burn the “años viejos”, cloth dolls filled with sawdust or paper. Both the fireworks and the burning of puppets take place in a festive environment amid social and family connections [3]. The use of fireworks results in raising short-term particulate matter concentrations [4], which affects public health and visibility [5], reaching levels that typically exceed both national regulations and the guidelines of the World Health Organization (WHO). Most of the particles aerosolized by burning fireworks consist of metals and compounds in colorful fireworks displays [2].

PM_{2.5} produces health effects after both short-term and long-term exposure. The WHO guideline does not guarantee complete protection against PM_{2.5} effects [6], requiring the lowest concentrations to be achieved. Short-term exposure promotes cardiovascular and respiratory effects [7]. The International Agency for Research on Cancer (IARC) classified particulate matter and outdoor air pollution as carcinogenic to humans [8,9]. Moreover, in terms of effects on the brain, particulate matter appears to be the most concerning air pollutant [10]. PM_{2.5} accumulates in the reproductive organs, disrupting hormone levels and affecting fertility [11]. Moreover, pyrotechnic fireworks introduce significant quantities of toxic metals into the atmosphere, affecting mammalian cells and lungs [12]. PM_{2.5} affects red blood cell counts, monocyte counts, and hemoglobin concentration [13]. Fireworks have increased health problems, particularly in infants, women (including pregnant women),

the elderly, and fetuses. Children suffer from an increased risk of diseases due to exposure to heavy metals emitted by pyrotechnics [14]. Short-term exposure to $PM_{2.5}$ was recently associated with an increased risk of and mortality associated with myocardial infarction in patients with acute coronary syndromes and angina [15]. Comparatively, exposure to PM_1 exhibited a higher risk for emergent department visits than $PM_{2.5}$ [16], and PM_1 may be more hazardous to children's respiratory systems than $PM_{2.5}$ exposure [17]. Although air pollution from New Year's emissions occurs once a year, it can be a potential risk, especially for people with pre-existing diseases [18]. Therefore, particulate matter levels in the atmosphere, both at short- and long-term concentrations, need to be controlled worldwide.

Particulate matter (PM) concentrations in ambient air are the result of a complex two-way interaction between emissions and atmospheric physical–chemical processes [19,20]. The dynamic of the planetary boundary layer (PBL)—the turbulent bottom layer of the atmosphere, which experiences a daily cycle of depth, temperature, wind, and pollution variations—directly influences air pollutant concentrations. If the atmosphere shows unstable conditions, as at sunny middays, PBL depth will be high, promoting PM dispersion [21]. On the other hand, if the atmosphere is stable, as it is during strong thermal inversion, PBL depth will be shallow, and particulate matter will remain concentrated. Radiation, cloud cover, wind speed, and direction also influence the behavior of air quality [22,23]. Other processes, such as accumulation, condensation, fragmentation, and sedimentation, also influence PM concentrations [19,24–26].

Emissions from fireworks, firecrackers, and puppet burning are typically highest during the first hours of a new year. In Cuenca (Ecuador), typically the $PM_{2.5}$ concentrations at the beginning of the year are higher than the WHO's guidelines (e.g., [27–29]), implying the effects on public health reported in the literature [5,7,12,14,15], and therefore, the need to reduce $PM_{2.5}$ concentrations. Recently, the air quality network from Cuenca began to measure both $PM_{2.5}$ and PM_1 , which is valuable information for improving understanding of the air quality problems in this city and how atmospheric pollution is affecting public health.

Although the direct way to control $PM_{2.5}$ levels is to reduce emissions by limiting combustion sources, implementing firework prohibition policies during the Chinese Lunar New Year's celebrations did not result in clear air quality benefits [30]. Another option is to manage the corresponding emission factors (the amount of $PM_{2.5}$ emitted per unit of pollutant activity), promoting the use of environmentally friendly fireworks. However, this alternative must be accompanied by strict control of the number of used fireworks [31]. Due to these limitations, it is necessary to study other options to reduce air pollution by New Year's emissions. We did not find dedicated studies for this purpose in Ecuador, and therefore, exploring alternatives to reduce $PM_{2.5}$ levels at the beginning of the year is necessary.

At midnight, the temperature and wind speeds in Cuenca usually present lower values compared with the preceding hours. Low temperature and wind speed values are associated with low PBL depths [21] and stronger atmospheric stability [32]. Although weather conditions cannot be controlled, another novel option could be to advance the burning of fireworks and puppets to a time when, compared with midnight, the atmosphere presents better conditions to disperse air pollutants. Hence, this study reports the PM_1 and $PM_{2.5}$ records on 31 December 2021 and 1 January 2022. Moreover, we performed numerical experiments to estimate the changes in $PM_{2.5}$ concentrations to answer the following questions:

- Are there reductions in $PM_{2.5}$ concentrations if the emission activities associated with the arrival of a new year in Cuenca occur some hours before midnight?
- What is the magnitude of these changes?

2. Materials and Methods

2.1. Primary Sources and Past $PM_{2.5}$ Concentrations in Cuenca

Cuenca (2500 m.a.s.l.), an Andean city located in southern Ecuador (Figure 1), has a complex topography, with altitudes ranging from 1000 to 4000 m.a.s.l. This city has approximately 640,000 inhabitants, representing approximately 3.6% of the Ecuadorian population [33]. This territory has diverse land-use categories. The primary sources of $PM_{2.5}$ are diesel vehicles, industries at the northeast zone of the city, and a power facility located in the northeast of the urban area (Figure 1d). Moreover, irregular $PM_{2.5}$ emissions come from artisanal brick production in the northwest of the urban region, due to the combustion of biomass [34]. More information about the magnitude of the emission sources in Cuenca are described in Parra (2018) [35] and Parra and Espinoza (2020) [36].

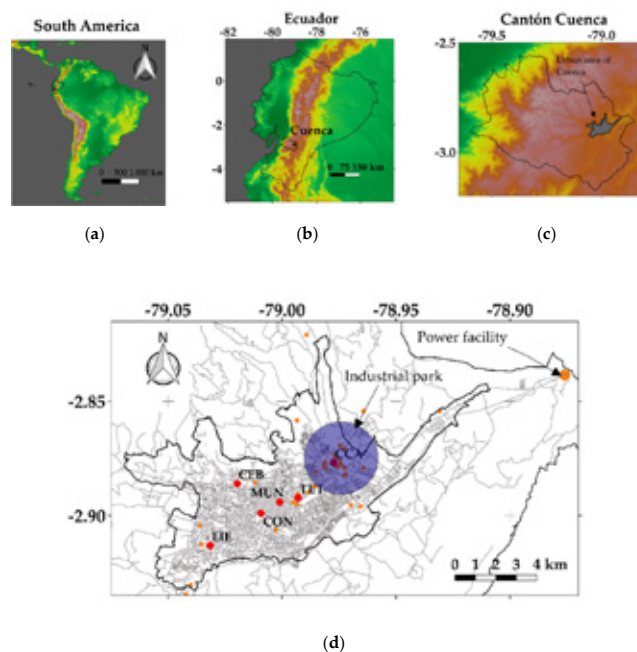


Figure 1. Location of: (a) Ecuador; (b,c) Cuenca; (d) urban area of Cuenca and the air quality stations (red dots) with $PM_{2.5}$ sensors (name, nomenclature): Colegio Carlos Arizaga, CCA; Terminal Terrestre, TET; Municipio, MUN; Condamine, CON; Cebollar, CEB; Escuela Ignacio Escandón, EIE. Orange dots indicate industries.

During the first hours of 2016 to 2021, the air quality network in the MUN (Municipio) station measured maximum hourly $PM_{2.5}$ concentrations between 55.8 and 182.1 $\mu g m^{-3}$. The MUN station has been operating since 2012, measuring both meteorological parameters and air quality. Some years later, the Colegio Carlos Arizaga (CCA) and Escuela Ignacio Escandón (EIE) stations were installed to monitor air quality in the zones of the industrial park and in the southwest of the city (Figure 1d). In the last weeks of 2021, three new stations were installed (Condamine, CON; Terminal Terrestre, TER; Cebollar, CEB), equipped with

sensors to record PM_{2.5} and PM₁. The air quality network is operated by the Municipality of Cuenca, the entity accredited by the National Environmental Authority.

2.2. Estimation of PM_{2.5} Emissions through Burning Activities Associated with the Arrival of 2022

In general, emission inventories have high levels of uncertainty. This feature is especially critical when estimating New Year's emissions. After exploring different approaches, we estimated the total PM_{2.5} emissions at the beginning of 1 January 2022 as the contribution of the use of fireworks and the burning of puppets, through the basic emission model:

$$\text{PM}_{2.5} \text{ Emission} = \text{Activity} \times \text{Emission Factor} \quad (1)$$

Activity: amount of fireworks or puppets burned during the New Year's festivities.
Emission factor: amount of PM_{2.5} emitted by each firework or puppet burned.

