

Caracterización química del aerosol atmosférico en el Noroeste del Amazonas

Harry Alvarez-Ospina¹, Luis A. Ladino², Salvador Reynoso-Cruces¹, Sebastián Mendoza-Téllez², Javier Miranda³, Jaime Barrera⁴, Omar Ramírez⁵, Lizeth Russy-Velandia⁵, Juan Vitar⁴, Violeta Múgica⁶, Fernando Millán⁶ y Miguel Robles²

¹Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México

²Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, Universidad Nacional Autónoma de México, México

³Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, México

⁴Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Bogotá, Colombia

⁵Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá-Zipacquirá, Colombia

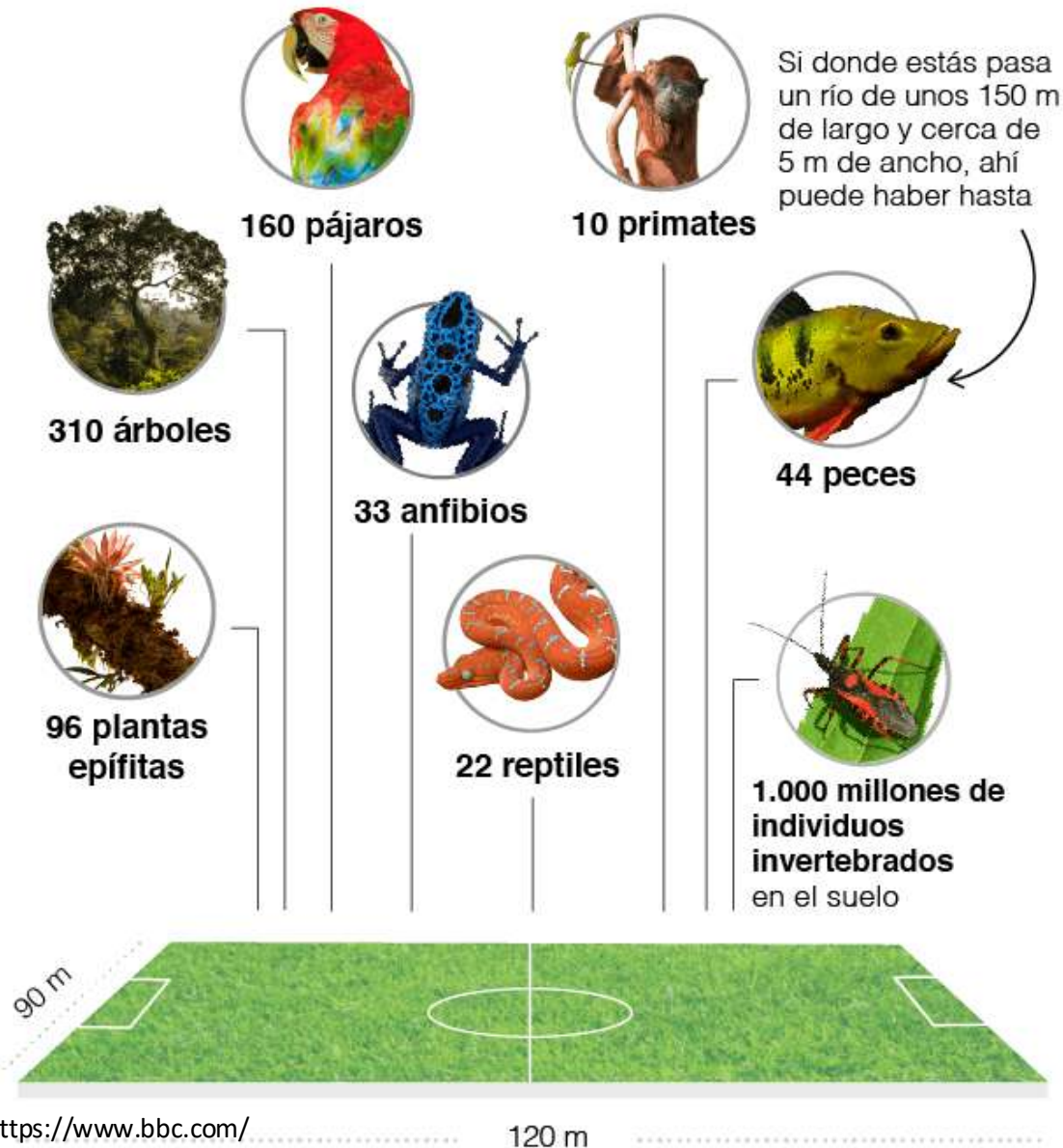
⁶Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco, México



