

Especiación de aerosoles carbonáceos primarios y secundarios en el Valle de Aburrá a partir del sistema acoplado etalómetro-TCA

Paola Andrea Montoya Lopera, Camilo Chalán, Alejandro Marín, Ana Zuleima Orrego, Mauricio Ramírez Arias*

*mauricio.ramirez@siata.gov.co



Antecedentes

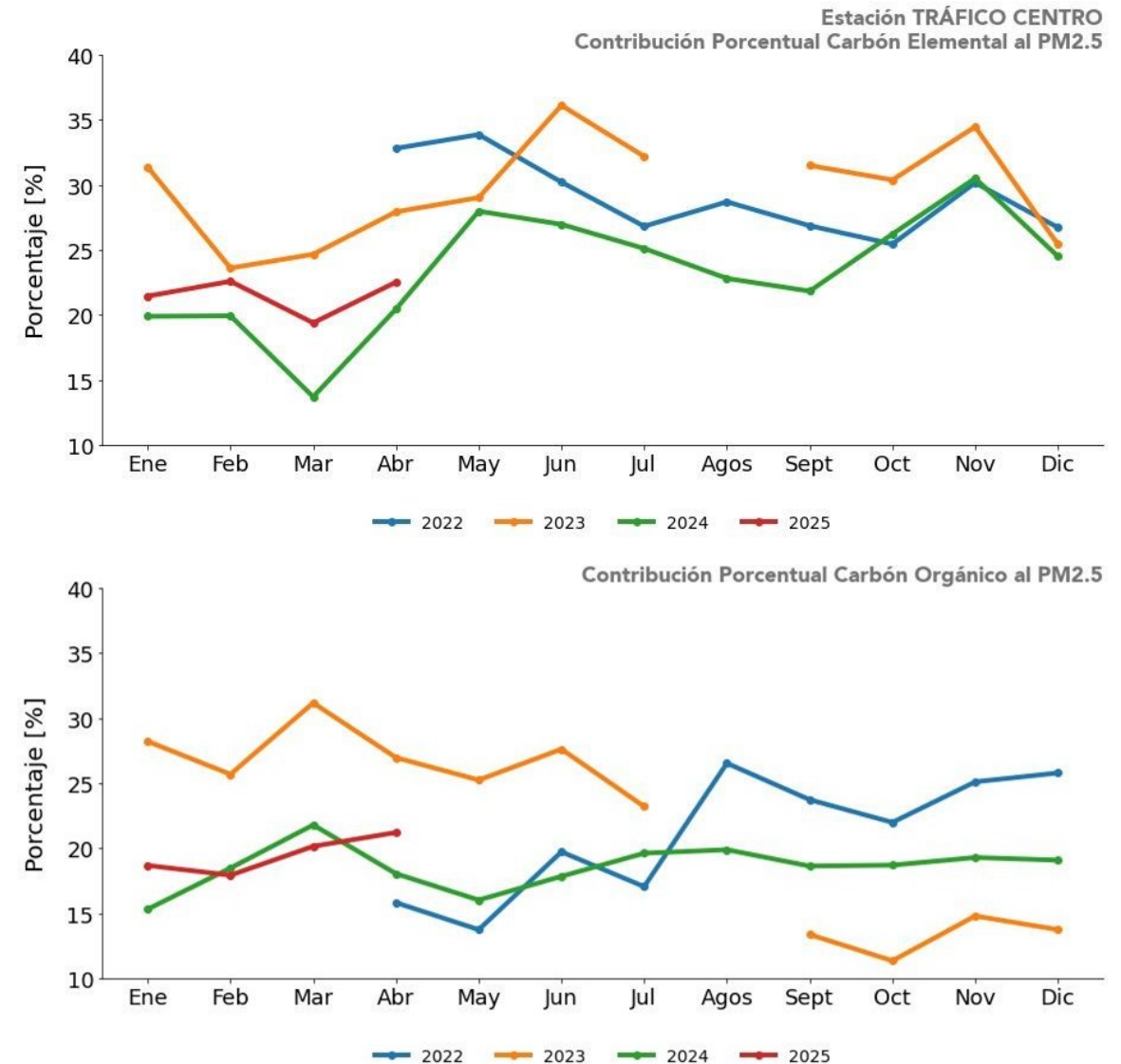
Aerosoles carbonáceos en el Valle de Aburrá

En el Valle de Aburrá, los estudios relacionados con la caracterización química de aerosoles mostraron que la materia carbonácea se encuentra en mayor proporción en todos los sitios de medición con aportes en general superiores al 30%.

El monitoreo histórico de black carbon y el carbono orgánico en el Valle de Aburrá ha evidenciado que el seguimiento de los aerosoles carbonáceos contribuye a la identificación de las fuentes de contaminación en el territorio.

El aporte de la materia carbonácea en las concentraciones del material particulado PM2.5 en el Valle de Aburrá varía según la época del año.

Figura 1. Superior: Contribución porcentual del carbono elemental en el material particulado PM2.5 en la estación Tráfico Centro del Valle de Aburrá. Inferior: Contribución porcentual del carbono elemental en el material particulado PM2.5 en la estación Tráfico Centro del Valle de Aburrá



Monitoreo de aerosoles carbonáceos en el Valle de Aburrá

Sistema de especiación CASS (etalómetro + TCA)



- Determinación en tiempo real de las concentraciones de carbono orgánico y carbono elemental (black carbon).
- Determinación en tiempo real de las concentraciones de carbono total (TC), black carbon (BC) atribuible a combustibles fósiles y a biomasa, y brown carbon.
- Determinación en tiempo real de la relación entre las concentraciones de carbono orgánico y carbono elemental.
- Resolución 20-minutal.

Figura 2. Sistema de especiación de aerosoles carbonáceos -CASS de la estación Tráfico Centro de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire del Valle de Aburrá.