2.2.1. Emissions Due to the Use of Fireworks

Firstly, we estimated the amount of fireworks used in Cuenca, through the following approach.

Based on information about the amount of money spent for the importation of fireworks in 2021 [37,38], we estimated that in Cuenca, approximately USD 112,000 was allocated for the purchase of fireworks in December. We identified the pyrotechnic cake with 30 shots, which has approximately 500 g of net explosive content (NEC), as the most consumed product. Using an average price of USD 24 per cake, we estimated that there was 3497 kg NEC in the amount of fireworks legally sold. Moreover, we considered the additional amount of fireworks from illegal sales by non-controlled producers or importers. Based on information about illegal fireworks [39] and an assumed percentage of non-controlled sales, we estimated a 3279 kg NEC as a result of these sales. Therefore, the total amount of fireworks were estimated to equal 6776 kg NEC.

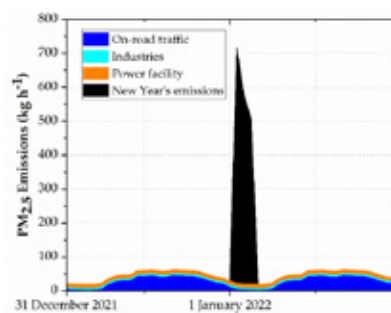
Then, we selected the average emission factor of 200 g PM_{2.5} NEC⁻¹ proposed by Keller and Schragen (2021) [40] for common pyrotechnic articles. Applying Equation (1), the corresponding emission was 1.36 t PM_{2.5}.

2.2.2. Emissions Due to the Burning of Puppets

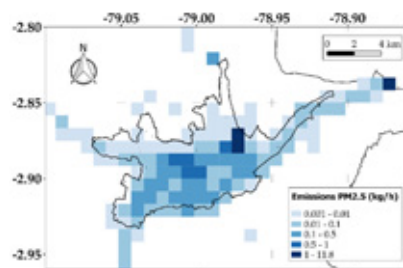
The amount of puppets burned was estimated through the following approach.

The Municipality of Cuenca determined 369 authorized points for selling puppets, with an average amount of 25 units sold per day [41]. Considering the number of sales over two days, an average weight of 2 kg per unit, and an increase of 25% due to domestic production and non-authorized sales, we estimated 46.1 t as the amount of biomass contained in the puppets. Although in recent years authorities have disincentivized the use of sawdust, it is still used for filling puppets. Therefore, we selected the average emission factor of 8.10 g PM_{2.5} per kg of biomass, proposed for wood waste in the European emission factor database [42]. Therefore, the estimated emission due to the burning of puppets was 0.37 t PM_{2.5}.

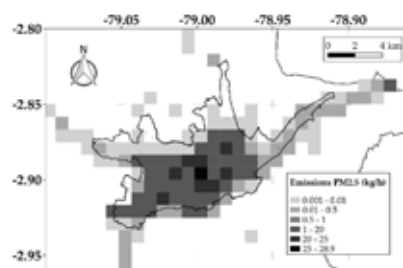
The total estimated emission due to the burning of fireworks and puppets was 1.73 t PM_{2.5}, corresponding to an average emission factor of 2.7 g PM_{2.5} per inhabitant. We distributed the total emission over 1 January 2022 at 00:00 LT, 1 January 2022 at 01:00 LT, and 1 January 2022 at 02:00 LT, assuming percentages of 40%, 32%, and 28%, respectively. Then, the hourly emissions were spatially distributed in the modeling grid (Section 2.3), based on the population density map and index of unsatisfied needs [33]. The black component of Figure 2a indicates the total PM_{2.5} hourly emissions associated with the use of fireworks and puppets burning, starting on 1 January at 00:00 LT. Figure 2b indicates the PM_{2.5} gridded emissions on 1 January 2022 at 00:00 LT. Figure 2a also indicates the hourly emissions from on-road traffic, industries, and the power facility, as background PM_{2.5} sources for modeling. Figure 2b,c depict the gridded emissions on 1 January 2022 at 00:00 LT from background sources and from New Year's burning activities, respectively.



(a)



(b)



(c)

Figure 2. (a) Hourly emissions from 31 December 2020 to 1 January 2022 from background sources (on-road traffic, industries, and power facility) and New Year's burning activities. (b) Gridded emissions on 1 January 2022 at 00:00 LT from background sources. (c) Gridded emissions on 1 January 2022 at 00:00 LT from background sources and New Year's burning activities.

2.3. Approach for Modeling the Dispersion of $PM_{2.5}$

We used the 3D Eulerian Weather Research and Forecasting with Chemistry (WRF-Chem 3.2) [43] to model meteorology and $PM_{2.5}$ dispersion in Cuenca on 31 December 2021 and 1 January 2022. WRF-Chem is a last-generation non-hydrostatic model used for numerical modeling and solving equations of atmospheric motion from global to local scales. Meteorological simulations were performed through a master domain of 70×70 cells (27 km each) and 3 nested subdomains. The cells of the third domain (100×82) have 1 km of resolution and cover the region of Cuenca (Figure 1c). For the third subdomain, hourly $PM_{2.5}$ emissions were applied to WRF-Chem. As background sources, we used the $PM_{2.5}$ emissions from on-road traffic, industries, and the power facility in the northeast of the city corresponding to a festival day, the hourly emissions of which are indicated in Figure 2a. The $PM_{2.5}$ emissions on 1 January 2022 totaled 2.8 t d^{-1} , corresponding with the 1.7 t d^{-1} (Section 2.2), 0.6 t d^{-1} , 0.3 t d^{-1} , and 0.1 t d^{-1} of the New Year's combustion activities, on-road traffic, power facility, and industries, respectively. Background emissions were obtained from the last emission inventory from Cuenca. Initial and boundary conditions were generated from the final NCEP FNL operational global analysis data [44]. Table 1 summarizes the options selected for modeling.

First, we assessed the performance for modeling the hourly temperature and wind speeds at the surface through the following metrics:

$$GE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Pi - Oi|, \quad (2)$$

$$BIAS = Pm - Om, \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Pi - Oi)^2}, \quad (4)$$

GE: gross error; RMSE: root-mean-square error; N: number of values; Pm: mean modeled value; Om: mean observed value; Pi: modeled value; Oi: observed value. Table 2 indicates the benchmark values for these indicators.

Table 1. Options for modeling the dispersion of $PM_{2.5}$ in Cuenca (WRF-Chem 3.2).

Component	Option	Scheme/Model and Reference
Microphysics (mp_physics)	2	Lin et al. [45]
Longwave Radiation (ra_lw_physics)	1	RRTM [46]
Shortwave Radiation (ra_sw_physics)	2	Goddard [47]
Surface Layer (sf_clay_physics)	1	MM5 similarity [48]
Land Surface (sf_surface_physics)	2	Noah Land Surface Model [49]
Planetary boundary layer (bl_pbl_physics)	1	Yonsei University [50]
Cumulus parameterization (cu_physics)	0	Without parameterization

Table 2. Metrics for modeling temperature and wind speed (WRF-Chem 3.2) [51].

Parameter	Indicator	Benchmark
Hourly surface temperature	GE	$<2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	BIAS	$<\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Hourly wind speed at 10 m above the surface	RMSE	$<2 \text{ m s}^{-1}$
	BIAS	$<\pm 0.5 \text{ m s}^{-1}$

According to the WHO guidelines, we obtained the maximum mean $PM_{2.5}$ concentrations during 24 consecutive hours from 31 December 2021 to 1 January 2022, using the records provided by each of the six stations currently measuring $PM_{2.5}$ (Figure 1d). Then, the modeling values at the location of each station were compared with the corresponding records. We considered that the model captured the observed records if the difference was less than 50%.

After we assessed the influence of advancing the time of burning activities, assuming these emissions began on 31 December 2021 at 21:00 LT and on 31 December 2021 at 18:00 LT. The results of these two scenarios were compared with the modeled values of the reference scenario, corresponding to the New Year's emissions beginning on 1 January 2022 at 00:00 LT. In addition, using the emissions estimated for 31 December 2021 and 1 January 2022, we conducted similar simulations for the previous five years (2016–2017, 2017–2018, 2018–2019, 2019–2020, and 2020–2021).