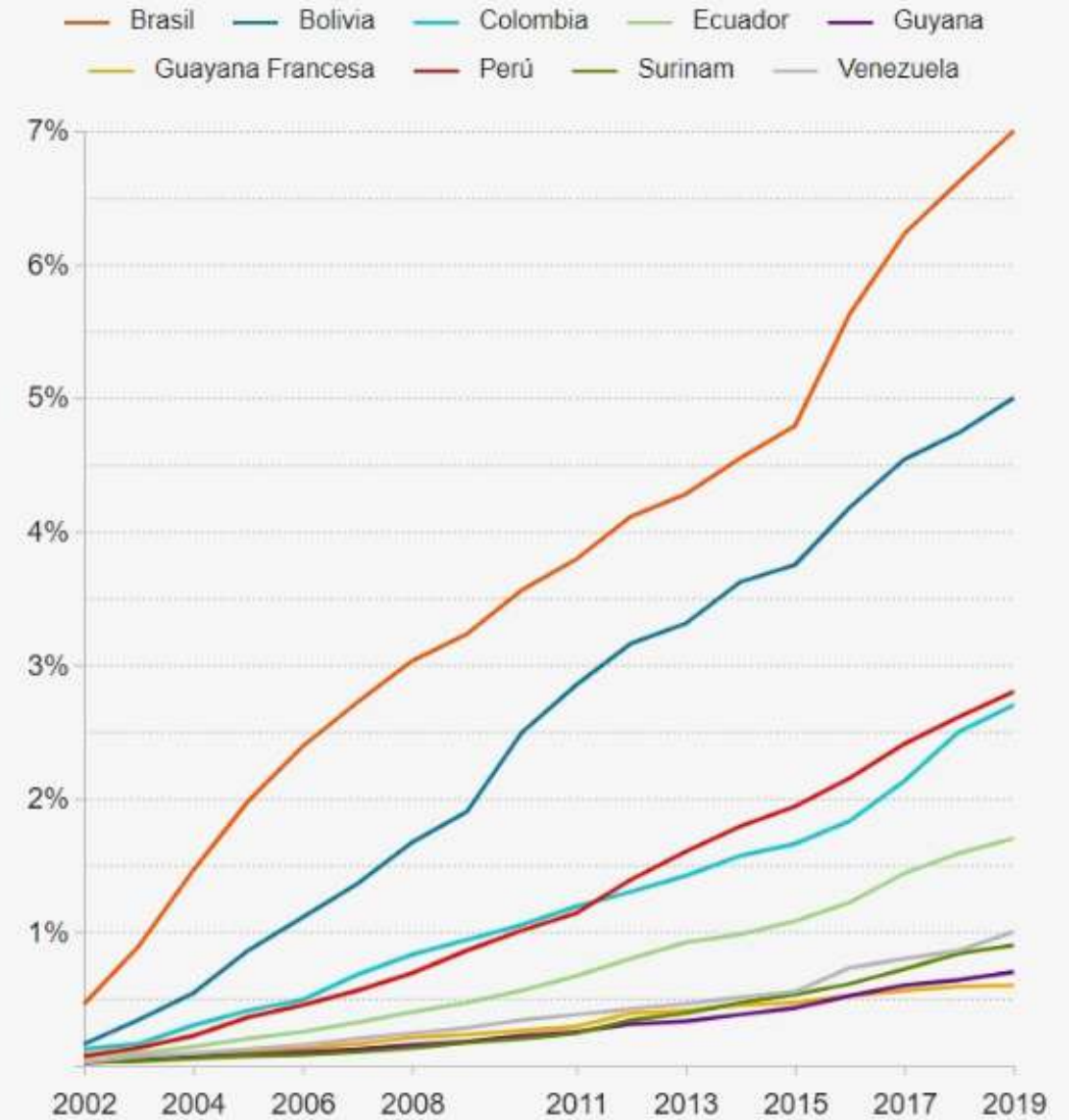


¿Qué podrías encontrar en una hectárea* de Amazonas?