Concentraciones de aerosoles carbonáceos

Estación de tráfico vs. Estación poblacional

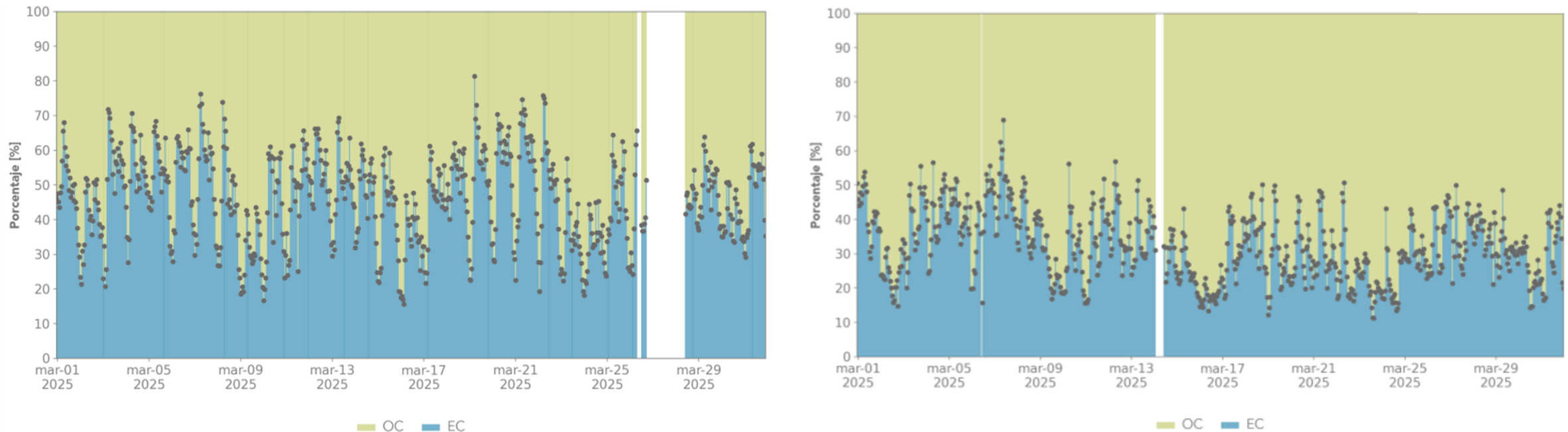


Figura 3. Contribución porcentual del carbono orgánico y el carbono elemental en las concentraciones de carbono total para la estación Tráfico Centro (izquierda; CEN-TRAF) y la estación Casa de Justicia del municipio de Itagüí (derecha; ITA-CJUS), estación considerada poblacional (derecha).

La contribución porcentual del carbono elemental en las concentraciones de carbono total en la estación Tráfico Centro es superior a la registrada en la estación Casa de Justicia, lo que implica que las fuentes de emisión que afectan la calidad del aire son diferentes.

Concentraciones de aerosoles carbonáceos

Estación de tráfico vs. Estación poblacional

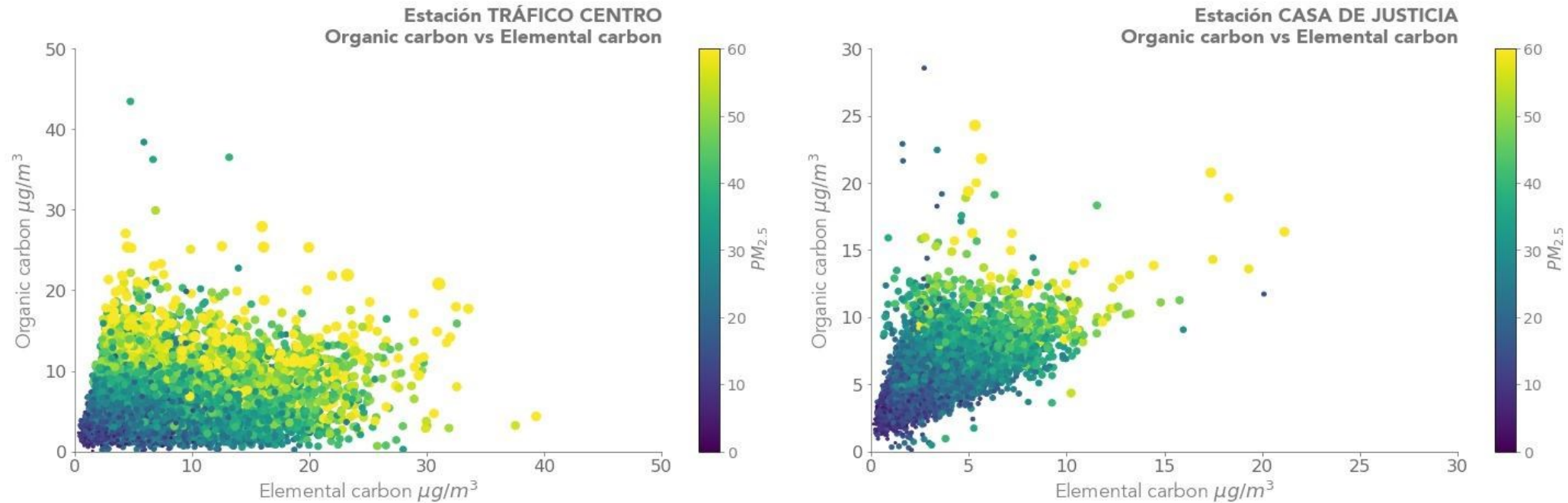
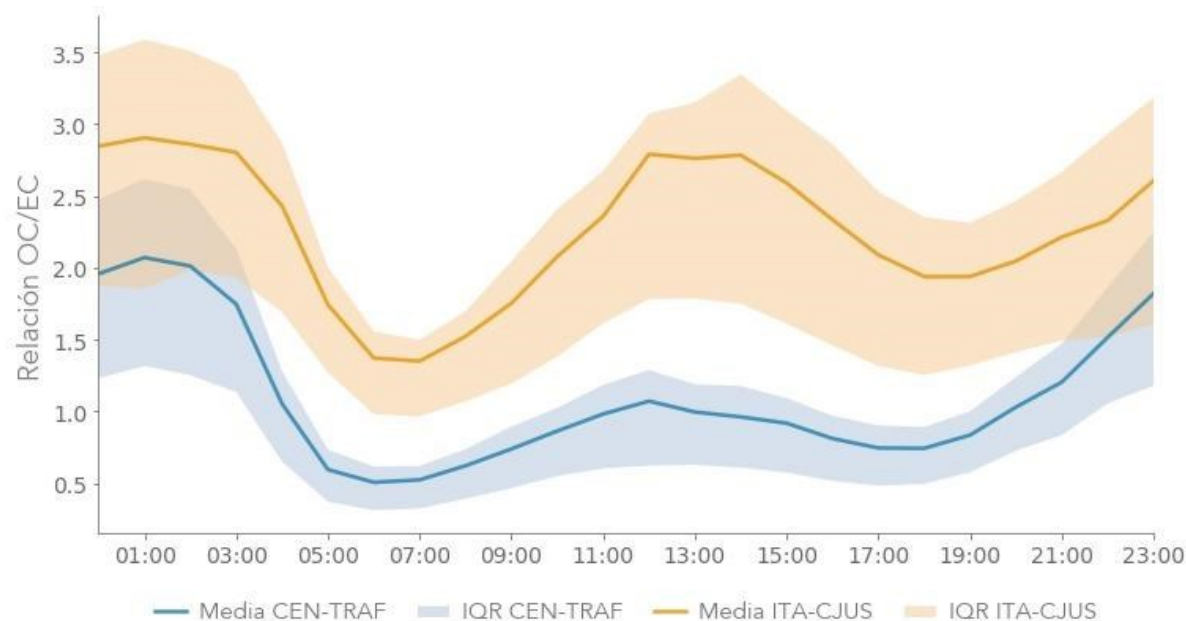