3. Results and Discussion

3.1. PM_1 and $PM_{2.5}$ Records on 31 December 2021 and 1 January 2022

Figure 3 depicts the views of Cuenca during the afternoon of 31 December 2021, at approximately midnight, and after the first 30 min of 1 January 2022. In addition, Figure 3 shows the hourly PM_1 and $PM_{2.5}$ concentrations. The maximum $PM_{2.5}$ hourly concentrations ranged between 63.7 and 201 $\mu\text{g m}^{-3}$. The highest $PM_{2.5}$ level (201.0 $\mu\text{g m}^{-3}$) was measured by the CEB station on 1 January 2022 at 01:00 LT. On average, on 1 January 2022, the ratio between PM_1 and $PM_{2.5}$ at the CEB, CON, and TER stations ranged from 0.84 to 0.88. This ratio is similar to the value (0.89) obtained from the PM_1 and $PM_{2.5}$ records reported by Majumdar et al. (2017) in relation to a firecracker bursting episode during Diwali (India) [52]. The maximum 24 h mean $PM_{2.5}$ concentrations measured in the six stations ranged between 27.3 and 40.6 $\mu\text{g m}^{-3}$. These concentrations were higher than 15.0 $\mu\text{g m}^{-3}$, the current recommended value by the WHO [53]. From 2016 to 2021, the MUN station measured 8.1 to 37.8 $\mu\text{g m}^{-3}$. For comparison purposes, from 2016 to 2020, the maximum 24 h mean $PM_{2.5}$ concentrations on 1 January measured in Quito, the capital of Ecuador, ranged between 13.4 and 121.5 $\mu\text{g m}^{-3}$ [54], indicating that air pollution due to New Year's emissions was of a higher magnitude there than in Cuenca.

3.2. Modeling $PM_{2.5}$ Dispersion on 31 December and 1 January

3.2.1. Period from 31 December 2021 to 1 January 2022

Appendix A and Figure A1 indicate the assessment of modeled temperature and wind speed. Figure 4 shows the model maps of $PM_{2.5}$ from 31 December 2021 at 23:00 LT to 1 January 2022 at 03:00 LT. The influence of emissions at 00:00 LT, with modeled concentrations up to 250 $\mu\text{g m}^{-3}$ in the urban area, is clear. Modeled levels began to decrease on 1 January 2022 at 03:00 LT, while $PM_{2.5}$ was dispersed toward the south and southwest at concentrations of up to 50 $\mu\text{g m}^{-3}$. Figure 5 compares the hourly $PM_{2.5}$ records with the corresponding modeling levels at the six stations. In general, the modeled values captured the trend of records. Figure 6 compares the $PM_{2.5}$ (maximum 24 h mean) records and the corresponding computed values at each station. Differences between records and modeled values ranged between 0.3% and 13.9%. The linear fit reached a value of 0.89 for the coefficient of determination, highlighting the strength of the relationship between records and modeled values [54]. These metrics indicated that the simulation of $PM_{2.5}$ dispersion was properly performed.

Although it was a component with a high level of uncertainty, the results indicated that the total $PM_{2.5}$ emissions were acceptable, both in magnitude and in their temporal and spatial distribution. Therefore, it is feasible that these emissions were used for the numerical experiment to simulate the effects of $PM_{2.5}$ levels, in case the emissions started before midnight on 31 December 2021, and to estimate the changes in $PM_{2.5}$ concentrations for the meteorological conditions corresponding to 31 December and 1 January of the previous years.

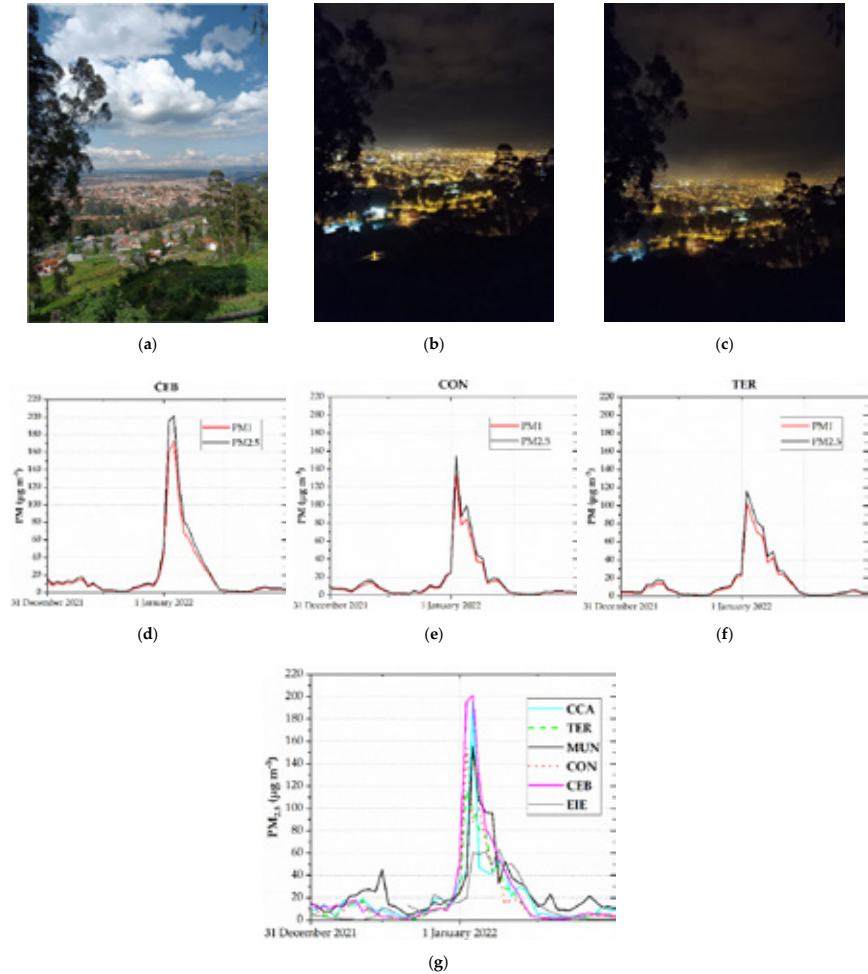


Figure 3. View of the city of Cuenca: (a) during the afternoon of 31 December 2021; (b) approximately 5 min before the midnight of 31 December 2021; (c) after the first 30 min of 1 January 2022. Hourly PM₁ and PM_{2.5} concentrations on 31 December 2021 and 1 January 2022 measured at the CEB (d), CON (e), and TER (f) stations. (g) Hourly PM_{2.5} concentrations on 31 December 2021 and 1 January 2022.

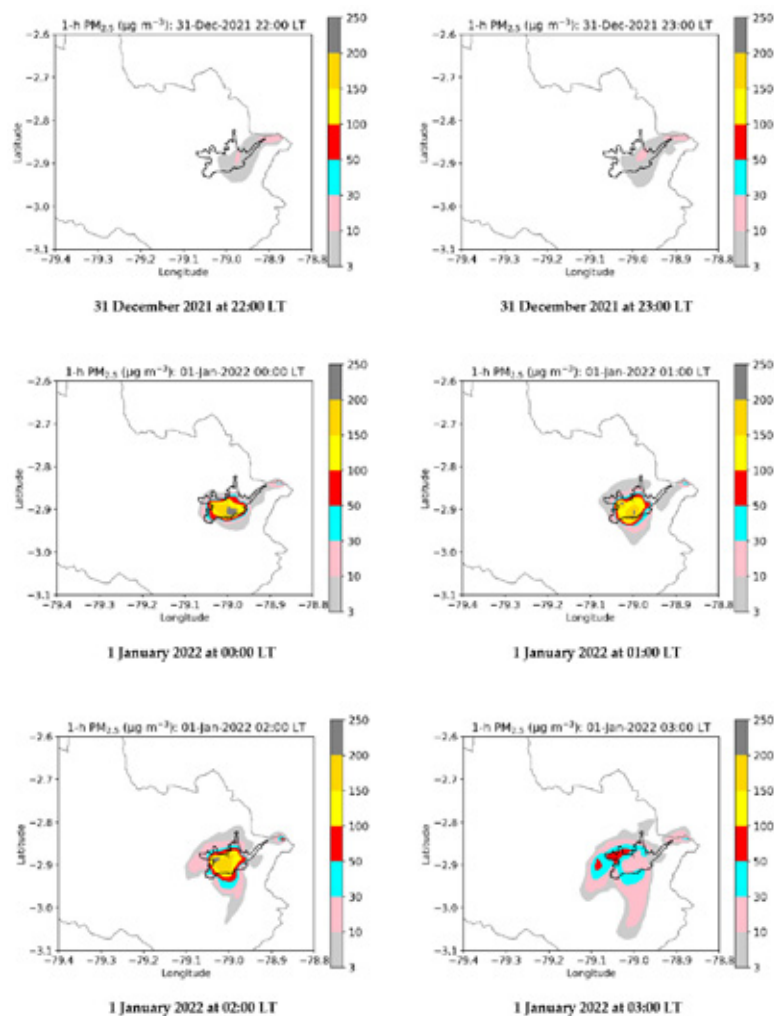


Figure 4. Modeled maps of hourly $PM_{2.5}$ concentrations from 31 December 2021 at 22:00 LT to 1 January 2022 at 03:00 LT. Reference scenario: New Year's emissions beginning on 1 January 2022 at 00:00 LT.

