

Impacto de la implementación de filtros de partículas instalados sobre la flota de vehículos de transporte de carga y transporte público en la calidad del aire de la ciudad de Bogotá

Boris Galvis¹, Sebastián Espitia¹, Ricardo Morales Betancourt², Marc Meyerkort⁴

¹ Universidad de La Salle,

² Universidad de Los Andes,

⁴ AXXOM SAS

Presentador:
Boris Galvis
bgalvis@unisalle.edu.co

UNIVERSIDAD DE

LA SALLE



Motivación



- Ciudades de Colombia siguen enfrentando altas concentraciones de material particulado y emergencias de calidad del aire especialmente en épocas secas

The image shows two news articles. The left article is from 'EL TIEMPO' with the headline 'Estas son las causas e implicaciones de la nueva alerta ambiental en Bogotá'. It mentions that since February 2022, Bogotá has declared an environmental alert in all districts. The article is by Loren Valbuena, dated February 25, 2023, at 12:00 A.M. The right article is from 'Razon Publica' with the headline 'Aire en Bogotá: más allá de las fronteras'. It is written by Ricardo Murales on March 5, 2023. Below it is a photo of a city street with a truck and a motorcycle. A second article from 'Semana' is also visible, titled 'Medellín: grave situación en calidad del aire de la ciudad, según mediciones oficiales', dated February 25, 2023, with a photo of a cable car over a city.



Motivación

- La exposición a material particulado en microambientes relacionados con el transporte sigue siendo significativa (Morales, et al., 2022)
- Trabajos previos han determinado la eficacia de filtros de partículas para reducir las concentraciones de partículas en microambientes (P. Bächler, et al., 2021)



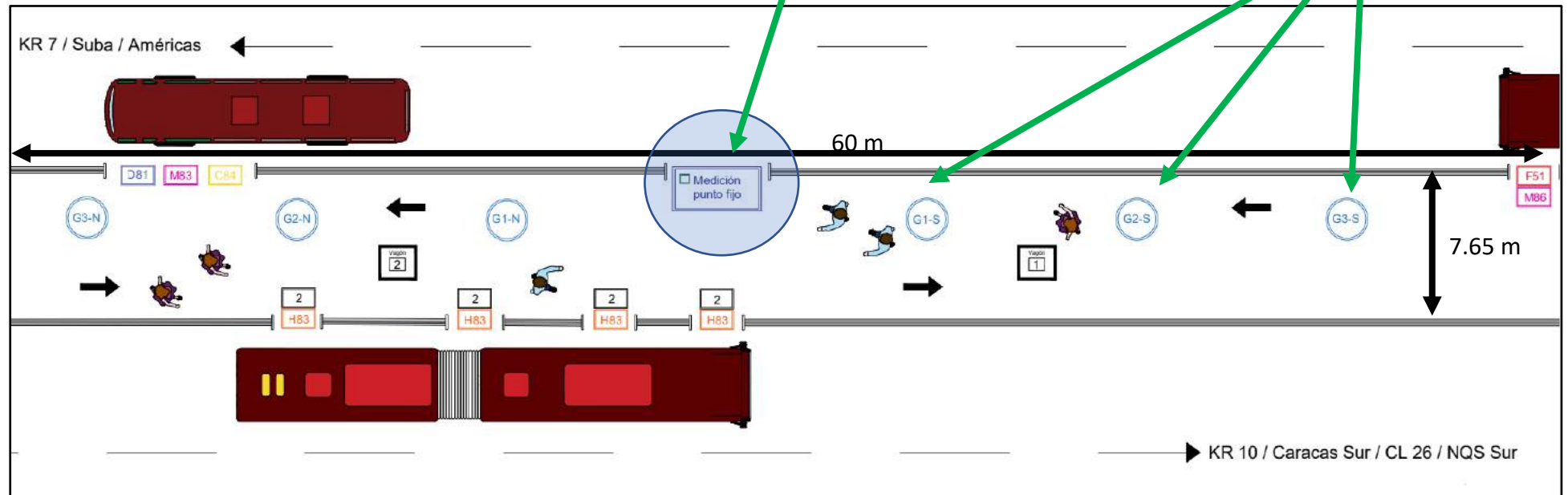
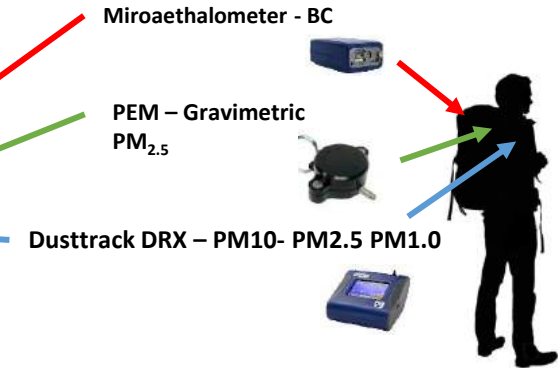
Campañas de medición – Localización



- Realizamos mediciones exposición de material particulado y black carbon en la estación subterránea del museo nacional del Sistema Transmilenio.
- Este microambiente tiene baja influencia de la meteorología y de fuentes urbanas diferentes al los buses
- Medimos antes y después de instalar dos filtros PureAir de MANN +HUMMEL

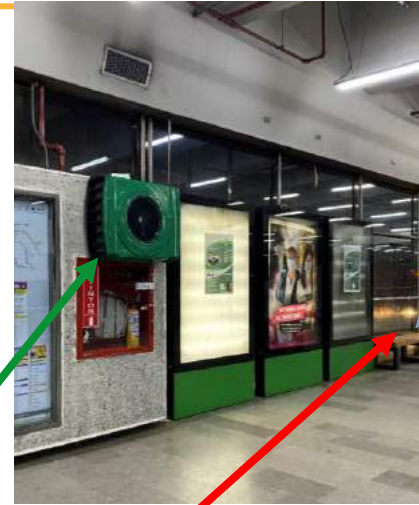
Campañas de medición – Sin filtros

- Medimos durante 20 días entre agosto y septiembre de 2020
- En un punto fijo en medio de la estación
- Y con instrumentos en una mochila a 10, 20 and 30 m hacia el norte y sur del punto fijo



Campañas de medición – Con filtros

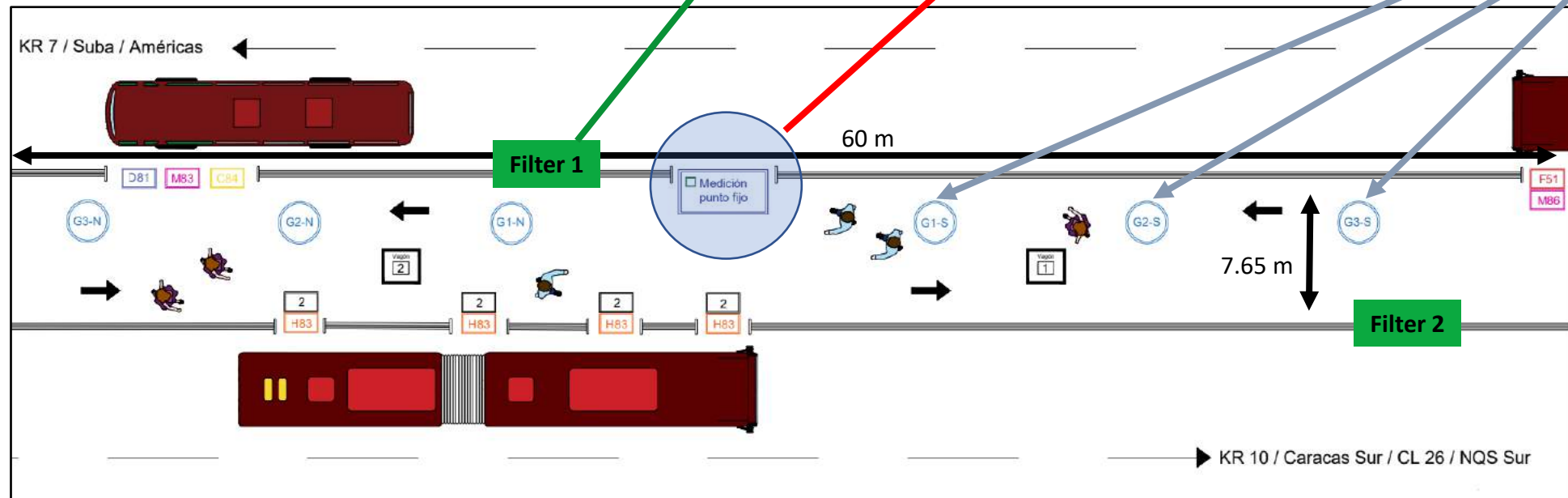
- Para la segunda campaña se instalaron los filtros PureAir junto al punto fijo y cerca a la ultima parada de las mediciones móviles
- Se midió durante octubre, noviembre y diciembre de 2022
- Se midió durante tres semanas con los filtros a velocidad media y luego por una semana con filtros a velocidad alta