Figura 4. Relación entre las concentraciones de carbono orgánico, carbono elemental y material particulado $\text{PM}_{2.5}$ en la estación Tráfico Centro (izquierda; CEN-TRAF), para el período abril de 2022 - abril de 2025, y la estación Casa de Justicia del municipio de Itagüí (ITA-CJUS), estación considerada poblacional (derecha) para el período abril de 2024 - abril de 2025.

La variabilidad de las concentraciones de carbono elemental (EC) es mayor en la estación Tráfico Centro en comparación con la estación Casa de Justicia en la que tienen, en términos generales, mayor variabilidad las concentraciones de carbono orgánico (OC). En ambos casos, las concentraciones más altas de $\text{PM}_{2.5}$ están asociadas a concentraciones más altas de OC y EC.

Concentraciones de aerosoles carbonáceos

Estación de tráfico vs. Estación poblacional



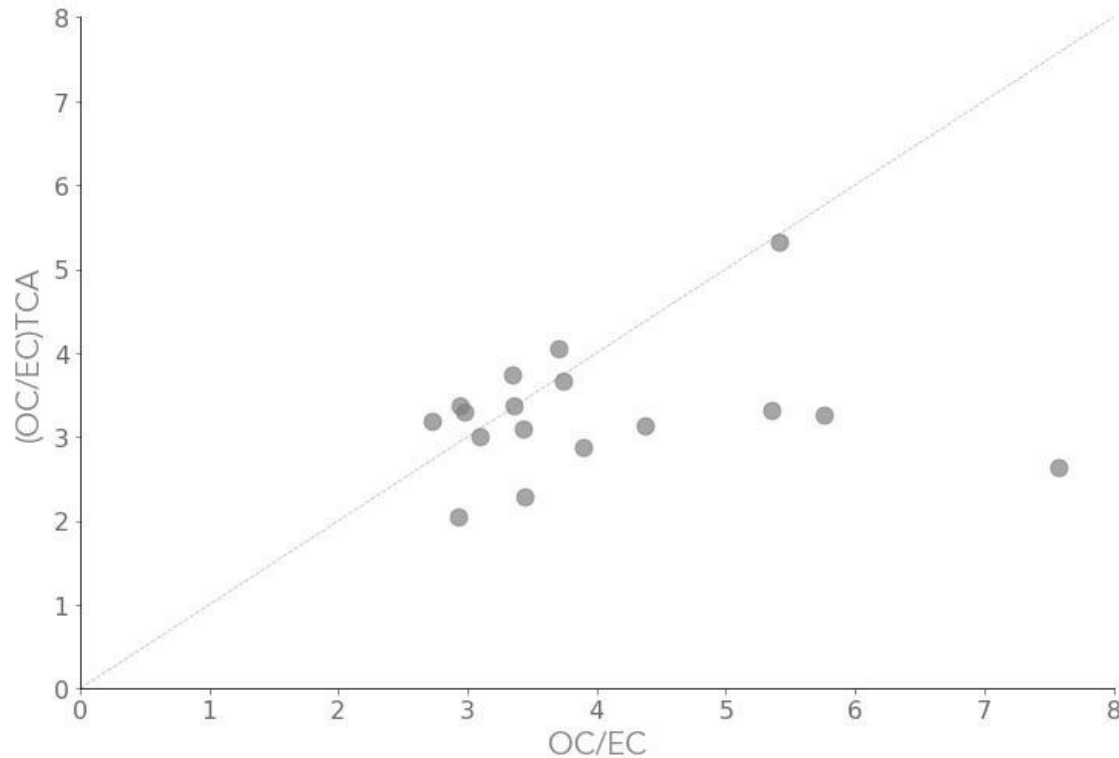
En la estación **CEN-TRAF** predominan, principalmente, las **emisiones primarias** asociadas a **fuentes vehiculares**, las cuales contribuyen también a la formación de aerosoles orgánicos secundarios.

En la estación **ITA-CJUS**, la cual muestra valores de la relación OC/EC más altos que CEN-TRAF, predominan las emisiones que dan origen a la **formación secundaria** de aerosoles y la **afectación** por la **materia carbonácea de origen orgánico** presente en la atmósfera, producida por la quema de biomasa (incendios de cobertura vegetal o combustible tipo biomasa usado por las fuentes industriales).

Figura 5. Ciclo diario de la relación entre las concentraciones de carbono orgánico y carbono elemental en las estaciones Tráfico Centro del Distrito de Medellín, período abril de 2022 - abril de 2025, y Casa de Justicia del municipio de Itagüí, para el período abril de 2024 - abril de 2025.

Medición de aerosoles carbonáceos en el Valle de Aburrá

Comparación de tecnologías disponibles



Entre el 12 de septiembre y el 22 de noviembre de 2023 se hizo una intercomparación de métodos de estimación de carbono orgánico y carbono elemental mediante el método analítico (NIOSH 5040) y el sistema CASS. Esta intercomparación se hizo con el Laboratorio GHYGAM del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.

La relación OC/EC estimada a partir de los promedio OC y EC obtenidos por el método (NIOSH 5040), fue de 3.85 y mediante la técnica de medición equivalente TCA acoplada al etalómetro 3.28, valor subestimado de acuerdo con los cambios en las propiedades ópticas de las partículas suspendidas.

Figura 6. Diagrama de dispersión de la relación entre las concentraciones de carbono orgánico medidas mediante método térmico y mediante el sistema CASS (etalómetro + TCA).