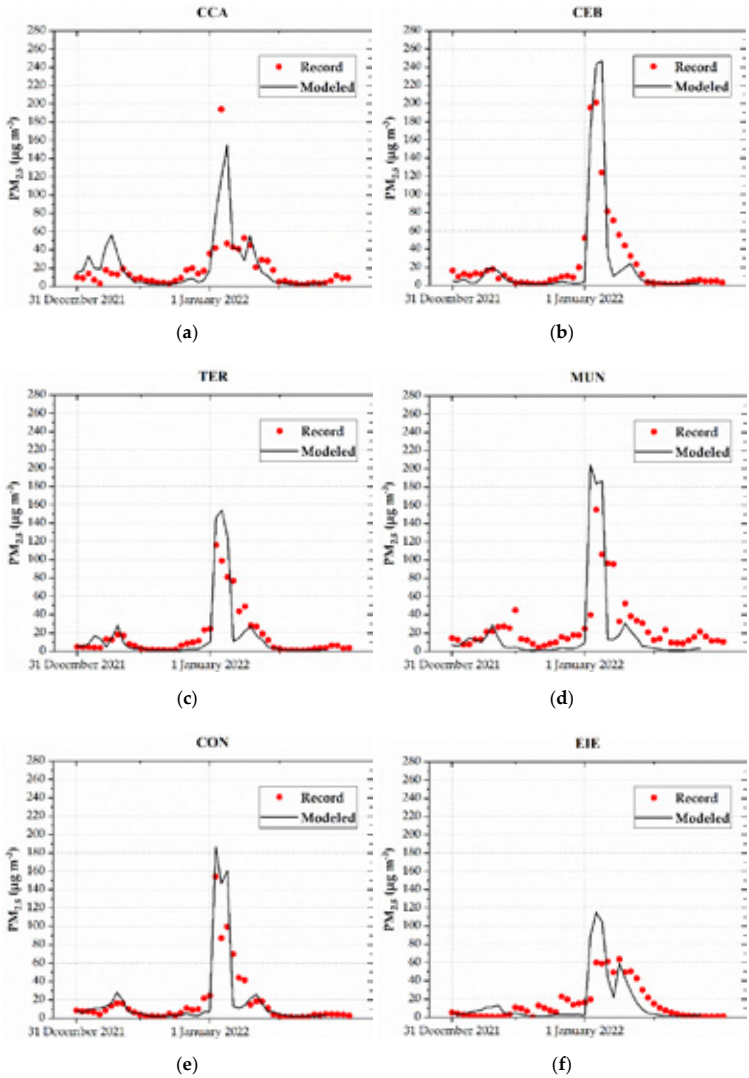


Figure 5. Hourly PM_{2.5} records and modeled concentrations from 31 December 2021 to 1 January 2022: the (a) CCA, (b) CEB, (c) TER, (d) MUN, (e) CON, and (f) EIE stations.

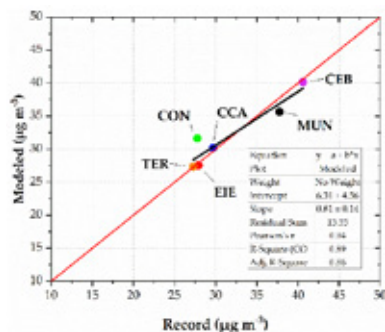


Figure 6. Maximum 24 h mean $PM_{2.5}$ records and modeled concentrations from 31 December 2021 to 1 January 2022. Dots and nomenclature correspond to the six stations measuring $PM_{2.5}$ concentrations. The black line indicates the linear fit between records and modeled values. The red line corresponds to a perfect fit.

3.2.2. Modeling the Effect of Advancing the Time of Burning Activities

Figures A2 and A3 (Appendix B) depict the modeled maps of hourly $PM_{2.5}$ concentrations on 31 December 2021 to 1 January 2022, assuming that emissions began on 31 December 2021 at 21:00 LT and 31 December 2021 at 18:00. For the scenario with emissions at 21:00, the maximum modeled values at 21:00, 22:00, and 23:00 LT were up to $150 \mu g m^{-3}$. For the scenario with emissions at 18:00, maximum concentrations were up to $100 \mu g m^{-3}$.

Figure 7 indicates the modeled temperature and PBL maps for 31 December at 18:00 LT, 31 December at 21:00 LT, and 1 January 2022 at 00:00 LT. At 18:00, the temperature in the urban area varied between 15 and $20^{\circ}C$ (Figure 7a). At 21:00, values between 13 and $15^{\circ}C$ were computed around the historic center (Figure 8c). At 00:00, the temperature ranged between 13 and $15^{\circ}C$ in almost all of the urban area (Figure 7e). The decrease in temperature accompanied decreases in PBL. At 18:00, the PBL over the urban area ranged between 800 and 1200 m (Figure 7b); and by 21:00, it decreased to 800 m. At 00:00, the PBL dropped to 300 and 400 m. The higher PBL depths at 18:00 and 21:00 on 31 December imply larger volumes of the atmosphere to disperse the $PM_{2.5}$ emissions, compared with the condition at 00:00, therefore explaining why lower concentrations were computed with emissions beginning at 18:00 and 21:00.

Table 3 shows the modeled maximum 24 h $PM_{2.5}$ levels for the reference scenario (emissions on 1 January at 00:00 LT) and for the scenario with emissions on 31 December at 21:00 LT. Results cover the last six years. Mean values for the reference scenario at the six stations ranged between 32.1 and $70.9 \mu g m^{-3}$. For emissions on 31 December at 21:00 LT, values ranged between 19.6 and $37.9 \mu g m^{-3}$. Mean reductions ranged between 2.3% ($2.6 \mu g m^{-3}$) and 40.7% ($33.0 \mu g m^{-3}$). This range of reductions is directly related to different atmospheric conditions to disperse the emissions of $PM_{2.5}$.

Table 4 shows the modeled maximum $PM_{2.5}$ levels for the reference scenario and for the alternative with emissions on 31 December at 18:00 LT. For this alternative, mean values ranged between 15.3 and $31.9 \mu g m^{-3}$. Mean reductions compared with the reference scenario ranged between 21.4% ($8.5 \mu g m^{-3}$) and 61.0% ($50.0 \mu g m^{-3}$). The results of the simulations for 2016 to 2021 indicated clear benefits for the scenario with emissions starting at 18:00. The benefits were lower, or even minimal (2020–2021), for the scenario that considers emissions beginning at 21:00.

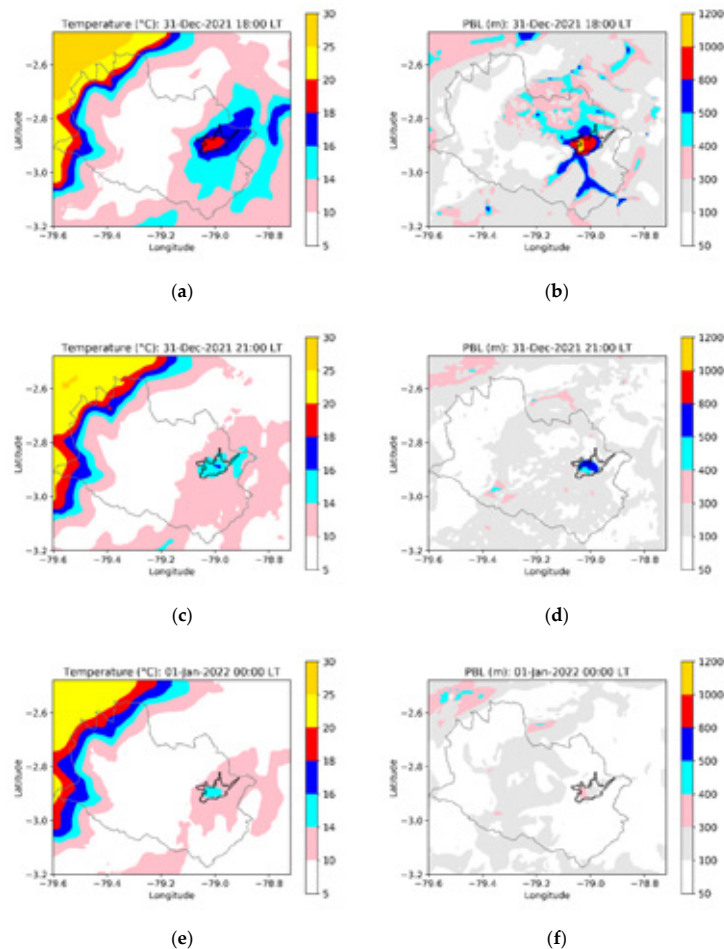


Figure 7. Modeled maps of temperature and planetary boundary layer (PBL) depth for selected hours: 31 December 2021 at 18:00 LT (a,b), 31 December 2021 21:00 LT (c,d), and 1 January 2022 at 00:00 LT (e,f).