Microaethalometer - BC

PEM – Gravimetric PM_{2.5}

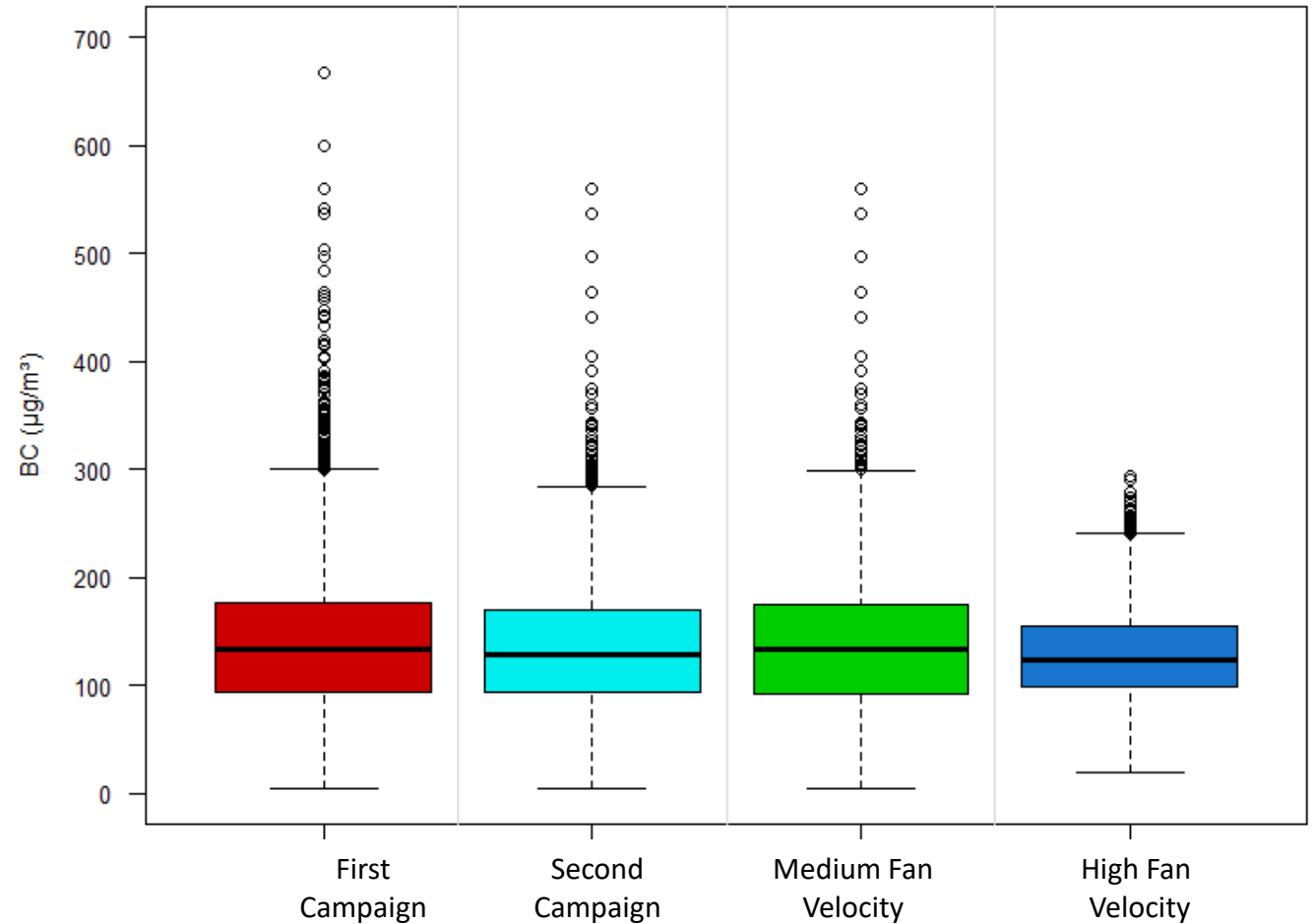
Dusttrack DRX – PM10-
PM2.5 PM1.0



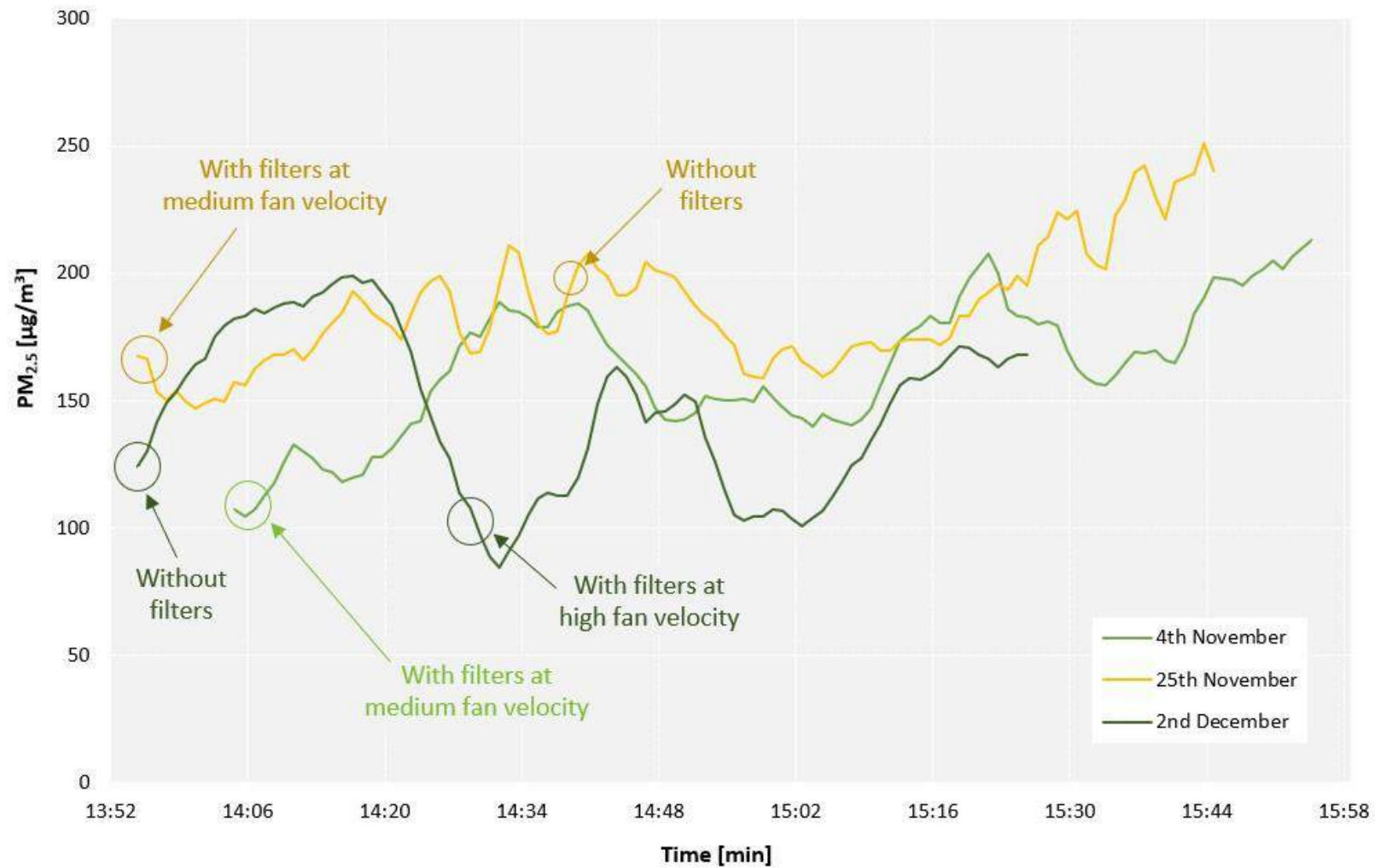
RESULTADOS - MEDICIONES

- La reducción en BC fue clara y significativa.
- La mayoría de la masa de PM esta en el modo fino y es carbono negro, eso quiere decir que la estación es el sitio ideal para probar estos filtros ya que no hay influencia importante de fuentes diferentes a los buses

	BC	Reducción $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (%)
Campaña 1	143	
Campaña 2	122	21 (15%)
Campaña 2 Ventiladores a velocidad media	123	20 (14%)
Campañas 2 Ventiladores a velocidad máxima	120	23 (16%)



RESULTADOS - MEDICIONES



Durante pruebas encendido/apagado a diferentes velocidades de los filtros, se pudieron observar reducciones de entre reducción del 10% y 20% de PM_{2.5}

Figura. Serie temporal de las concentraciones de PM_{2.5}, durante pruebas encendido/apagado a diferentes velocidades de los filtros



Modelación – WRF - Chem

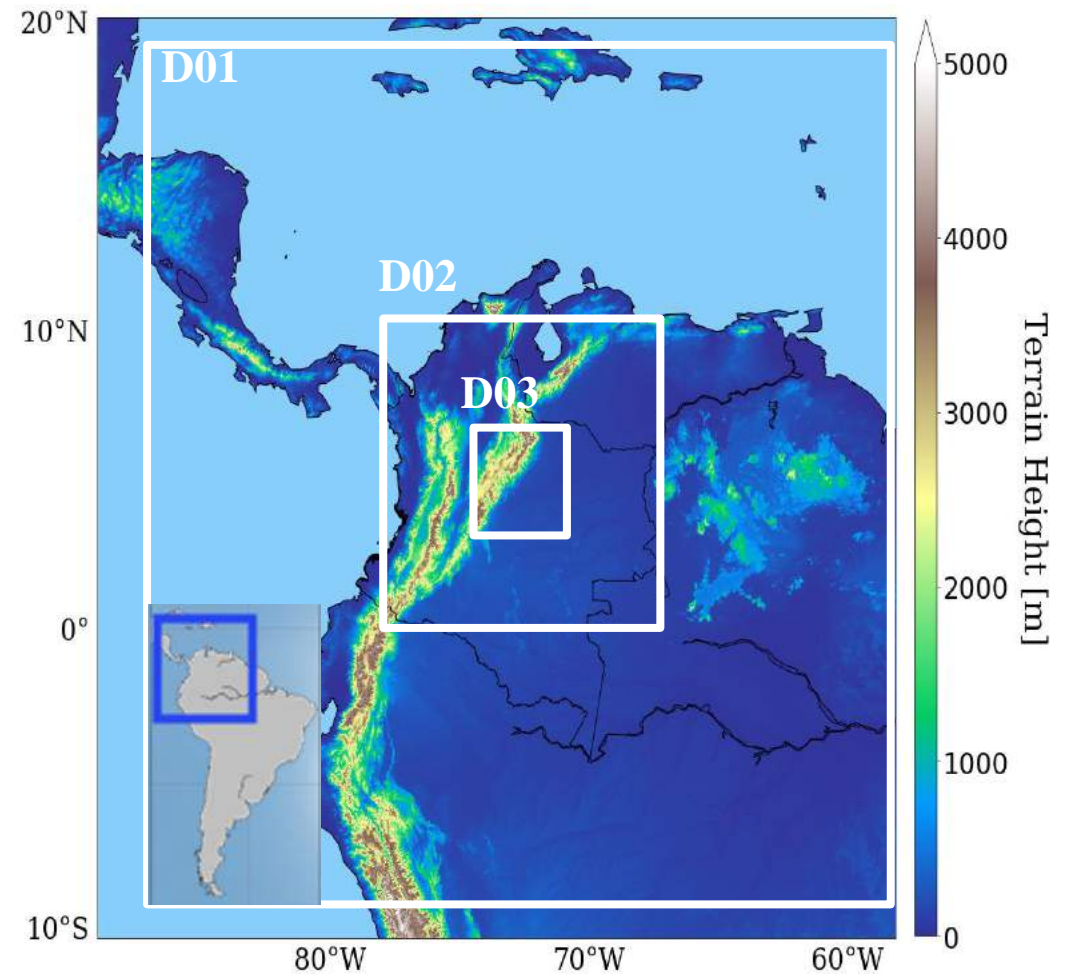
- WRF-Chem V3.9.1
- 3 Nested domains
- 41 vertical levels
- RACM (73 species and 237 chemical reactions)
- MADE- VBS (Aerosols)