Aporte de incendios de cobertura vegetal en las concentraciones de PM_{2.5}

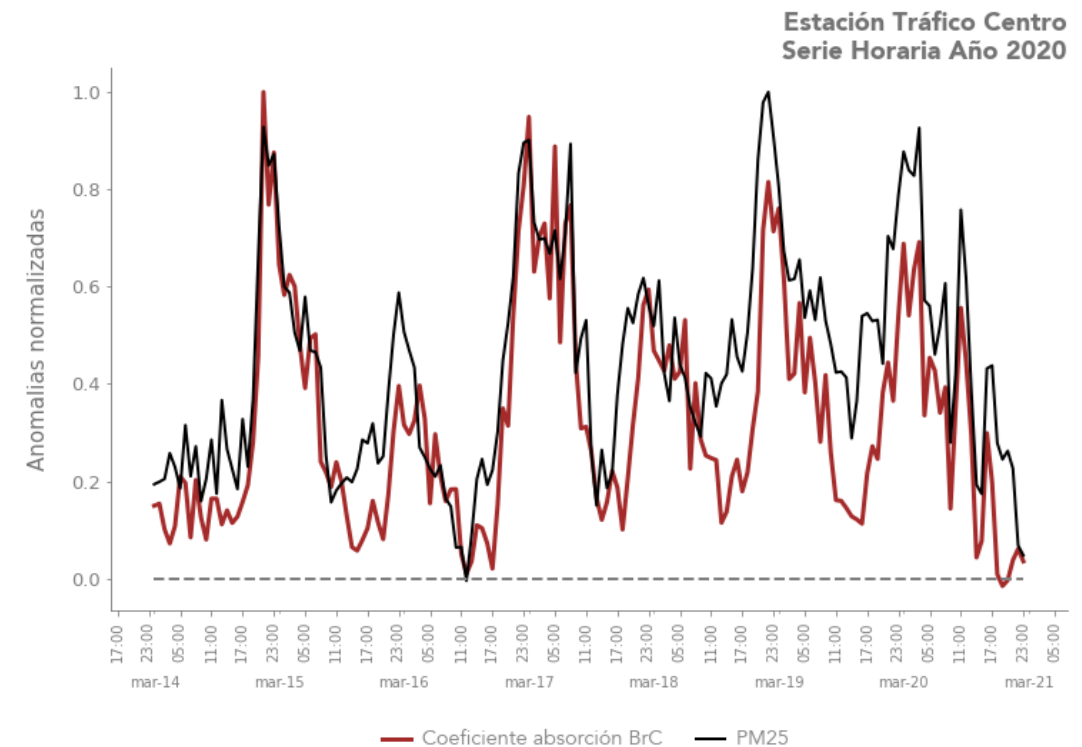
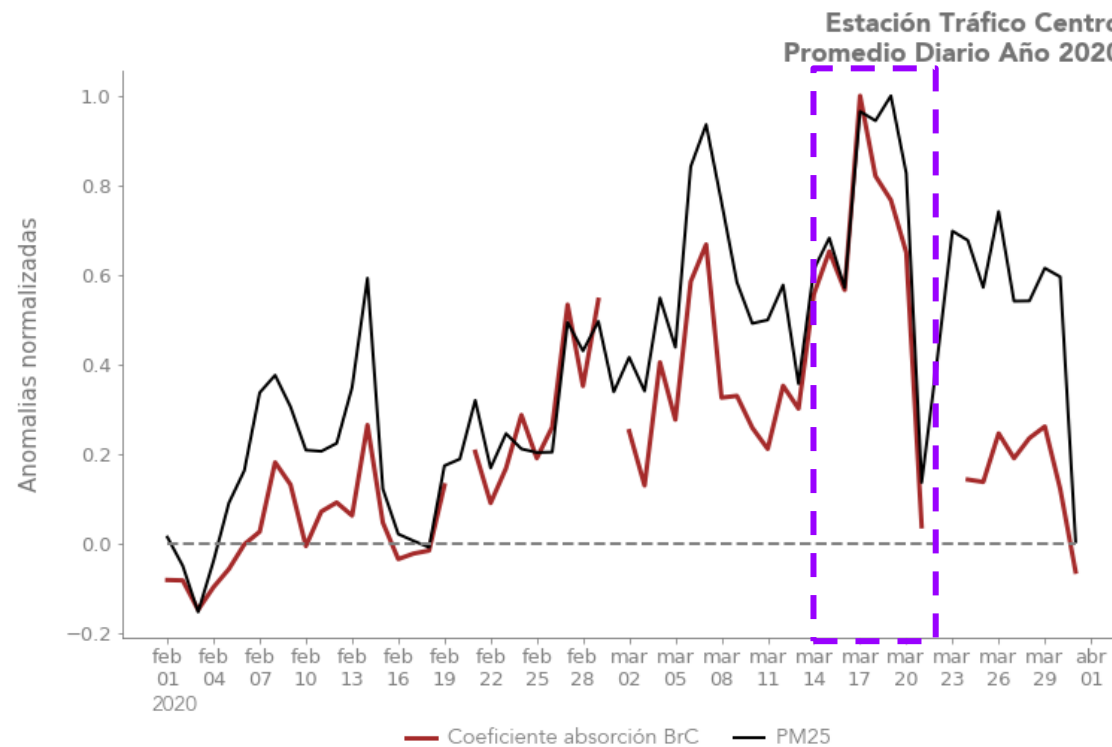


Figura 7. Izquierda: Anomalías de las concentraciones promedio diarias de PM_{2.5} y del coeficiente de absorción promedio diario del brown carbon para los meses de febrero a marzo de 2020. Derecha: Anomalías de las concentraciones horarias de PM_{2.5} y del coeficiente de absorción promedio horario del brown carbon para los días 14 a 21 de marzo de 2020.

Modelo de aerosoles carbonáceos

Estimación de las concentraciones de brown carbon (BrC)

Modelo de cálculo:

$$b_{abs}(\lambda, t) = b_{abs}^{BC} + b_{abs}^{BrC}$$

$$b_{abs}^{BC}(\lambda, t) = b_{abs}^{BC}(\lambda_0, t) * \left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^{-\alpha_{BC}}$$

$$b_{abs}^{BrC}(\lambda, t) = b_{abs}^{BrC}(\lambda_0, t) * \left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^{-\alpha_{BrC}(t)}$$

El porcentaje de absorción del BrC es mayor en el ultravioleta, mientras que a 880 nm el único componente que aporta absorción es el BC.