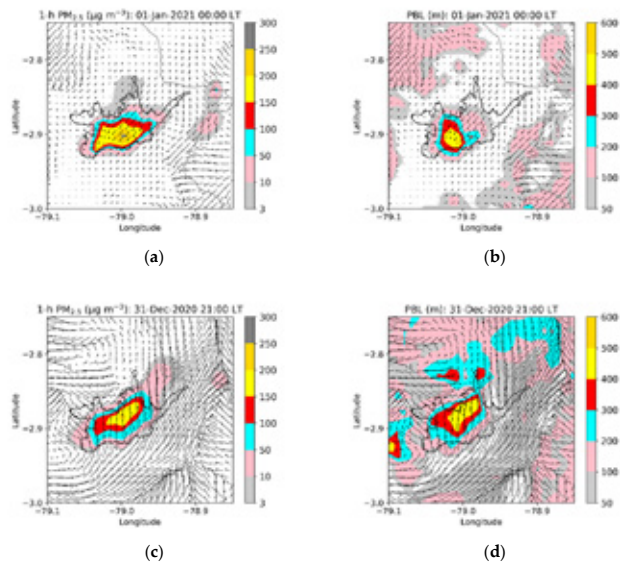


Figure 8. Modeled maps of PM_{2.5} and planetary boundary layer (PBL) depth. Reference scenario: New Year’s emissions starting on 1 January 2021 at 00:00 LT (a,b). Scenario with New Year’s emissions starting on 31 December 2020 at 21:00 LT (c,d).

Table 3. Effect of advancing the time of burning puppets and fireworks. Scenario 1 January at 00:00 LT vs. 31 December at 21:00 LT.

Station	2016–2017	2017–2018	2018–2019	2019–2020	2020–2021	2021–2022
(A) Scenario 1 January at 00:00 LT: Modeled maximum PM _{2.5} levels (µg m ^{−3}) during 24 h						
MUN	119.6	47.8	48.1	42.7	45.9	35.6
EIE	38.2	35.5	25.0	12.2	33.2	27.5
CCA	58.4	43.2	74.0	46.6	26.4	30.2
CON	76.4	45.1	35.0	37.3	43.5	31.6
CEB	21.6	34.9	32.7	23.8	23.6	40.2
TER	111.0	36.2	33.1	33.7	34.8	27.3
Mean	70.9	40.5	41.3	32.7	34.6	32.1
(B) Scenario 31 December at 21:00 LT: Modeled maximum PM _{2.5} concentrations (µg m ^{−3}) during 24 h						
MUN	55.8	37.3	37.4	23.9	38.7	22.4
EIE	27.4	20.6	25.6	11.5	19.2	14.8
CCA	44.5	44.0	42.6	35.5	38.1	21.7
CON	39.5	31.5	34.9	18.9	36.3	20.9
CEB	14.8	35.3	33.6	19.6	32.8	19.0
TER	45.3	32.9	23.3	20.2	27.0	18.8
Mean	37.9	33.6	32.9	21.6	32.0	19.6

Table 3. Cont.

Station	2016–2017	2017–2018	2018–2019	2019–2020	2020–2021	2021–2022
Difference: (B) – (A), ($\mu\text{g m}^{-3}$)						
MUN	–63.8	–10.5	–10.7	–18.8	–7.2	–13.2
EIE	–10.7	–14.9	0.6	–0.7	–14.0	–12.7
CCA	–13.8	0.8	–31.4	–11.1	11.6	–8.6
CON	–36.9	–13.6	–0.1	–18.4	–7.1	–10.7
CEB	–6.8	0.4	0.8	–4.2	9.2	–21.1
TER	–65.7	–3.4	–9.8	–13.5	–7.8	–8.5
Mean	–33.0	–6.9	–8.5	–11.1	–2.6	–12.5
Percentage of difference: ((B) – (A))/(A) $\times$ 100, (%)						
MUN	–53.3	–21.9	–22.3	–44.1	–15.7	–37.1
EIE	–28.1	–42.0	2.2	–5.8	–42.1	–46.3
CCA	–23.7	1.9	–42.5	–23.8	44.0	–28.3
CON	–48.3	–30.2	–0.3	–49.4	–16.4	–33.8
CEB	–31.4	1.1	2.6	–17.7	38.8	–52.6
TER	–59.2	–9.4	–29.7	–40.1	–22.5	–31.2
Mean	–40.7	–16.7	–15.0	–30.1	–2.3	–33.2

Applying the decrease of 0.65% in mortality per $10 \mu\text{g m}^{-3}$ decrease in $\text{PM}_{2.5}$ concentrations [53,55], the emissions on 31 December at 21:00 implied reductions between 0.17% and 2.15% in all non-accidental mortality. The emissions on 31 December at 18:00 resulted in decreases between 0.55% and 3.25%.

The results of 31 December 2020 (2020–2021) with emissions at 21:00 show an average decrease of $2.6 \mu\text{g m}^{-3}$. At the EIE station, the model indicated an average decrease of $14.0 \mu\text{g m}^{-3}$, although an increase of $11.6 \mu\text{g m}^{-3}$ was obtained at the CCA station (Table 3). These results deserve specific analysis. Figure 8 presents the modeling results of $\text{PM}_{2.5}$ concentrations and the corresponding PBL heights on 1 January 2021 at 00:00 LT (reference scenario) and on 31 December 2020 at 21:00 LT (scenario of New Year’s emissions starting at 21:00). The figure details the urban area results and includes surface wind vectors.

For the reference scenario, on 1 January 2021 at 00:00 LT, wind was mainly generated from the northeast, transporting the pollutants to the southwest. In addition, in most of the urban area, PBL heights between 100 and 500 m were modeled, with values greater than 200 m in the historic center, an area in which concentrations of up to $300 \mu\text{g m}^{-3}$ were obtained. In the northern part of the urban area, concentrations between 10 and $100 \mu\text{g m}^{-3}$ were modeled.

For the scenario with New Year’s emissions starting at 21:00 LT, the wind moved from the south in the urban area, transporting emissions to the north. The PBL presented values greater than 200 m in a larger area than the values on 1 January 2021 at 00:00 LT. However, concentrations of up to $200 \mu\text{g m}^{-3}$ were obtained in the northern part of the urban area. This increase was modeled in the coverage areas of the CCA and CEB stations. The numerical experiment indicates that wind transports the emissions to the north of the historic center. Although the greater heights of the PBL at the CCA and CEB stations allow for more efficient dispersion, the transport of $\text{PM}_{2.5}$ from the historic center has a more significant effect and, consequently, higher concentrations than the reference scenario. This particular result highlights the complexity of the interaction between emissions and meteorological conditions, and indicates that wind direction can promote local increases in $\text{PM}_{2.5}$ levels, despite the greater height of the PBL. Although the model’s performance in capturing the temperature and wind speed for 31 December 2021 and 1 January 2022 was evaluated in this study, this result highlights the need to include the evaluation of the modeled wind direction in the future. It also highlights the importance of carrying out specific evaluations for other regions or cities due to their topographic conditions, geographic location, and the temporal/spatial configuration of their emissions.

Table 4. Effect of advancing the time of burning puppets and fireworks. Scenario 1 January at 00:00 LT vs. 31 December at 18:00 LT.

Station	2016–2017	2017–2018	2018–2019	2019–2020	2020–2021	2021–2022
(A) Scenario 1 January at 00:00 LT: Modeled maximum PM _{2.5} levels ($\mu\text{g m}^{-3}$) during 24 h						
MUN	119.6	47.8	48.1	42.7	45.9	35.6
EIE	38.2	35.5	25.0	12.2	33.2	27.5
CCA	58.4	43.2	74.0	46.6	26.4	30.2
CON	76.4	45.1	35.0	37.3	43.5	31.6
CEB	21.6	34.9	32.7	23.8	23.6	40.2
TER	111.0	36.2	33.1	33.7	34.8	27.3
Mean	70.9	40.5	41.3	32.7	34.6	32.1
(B) Scenario 31 December at 18:00 LT: Modeled maximum PM _{2.5} concentrations ($\mu\text{g m}^{-3}$) during 24 h						
MUN	22.8	36.6	20.8	21.2	22.5	15.7
EIE	15.0	18.2	12.7	10.2	11.7	15.7
CCA	33.1	45.1	33.3	27.5	27.9	19.6
CON	21.6	30.6	19.8	20.3	20.2	14.5
CEB	16.5	27.0	14.6	22.2	17.0	13.4
TER	16.0	34.2	13.6	15.0	19.3	12.7
Mean	20.8	31.9	19.1	19.4	19.8	15.3
Difference: (B) – (A), ($\mu\text{g m}^{-3}$)						
MUN	–96.8	–11.3	–27.3	–21.5	–23.4	–19.9
EIE	–23.1	–17.3	–12.3	–2.1	–21.4	–11.8
CCA	–25.3	1.9	–40.7	–19.1	1.5	–10.7
CON	–54.9	–14.5	–15.2	–17.0	–23.2	–17.1
CEB	–5.1	–7.9	–18.1	–1.6	–6.6	–26.7
TER	–95.0	–2.1	–19.5	–18.7	–15.5	–14.6
Mean	–50.0	–8.5	–22.2	–13.3	–14.8	–16.8
Percentage of difference: ((B) – (A))/(A) $\times$ 100, (%)						
MUN	–80.9	–23.6	–56.8	–50.3	–50.9	–55.9
EIE	–60.7	–48.7	–49.2	–17.0	–64.7	–42.8
CCA	–43.3	4.4	–55.0	–41.0	5.6	–35.4
CON	–71.8	–32.1	–43.5	–45.5	–53.4	–54.1
CEB	–23.5	–22.6	–55.3	–6.8	–28.0	–66.6
TER	–85.5	–5.7	–59.0	–55.4	–44.5	–53.5
Mean	–61.0	–21.4	–53.1	–36.0	–39.2	–51.4

In future, the competent authority could start with the generation and delivery of the forecasted PM_{2.5} concentrations, considering that emissions will occur on 1 January at 00:00 LT. This information will act as a warning and recommendation for preventive measures to reduce exposure, especially for vulnerable populations or people with pre-existing diseases. Suppose the forecast indicates atmospheric conditions with high stability and, therefore, high PM_{2.5} concentrations. In that case, the competent authority could request that citizens avoid or reduce emissions arising from the use of fireworks, firecrackers, and burning puppets and limit the time they spend outdoors.