D01: 121 x 121 grid
Resolution: 27 x 27km

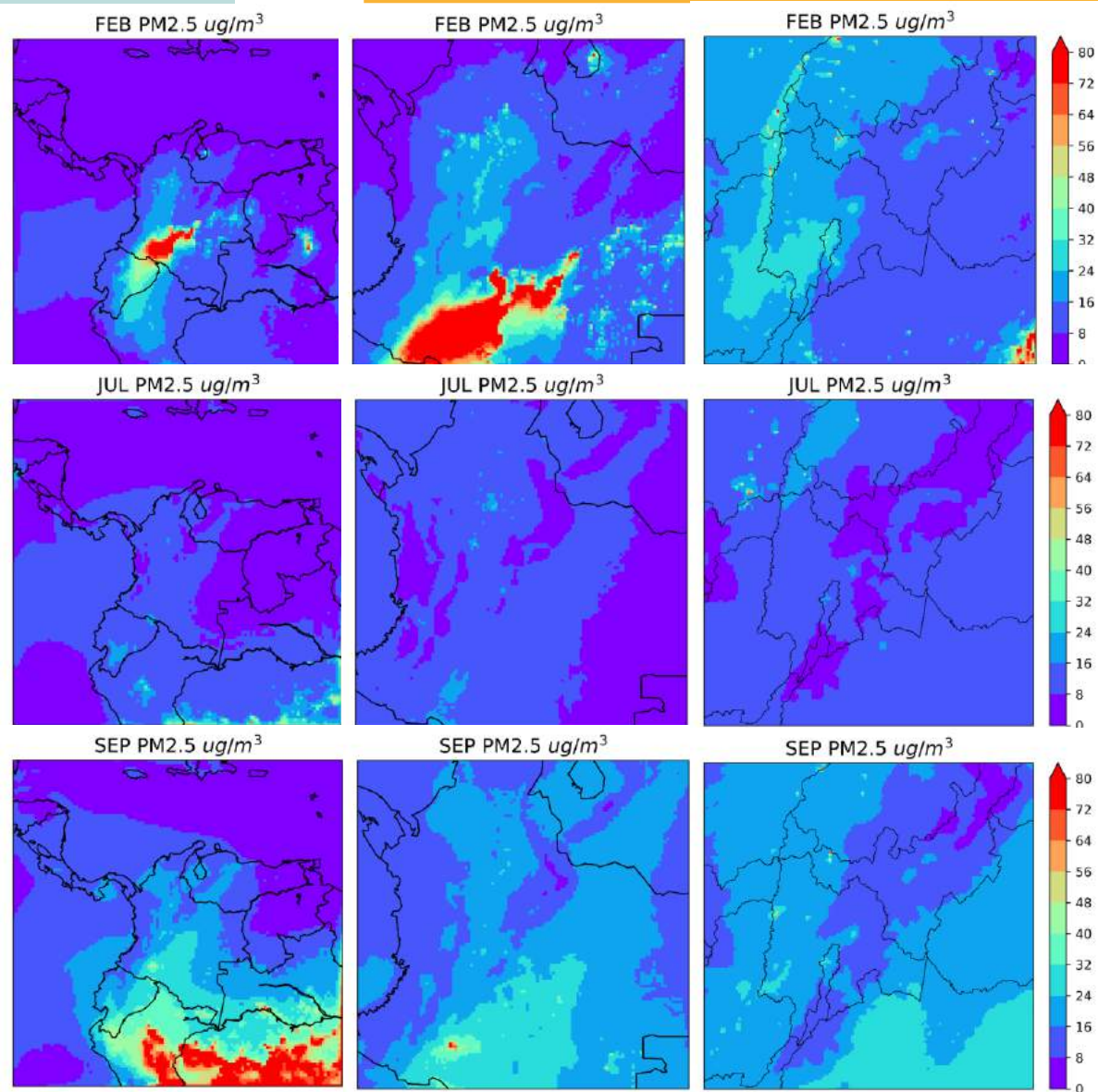
D02: 127 x 127 grid
Resolution: 9 x 9km

D03: 133 x 133 grid
Resolution: 3 x 3

Simulation date:
Feb – Jul - Sep 2018



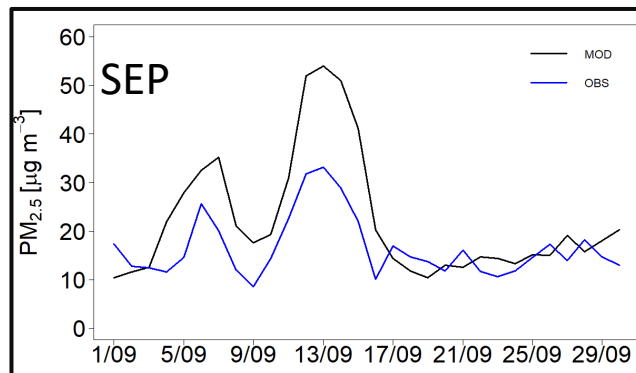
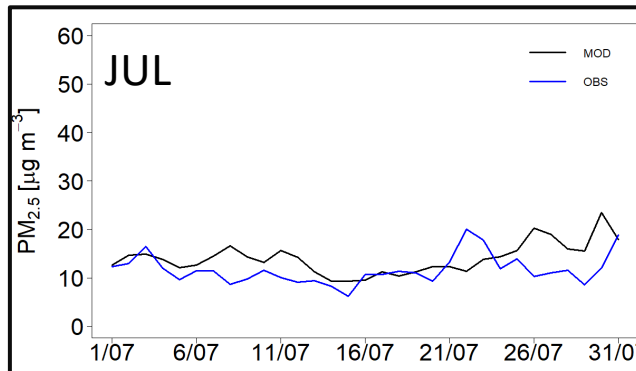
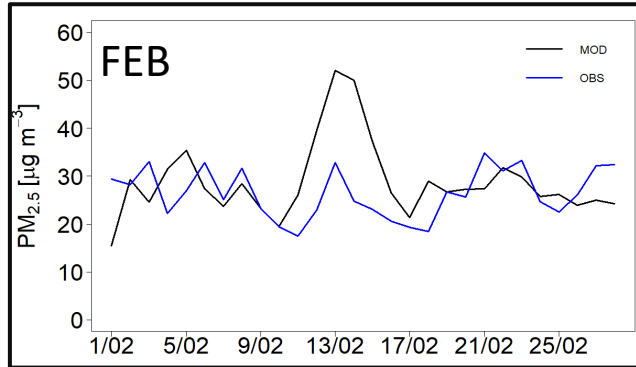
Modelación – Escenario Base



El escenario base de modelación capta los incendios forestales en el sur de los dominios en febrero y septiembre

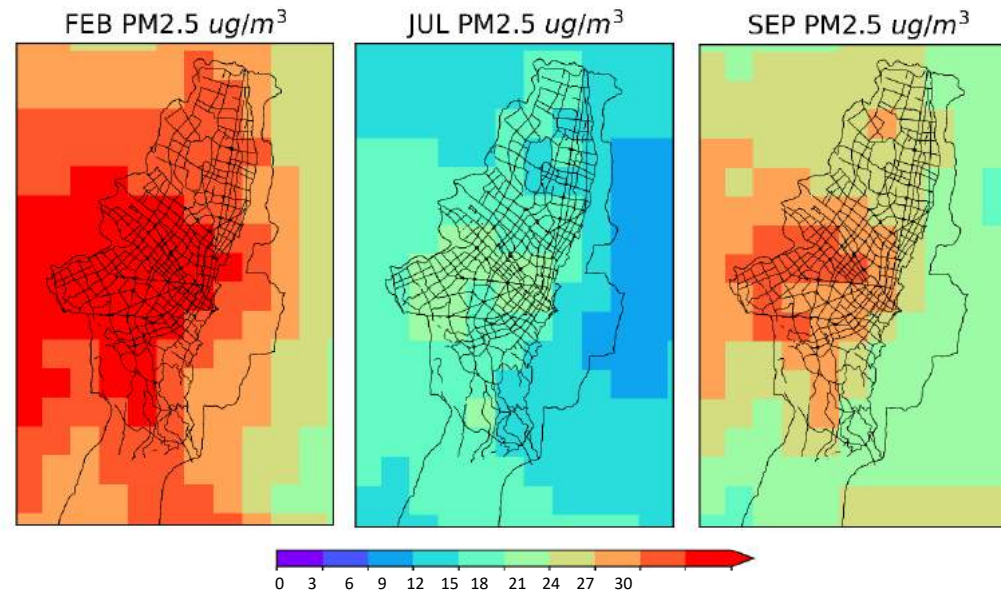
Figura. Distribución espacial de la Media mensual PM_{2.5} a nivel de piso del escenario base para febrero, Julio y Septiembre en los tre dominios modelados

Modelación – Escenario Base



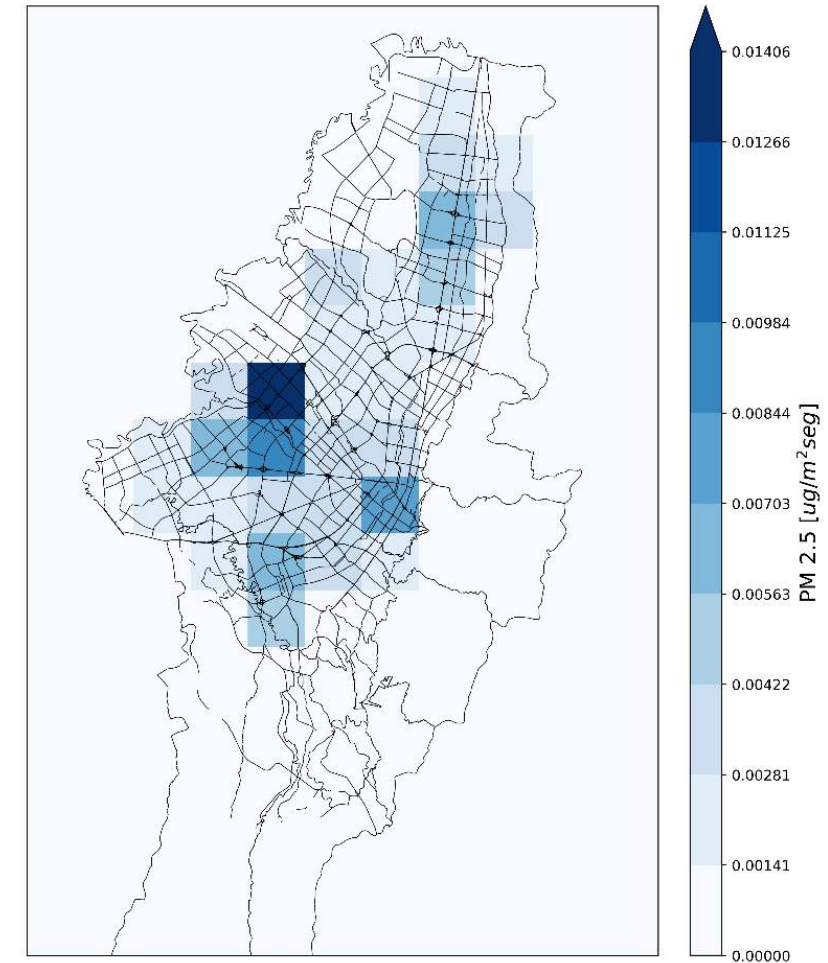
Variable	Observed	Modeled
February [µg/m³]		
PM ₁₀	54.92	50.48
PM _{2.5}	26.45	28.86
July [µg/m³]		
PM ₁₀	31.89	30.76
PM _{2.5}	11.68	14.00
September [µg/m³]		
PM ₁₀	38.52	38.61
PM _{2.5}	16.56	22.24

- La simulación representa acertadamente las concentraciones de PM en la ciudad
- En febrero es tenemos las mayores concentraciones y en julio las menores



■ Modelación – Escenario 1 - 50 000 filtros

- Se estimó una reducción de $PM_{2.5}$ con 50 000 filtros operando aproximadamente 8000 horas por año con una eficiencia de recolección de 80%, un flujo de aire de $0.55 \text{ m}^3/\text{s}$ y una concentración ambiente de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (máximo anual)
- La reducción de 28.5 Ton $PM_{2.5}$ /año (1.7% del emitido anualmente por fuentes móviles en Bogotá) se distribuyó en las celdas con mayores emisiones de vehículos de carga y de transporte público

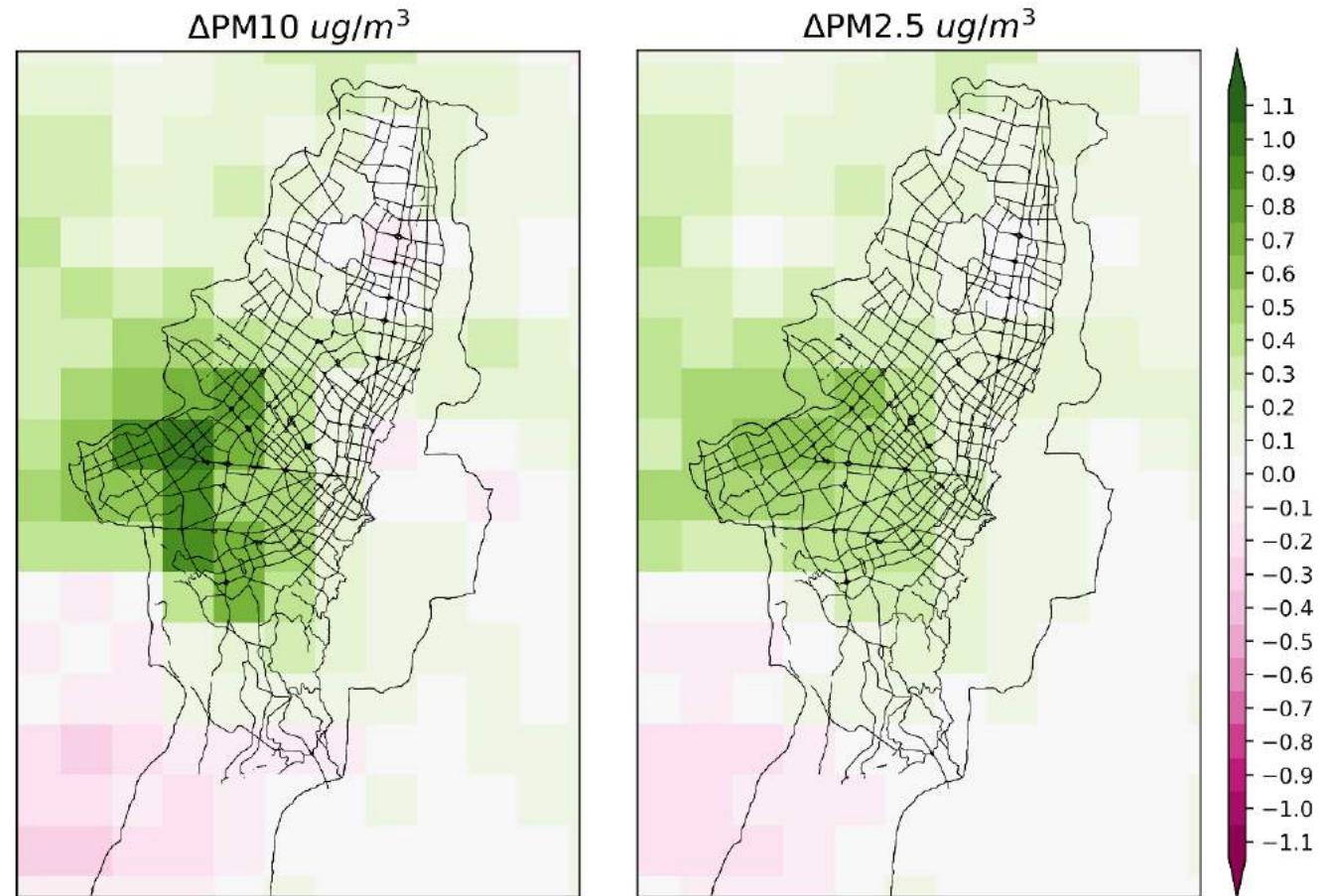


Distribución espacial de las emisiones de fuentes móviles en Bogotá

■ Modelación – Escenario 1 - 50 000 filtros- Febrero

Spatial distribution of ΔC_{RS}^i for PM₁₀ and PM_{2.5} of February 2018.

