

CARACTERIZACIÓN PM2.5

ZONA HABITACIONAL-VALLE DE ABURRÁ ANTES Y DURANTE LA PANDEMIA POR COVID-19. 2019-2021.

MEDELLIN-COLOMBIA



Miriam Gómez Marín
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid



El conocimiento
es de todos

Minciencias



PLAN ESTRATÉGICO REGIONAL CALIDAD AIRE PARA MEJORAR LA GESTIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y EL CAMBIO CLIMÁTICO



ZONA DE ESTUDIO. ESTACION MED-BEME



Estación de calidad del aire MED-BEME

Medellín – Belén Las Mercedes
(Latitud: 6.243, Longitud: -75.612)

Estación de característica
poblacional, zona urbana y tipo
área de entorno de fondo



METODOLOGÍA TOMA DE MUESTRA – EQUIPOS DE MUESTREO

Equipos de bajo volumen: Flujo 16.7 LPM – Medio filtrante de 47mm diámetro en PTFE y cuarzo.

Etalómetro AE42 y estación meteorológica: Toma de datos cada 5 min para Bce y condiciones climáticas.

Equipo de alto volumen: Flujo 1.02 a 1.24 m³/min – Medio filtrante de 8*10in cuarzo.



Laboratorio acreditado en Norma ISO NTC/IEC 17025 por el IDEAM.



**METODOLOGÍA TOMA DE MUESTRA – TIPO DE FILTRO
TÉCNICAS DE ANÁLISIS**



**Equipo de alto volumen PM2.5 –
Tisch Enviromental**



Filtro 8*10in cuarzo

ICP-MS – Metales

Cromatografía iónica– Iones

CG-MS– HAP's particulado

NIOSH 5040 – OC y EC



METODOLOGÍA DETERMINACIÓN PM_{2,5}

Laboratorio acreditado en Norma ISO NTC/IEC 17025 por el IDEAM.



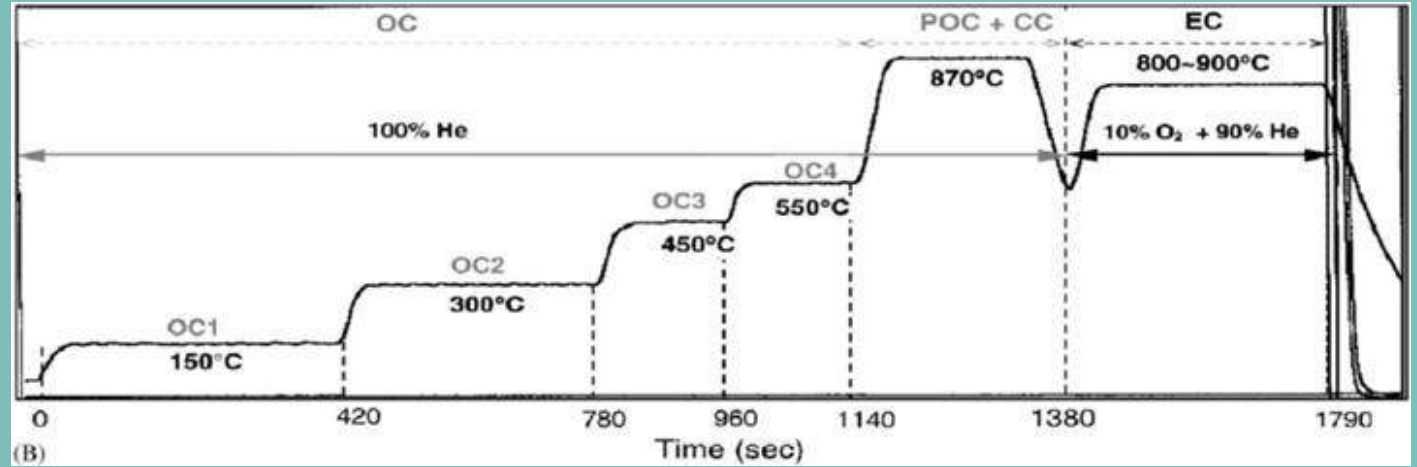
**Método gravimétrico bajo EPA CFR 40 Appendix L, Part 50
- Reference Method for the Determination of Fine
Particulate Matter as PM_{2.5} in the Atmosphere.
Microbalanza resolución 0.001mg. Control de temperatura
(20-23 °C y humedad relativa (30-40 %HR).**



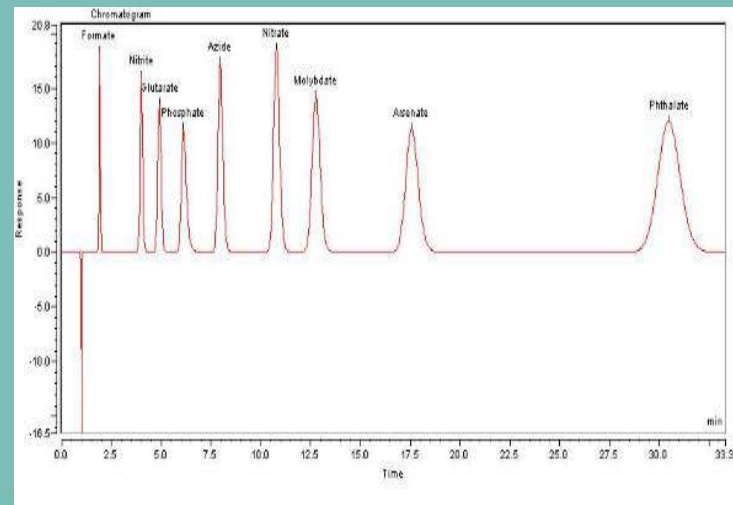
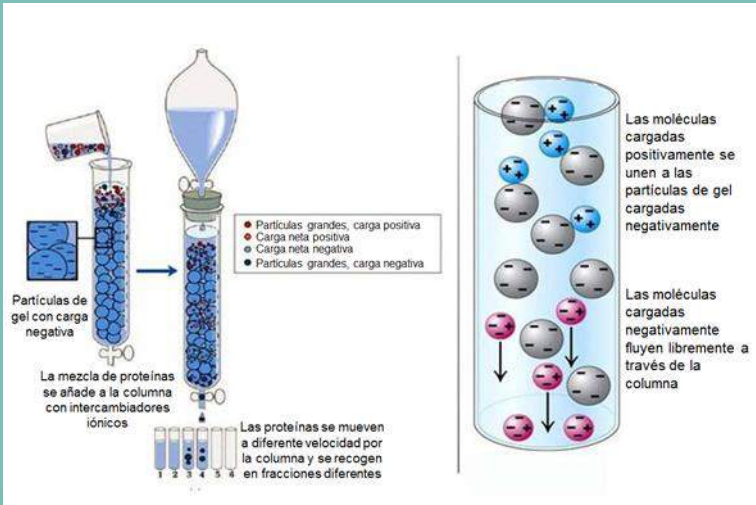
METODOLOGÍA DE ANÁLISIS QUÍMICO

ANÁLISIS DE MATERIA CARBONÁCEA

METODO TERMO-OPTICO NIOSH-5040



ANÁLISIS DE IONES SOLUBLES



CROMATOGRAFÍA IÓNICA





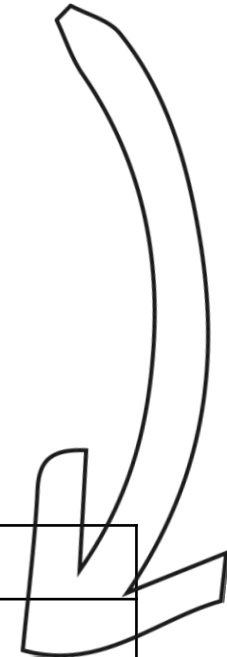
Análisis de datos por grupos de familias



Definición de periodos para el análisis por familia de datos



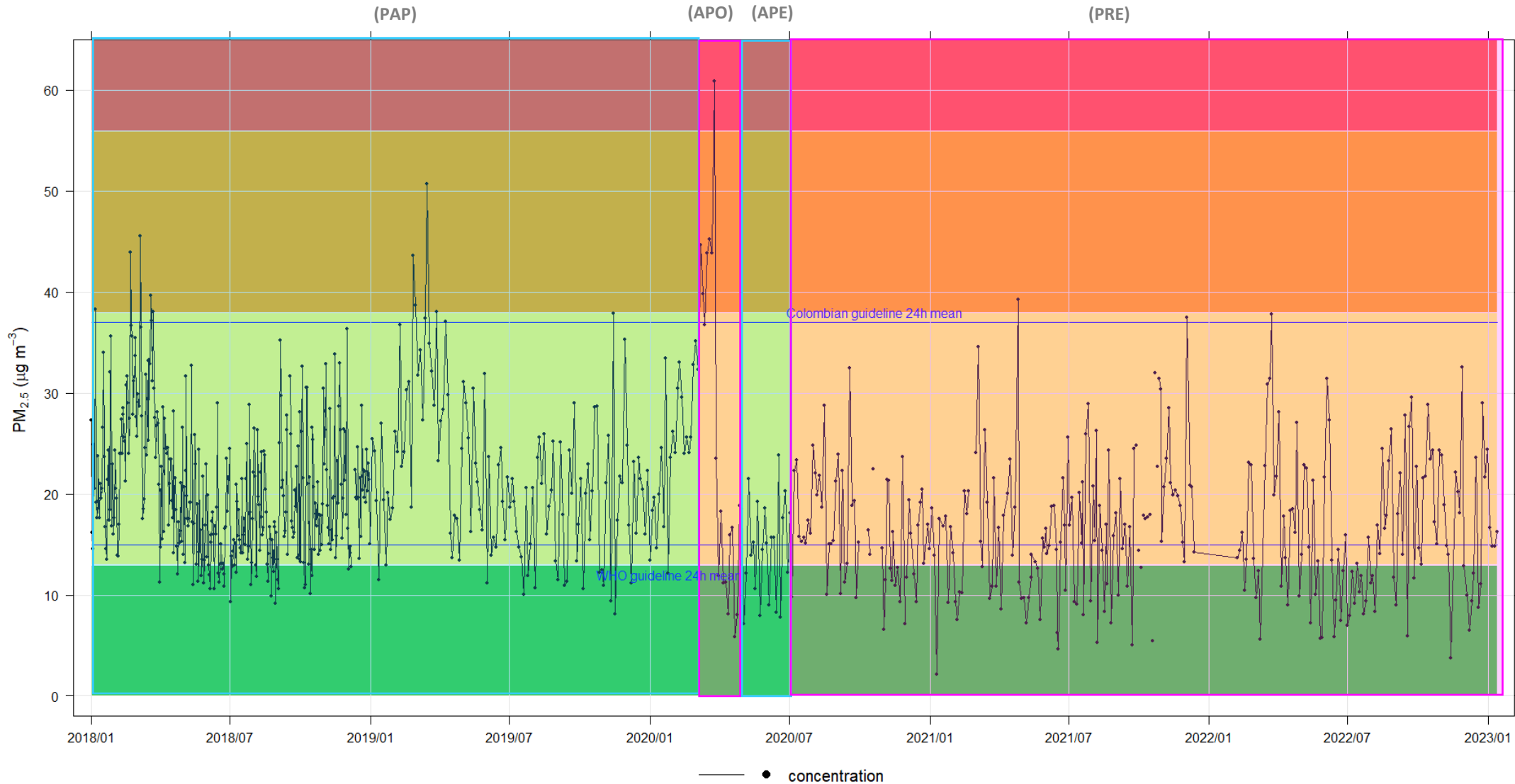
Condiciones por restricción de pandemia



Periodo	Rango de fechas evaluado	Nombre del Periodo
1	2019-01-03 a 2020-03-19	Periodo antes de pandemia (PAP)
2	2020-03-20 a 2020-04-26	Aislamiento preventivo obligatorio (APO)
3	2020-04-27 a 2020-06-30	Aislamiento preventivo con exenciones (APE)
4	2020-07-01 a 2023-02-19	Pandemia reactivación económica (PRE)