Valores estimados en especies



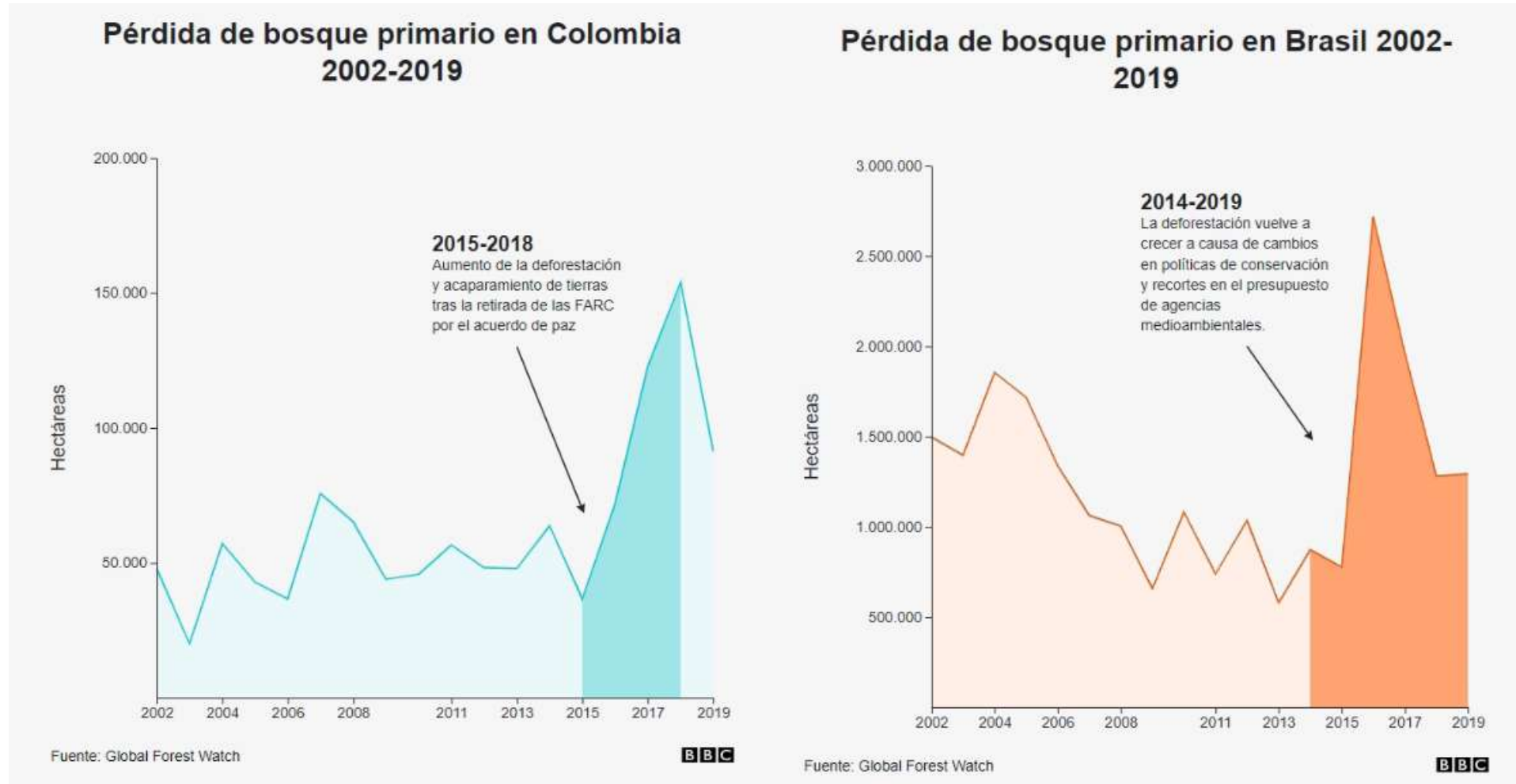
Tasa de pérdida anual acumulada de bosque primario en el Amazonas 2002-2019



Fuente: Global Forest Watch

BBC

Impactos antropogénicos en el Amazonas



La conservación del Amazonas depende de muchas variables/componentes (e.g., política, orden público, narcotráfico, etc.)

Spring NOrthern aMazon Aerosol eXperiment (SNOMAX)