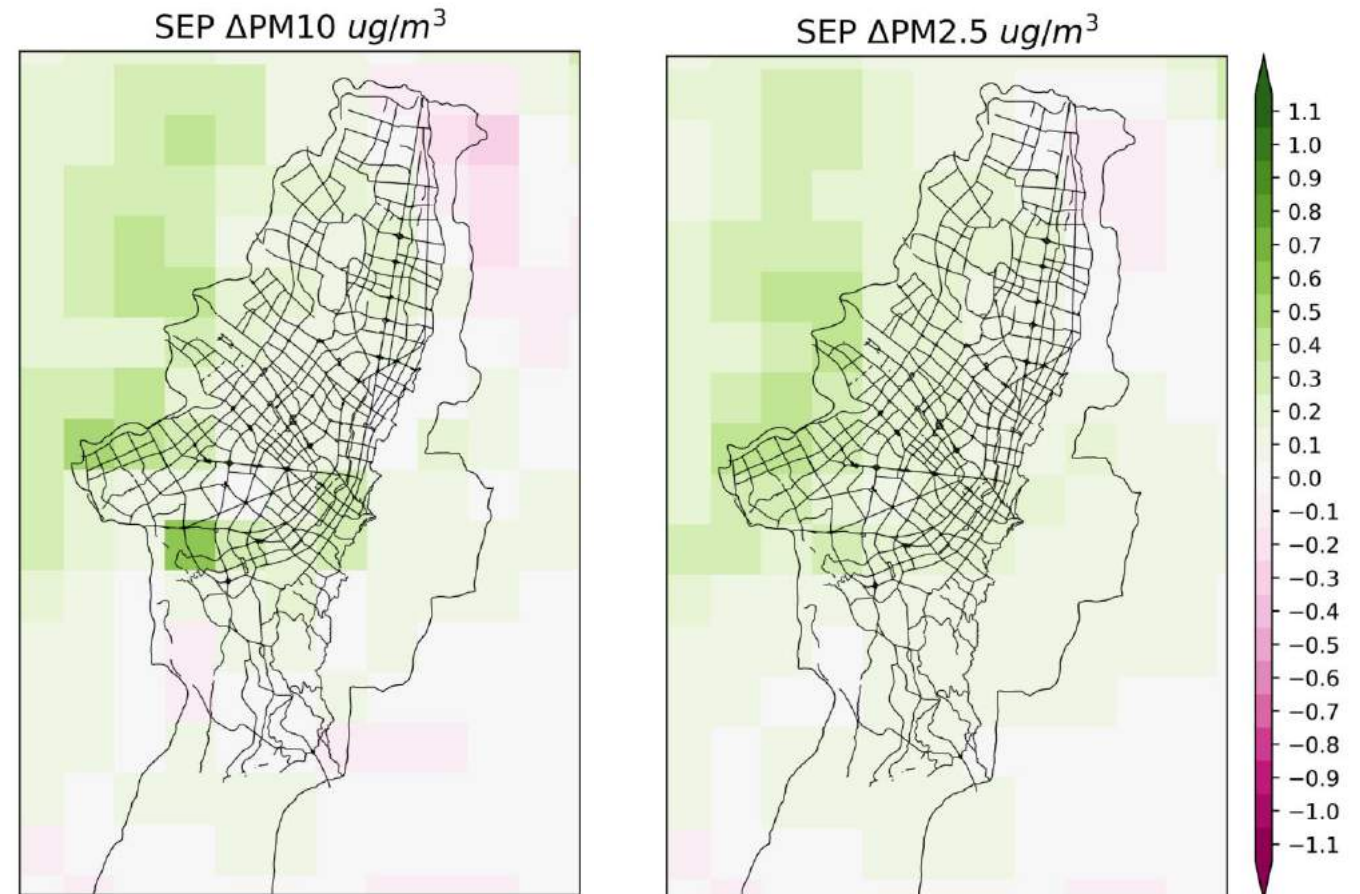
- Se estima una reducción de $0.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $0.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM₁₀ y PM_{2.5}, respectivamente en el suroccidente de la ciudad
- En promedio la reducción en toda la ciudad es $0.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM₁₀ y $0.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{2.5}



■ Modelación – Escenario 1 - 50 000 filtros -Septiembre

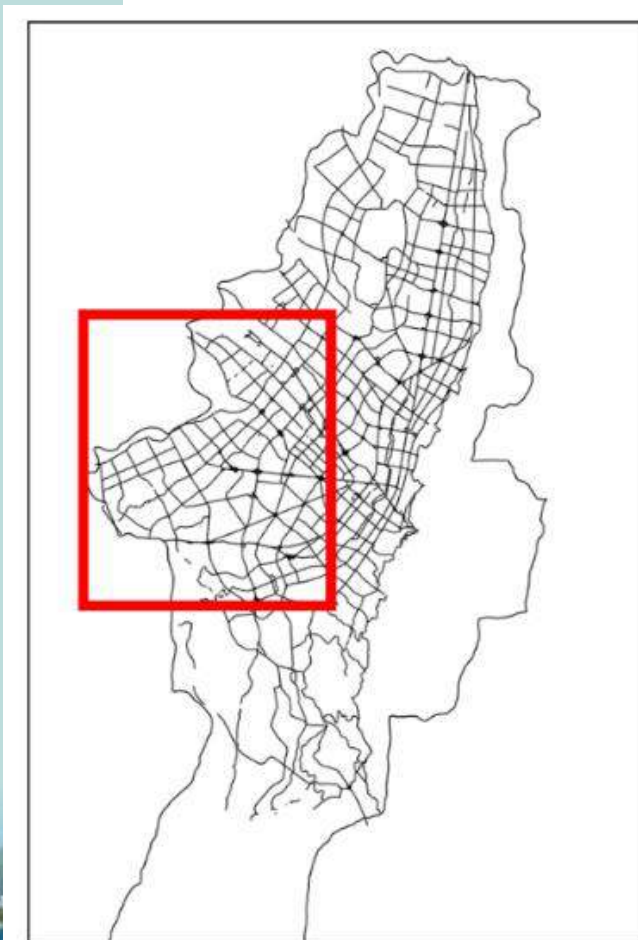
Spatial distribution of ΔC_{RS}^i for PM_{10} and $PM_{2.5}$ of September 2018.

- Se estima una reducción de $0.59 \mu g/m^3$ y $0.36 \mu g/m^3$ para PM_{10} y $PM_{2.5}$, respectivamente en el suroccidente de la ciudad.
- En promedio se estima una reducción de $0.13 \mu g/m^3$ para PM_{10} y $0.10 \mu g/m^3$ para $PM_{2.5}$, para toda la ciudad.



■ Modelación – Análisis escenario 1 - 50 000 filtros

- La reducción en la concentración de material particulado fino en el suroccidente es superior al 1%



	PM ₁₀			PM _{2.5}		
	EB μg/m ³	S1 μg/m ³	Reducción μg/m ³ (%)	EB μg/m ³	S1 μg/m ³	Reducción μg/m ³ (%)
Febrero						
Suroccidente	53.05	52.40	0.64 (1.23)	30.92	30.50	0.42 (1.36)
Toda la Ciudad	41.73	41.51	0.22 (0.53)	26.58	26.39	0.19 (0.71)
Septiembre						
Suroccidente	42.90	42.62	0.28 (0.65)	24.09	23.84	0.25(1.04)
Toda la Ciudad	30.94	30.81	0.13 (0.42)	19.55	19.85	0.1 (0.5)

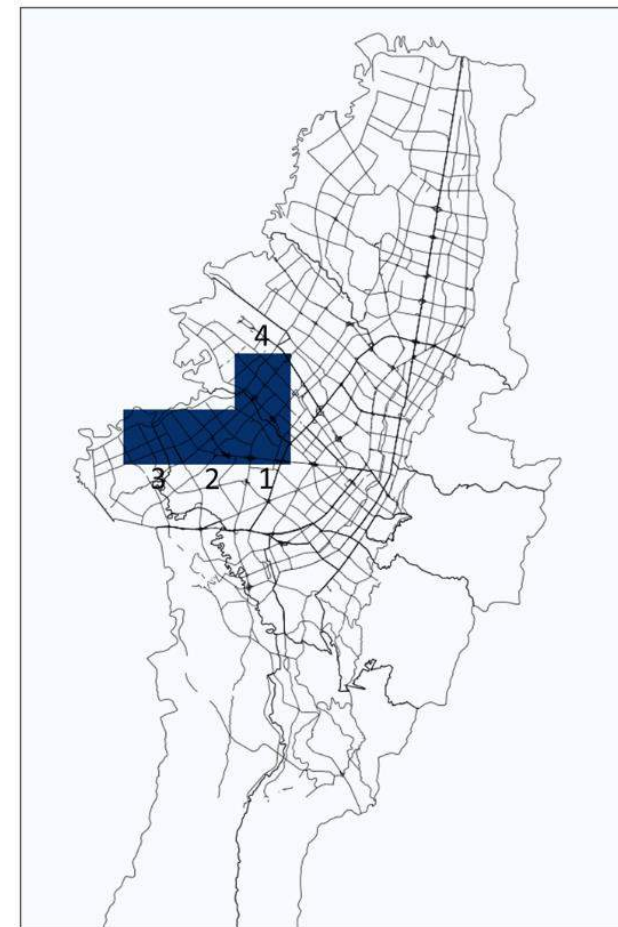
EB: Escenario Base

E1: Escenario 1 - 50 000 filtros

■ Modelación – Escenario 2 - 15 000 filtros

- Se estimo una reducción de 11.9 Ton $PM_{2.5}$ /año con 15 mil filtros circulado en las cuatro celdas de mayores emisiones de la ciudad, operando aproximadamente 8000 horas por año con una eficiencia de recolección de 80%, un flujo aire de $0.55 \text{ m}^3/\text{s}$ y una concentración ambiente escalada del escenario base con mediciones junto a la carretera