RESULTADOS: COMPORTAMIENTO PM_{2,5}. ESTACIÓN MED-BEME - ICA



**Enero 2018 –
Enero 2023**

Promedio
concentración
PM_{2.5}
19.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Resumen de las 11 ecuaciones de reconstrucción másica

Table 1 Summary of the 11 mass reconstruction equations and their major chemical components

Equation No. (reference)/study area	Inorganic ions	Organic mass/organic carbon (OM/OC) ratio	Elemental carbon (EC)	Geological minerals ^a	Salt ^b	Trace elements ^c	Others
Equation 1 (Macias et al. 1981)/Page, AZ	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3$	1.5 ^d	Yes	1.89Al+2.14Si+1.4Ca+1.2K+1.43Fe (assuming Al_2O_3 , SiO_2 , CaO, K_2O , and Fe_2O_3)	None	1.25Cu+1.24Zn+1.08Pb (assuming CuO, ZnO, and PbO)	None
Equation 2 (Solomon et al. 1989)/Los Angeles, CA	$\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$	1.4	Yes	1.89Al+2.14Si+1.4Ca+1.43Fe (no oxides were specified)	None	Sum of all species measured by XRF (excluding S, Al, Si, Ca, and Fe) plus Na^+ and Mg^{++} measured by AAS	None
Equation 3 (Chow et al. 1994b)/Los Angeles, CA	$\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$	1.4	Yes	As in Eq. 2 (assuming Al_2O_3 , SiO_2 , CaO, and Fe_2O_3)	None	Sum of 40 elements (Na to U) by XRF excluding S, Al, Si, Ca, and Fe	None
Equation 4 (Malm et al. 1994)/IMPROVE network	4.125S as $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ NO_3^- was excluded due to the concern that NO_3^- can volatilize from the Teflon-membrane filters but not from the Nylon filter	1.4	Yes	2.2Al+2.49Si+1.63Ca+1.94Ti+2.42Fe (assuming Al_2O_3 , SiO_2 , CaO, Fe_2O_3 , and FeO (in equal amounts), TiO_2 , and K_2O (assuming that soil K is 0.6Fe), with all oxide multipliers by 1.16 to account for other missing compounds)	None	None	None
Equation 5 (Chow et al. 1996)/San Joaquin Valley, CA	$\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$	1.4	Yes	As in Eq. 2	$\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$	As in Eq. 2: also excluding Na^+ , K^+ , and Cl^-	None
Equation 6 (Andrews et al. 2000)/Great Smoky Mountains National Park, TN	$\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ (MOUDI sampler NH_4^+ was estimated by HEADS $\text{SO}_4^{2-}/\text{NH}_4^+$ ratio)	1.4	Yes	As in Eq. 2 plus 1.67Ti (assuming Al_2O_3 , SiO_2 , CaO, K_2O , TiO_2 , and Fe_2O_3)	None	Sum of remaining species (excluding S, Al, Si, Fe, Ti, Ca, and K; see Table S-1 of Andrews et al. 2000)	None
Equation 7 (Malm et al. 2000); original IMPROVE Eq.)/IMPROVE network	4.125S (as $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) + 1.29 NO_3^- (as NH_4NO_3)	1.4	Yes	As in Eq. 4	None	None	None
Equation 8 (Maenhaut et al. 2002)/Melpitz, Germany	$\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$	1.4	Yes	As in Eq. 4	$\text{Cl}^- + 1.4486\text{Na}$	Sum of all non-sea salt and non-crustal elements, excluding S and K.	Non-crustal K (K -0.6Fe)
Equation 9 (DeBell et al. 2006)/IMPROVE network	4.125S (as $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) + 1.29 NO_3^- (as NH_4NO_3)	1.8	Yes	As in Eq. 4	None	None	None
Equation 10 (Hand et al. 2011; revised IMPROVE Eq.)/IMPROVE network	1.375 SO_4^{2-} (as $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) ^e + 1.29 NO_3^- (as NH_4NO_3)	1.8	Yes	As in Eq. 4	1.8 Cl^-	None	None
Equation 11 (Simon et al. 2011)/IMPROVE network	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3$	1.8	Yes	3.48Si+1.63Ca+2.42Fe+1.94Ti	1.8 Cl^-	None	Non-crustal K=1.2x (K -0.6Fe)

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ammonium sulfate, NH_4NO_3 ammonium nitrate, S sulfur, SO_4^{2-} sulfate, NH_4^+ ammonium, NO_3^- nitrate, MOUDI, Multi-Orifice Uniform Deposit Impactor, HEADS Harvard-EPA Annular Denuder System

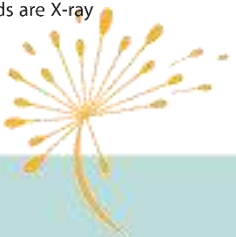
^a Geological minerals include: aluminum (Al), aluminum oxide (Al_2O_3), silicon (Si); silicon oxide (SiO_2), potassium (K); potassium oxide (K_2O); calcium (Ca); calcium oxide (CaO), titanium (Ti), titanium oxide (TiO_2), iron (Fe), ferric oxide (Fe_2O_3), and ferrous oxide (FeO)

^b Salt includes: sea salt, chloride (Cl^-), potassium ion (K^+), and sodium ion (Na^+)

^c Trace elements include: barium (Ba), chromium (Cr), copper (Cu), lead (Pb), vanadium (V), zinc (Zn), copper oxide (CuO), lead oxide (PbO), and zinc oxide (ZnO); measurement methods are X-ray fluorescence (XRF) and atomic absorption spectroscopy (AAS)

^d Based on assumed organic compound composition proportional to C₁₀H₂₀S_{0.25}

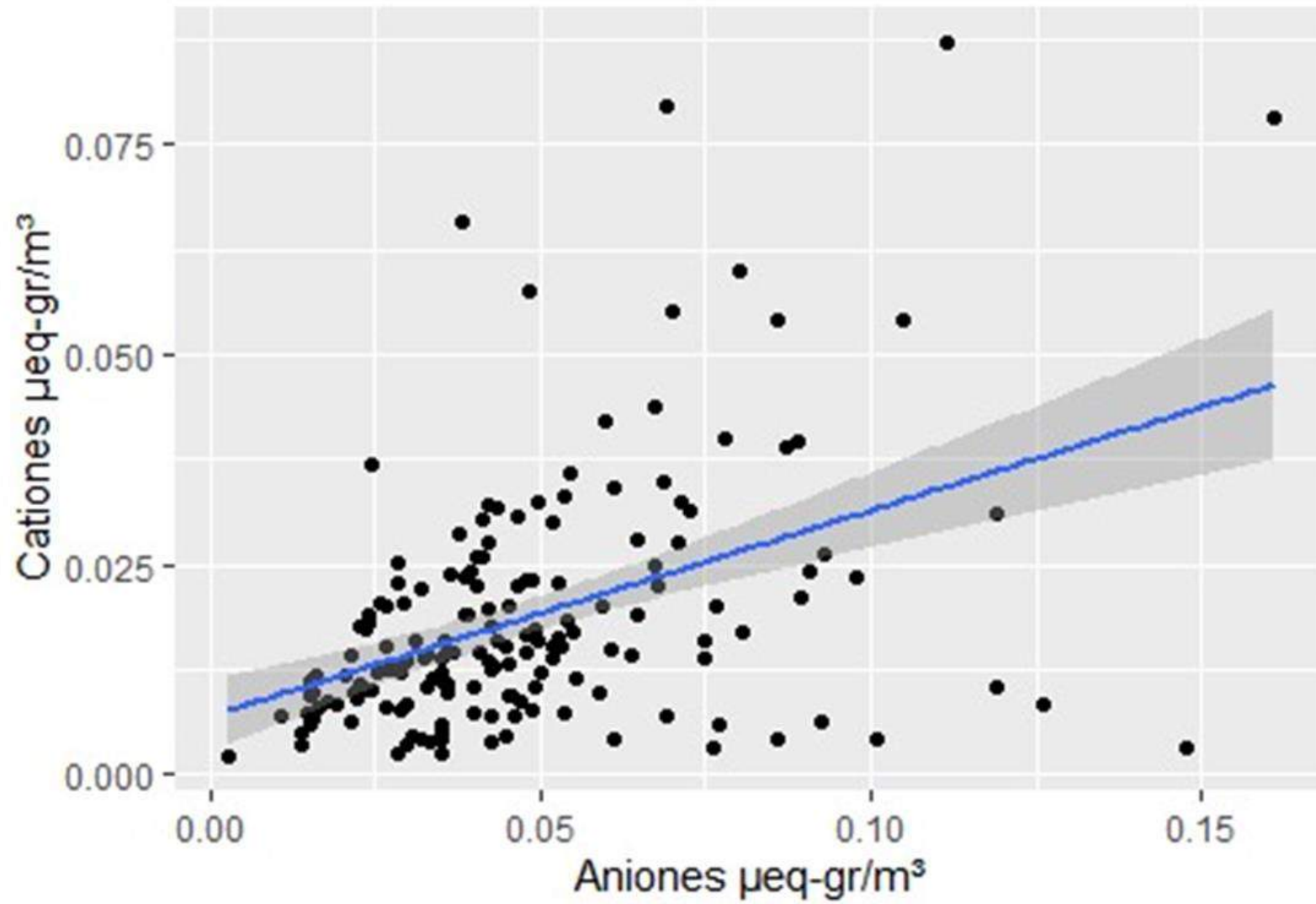
^e Hand et al. (2011) estimated $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ from the SO_4^{2-} concentration as 1.375x SO_4^{2-} to account for unmeasured NH_4^+