El BrC aporta en promedio de 10 % a 25 % en la absorción de la longitud de onda de 370 nm. siendo el mes de marzo el de mayor aporte, con un 26 %, y junio y julio los de menor aporte con 16 % cada uno.

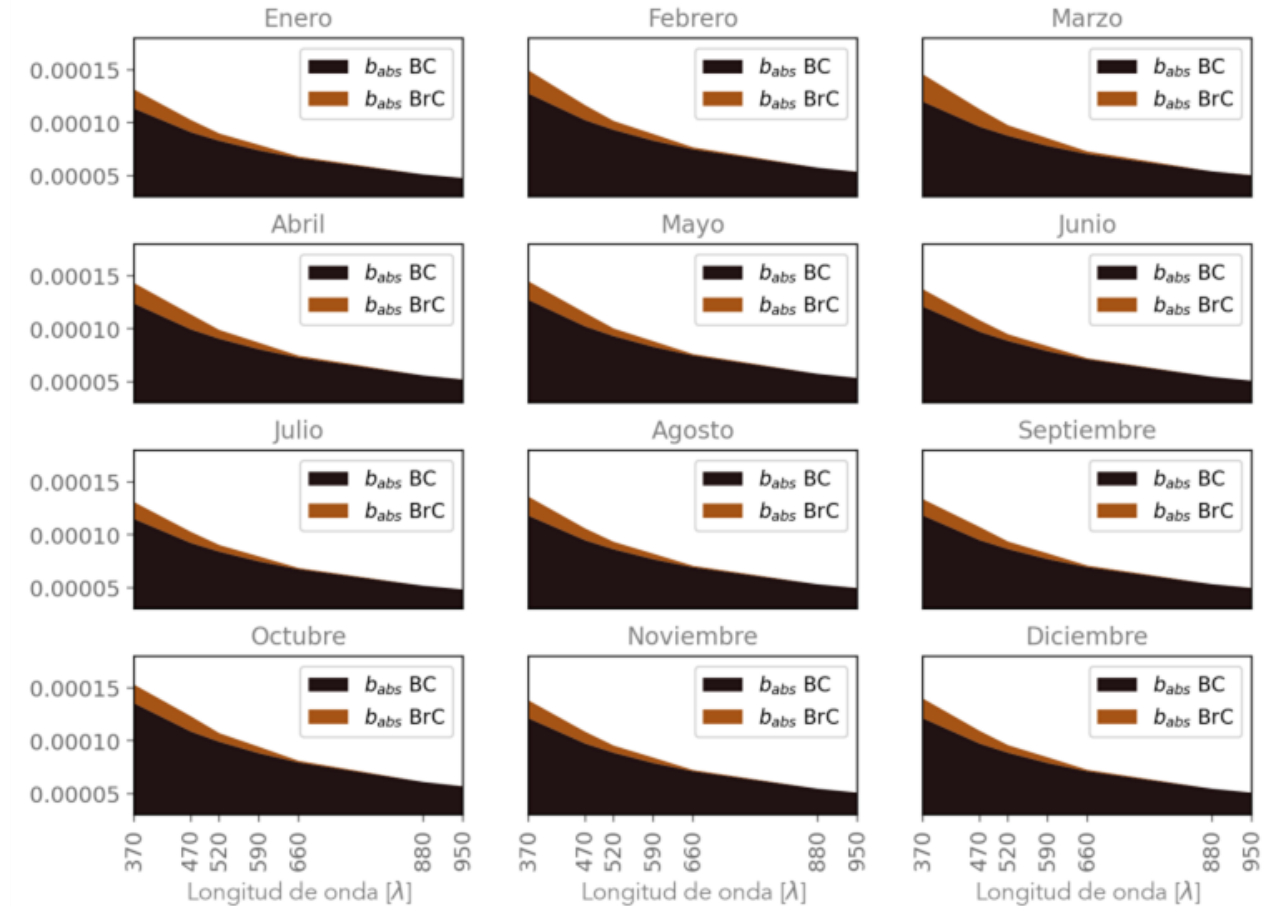


Figura 8. Promedio mensual de la absorción de los aerosoles separados entre black carbon y brown carbon en las 7 longitudes de onda en la estación Tráfico Centro para el año 2023. Resultados obtenidos a partir del equipo etalómetro.

Identificación de eventos de quema de biomasa

Comparación brown carbon y black carbon asociado a biomasa

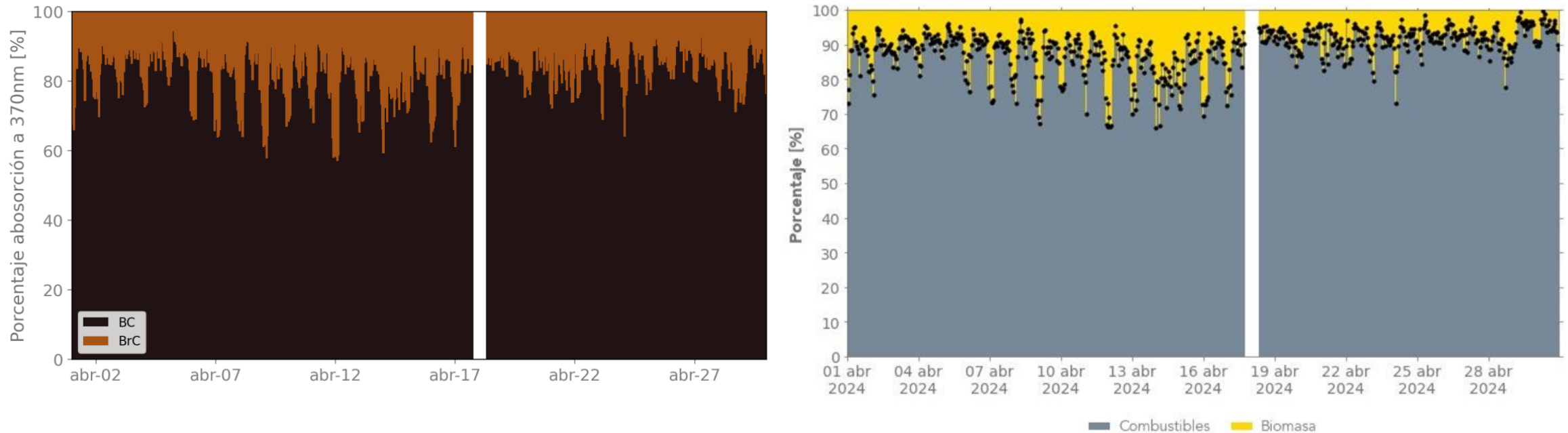


Figura 9. Izquierda: Distribución del porcentaje de absorción en la longitud de onda de 370 nm para el black carbon y el brown carbon. Derecha: Contribución porcentual de la quema de biomasa y los combustibles fósiles en las concentraciones de black carbon. Ambas Figuras se construyeron para la estación Tráfico Centro y el mes de abril de 2024.