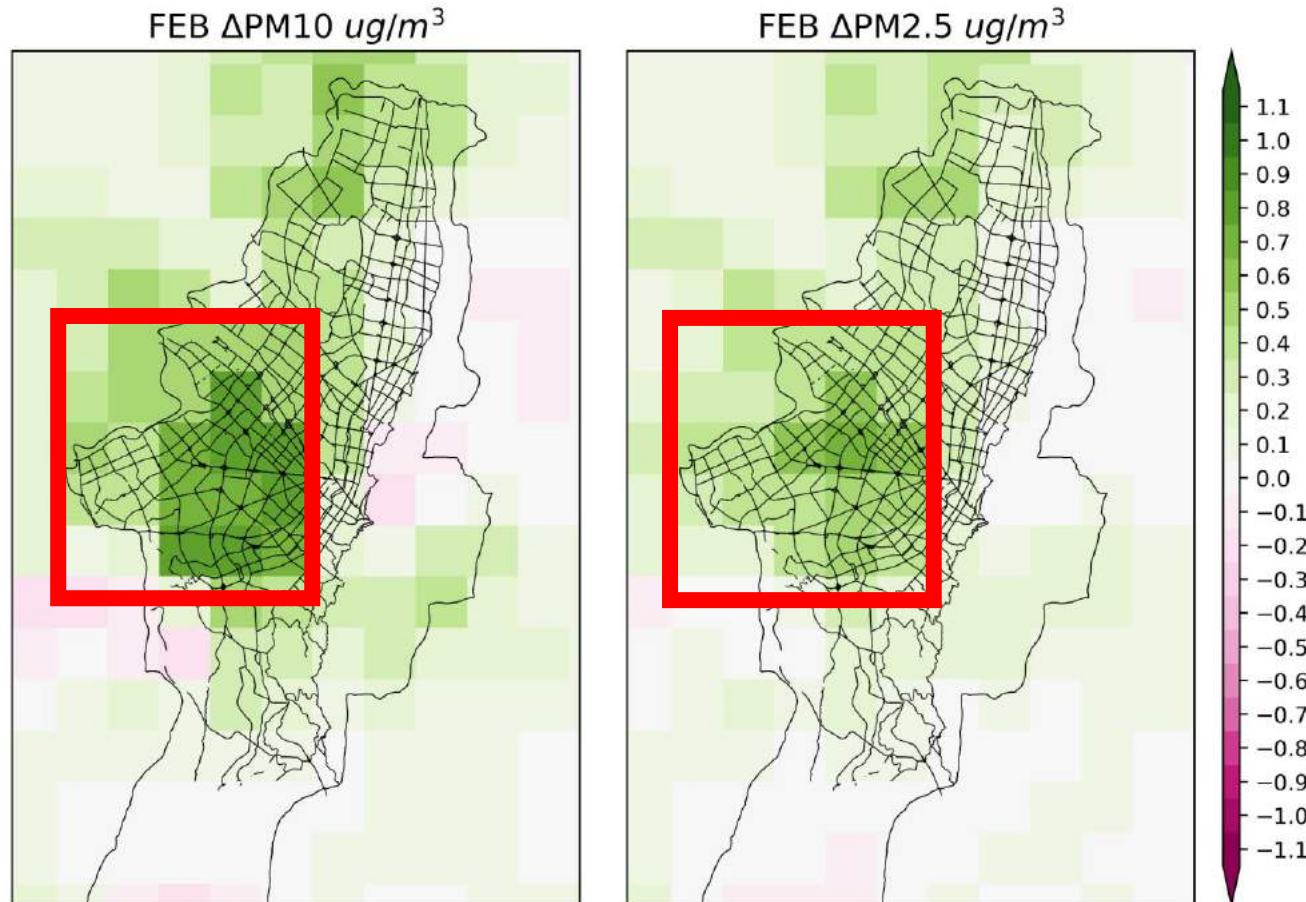
Celda	Concentración Escalada ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Reducción $PM_{2.5}$ (Ton/año)
1	63.8	3.07
2	61.5	3.06
3	59.2	2.95
4	63.8	2.84



Celdas donde se aplica la reducción de las emisiones en el escenario 2

RESULTADOS - Escenario 2 - 15 000 filtros

Spatial distribution of ΔC_{RS}^i for PM_{10} and $PM_{2.5}$ of February 2018.



Se obtuvo una reducción de $0.83 \mu g/m^3$ y $0.66 \mu g/m^3$ de PM_{10} y $PM_{2.5}$, respectivamente en el suroccidente de la ciudad.



■ Conclusiones

- Se midió una reducción de 21 ug.m^{-3} de BC y de 10% a 20% del $\text{PM}_{2.5}$ en la estación museo nacional con los filtros pure air
- Se estima una reducción de 28.5 ton/año de $\text{PM}_{2.5}$ con 50 mil filtros Pure Air instalados en el transporte público y de carga circulando en la ciudad o de 11.9 ton/año de $\text{PM}_{2.5}$ con 15 mil filtros circulando en las celda de mayores emisiones



■ Conclusiones

- La modelación muestra las mayores reducciones en el suroccidente de la ciudad en febrero ($0.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $0.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ respectivamente. En septiembre y julio las reducciones se estiman 0.59 y $0.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y 0.36 y $0.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2.5}$ respectivamente. Se obtienen reducciones en la concentración de material particulado fino en el suroccidente del orden del 1%.
- En el escenario 2 se obtiene una reducción en la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ de $0.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el suroccidente, mayor que el escenario 1, con 15 mil filtros operando las 4 celdas de mayores emisiones



Referencias

- R. Morales Betancourt, B. Galvis, S. Balachandran, J.P. Ramos-Bonilla, O.L. Sarmiento, S.M. Gallo-Murcia, Y. Contreras, Exposure to fine particulate, black carbon, and particle number concentration in transportation Microenvironments, Atmospheric Environment, Volume 157, 2017, Pages 135-145, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.03.006>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231017301309>)
- Ricardo Morales Betancourt, Boris Galvis, Daniela Mendez-Molano, Juan Manuel Rincón-Riveros, Yadert Contreras, Thalia Alejandra Montejo, Diego Roberto Rojas-Neisa, and Oscar Casas. Toward Cleaner Transport Alternatives: Reduction in Exposure to Air Pollutants in a Mass Public Transport. Environmental Science & Technology 2022 56 (11), 7096-7106. DOI: 10.1021/acs.est.1c07004
- P. Bächler, T.K. Müller, T. Warth, T. Yildiz, A. Dittler, Impact of ambient air filters on PM concentration levels at an urban traffic hotspot (Stuttgart, Am Neckartor), Atmospheric Pollution Research, Volume 12, Issue 6, 2021, 101059, ISSN 1309-1042, <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.101059>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1309104221001252>)





GRACIAS!

Más información



<https://casap.science/>



casap@casap.science

Back up slides

RESULTS

Fine inhalable particles PM 2.5

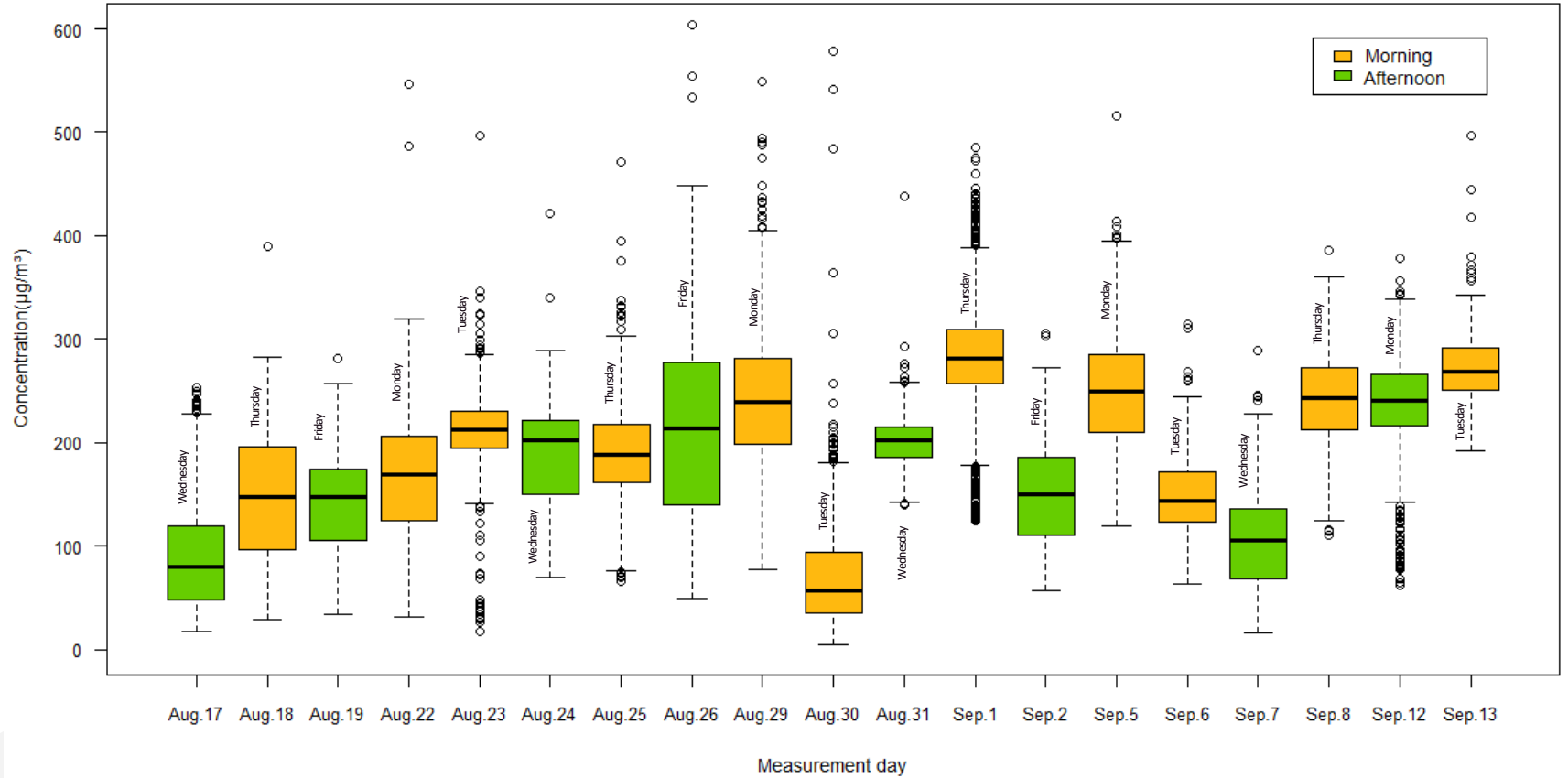


Morning
measurements
8 am - 10 am



Afternoon
measurements
2 pm - 4 pm

- PM concentrations are still very high even after fleet renewal
- Higher average concentrations in the afternoons
- The highest traffic flow corresponds to Mondays and Fridays.



FIXED-SITE MEASUREMENTS PM 2.5

SET UP



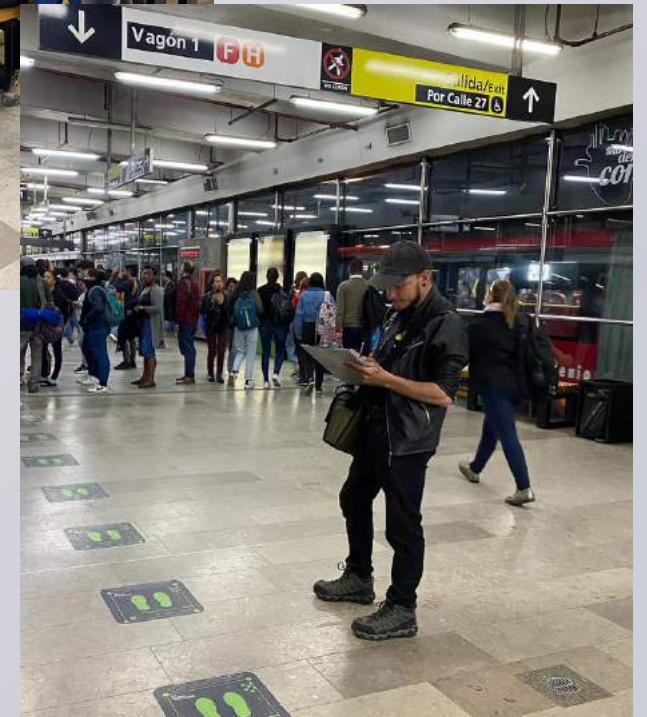
We have carried out mobile and fixed site measurements of PM 2.5, PM 10. PM1.0 and BC during 20 days in august and September 2022



We carefully register events such as stopped vehicles, evident emissions and others