BALANCE DE MASA

Método de Reconstrucción Másica (Ecuación)	Promedio de Reconstrucción Másica %
Macías et al (1981)	83%
Solomon et al (1989)	78%
Chow et al. Los Ángeles (1994)	78%
Malm et al, IMPROVE (1996)	80%
Chow et al. San Joaquín Valley (2000)	78%
Andrews et al (2000)	77%
Malm et al, original IMPROVE (2002)	81%
Maenhaut et al (2002)	85%
DeBell et al (2006)	98%
Hand et al (2011) revised IMPROVE	95%
Simon et al (2011)	93%





FRACCIONES DE OC Y ELEMENTOS TRAZADORES EN RELACIÓN CON LAS FUENTES

OC – EC - SO_4^{-2}

EMISIONES VEHICULARES

(Song et al., 2001); R2 Poisson > 0.5: NO_3^-/SO_4^{2-} (A. G. Allen & Miguel, 1995; Guo et al., 2007; Zhou, Ye, Liu, Liu, & Peng, 2007)

EC2

EMISIONES DIESEL

(Cao et al., 2006; Liu et al., 2006), Zinc (Zn) y Níquel (Ni) (Gómez D., Dawidowski L., Giné M.F., Sánchez Bellato A., 2004).

OC2 y OC3

EMISIONES DE VEHICULOS A GASOLINA

(Cao et al., 2006; Liu et al., 2006); Vanadio(V).

Fe-Zn-Cu-Mn-Cr

VEHICLE NON EXHAUST: Lubricantes

(Gómez D., Giné A., Sánchez P., 2005).

Zn-Cu-Pb-Cd-Sb-Mo

VEHICLE NON EXHAUST: Neumáticos

(Gómez D., Giné A., Sánchez P., 2005).

Se – EC1 - SO_4^{-2}

COMBUSTIÓN DE CARBÓN Y PROCESOS INDUSTRIALES

(Judith C. Chow, Watson, Kuhns, et al., 2004), OC2 y EC1 (Judith C. Chow, Watson, Chen, et al., 2004)

Al-Ca-Fe-Ti- K^+

POLVO RESUSPENDIDO

(Chebbi & Carlier, 1996; Y. Wang et al., 2007; Zhou et al., 2007), OC2 OC3 y OC4 (Judith C. Chow, Watson, Kuhns, et al., 2004).



FRACCIONES DE OC Y ELEMENTOS TRAZADORES EN RELACIÓN CON LAS FUENTES

OC1 - SO_4^{-2} - OC2-OC3-OC4-OC6
En menor proporción

COMBUSTIÓN DE BIOMASA, BIOCOMBUSTIBLES E INDENDIOS

(John G Watson, 2004)

SO_4^{-2} - Na - Ca - NOX - SOC - OC/EC=8.5

FUENTES SECUNDARIAS:

Condensación de gases, coagulación o precipitación húmeda de PM, Eventos de contaminación local o regional

(A. D. A. Hansen, Rosen, & Novakov, 1984; Zhu et al., 2010a).

Al - Ca - Fe - Ti - K

MINERALES DEL SUELO Y EXPLOTACIÓN DE MATERIALES

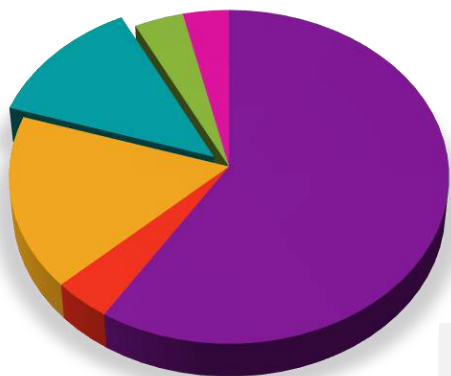
(Chebbi & Carlier, 1996; Y. Wang, Zhuang, Xu, & An, 2007; Zhou et al., 2007).



Composición Media Porcentual PM2.5
Abril 2019 – Marzo 2020. Estación MED-BEME-
Medellín Colombia

Antes de Pandemia COVID-19

OC/EC= 8.13



SOC 31.1 %

14.0%
Minerales
Al, Na, K, Fe

15.9%
Iones
Sulfatos

4.1%
C. Elemental

4.3%
Trazas
Ni, V, Sb

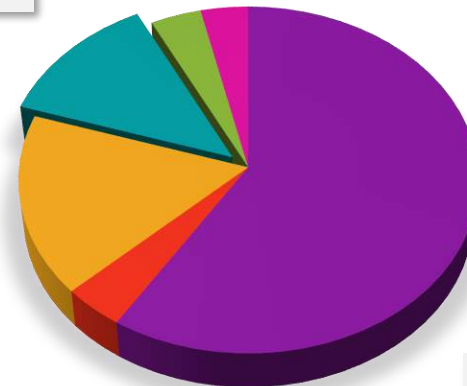
60.4%
Materia Orgánica

1.3%
No Identificables

Composición Media Porcentual PM2.5
Marzo 2020 – Septiembre 2021. Estación MED-
BEME-Medellín Colombia