 Bioma amazónico

Foto: <https://www.bbc.com/>



Instituto
amazónico de
investigaciones científicas
SINCHI



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

SNOMAX



Estación experimental El Trueno
El Retorno (Guaviare)
14 al 28 de marzo de 2024



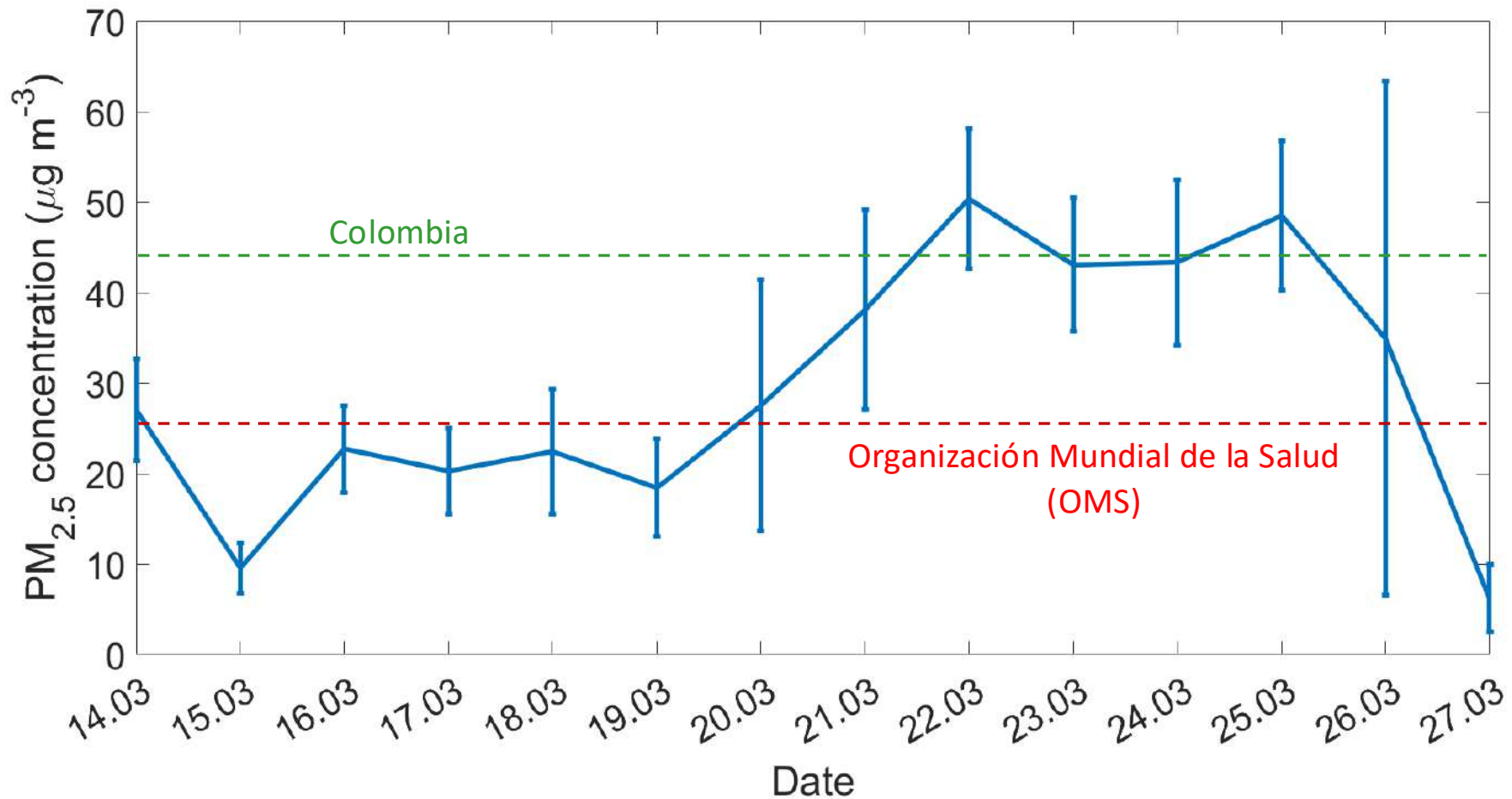
SNOMAX



SNOMAX

	Equipo	Función
1	Condensation particle counter (CPC)	Concentración total de partículas de aerosol (>30 nm)
2	Contador óptico de partículas (LasAir)	Concentración numérica de las partículas de aerosol función de su tamaño (300 nm a 10 μm)
3	DustTrak	Concentración másica del material particulado en función de su tamaño ($\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10})
4	Impinger	Recolección de partículas para su análisis microbiológico o químico en una matriz líquida
5	Micro-orifice Uniform deposit impactor (MOUDI)	Recolección de partículas de aerosol en función de su tamaño (0.18 a 10 μm) para análisis de SEM/EDX y núcleos de hielo
6	MiniVol (3)	Recolección automática de partículas de aerosol en filtros para análisis químicos (XRF, IC, OC/EC)
7	Sensor de partículas de bajo costo	Concentración de $\text{PM}_{2.5}$ en tiempo real.
8	Estación meteorológica	Mediciones de las diferentes variables meteorológicas
9	Bioimpactador	Recolección de partículas de aerosol en medios de cultivo específicos para bacterias y hongos