We do a detailed vehicle count, writing down plates and bus codes

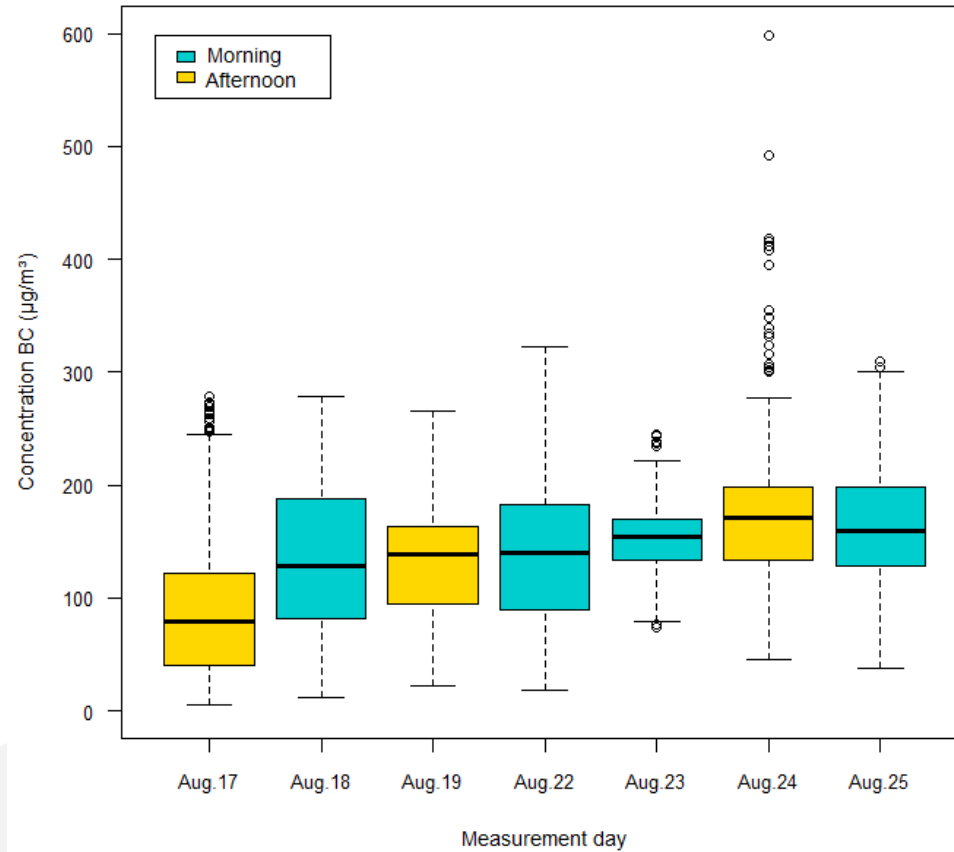


RESULTS



- Concentrations of BC are also high. This shows the need for a control measure.

Fixed-Site Black Carbon Measurements



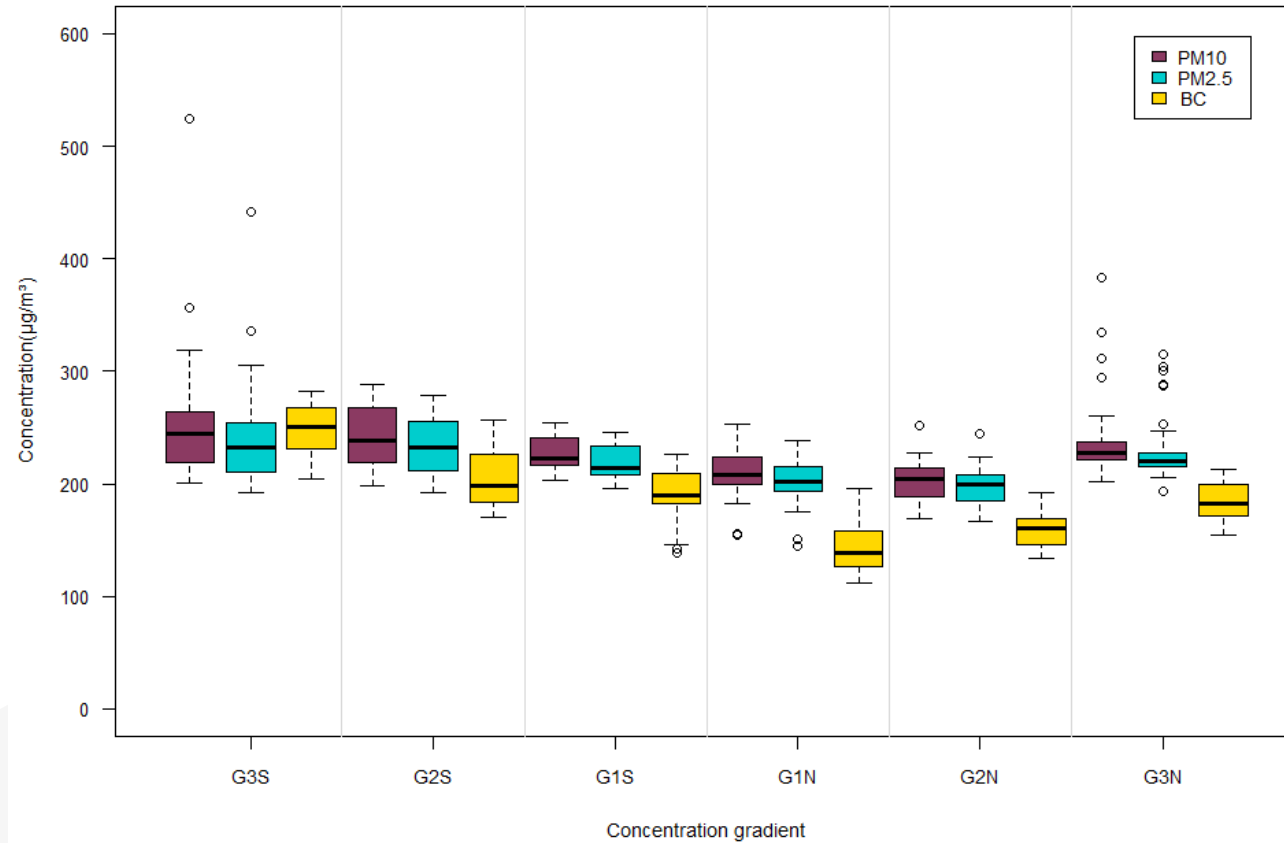
FIXED-SITE MEASUREMENTS BC



RESULTS



- Higher average concentrations at south side of station

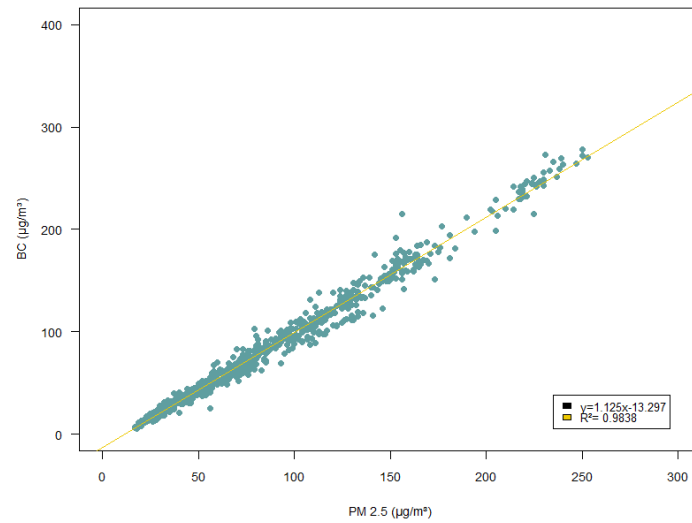


MOBILE MEASUREMENTS PM 2.5

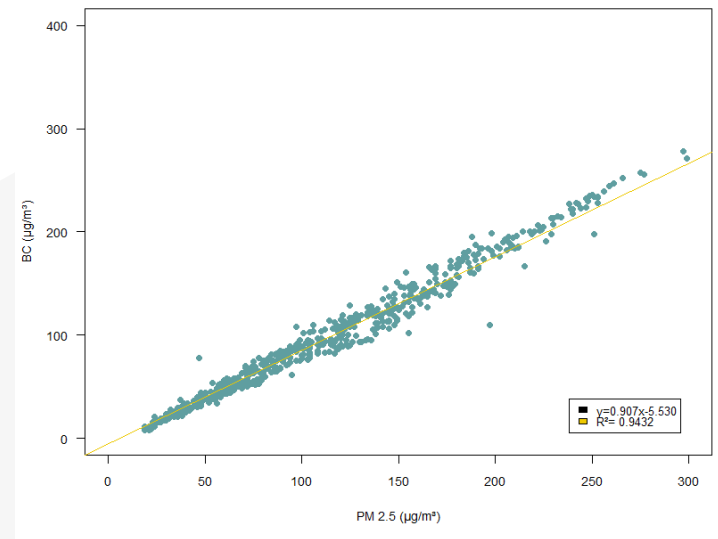
RESULTS



- Concentrations of BC and PM2.5 are very well correlated. This shows both likely come from the same sources (Bus diesel engines)



Fixed-Site measurements



Mobile measurements



PM 2.5 AND BC MEASUREMENTS AUGUST 17 AFTERNOON





SUMMARY OF CONCENTRATIONS

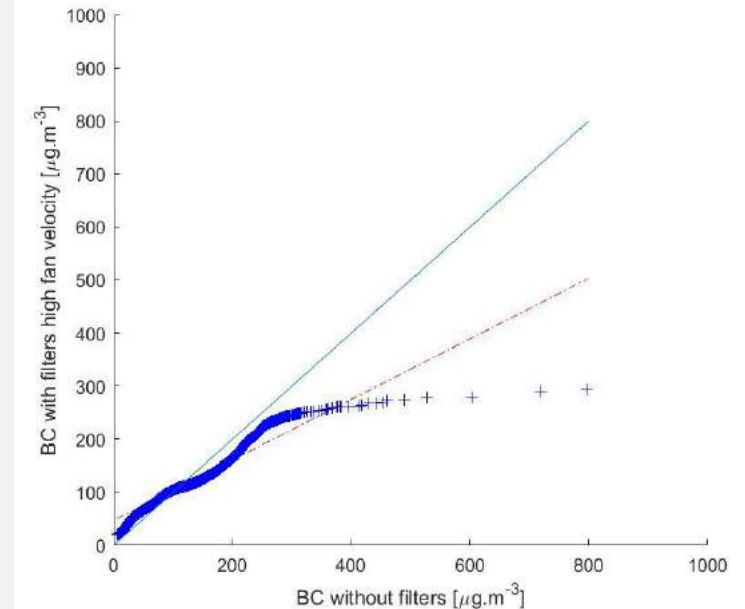
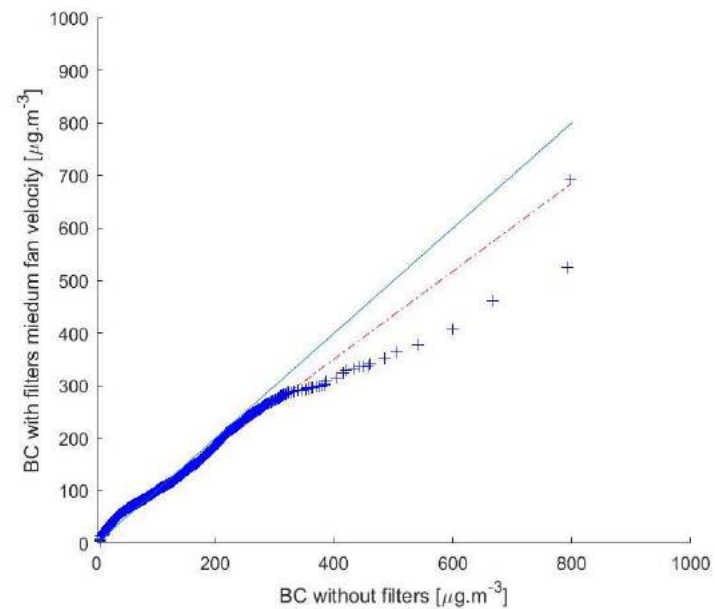
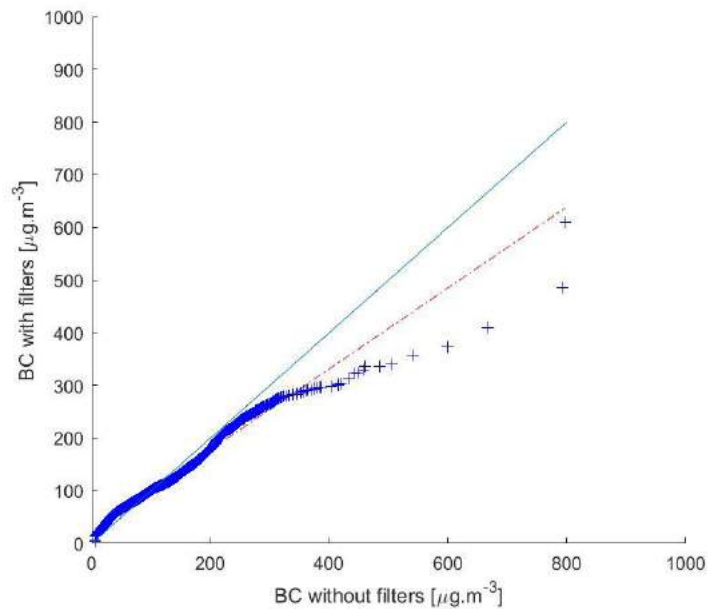
	PM10 (ug/m ³)	PM2.5 (ug/m ³)	BC (ug/m ³)
Fixed	192	186	148
Mobile	202	196	147
Average Concentration	197	191	147.5
		Ratio PM2.5/PM10	Ratio BC/PM2.5
		0.97	0.77