El modelo de cálculo de la absorción de brown carbon presenta una variabilidad similar a la obtenida para la distribución porcentual de la quema de biomasa y la quema de combustibles fósiles en las concentraciones de black carbon.

Modelo de aerosoles carbonáceos

Especiación de aerosoles carbonáceos a partir del sistema CASS

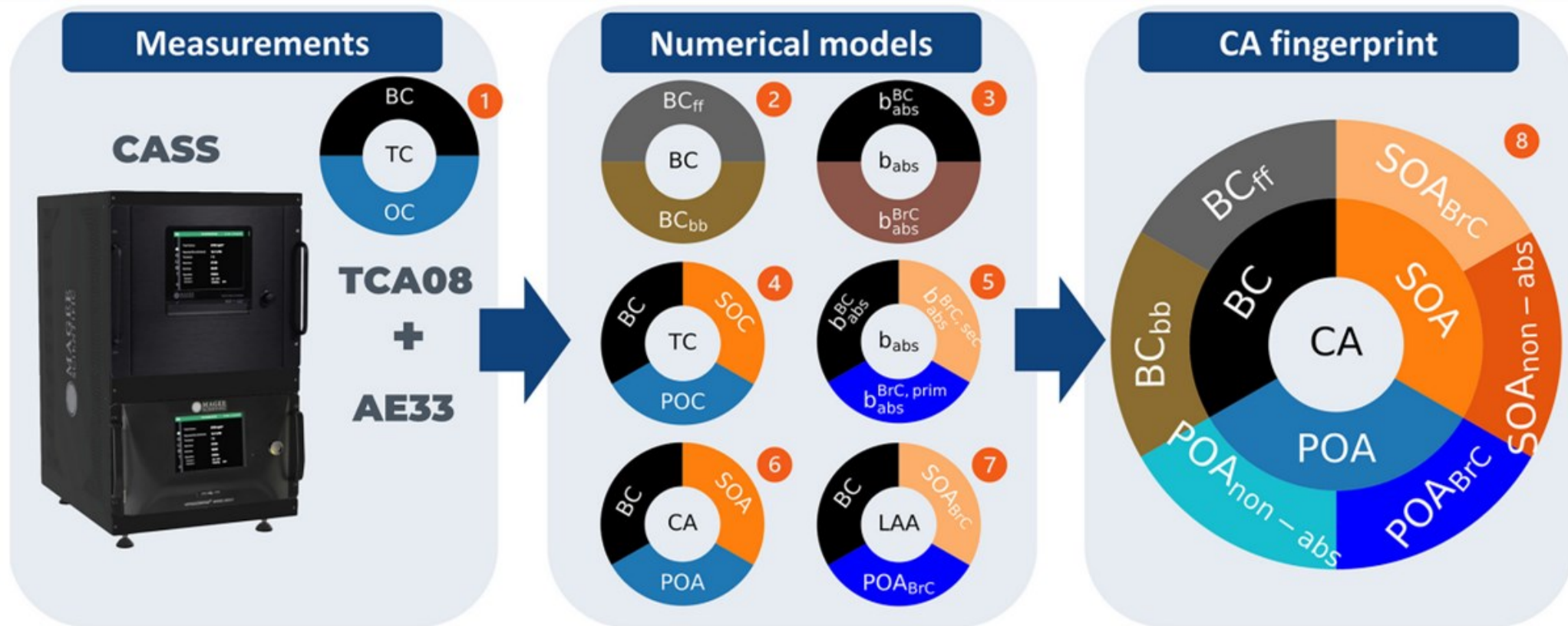


Figura 10. Modelo de especiación de aerosoles carbonáceos a partir de las mediciones del sistema TCA-Etalómetro (Figura tomada de Ivančič et al. (2022)).

Especiación de aerosoles carbonáceos a partir del sistema CASS

Avances en el Valle de Aburrá

Para el mes de agosto de 2024, las concentraciones de brown carbon en la estación CEN-TRAF pudieron estar dominadas por la oxidación de compuestos orgánicos volátiles asociados a la quema de biomasa que pudo afectar las mediciones en esta estación, o por el envejecimiento de las partículas de brown carbon asociados a emisiones primarias (Gao et al. (2022)).