Based on forecasted PM_{2.5} levels, the competent authority could also inform citizens about the benefits of advancing emission activities before midnight on 31 December. In this sense, this information can promote the collaboration of at least part of the population. Implementing a forecasting system based on the approach described in this study is challenging. For this purpose, it is necessary to have trained personnel and sufficient computational resources to have the modeled results sufficiently in advance.

In future, the performance of numerical models to capture unusual conditions, such as situations of strong atmospheric stability, should be investigated. The influence of the initial conditions also deserves dedicated research, because the performance of numerical

models for meteorological forecasting tends to gradually degrade after a specific time scale (time after the initial conditions) [21]. Weather forecasting at small scales, as in the case of Cuenca, deteriorates more rapidly than at larger scales. In addition, the first hours of a weather forecast are relatively useless while the numerical model adjusts to imbalances in the initial conditions.

3.3. Limitations of This Study and Future Activities

Our estimation of the New Year's emissions (1.73 t PM_{2.5}) represents approximately 0.2% of the total PM_{2.5} emissions (907 t per year) reported in the emission inventory of Cuenca for 2014 [34]. This value is consistent with the criteria of the Environment Agency of Austria [56], an entity which indicated that on New Year's Eve, fireworks account for less than 0.6% of the annual PM_{2.5} emissions. However, we highlight the uncertainty of the emissions, and the limitation or lack of information in Ecuador to characterize the corresponding emission activities through a bottom-up approach. Likewise, the use of emission factors taken from the literature contribute to uncertainty, as values could differ for the altitude of Cuenca (2500 m.a.s.l.), in which the availability of oxygen in the atmosphere is 25% lower compared to sea levels [57].

We assumed that the emissions generated by the use of fireworks and the burning of puppets occurred during the first three hours of 1 January 2022. However, it was observed that the use of fireworks mainly occurs at 00:00 LT, and although the burning of puppets also mostly begins at 00:00, its emissions can last for several hours. The estimation of PM_{2.5} emissions must be improved by collecting information that allows for the better characterization of activity levels and emission factors. This is a challenging task because emissions can differ year to year, both in magnitude and even location. Particulate material composition must also be characterized in terms of heavy metals, black, and elemental carbon, and monitoring the levels of particulate matter in the number of particles per unit volume. In addition, it is necessary to study the influence of relevant PM_{2.5} sources, as industries with permanent and significant emissions are simultaneous with emissions associated with the arrival of a new year.

The Andean Ecuadorian region has poor coverage of radiosonde observations. This limitation implies an incomplete description of the atmospheric conditions for meteorological and air quality parameters. Although in Cuenca atmospheric monitoring has improved, the air quality network was predominantly designed to satisfy national regulation requirements, covering only surface measurements. Vertical observations need to be promoted to improve our understanding of atmospheric conditions and their interaction with air pollutants. This information will allow for more complete studies about modeling performance and improved results for air quality management.

We explored a novel and promising approach for controlling the effects of PM_{2.5} emissions due to New Year's burning activities, in an Andean city with complex topography. Other ways of reducing PM_{2.5} emissions, such as limiting or controlling the sale of fireworks and the burning of puppets, should be assessed. These options have been analyzed in other regions (e.g., [31,58]). However, we did not find studies based on the approach used in this study.

Animated .gif files of the modeled PM_{2.5} dispersion for emissions on 1 January at 00:00 LT (Figure S1), and for the alternatives on 31 December 2021 at 21:00 LT (Figure S2) and 31 December 2021 at 18:00 LT (Figure S3), are available in the Supplementary Materials. These files were created using the integrated data viewer tool [59].

4. Conclusions and Summary

We modeled the dispersion of PM_{2.5} emitted into the atmosphere, due to the use of fireworks and other combustion activities associated with the arrival of a new year in an Andean Ecuadorian city. Our numerical experiments indicated that one way to reduce the effects on air quality is advancing the time of emissions to hours before midnight on 31 December. Our modeling approach applied to the last six years and provided

mean decreases between 2.3% and 40.7% in the 24 h mean $PM_{2.5}$ concentrations, if the emissions begin on 31 December at 21:00 LT. The decrease ranged between 21.4% and 61.0% if emissions began on 31 December at 18:00 LT. The reduction in concentrations is produced by better atmospheric conditions to disperse $PM_{2.5}$. Higher benefits can be obtained if the emissions take place at times of higher planetary boundary layer depths, when atmospheric conditions promote the pollutant's dispersion. This approach can be applied to assess the benefits of advancing New Year's emissions in other regions, based on their topographic conditions, geographic location, and the temporal/spatial configuration of their emissions.

In the future, the performance of numerical models to capture unusual conditions, such as situations of strong atmospheric stability, should be investigated. Moreover, the influence of the initial conditions deserves a dedicated study. The particulate material composition must be characterized in terms of heavy metals, black and elemental carbon contents. Monitoring should cover the levels of particulate matter in the number of particles per unit volume. In addition, it is necessary to have a dedicated study investigating the influence of relevant $PM_{2.5}$ sources in industries with permanent and significant emissions, with the emissions associated with the arrival of a new year. Vertical observations need to be promoted in the Andean Ecuadorian region, to improve understanding of atmospheric conditions and their interaction with air pollutants. The estimation of New Year's $PM_{2.5}$ emissions must be improved by collecting information that allows for better characterization of the activity levels and emission factors.

Supplementary Materials: The following supporting information can be downloaded at: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/toxics10050264/s1>, Figure S1: Modeled $PM_{2.5}$ dispersion on 31 December 2021–1 January 2022. Emission beginning on 1 January 2022 at 00:00 LT. Figure S2: Modeled $PM_{2.5}$ dispersion on 31 December 2021–1 January 2022. Emission beginning on 31 December 2021 at 21:00 LT. Figure S3: Modeled $PM_{2.5}$ dispersion on 31 December 2021–1 January 2022. Emission beginning on 31 December 2021 at 18:00 LT.

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

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Acknowledgments: This research is part of the project “Emisiones y Contaminación Atmosférica en el Ecuador 2021–2022”. Simulations were done at the High Performance Computing system at the USFQ. Publication of this article was funded by the Universidad San Francisco de Quito USFQ Research Publication Fund.

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

Appendix A

Figure A1 compares the observed and modeled temperatures at the MUN station. The modeled values captured the trend of records, which indicate higher levels (approximately 22 °C) two hours after midday, and the minimum (11 °C) on 1 January 2022 at 06:00 LT. The values of the GE and BIAS metrics were 1.0 and 0.18 °C, respectively; both values were in the corresponding benchmark ranges (Table 2). Figure 4 compares the hourly records and modeled values of wind speed. The highest records (3 m s^{−1}) were measured at midday. The minimum record (0.4 m s^{−1}) was measured on 1 January 2022 at 01:00 LT. The RMSE and BIAS metrics were 0.8 and 0.4 m s^{−1}, respectively, which are in the corresponding benchmark ranges. Therefore, these meteorological parameters were captured by model-

ing, implying the dynamic of PBL depths and atmospheric stability was also acceptably modeled.

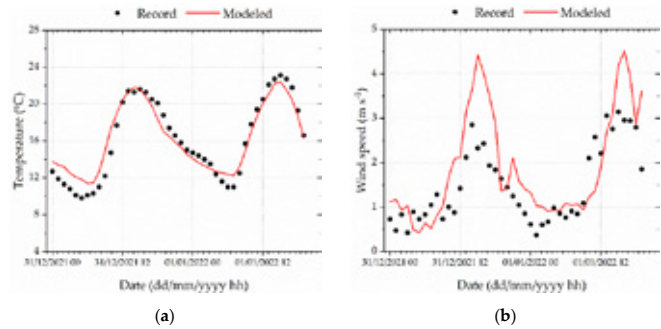


Figure A1. Hourly meteorological records versus modeled values on 31 December 2021 and 1 January 2022 (MUN station): (a) temperature and (b) wind speed.