- Most mass of PM is fine particulate and
- Most mass of PM_{2.5} is black carbon

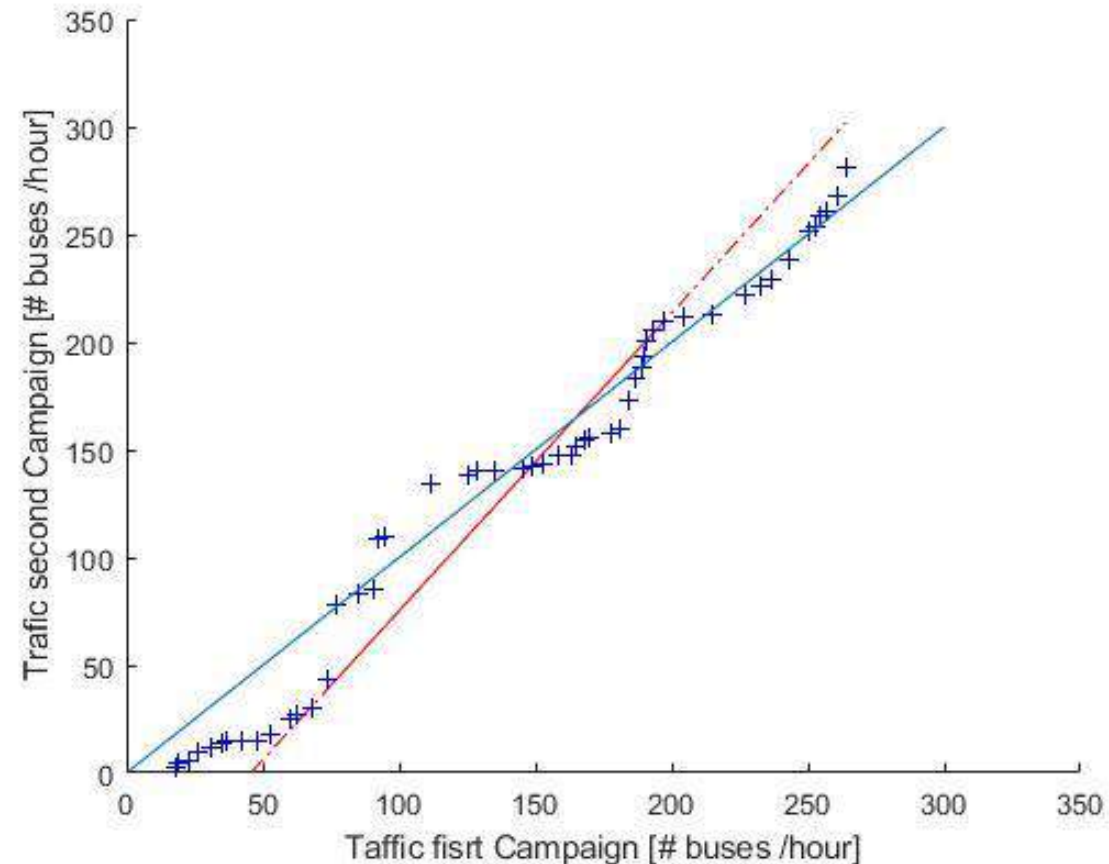


FIXED-SITE BC

QQplots for BC concentrations with filters, at medium, and at high fan velocities show clearly the effect of the intervention for quantiles above approximately $60 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Even more evidently at high fan velocity operation.

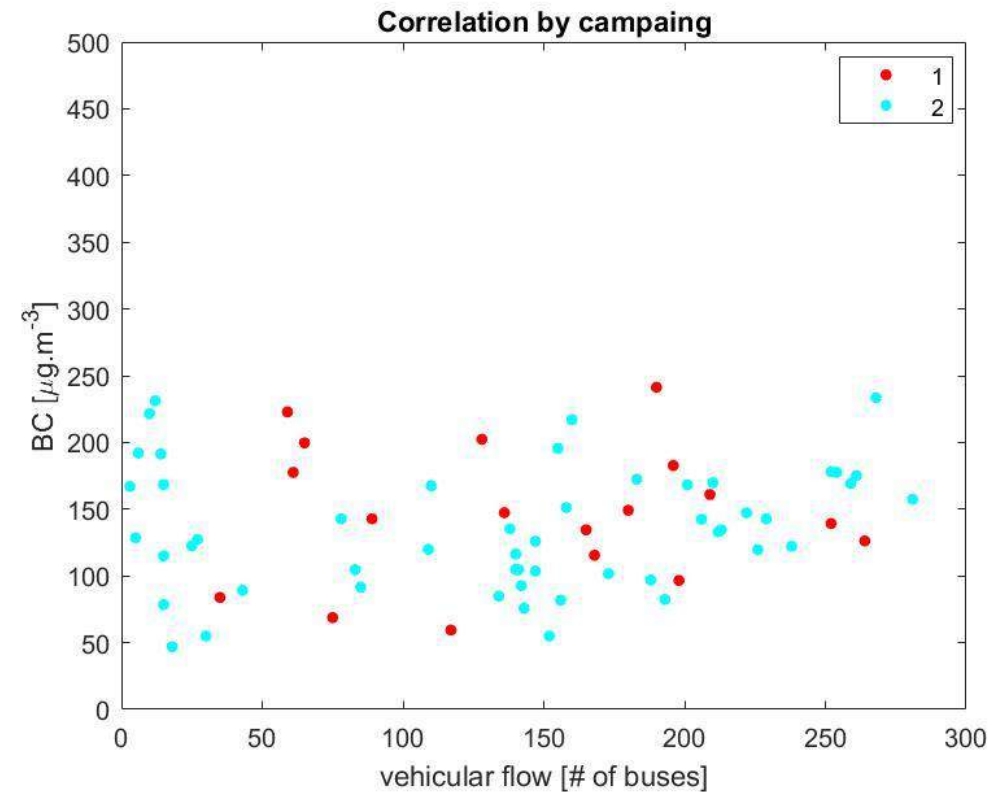
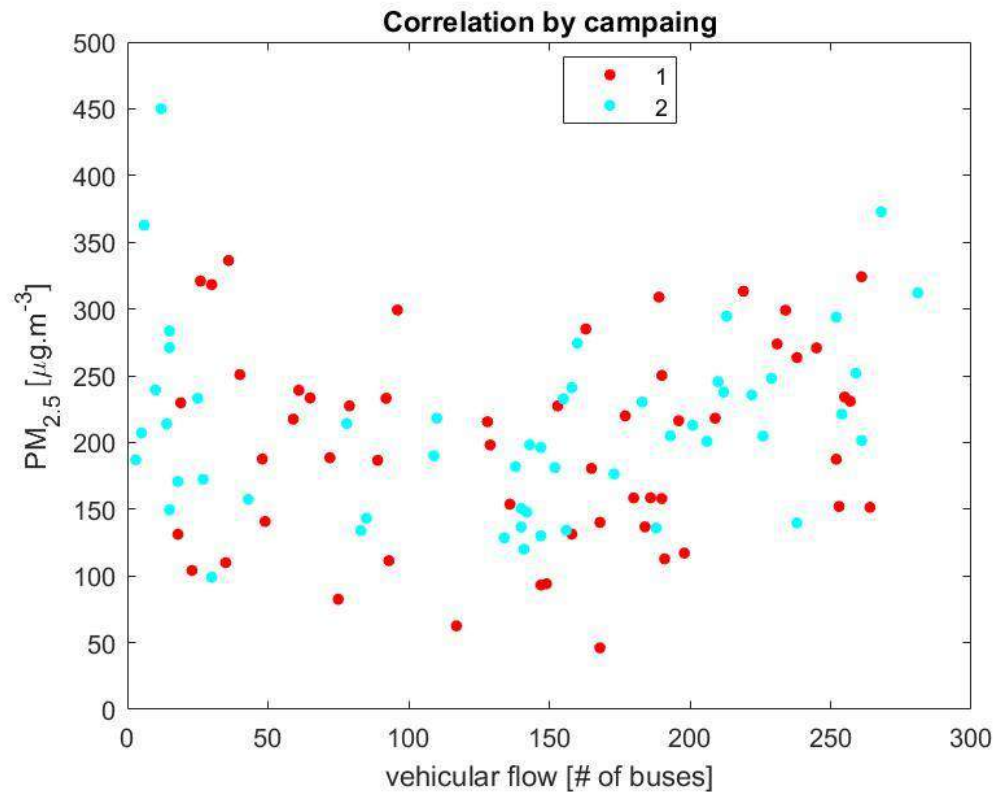


VEHICULAR FLOW



- Traffic was basically the same between both campaigns.
- There were changes in bus stops within the station between the first and second campaigns

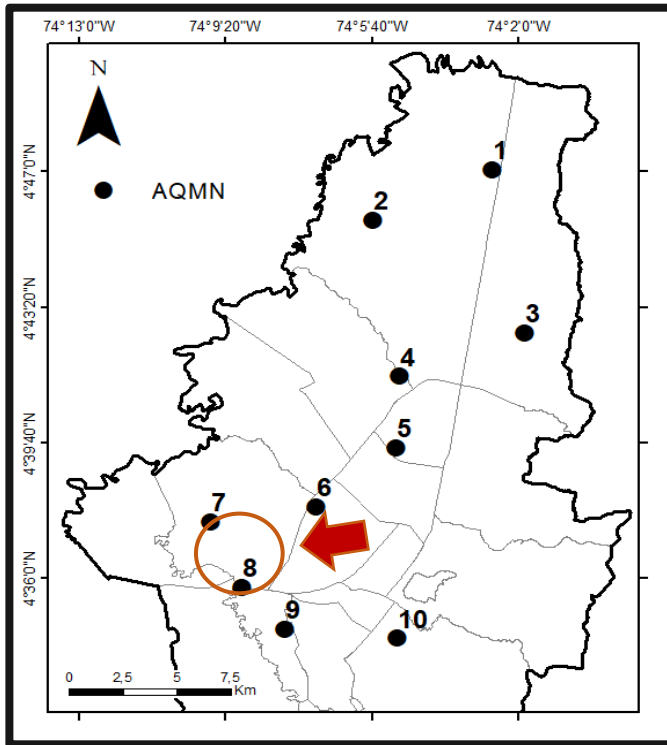
CONCENTRATIONS VS VEHICULAR FLOW



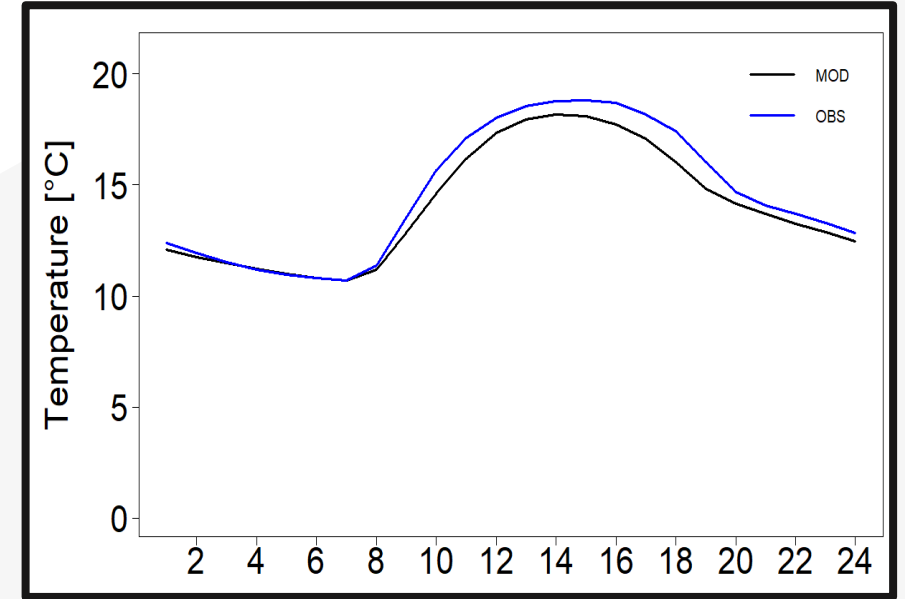
- Hourly average aerosol concentrations have no significant correlation to hourly vehicular flow
- **Cyan dots** represent hourly average concentrations with filters
- **Red dots** represent hourly average concentrations without filters