Durante Pandemia COVID-19

OC/EC= 8.14



SOC 45.2 %

12.7%
Minerales

16.8%
Iones

4.0%
C. Elemental

3.8%
Trazas

59.9%
Materia Orgánica

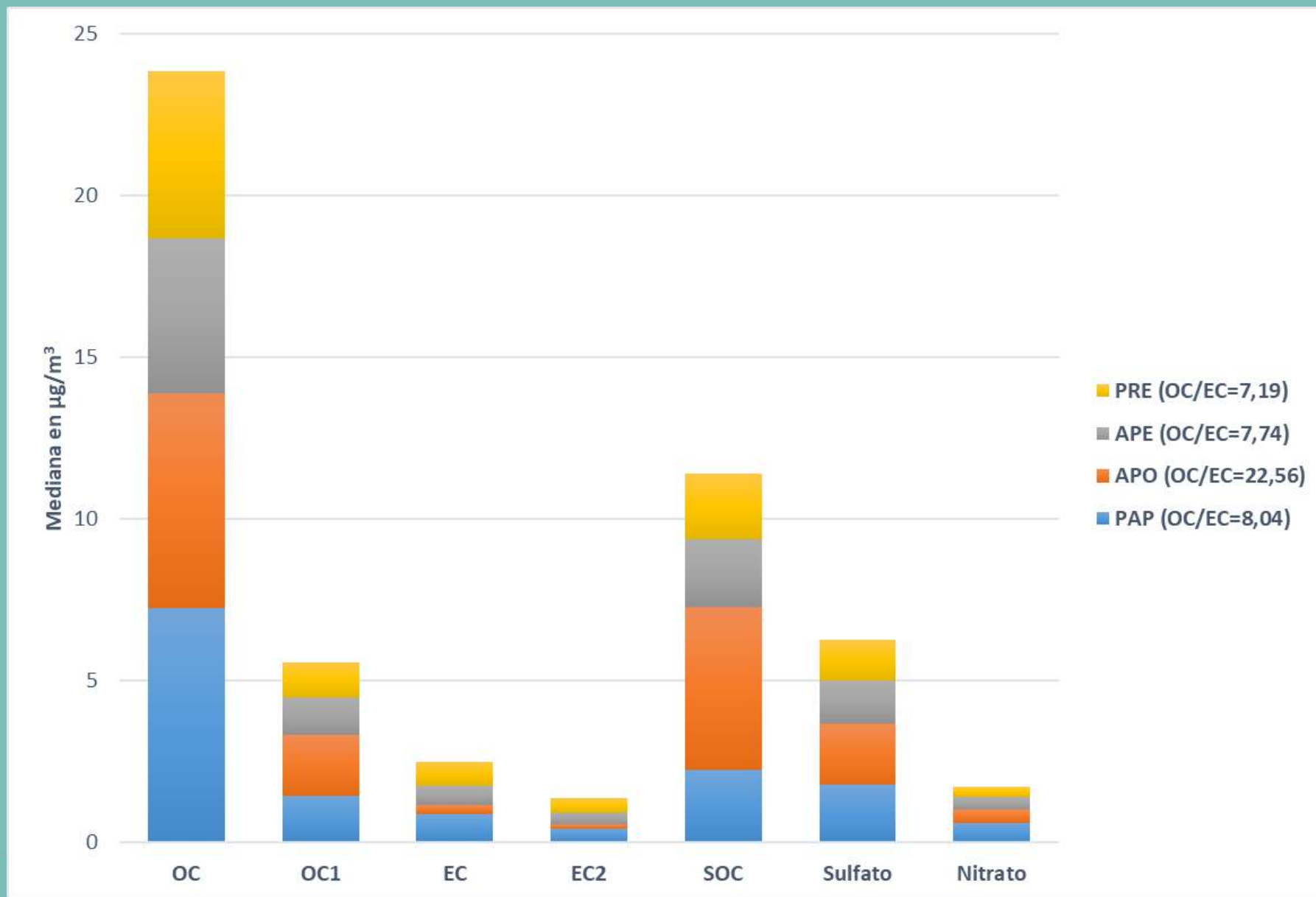
3.6%
No Identificables



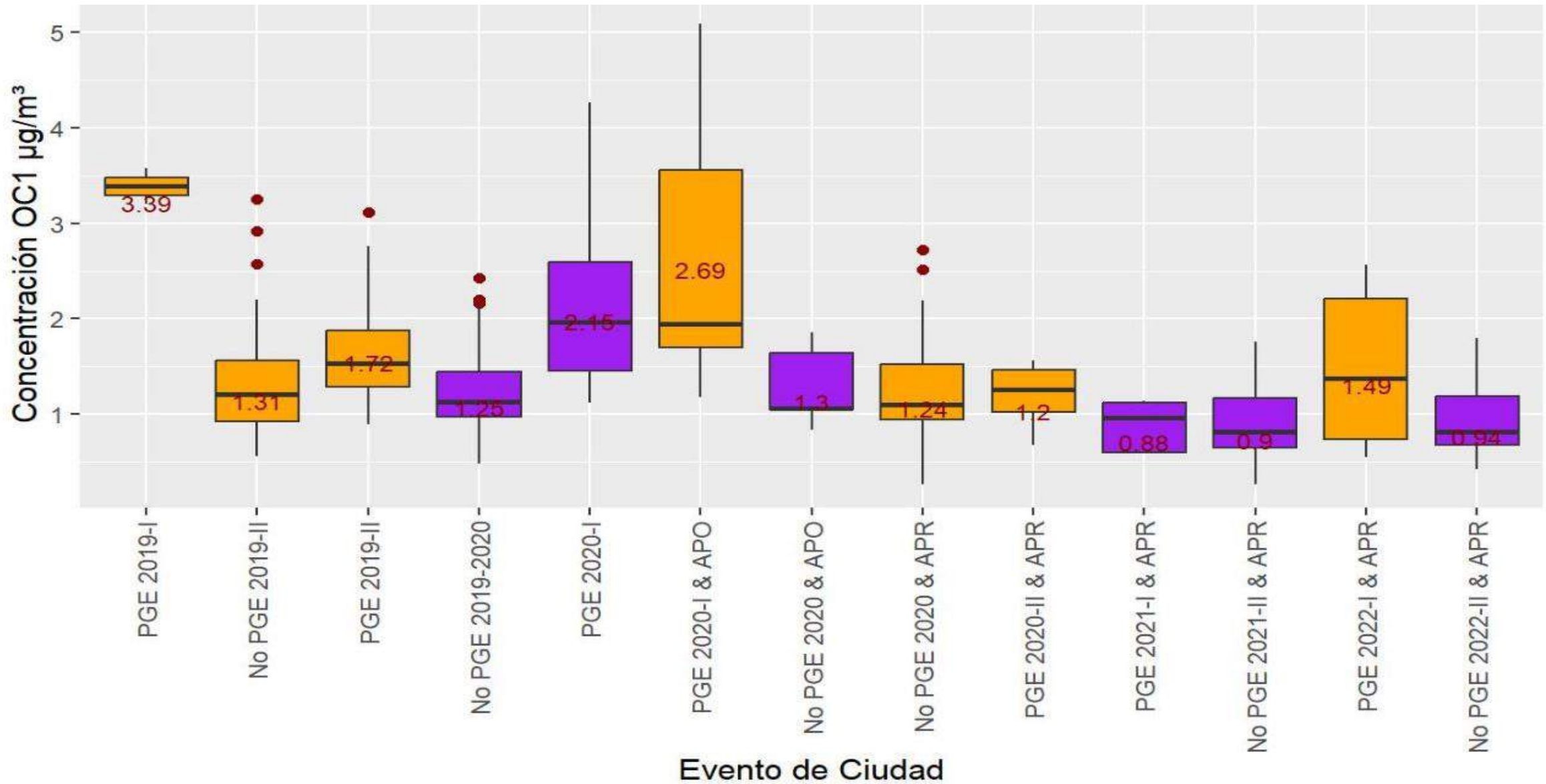
CARACTERIZACIÓN PM2.5. ZONA HABITACIONAL-VALLE DE ABURRÁ ABRIL 2019 – SEPTIEMBRE 2021

Comportamiento de especies caracterizadas en PM2.5.

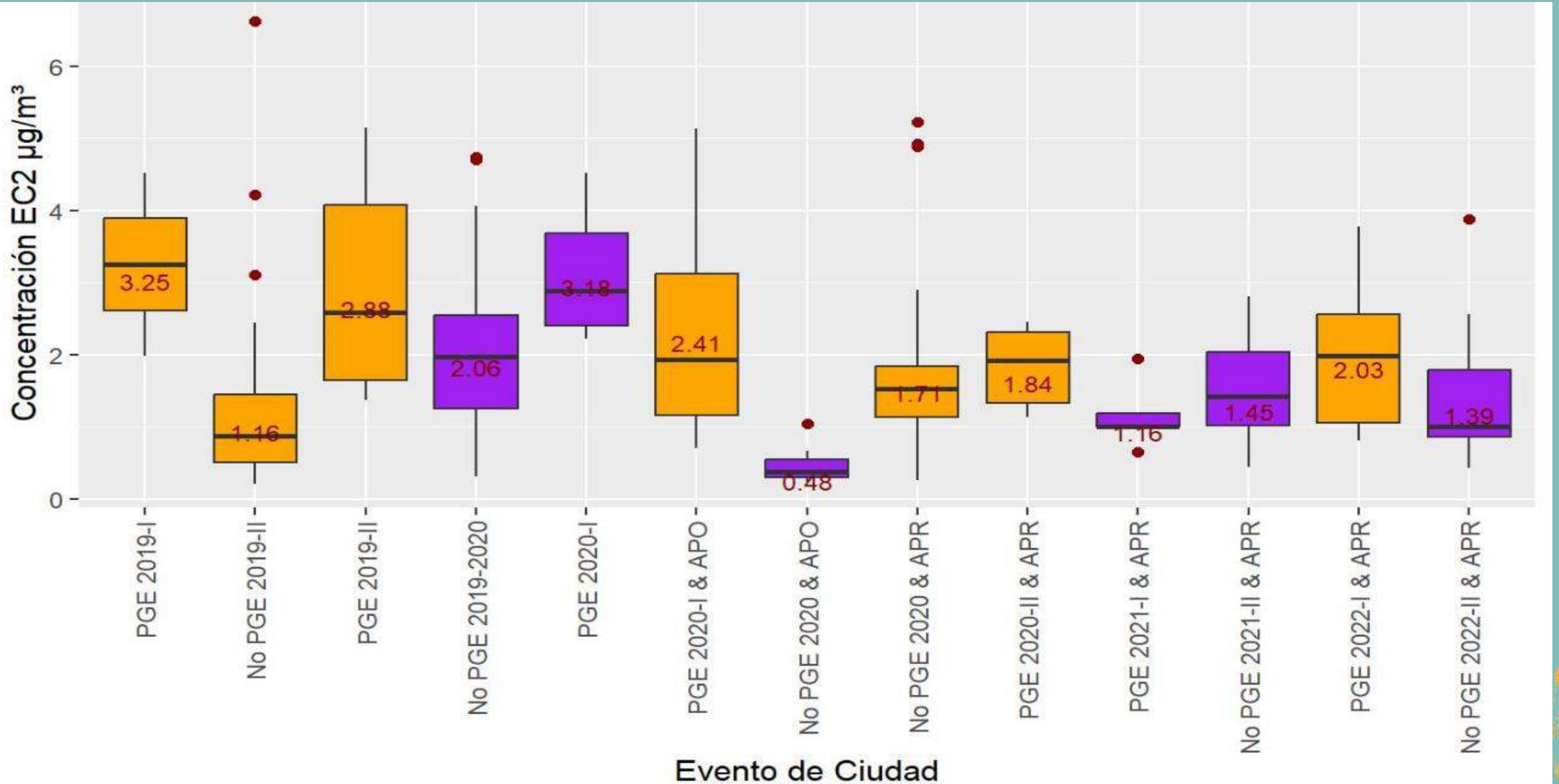
Antes y durante la Pandemia por COVID-19
Zona habitacional-Valle de Aburrá. Medellín-Colombia.



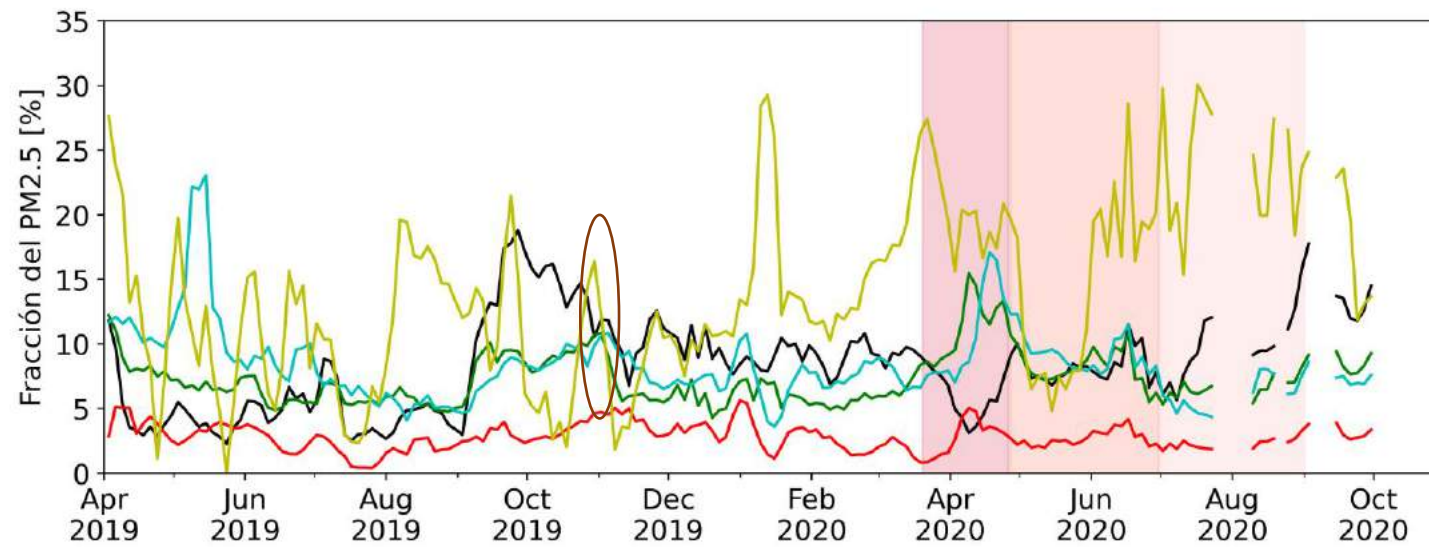
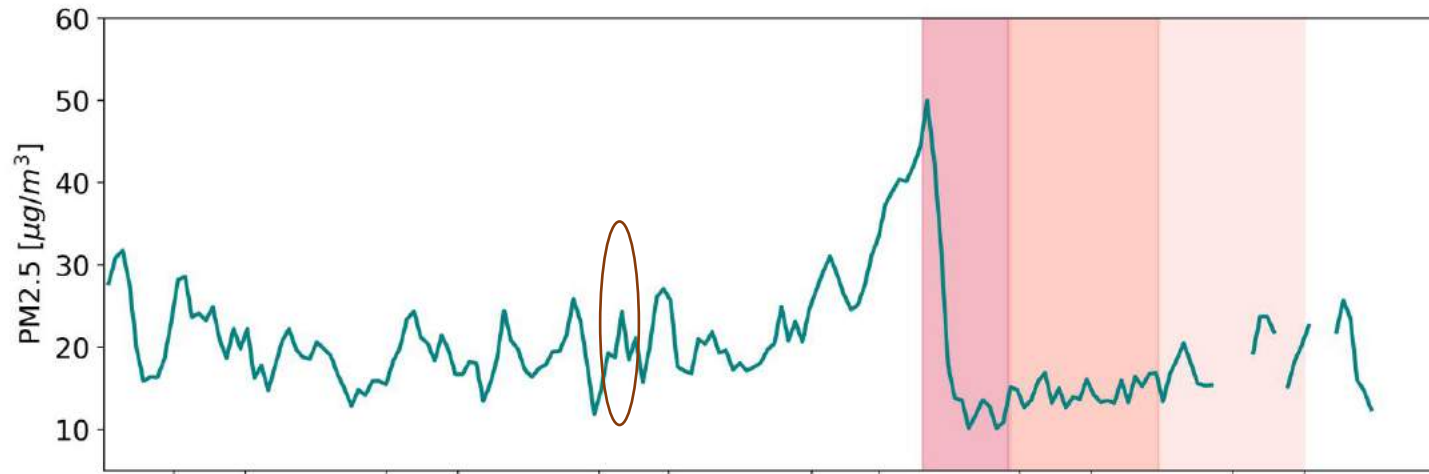
COMPORTAMIENTO OC1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). TRAZADOR QUEMAS BIOMASA ESTACIÓN MED-BEME 2019-2022 PERIODOS PGE Y NO PGE