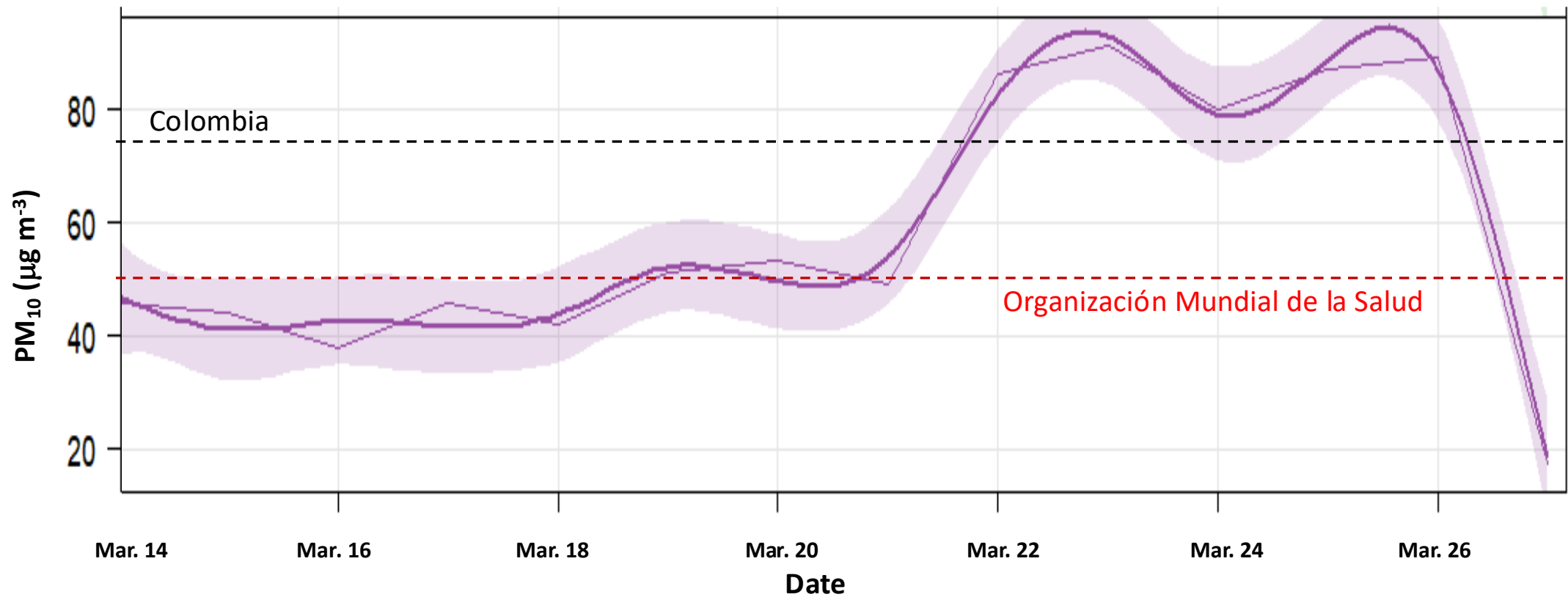
Resultados: Calidad del aire



El 22 y 25 de marzo se rebasó el valor límite permisible decretado por el gobierno Colombiano.

Del 20 al 26 de Marzo se rebasó la norma de la OMS.