METEOROLOGICAL EVALUATION

D03 SEP



Average temperature profile of Bogotá



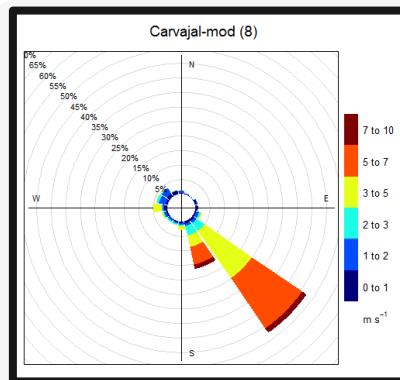
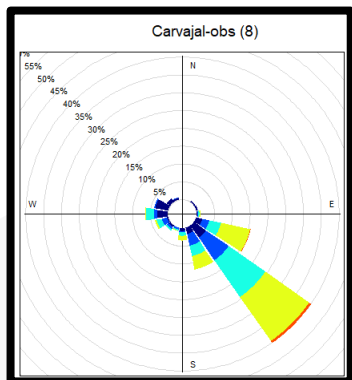
Emery et al., (2017)

AQMN	Wind Speed			Wind Direction		Temperature		
	RMSE (m/s)	MB (m/s)	ID	MGE (deg)	MB (deg)	MGE (°C)	MB (°C)	ID
1	2.27	2	0.48	83.59	-24.01	1.74	-1.09	0.89
2	1.88	1.5	0.64	84.64	-24.38	1.42	-0.48	0.93
3	1.75	0.61	0.59	74.69	14.04	NA	NA	NA
4	1.19	0.48	0.62	95.64	36.85	1.09	0.3	0.93
5	1.44	0.8	0.56	107.96	34.42	1.61	-0.14	0.89
6	1.4	-0.24	0.77	63.8	-1.75	0.98	0.21	0.93
7	1.24	0.21	0.81	86.39	11.78	1.89	-1.52	0.87
8	2.26	1.51	0.61	50.58	8.39	1.9	-1.69	0.85
9	2.58	2.01	0.38	52.8	-21.25	NA	NA	NA
10	2.31	0.98	0.52	99.97	76.41	1.12	0.22	0.91

RMSE =Root mean square error, MB =Mean Bias, ID=Index of agreement, MGE=Mean Gross Error



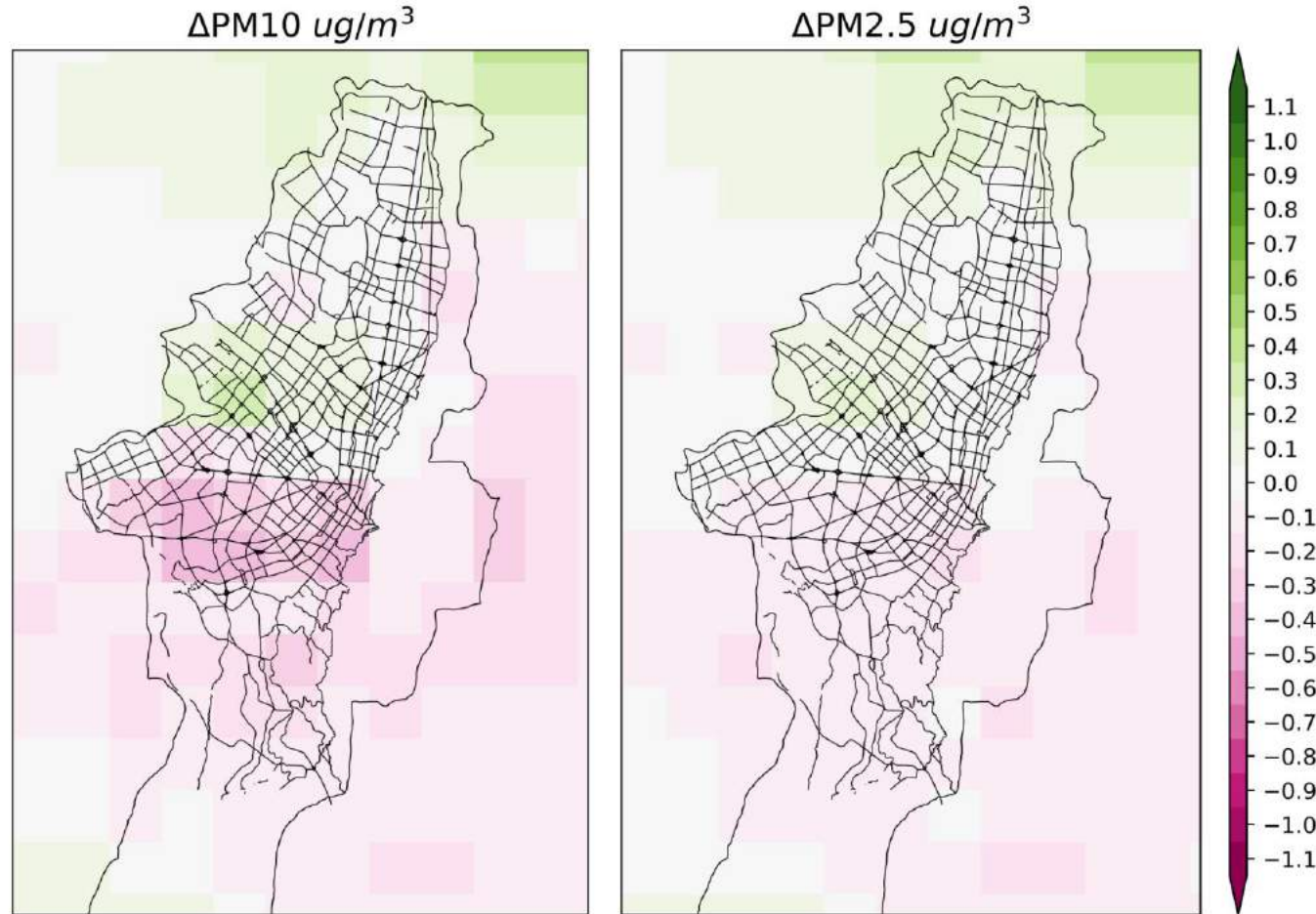
Point 8
Carvajal station



Mod Vs. Obs Sep 2018

REDUCTION SCENARIO - JULY

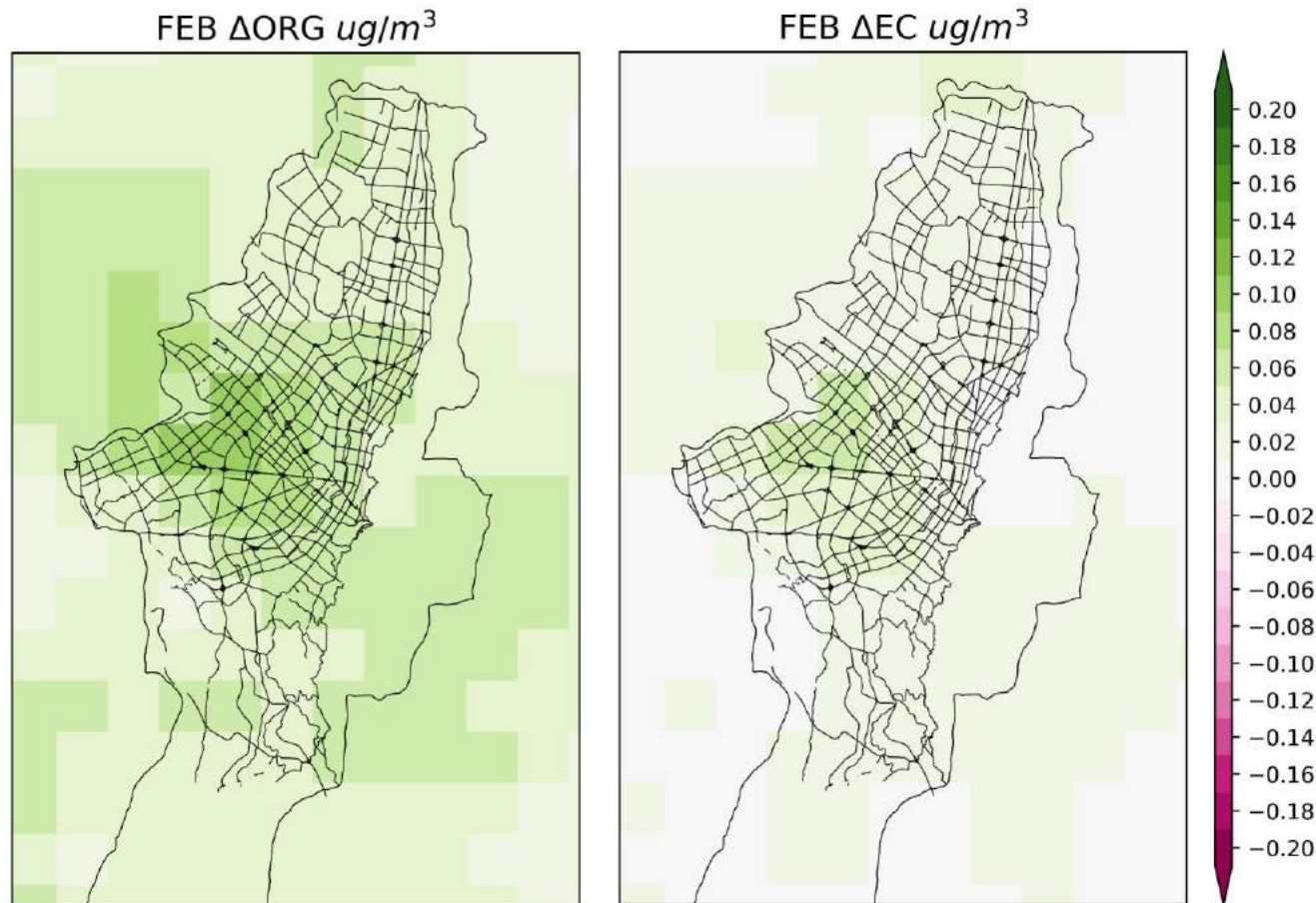
Spatial distribution of ΔC_{RS}^i for PM₁₀ and PM_{2.5} of July



A maximum reduction of $0.31 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ and $0.19 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ for PM₁₀ and PM_{2.5}, respectively in the western part of the city.

REDUCTION SCENARIO 2 EVALUATION - FEBRUARY

Spatial distribution of ΔC_{RS}^i for ORG and EC of February 2018.



A maximum reduction of $0.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for ORG and EC, respectively in the southwest area of the city.