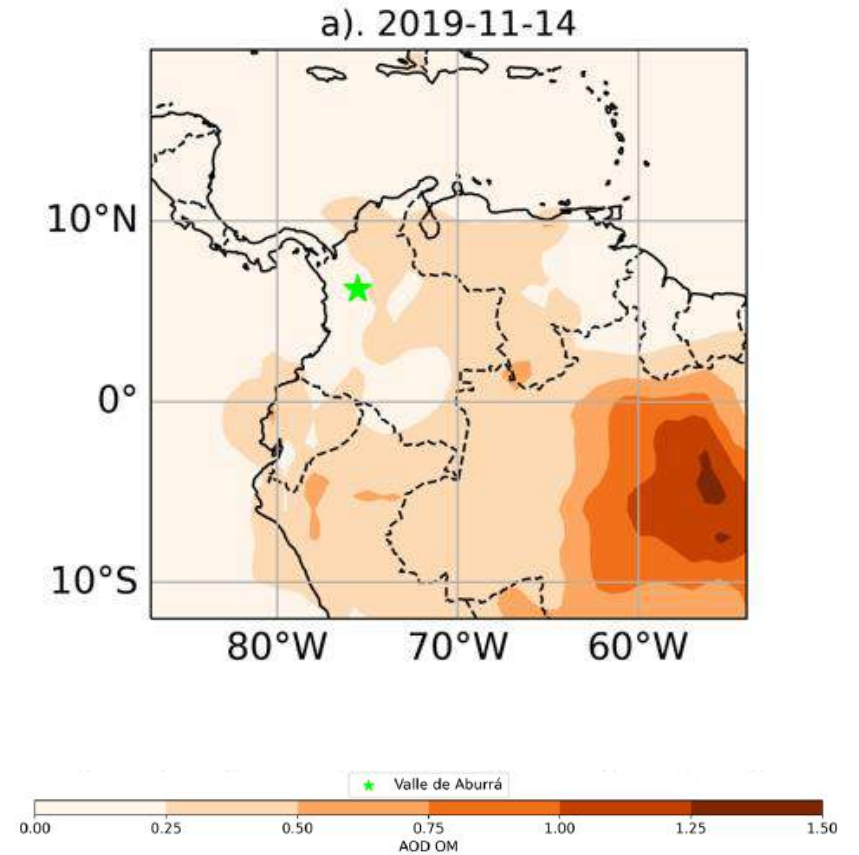
COMPORTAMIENTO EC2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). TRAZADOR EMISIONES DIÉSEL ESTACIÓN MED-BEME 2019-2022 PERIODOS PGE Y NO PGE



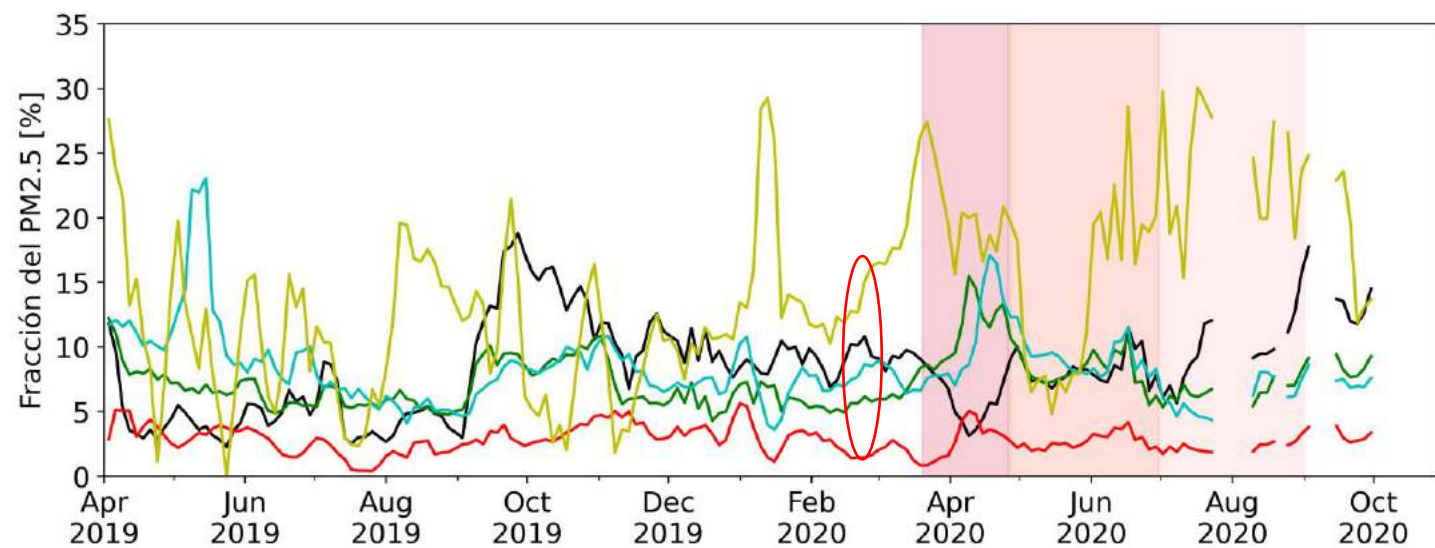
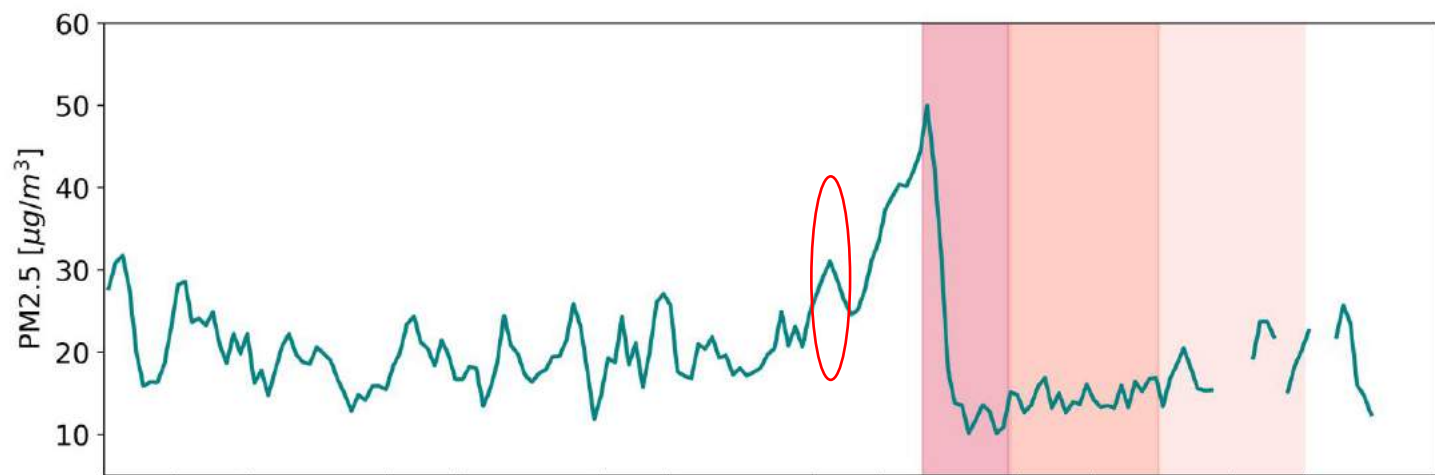
CARACTERIZACIÓN PM2,5. ABRIL 2019 – OCTUBRE 2020



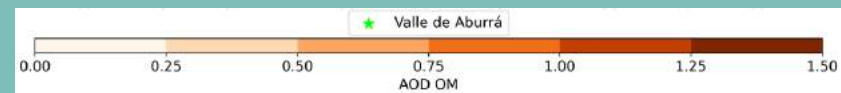
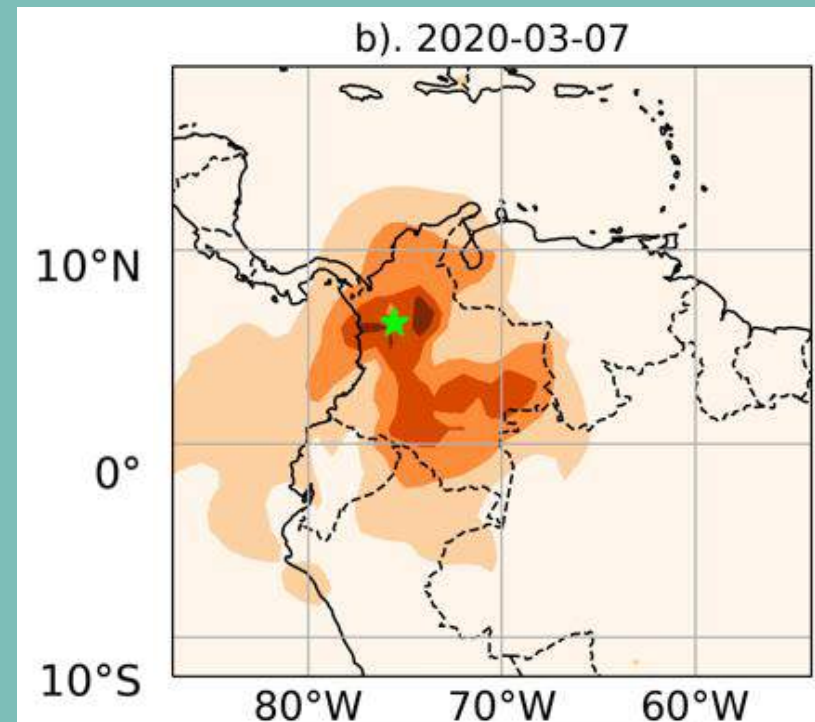
— Frac EC2 — Frac Nitrato — Frac SOC APO APE PRE
 — Frac OC1 — Frac Sulfato