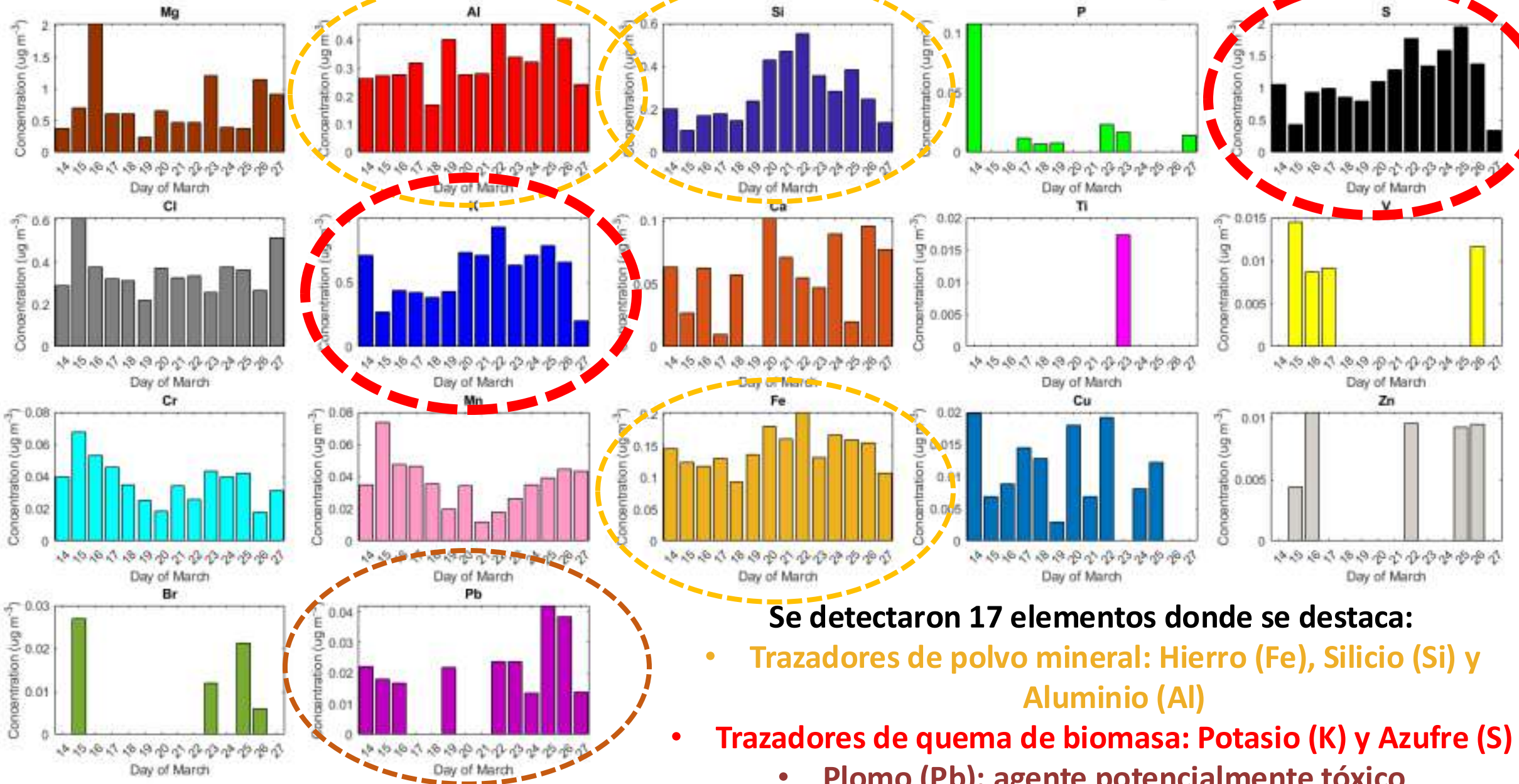
Resultados: Calidad del aire



Al igual que las PM_{2.5}, la segunda mitad de la campaña (entre el 21 y el 26 de marzo) se reportaron altos nivel de PM₁₀.

Del 21 y el 26 de marzo se rebasó el valor límite permisible decretado por Colombia y la OMS.

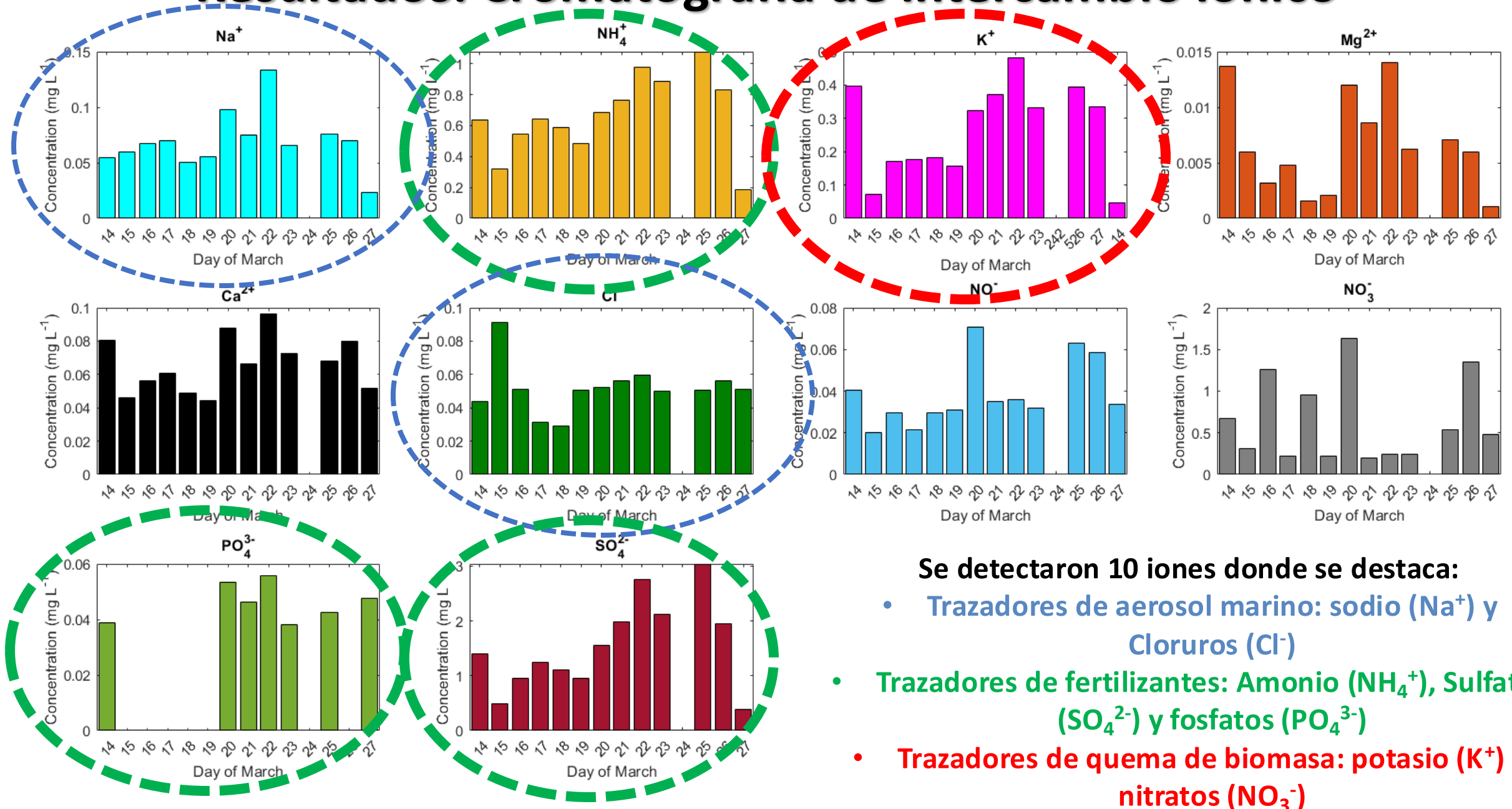
Resultados: Fluorescencia de rayos X



Se detectaron 17 elementos donde se destaca:

- Trazadores de polvo mineral: Hierro (Fe), Silicio (Si) y Aluminio (Al)
- Trazadores de quema de biomasa: Potasio (K) y Azufre (S)
 - Plomo (Pb): agente potencialmente tóxico

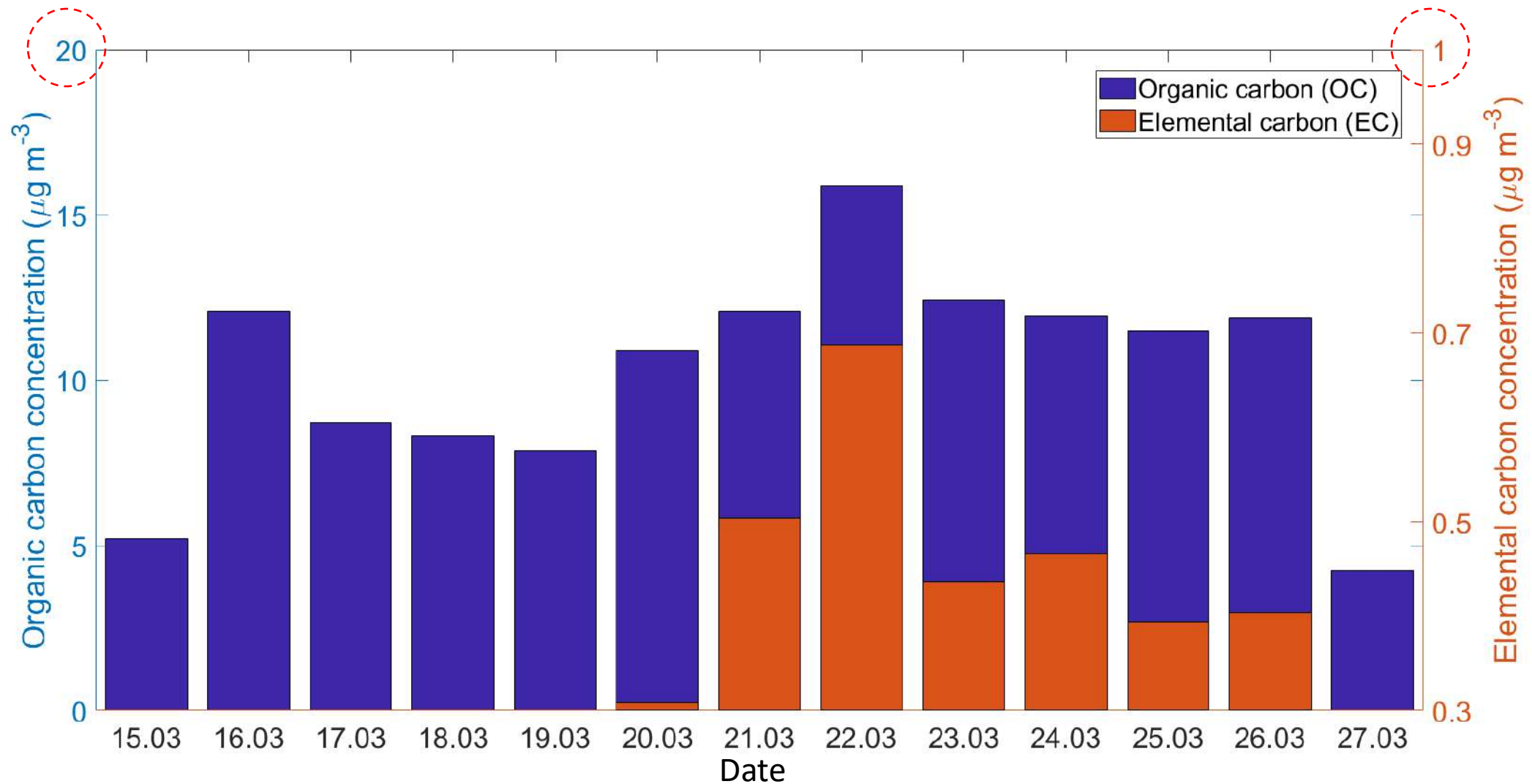
Resultados: Cromatografía de intercambio iónico