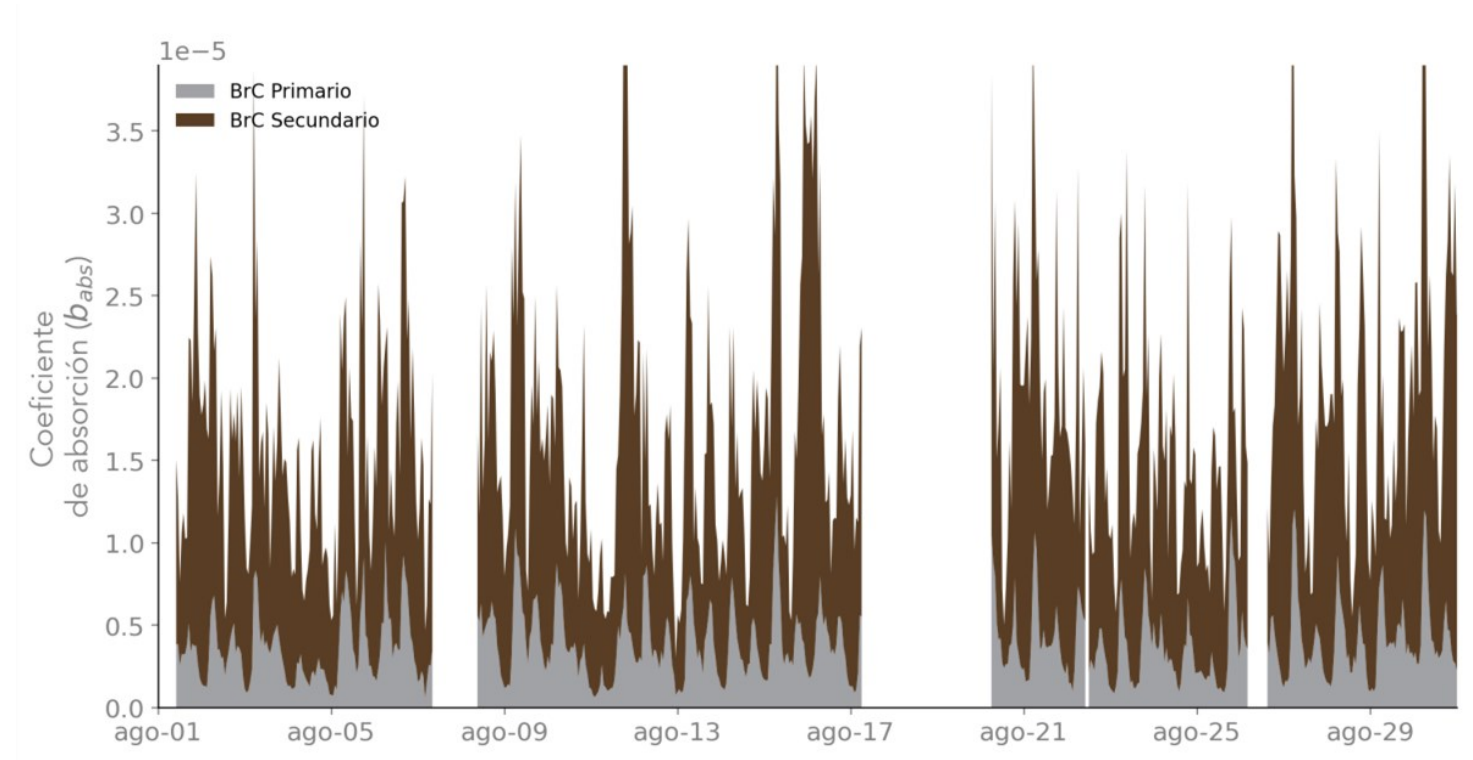


Figura 11. Coeficiente de absorción del brown carbon primario y secundario para una longitud de onda de 370 nm para el mes de agosto de 2024 en la estación CEN-TRAF.

Especiación de aerosoles carbonáceos a partir del sistema CASS

Avances en el Valle de Aburrá

La diferenciación entre carbono orgánico primario y secundario permite evidenciar cómo el pico de la mañana es dominado por una producción primaria de este contaminante, mientras que en el pico de la noche y la madrugada, la generación de compuestos secundarios juega un papel importante en la concentración total de aerosoles carbonáceos orgánicos, además, las noches son los momentos donde se ve mayor presencia de carbono orgánico secundario en esta estación.

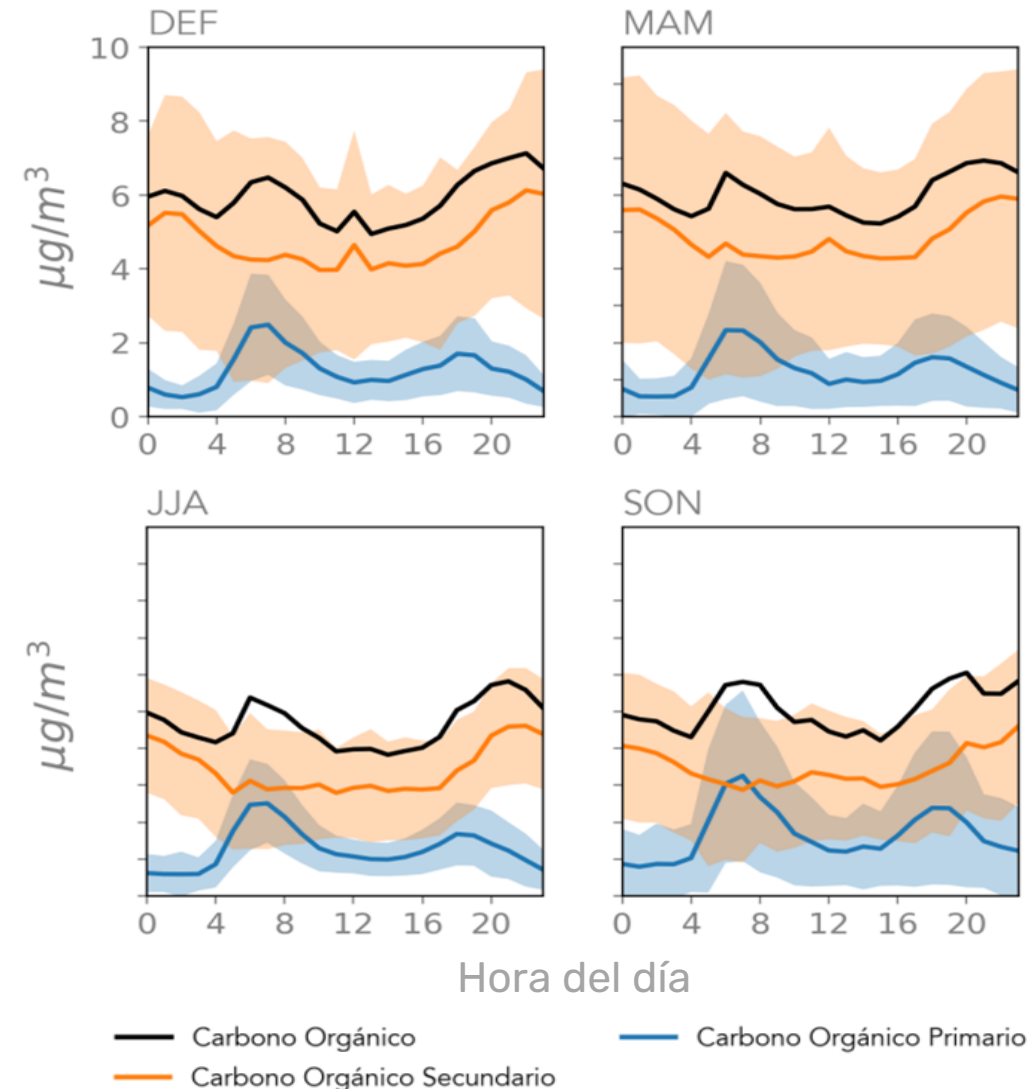


Figura 12. Ciclo diurno de la concentración de carbono orgánico, carbono orgánico primario y carbono orgánico secundario para la estación CEN-TRAF en los trimestres climatológicos del año 2024. Datos obtenidos a partir del sistema etalómetro + TCA.