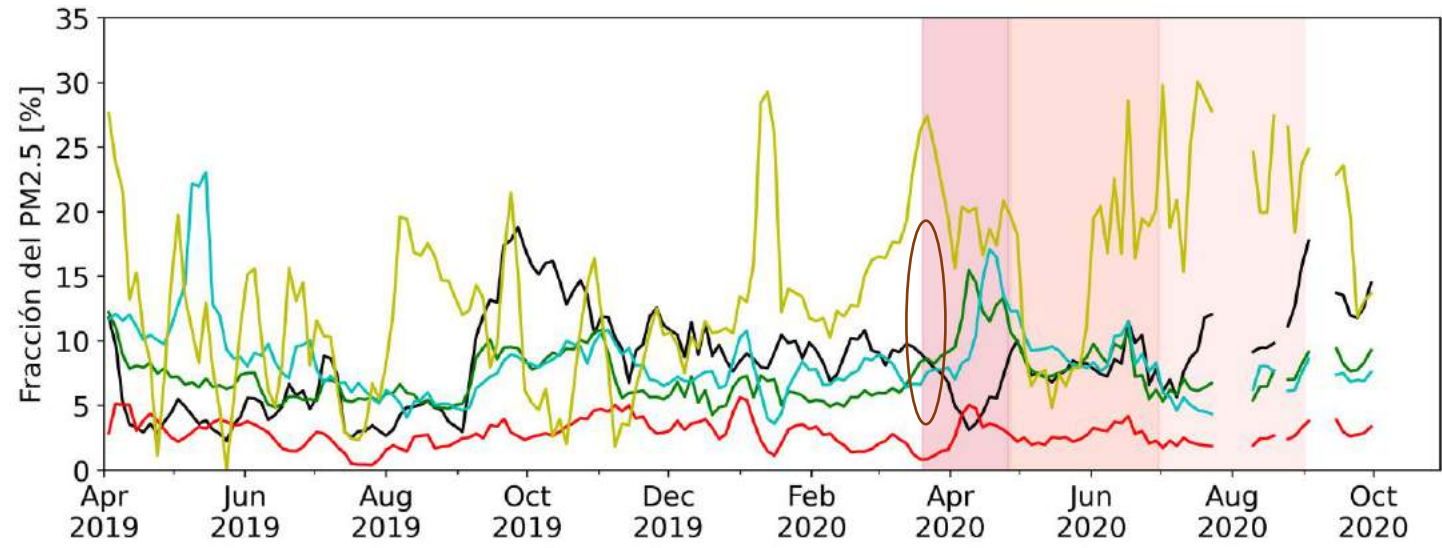
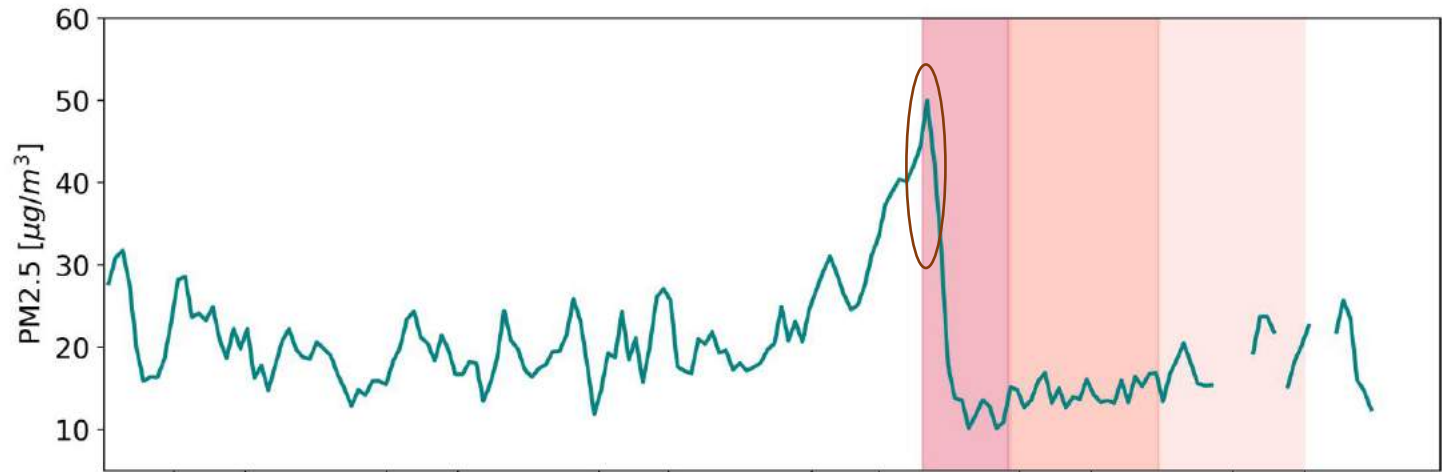
CARACTERIZACIÓN PM2,5. ABRIL 2019 – OCTUBRE 2020



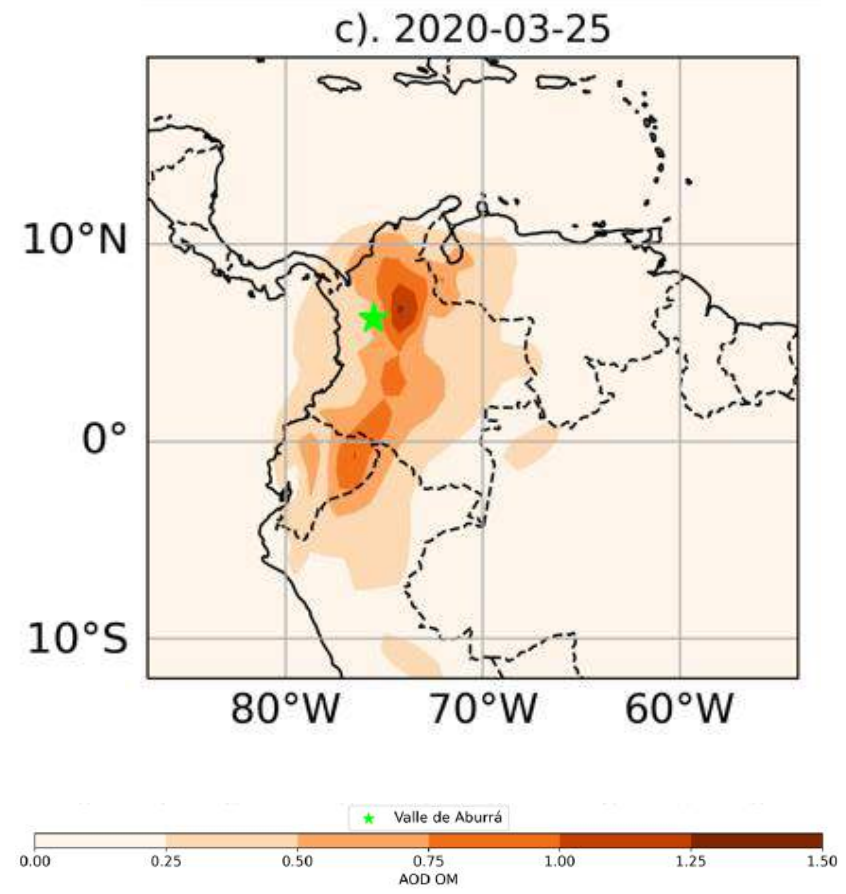
— Frac EC2 — Frac Nitrato — Frac SOC APO APE PRE
 — Frac OC1 — Frac Sulfato



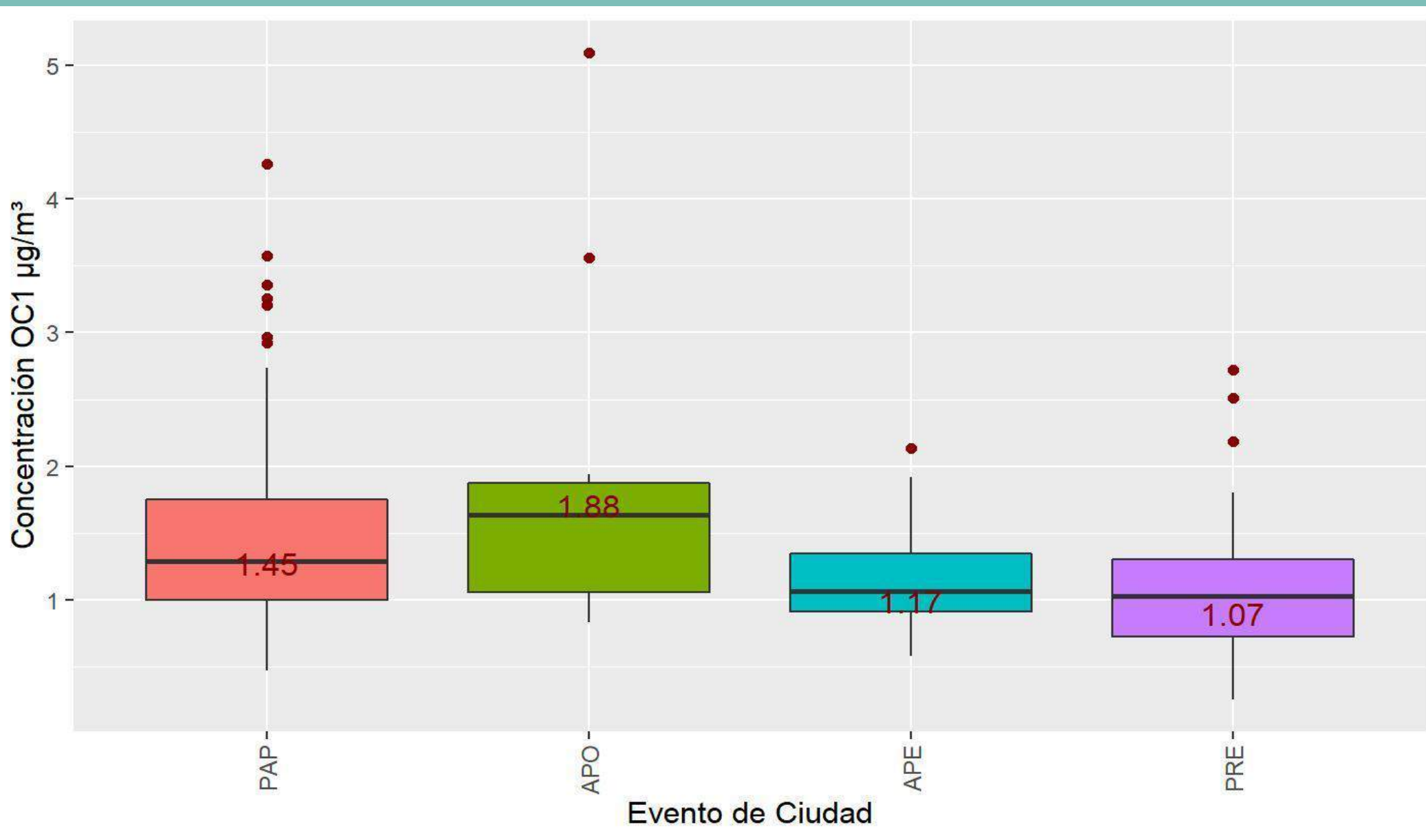
CARACTERIZACIÓN PM2.5. ABRIL 2019 – OCTUBRE 2020