Appendix B

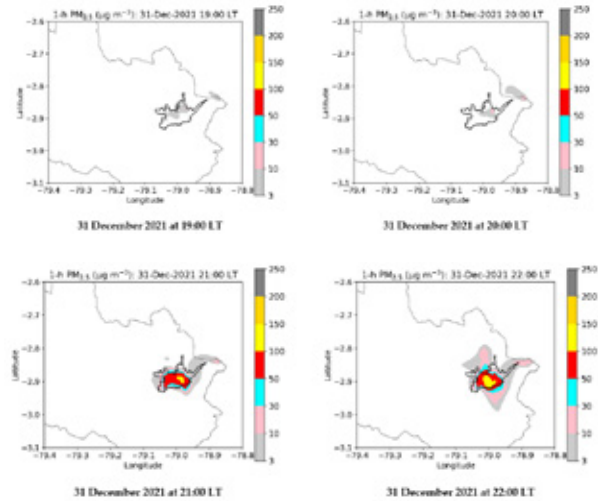


Figure A2. Cont.

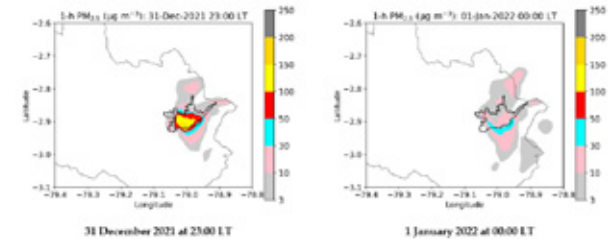


Figure A2. Modeled maps of hourly PM_{2.5} concentrations from 31 December 2021 at 19:00 LT to 1 January 2022 at 00:00 LT. Scenario assuming that New Year’s emissions began on 31 December 2021 at 21:00 LT.

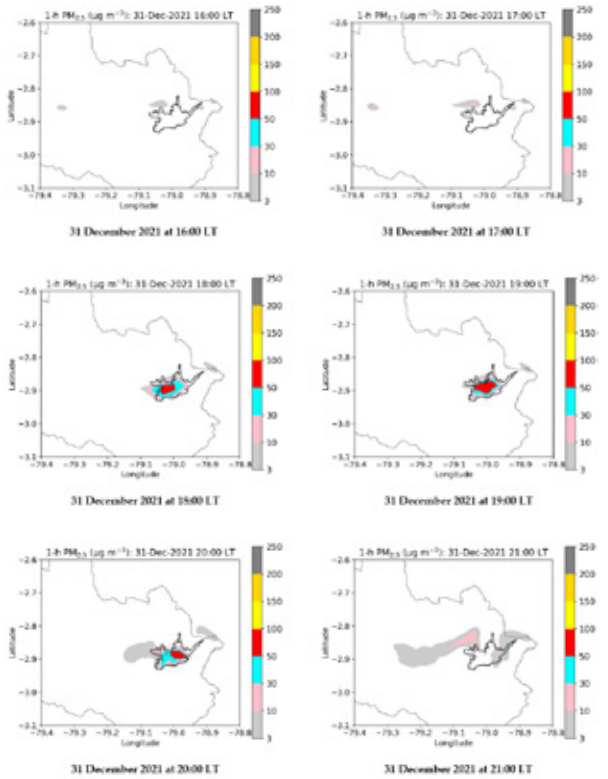


Figure A3. Modeled maps of hourly PM_{2.5} concentrations from 31 December 2021 at 16:00 LT to 31 December 2021 at 21:00 LT. Scenario assuming that New Year’s emissions began on 31 December 2021 at 18:00 LT.

References

1. Greven, F.E.; Vonk, J.M.; Fischer, P.; Duijm, F.; Vink, N.M.; Brunekreef, B. Air Pollution during New Year's Fireworks and Daily Mortality in the Netherlands. *Sci. Rep.* **2019**, *9*, 5735. [CrossRef] [PubMed]
2. Tanda, S.; Ličbinský, R.; Hegrová, J.; Goessler, W. Impact of New Year's Eve Fireworks on the Size Resolved Element Distributions in Airborne Particles. *Environ. Int.* **2019**, *128*, 371–378. [CrossRef] [PubMed]
3. FlacoAndes. Los Años Viejos. Available online: <https://biblio.flacoandes.edu.ec/libros/106617-opac> (accessed on 13 March 2022).
4. Brimblecombe, P.; Lai, Y. Effect of Fireworks, Chinese New Year and the COVID-19 Lockdown on Air Pollution and Public Attitudes. *Aerosol Air Qual. Res.* **2020**, *20*, 2318–2331. [CrossRef]
5. Singh, A.; Pant, P.; Pope, F.D. Air Quality during and after Festivals: Aerosol Concentrations, Composition and Health Effects. *Atmos. Res.* **2019**, *227*, 220–232. [CrossRef]
6. World Health Organization. *Air Quality Guidelines: Global Update 2005: Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide, and Sulfur Dioxide*; World Health Organization: Copenhagen, Denmark, 2006.
7. Song, Y.; Huang, B.; He, Q.; Chen, B.; Wei, J.; Mahmood, R. Dynamic Assessment of PM_{2.5} Exposure and Health Risk Using Remote Sensing and Geo-Spatial Big Data. *Environ. Pollut.* **2019**, *253*, 288–296. [CrossRef]
8. IARC. *Outdoor Air Pollution*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2013.
9. Loomis, D.; Grosse, Y.; Lauby-Secretan, B.; Ghissassi, F.E.; 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]
10. Peoples, L. News Feature: How Air Pollution Threatens Brain Health. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2020**, *117*, 13856–13860. [CrossRef]
11. Wang, L.; Luo, D.; Liu, X.; Zhu, J.; Wang, F.; Li, B.; Li, L. Effects of PM_{2.5} Exposure on Reproductive System and Its Mechanisms. *Chemosphere* **2021**, *264*, 128436. [CrossRef]
12. Hickey, C.; Gordon, C.; Galdanes, K.; Blaustein, M.; Horton, L.; Chillrud, S.; Ross, J.; Yinon, L.; Chen, L.C.; Gordon, T. Toxicity of Particles Emitted by Fireworks. *Part. Fibre Toxicol.* **2020**, *17*, 28. [CrossRef]
13. Li, Z.; Li, X.; Song, H.; Tao, B.; Qiu, B.; Tian, D.; Zhan, M.; Wu, Z.; Wu, J.; Zhang, Q.; et al. Effects of Short-Term Ambient PM_{2.5} Exposure on the Blood Cell Count and Hemoglobin Concentration among 82,431 People in Eastern China. *Sci. Total Environ.* **2021**, *776*, 146046. [CrossRef]
14. Fu, H.; Yang, Z.; Liu, Y.; Shao, P. Ecological and Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Dust Affected by Fireworks during the Spring Festival in Beijing. *Air Qual. Atmos. Health* **2021**, *14*, 139–148. [CrossRef]
15. Cecconi, A.; Navarrete, G.; Garcia-Guimaraes, M.; Vera, A.; Blanco-Dominguez, R.; Sanz-Garcia, A.; Lozano-Prieto, M.; Lopez-Melgar, B.; Rivero, F.; Martin, P.; et al. Influence of Air Pollutants on Circulating Inflammatory Cells and MicroRNA Expression in Acute Myocardial Infarction. *Sci. Rep.* **2022**, *12*, 5350. [CrossRef] [PubMed]
16. Wang, H.; Lu, F.; Guo, M.; Fan, W.; Ji, W.; Dong, Z. Associations between PM₁ Exposure and Daily Emergency Department Visits in 19 Hospitals, Beijing. *Sci. Total Environ.* **2021**, *755*, 142507. [CrossRef] [PubMed]
17. Yang, M.; Guo, Y.-M.; Bloom, M.S.; Dharmage, S.C.; Morawska, L.; Heinrich, J.; Jalaludin, B.; Markevych, I.; Knibbs, L.D.; Lin, S.; et al. Is PM₁ Similar to PM_{2.5}? A New Insight into the Association of PM₁ and PM_{2.5} with Children's Lung Function. *Environ. Int.* **2020**, *145*, 106092. [CrossRef]
18. Lin, C.-C. A Review of the Impact of Fireworks on Particulate Matter in Ambient Air. *J. Air Waste Manag. Assoc.* **2016**, *66*, 1171–1182. [CrossRef]
19. Sokhi, R.S.; Moussiopoulos, N.; Baklanov, A.; Bartzis, J.; Coll, I.; Finardi, S.; Friedrich, R.; Geels, C.; Grönholm, T.; Halenka, T.; et al. Advances in Air Quality Research—Current and Emerging Challenges. *Atmos. Chem. Phys.* **2022**, *22*, 4615–4703. [CrossRef]
20. 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]
21. Stull, R.B.; Ahrens, C.D. *Meteorology for Scientists and Engineers*; Brooks/Cole: Salt Lake City, UT, USA, 2000.
22. Pleim, J.; Ran, L. Surface Flux Modeling for Air Quality Applications. *Atmosphere* **2011**, *2*, 271–302. [CrossRef]
23. Baklanov, A.; Brunner, D.; Carmichael, G.; Flemming, J.; Freitas, S.; Gauss, M.; Hov, Ø.; Mathur, R.; Schlünzen, K.H.; Seigneur, C.; et al. Key Issues for Seamless Integrated Chemistry–Meteorology Modeling. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2017**, *98*, 2285–2292. [CrossRef]
24. Boucher, O. *Atmospheric Aerosols: Properties and Climate Impacts*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015.
25. Fuzzi, S.; Gilardoni, S.; Kokhanovsky, A.A.; Di Nicolantonio, W.; Mukai, S.; Sano, I.; Nakata, M.; Tomasi, C.; Lanconelli, C. Aerosol and Air Quality. In *Atmospheric Aerosols*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2017; pp. 553–596.
26. Tomasi, C.; Lupi, A. Coagulation, Condensation, Dry and Wet Deposition, and Cloud Droplet Formation in the Atmospheric Aerosol Life Cycle. In *Atmospheric Aerosols*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2017; pp. 115–182.
27. Calidad del Aire. 2018. Available online: https://www.researchgate.net/publication/336266246_CALIDAD_DEL_AIRE_2018 (accessed on 6 May 2022).
28. Informe Calidad del Aire. 2019. Available online: https://www.researchgate.net/publication/342601125_Informe_Calidad_del_Aire_2019 (accessed on 6 March 2022).
29. Informe de Calidad del Aire Cuenca. 2020. Available online: https://www.researchgate.net/publication/354010604_Informe_de_calidad_del_aire_Cuenca_2020 (accessed on 6 March 2022).