Especiación de aerosoles carbonáceos a partir del sistema CASS

Limitaciones del modelo de especiación para el Valle de Aburrá

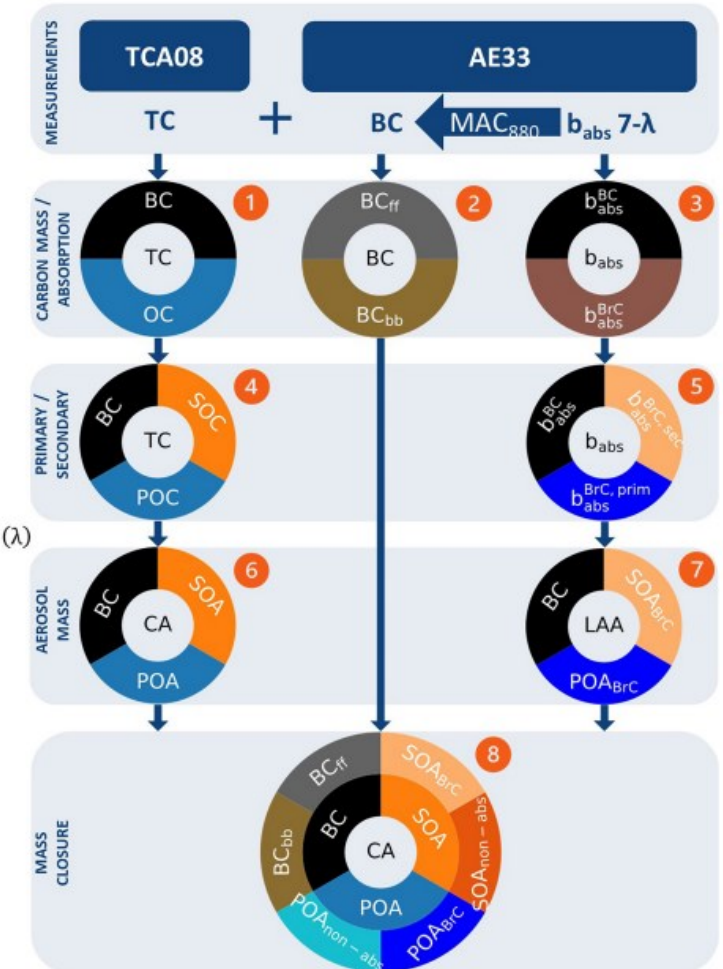
El modelo de especiación de aerosoles carbonáceos a partir de las mediciones del sistema conjunto Total Carbon + Etalómetro (CASS) propuesto por Ivančič et al. (2022) (Figura 11) pudo ser completado sólo hasta el paso 5. El paso 6 requiere datos de la relación OA/OC (aerosoles orgánicos, OA) además de los aerosoles carbonáceos orgánicos (OC). En el Valle de Aburrá no se tienen mediciones de los aerosoles orgánicos.

El paso 7 del modelo requiere conocer el valor del MAC (Mass Absorption Cross-section) del Brown Carbon en el filtro a 370 nm, lo cual no está disponible para el Valle de Aburrá. Asumir estos valores sin haberse realizado un trabajo de caracterización química del BrC puede conllevar a errores en la estimación.

Figura 13. Resumen del modelo de especiación de aerosoles carbonáceos a partir de las mediciones del sistema TCA-Etalómetro (Figura tomada de Ivančič et al. (2022)).

CA apportionment:

1. CASS measurements:
 $TC = BC + OC$
2. Aethalometer model:
 $BC = BC_{ff} + BC_{bb}$
3. BrC model:
 $b_{abs}(\lambda) = b_{abs}^{BrC}(\lambda) + b_{abs}^{BrC}(\lambda)$
4. BC tracer:
 $OC = POC + SOC$
5. BC tracer for BrC:
 $b_{abs}^{BrC}(\lambda) = b_{abs}^{BrC,prim}(\lambda) + b_{abs}^{BrC,sec}(\lambda)$
6. Carbon content OA/OC:
 $POC \rightarrow POA; SOC \rightarrow SOA$
7. Conversion $b_{abs}(\lambda) \rightarrow LAA$:
 $MAC_{BC}, MAC_{BrC,prim}, MAC_{BrC,sec}$
8. Non-light-absorbing OA:
 $POA_{non-abs} = POA - POA_{BrC}$
 $SOA_{non-abs} = SOA - SOA_{BrC}$



Conclusiones

- El monitoreo histórico de black carbon y el carbono orgánico en el Valle de Aburrá ha evidenciado que el seguimiento de los aerosoles carbonáceos contribuye con la identificación de las fuentes de contaminación en el territorio.
- El aporte de la materia carbonácea en las concentraciones del material particulado PM2.5 en el Valle de Aburrá varía según la época del año.
- La contribución porcentual del carbono elemental en las concentraciones de carbono total en la estación Tráfico Centro (CEN-TRAF) es superior a la registrada en la estación Casa de Justicia (ITA-CJUS). Ésta última está más dominada por las emisiones que dan origen a la formación secundaria de aerosoles y la afectación por la materia carbonácea de origen orgánico presente en la atmósfera, producida por la quema de biomasa (incendios de cobertura vegetal o combustible tipo biomasa usado por las fuentes industriales).
- El análisis de Brown Carbon a partir del etalómetro permite evidenciar el aporte de la quema de biomasa, posibilitando estimar el aporte a las concentraciones de PM2.5, por fuentes externas.
- La separación entre SOC y POC evidenció que el primero tiende a aumentar sus concentraciones durante episodios de ingreso de contaminantes asociados a quema de biomasa. Además, el SOC alcanzó sus mayores concentraciones en los primeros dos trimestres del año, con picos durante las horas nocturnas, lo que sugiere que su formación está vinculada a emisiones (locales o externas) y procesos atmosféricos particulares durante este período y horario.
- La aplicación del modelo de especiación de aerosoles carbonáceos propuesto por Ivančič et al. (2022) tiene limitaciones para el Valle de Aburrá pues no se tiene información relacionada con la caracterización química del brown carbon ni mediciones de aerosoles orgánicos.



Medellín, Colombia

CASAP X

CONGRESO COLOMBIANO Y
CONFERENCIA INTERNACIONAL

DE CALIDAD DE AIRE, CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD PÚBLICA



¡GRACIAS!

Más información



<https://casap.science/>



casap@casap.science