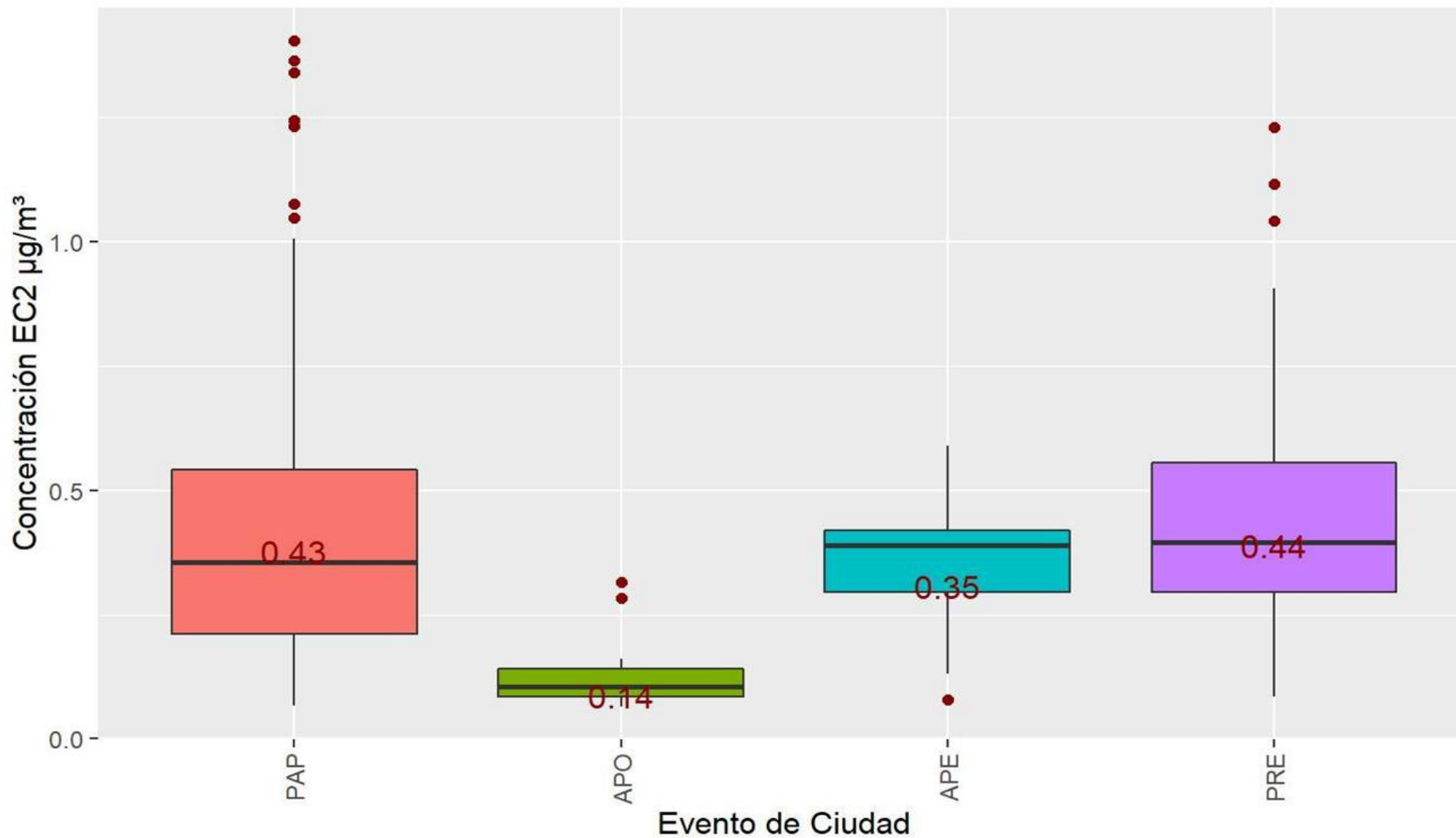
- Frac EC2
- Frac Nitrato
- Frac SOC
- APO
- APE
- PRE
- Frac OC1
- Frac Sulfato



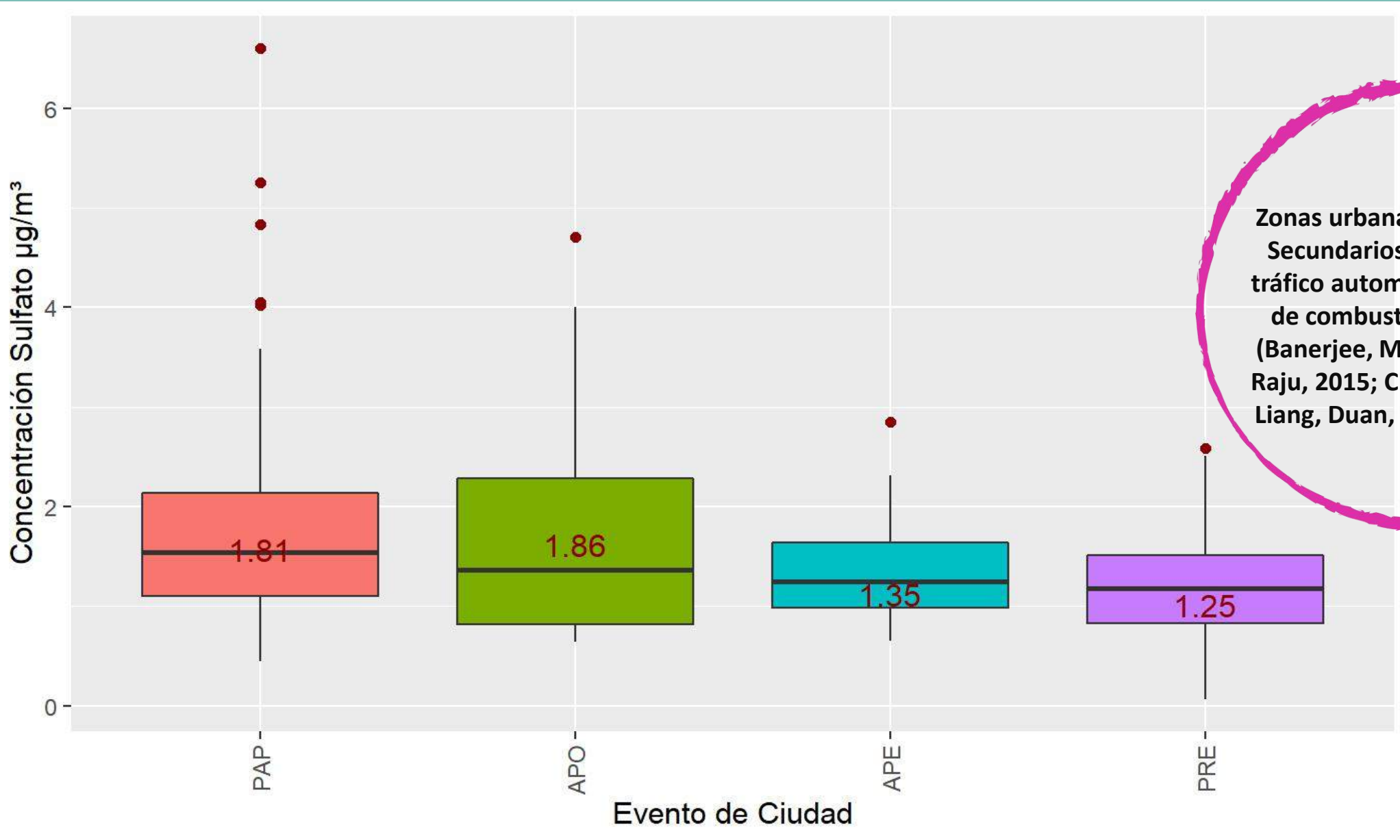
COMPORTAMIENTO OC1 (TRAZADOR QUEMA BIOMASA) EN PERIODOS DE ESTUDIO. ESTACIÓN MED-BEME. ABRIL 2019- SEPTIEMBRE 2021