30. Zhang, X.; Shen, H.; Li, T.; Zhang, L. The Effects of Fireworks Discharge on Atmospheric PM_{2.5} Concentration in the Chinese Lunar New Year. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 9333. [\[CrossRef\]](#)
31. Fan, S.; Li, Y.; Liu, C. Are Environmentally Friendly Fireworks Really “Green” for Air Quality? A Study from the 2019 National Day Fireworks Display in Shenzhen. *Environ. Sci. Technol.* **2021**, *55*, 3520–3529. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
32. De Visscher, A. *Air Dispersion Modeling: Foundations and Applications*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2014.
33. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Ecuador. Available online: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/> (accessed on 23 March 2022).
34. Parra, R. *Inventario de Emisiones Atmosféricas del Cantón Cuenca 2014*; Technical Report; EMOV EP: Cuenca, Ecuador, 2016; p. 88.
35. Parra, R. Performance Studies of Planetary Boundary Layer Schemes in WRF-Chem for the Andean Region of Southern Ecuador. *Atmos. Pollut. Res.* **2018**, *9*, 411–428. [\[CrossRef\]](#)
36. Parra, R.; Espinoza, C. Insights for Air Quality Management from Modeling and Record Studies in Cuenca, Ecuador. *Atmosphere* **2020**, *11*, 998. [\[CrossRef\]](#)
37. ECUAPASS. Available online: <https://portal.aduana.gob.ec/> (accessed on 19 March 2022).
38. Aguinaga Iturralde, D.F. Plan de Negocio para la Creación de una Empresa de Importación, Comercialización y Encendido de Fuegos Artificiales de Venta Libre y Profesionales, en la Ciudad de Quito. Bachelor’s Thesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador, 2015.
39. Telégrafo, E. GIR Decomisó 152 Toneladas de Pirotecnia en 13 Años. Available online: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/judicial/12/gir-decomiso-toneladas-pirotecnia-13-anos> (accessed on 19 March 2022).
40. Keller, F.; Schragen, C. Determination of Particulate Matter Emission Factors of Common Pyrotechnic Articles. *Prop. Explos. Pyrotech.* **2021**, *46*, 825–842. [\[CrossRef\]](#)
41. Campoverde, J.P. Puntos Autorizados para la Venta de Monigotes en Cuenca. La Voz del Tomebamba. Available online: <https://www.lavozdeltomebamba.com/2019/12/27/puntos-autorizados-para-la-venta-de-monigotes-en-cuenca/> (accessed on 19 March 2022).
42. EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory. Available online: http://efdb.apps.eea.europa.eu/?source=%7B%22query%22%3A%7B%22match_all%22%3A%7B%7D%7D%2C%22display_type%22%3A%22tabular%22%7D (accessed on 27 March 2022).
43. WRF-Chem. Available online: <https://ruc.noaa.gov/wrf/wrf-chem/> (accessed on 2 March 2021).
44. NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, Continuing from July 1999; National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service: Boulder, CO, USA, 2000.
45. Lin, Y.-L.; Farley, R.D.; Orville, H.D. Bulk Parameterization of the Snow Field in a Cloud Model. *J. Clim. Appl. Meteorol.* **1983**, *22*, 1065–1092. [\[CrossRef\]](#)
46. Mlawer, E.J.; Taubman, S.J.; Brown, P.D.; Iacono, M.J.; Clough, S.A. Radiative Transfer for Inhomogeneous Atmospheres: RRTM, a Validated Correlated-k Model for the Longwave. *J. Geophys. Res.* **1997**, *102*, 16663–16682. [\[CrossRef\]](#)
47. Chou, M.-D.; Suarez, M.J. *A Solar Radiation Parameterization (CLIRAD-SW) for Atmospheric Studies*; NASA Goddard Space Flight Center: Greenbelt, MD, USA, 1999; p. 48.
48. Paulson, C.A. The Mathematical Representation of Wind Speed and Temperature Profiles in the Unstable Atmospheric Surface Layer. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* **1970**, *9*, 857–861. [\[CrossRef\]](#)
49. Tewari, M.; Chen, F.; Wang, W.; Dudhia, J.; LeMone, M.A.; Gayno, G.; Wegiel, J.; Cuenca, R.H. Implementation and Verification of the Unified Noah Land Surface Model in the WRF Model. In *Proceedings of the 20th Conference on Weather Analysis and Forecasting/16th Conference on Numerical Weather Prediction*; American Meteorological Society: Seattle, WA, USA, 2004; p. 14.2A.
50. Hong, S.-Y.; Noh, Y.; Dudhia, J. A New Vertical Diffusion Package with an Explicit Treatment of Entrainment Processes. *Mon. Weather. Rev.* **2006**, *134*, 2318–2341. [\[CrossRef\]](#)
51. European Environment Agency. *The Application of Models under the European Union’s Air Quality Directive: A Technical Reference Guide*; Technical Report; Publications Office: Luxembourg, 2011.
52. Majumdar, D.; Gavane, A.G. Perturbation of Background Atmospheric Black Carbon/PM1 Ratio during Firecracker Bursting Episode. *Asian J. Atmos. Environ.* **2017**, *8*, 322–329. [\[CrossRef\]](#)
53. World Health Organization. WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide. Available online: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240034228> (accessed on 20 March 2022).
54. Simon, H.; Baker, K.R.; Phillips, S. Compilation and Interpretation of Photochemical Model Performance Statistics Published between 2006 and 2012. *Atmos. Environ.* **2012**, *61*, 124–139. [\[CrossRef\]](#)
55. Liu, C.; Chen, R.; Sera, F.; Vicedo-Cabrera, A.M.; Guo, Y.; Tong, S.; Coelho, M.S.Z.S.; Saldiva, P.H.N.; Lavigne, E.; Matus, P.; et al. Ambient Particulate Air Pollution and Daily Mortality in 652 Cities. *N. Engl. J. Med.* **2019**, *381*, 705–715. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
56. Environmental Effects of New Year’s Eve Fireworks. Available online: <https://www.umweltbundesamt.at/en/news211217en> (accessed on 27 March 2022).
57. Molina, M.J.; Molina, L.T. Megacities and Atmospheric Pollution. *J. Air Waste Manag. Assoc.* **2004**, *54*, 37. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
58. Yao, L.; Wang, D.; Fu, Q.; Qiao, L.; Wang, H.; Li, L.; Sun, W.; Li, Q.; Wang, L.; Yang, X.; et al. The Effects of Firework Regulation on Air Quality and Public Health during the Chinese Spring Festival from 2013 to 2017 in a Chinese Megacity. *Environ. Int.* **2019**, *126*, 96–106. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
59. Unidata. IDV. Available online: <https://www.unidata.ucar.edu/software/idv/> (accessed on 25 March 2022).



ALCALDÍA DE
CUENCA

EMOV

**#Amor
x CUENCA**

EMOV