COMPORTAMIENTO EC2 (TRAZADOR DIESEL) EN PERIODOS DE ESTUDIO
ESTACIÓN MED-BEME. ABRIL 2019-SEPTIEMBRE 2021



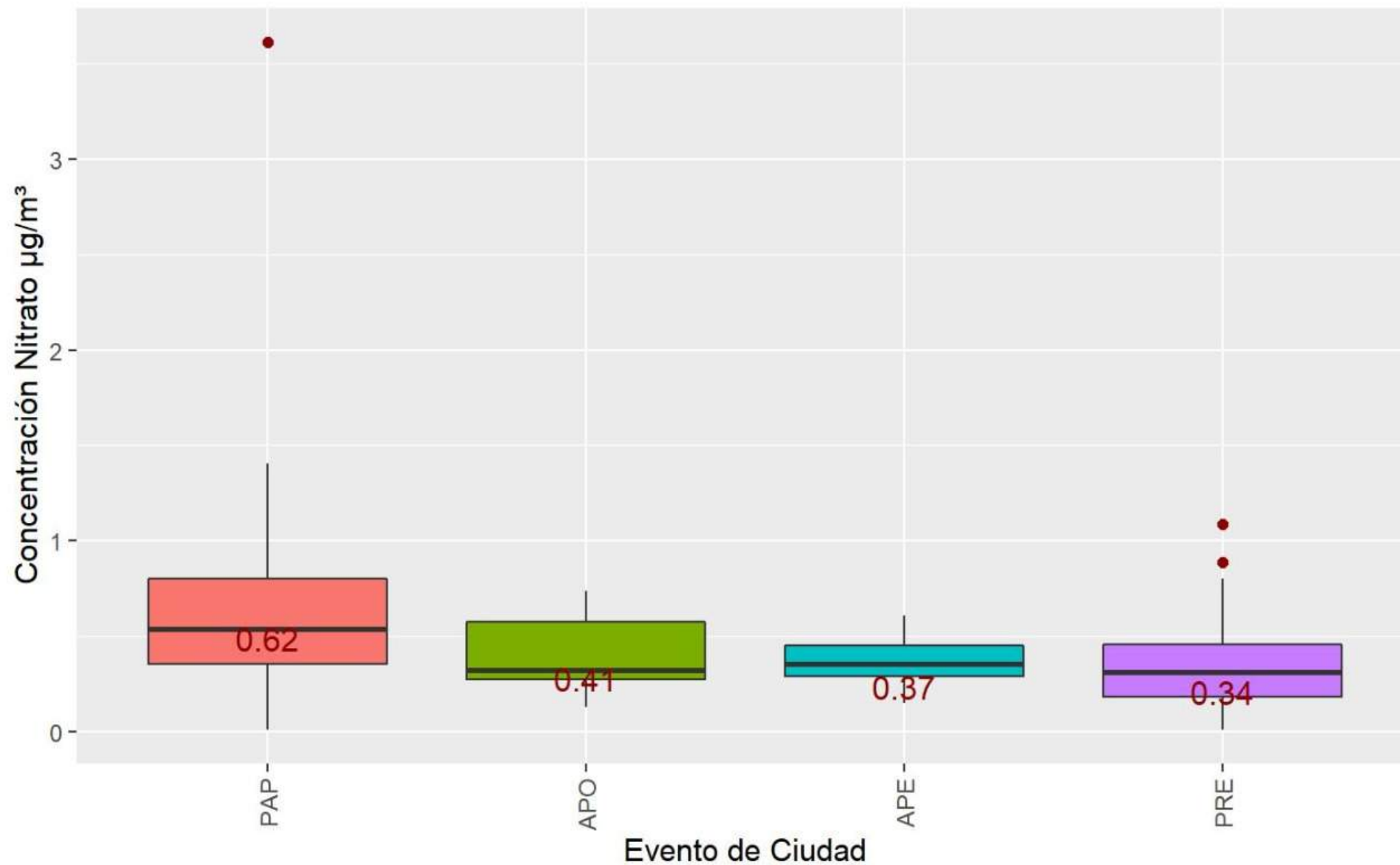
COMPORTAMIENTO SULFATOS – AEROSOLES INORGÁNICOS SECUNDARIOS (SIA) EN PERIODOS DE ESTUDIO. ESTACIÓN MED-BEME. ABRIL 2019-SEPTIEMBRE 2021



Zonas urbanas en el mundo:
Secundarios derivados del tráfico automotor y procesos de combustión industrial.
(Banerjee, Murari, Kumar, & Raju, 2015; Chen et al., 2015; Liang, Duan, He, & Ma, 2016)



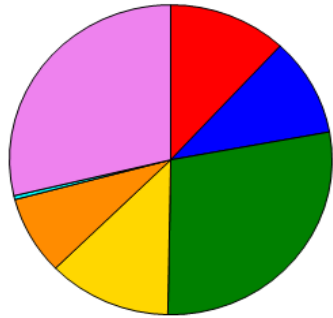
COMPORTAMIENTO NITRATOS AEROSOLES INORGÁNICOS SECUNDARIOS (SIA) EN PERIODOS DE ESTUDIO. ESTACIÓN MED-BEME. ABRIL 2019-SEPTIEMBRE 2021



ESTIMACIÓN DE APORTES DE FUENTES MODELO PMF ABRIL 2019 – SEPTIEMBRE 2021 ANTES Y DURANTE PANDEMIA POR COVID-19

APORTES DE FUENTES - COVID-19 (PAP)

PM2.5 - Run 16

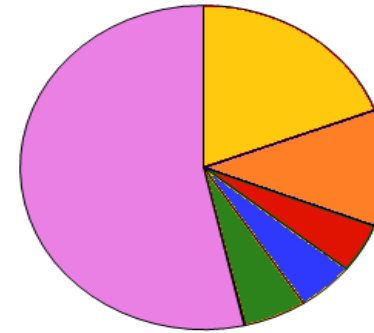


Factor Contribution > 0.05 %

- Diésel = 2.52680 (11.9 %)
- Gasolina = 2.18540 (10.3 %)
- Resuspendido = 6.00460 (28.2 %)
- Calderas de carbón = 2.63680 (12.4 %)
- Industria cerámica = 1.74610 (8.2 %)
- Fuente secundaria sulfatos = 0.08667 (0.4 %)
- Quemasa de biomasa = 6.11960 (28.7 %)

APORTES DE FUENTES - COVID-19 (APO)

PM2.5 - Run 7

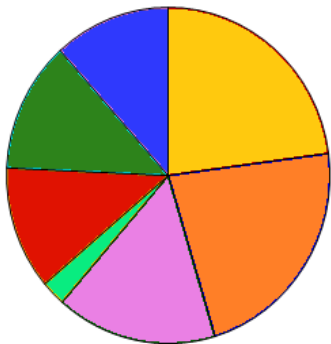


Factor Contribution > 0.05 %

- Calderas de carbón = 3.69150 (19.2 %)
- Industria cerámica = 2.24150 (11.7 %)
- Diésel = 0.94235 (4.9 %)
- Gasolina = 0.96606 (5.0 %)
- Resuspendido = 1.06280 (5.5 %)
- Non Exhaust = 0.02183 (0.1 %)
- Quema de biomasa = 10.28300 (53.5 %)

APORTES DE FUENTES - COVID-19 (APE)

PM2.5 - Run 12

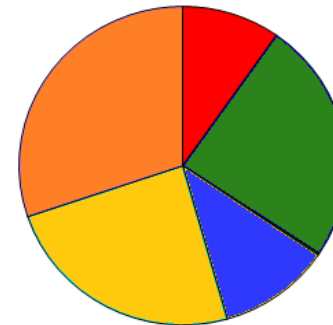


Factor Contribution > 0.05 %

- Calderas de carbón = 3.28260 (22.9 %)
- Industria cerámica = 3.21730 (22.4 %)
- Quemasa de biomasa = 2.30420 (16.1 %)
- Non exhaust - Secundarias = 0.34812 (2.4 %)
- Diésel = 1.70300 (11.9 %)
- Resuspendido = 1.81030 (12.6 %)
- Gasolina = 1.66990 (11.6 %)

APORTES DE FUENTES - COVID-19 (PRE)

PM2.5 - Run 20



Factor Contribution > 0.05 %

- Diésel = 1.51030 (9.7 %)
- Resuspendido - Non Exhaust = 3.82760 (24.6 %)
- Quemasa de biomasa = 0.02764 (0.2 %)
- Gasolina = 1.73180 (11.1 %)
- Calderas de carbón = 3.76780 (24.2 %)
- Industria cerámica = 4.69290 (30.2 %)



CONCLUSIONES

- Se evidenció reducción del PM2.5 en el Valle de Aburrá (13,9%) en el rango de los lineamientos la OMS (2021).
- Entre abril 2019 y septiembre de 2021, independiente de las medidas por COVID-19, se evidenció mayor contenido de materia carbonácea e iones dominantes en sulfatos, coherente con la caracterización típica de áreas urbanas a nivel mundial.
- La validación del impacto de las fuentes regionales por quema de biomasa a partir de la caracterización química (trazadores) y reportes por sistemas satelitales, bajo condiciones de parálisis del transporte e industria, abre un nuevo esquema de medidas de control teniendo en cuenta los aportes de fuentes externas al Valle de Aburrá. ,



■ IMPLICACIONES EN POLÍTICAS PÚBLICAS Y PARA LA PRÁCTICA

- Normas calidad del aire, establecidas con concentración PM2.5, como magnitud para evaluar el efecto en la salud por riesgo de exposición al contaminante. El impacto no solo depende de la cantidad respirada, sino de su composición asociada al contenido de múltiples sustancias tóxicas y microorganismos, es importante evaluarlas de acuerdo con su toxicidad e incorporar niveles máximos permisibles, a las normas de calidad del aire.
- A partir del conocimiento sobre la caracterización química del PM2,5, se implementan diferentes tipos de modelos receptores para la estimación de los aportes de fuentes, como criterio para la toma de decisiones por parte de los entes gubernamentales y como indicadores de eficiencia de los planes de mejoramiento de calidad del aire.
- El aporte de conocimiento sobre la caracterización del PM2.5 a nivel mundial es importante, dado que solo dos (2) países en el mundo tienen proyecto de norma enfocada en este tema. Este estudio en Colombia, contribuye al CONPES (CONPES 3344, 2005. pp26) aportando parámetros para modificar las normas de calidad del aire.



AGRADECIMIENTOS

- **Naciones Unidas ONU - Agencia Internacional de Energía Atómica IAEA**, Proyecto ARCAL7023 “Uso de Técnicas Analíticas Nucleares para el estudio de la emisión y la recepción de material particulado atmosférico por parte de los grandes centros urbanos de América Latina y el Caribe”
- **Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA)**, por la financiación de estudios para la caracterización química de los aerosoles urbanos 2018-2022.
- **ECOPETROL**, por la financiación de estudios para la caracterización química de los aerosoles urbanos 2018-2021.
- **Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid Medellín Colombia**



INVESTIGADORES





¡MUCHAS GRACIAS!

Más información



<https://casap.science/>



casap@casap.science