Se detectaron 10 iones donde se destaca:

- Trazadores de aerosol marino: sodio (Na⁺) y Cloruros (Cl⁻)
- Trazadores de fertilizantes: Amonio (NH₄⁺), Sulfatos (SO₄²⁻) y fosfatos (PO₄³⁻)
- Trazadores de quema de biomasa: potasio (K⁺) y nitratos (NO₃⁻)

Resultados: Contenido de Carbono



Si bien se detectó carbono elemental (EC), el carbono orgánico (OC) representa > 96% del carbono total

Del **análisis químico** se puede inferir que **la fuente** principal de los altos niveles de contaminación es la **quema de biomasa**

Pero... ¿dónde se origina?

a

PM10 concentration ($\mu\text{g.m}^{-3}$)

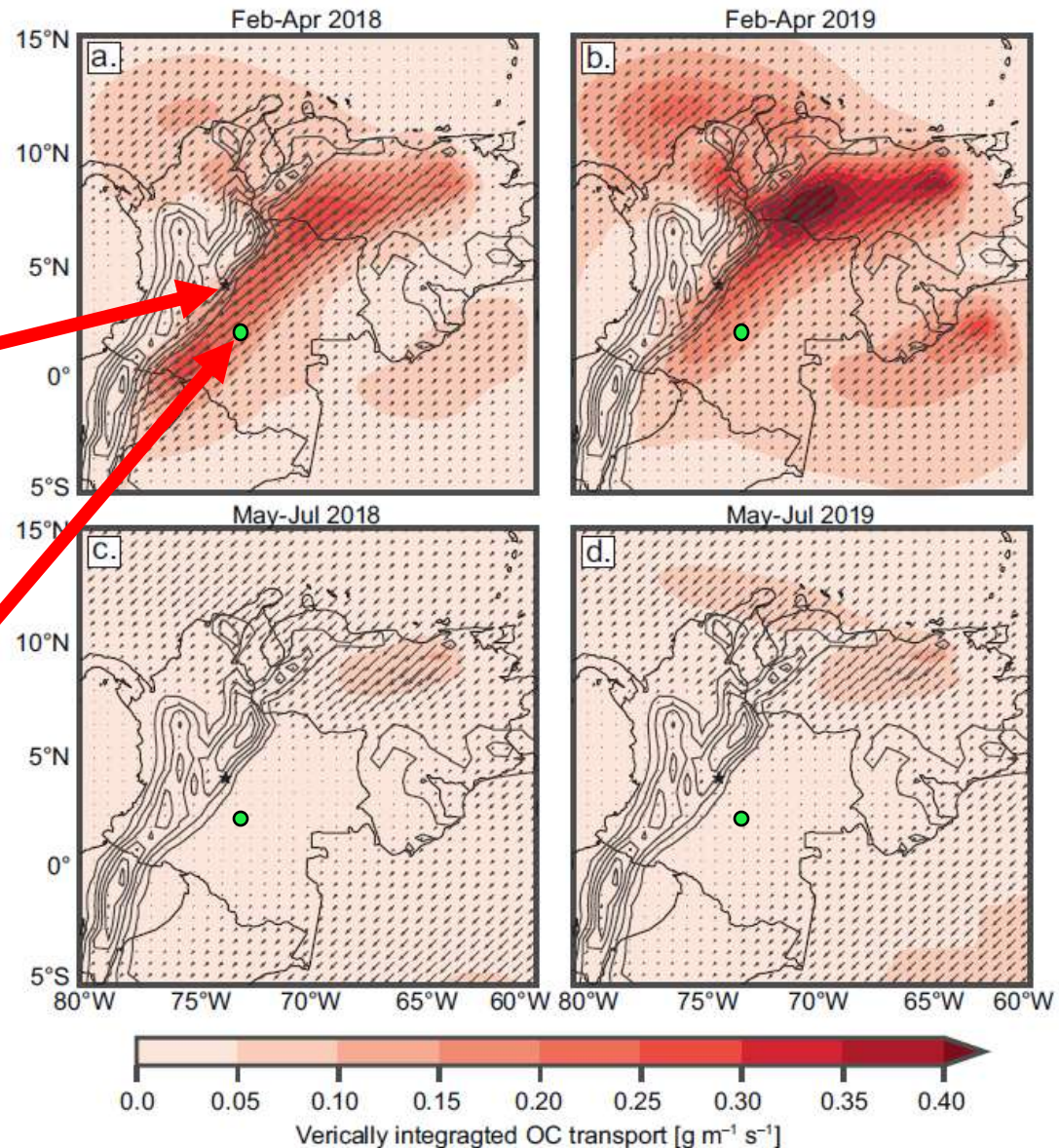
Date

Rodríguez-Gómez et al. *Atmósfera* (2022)

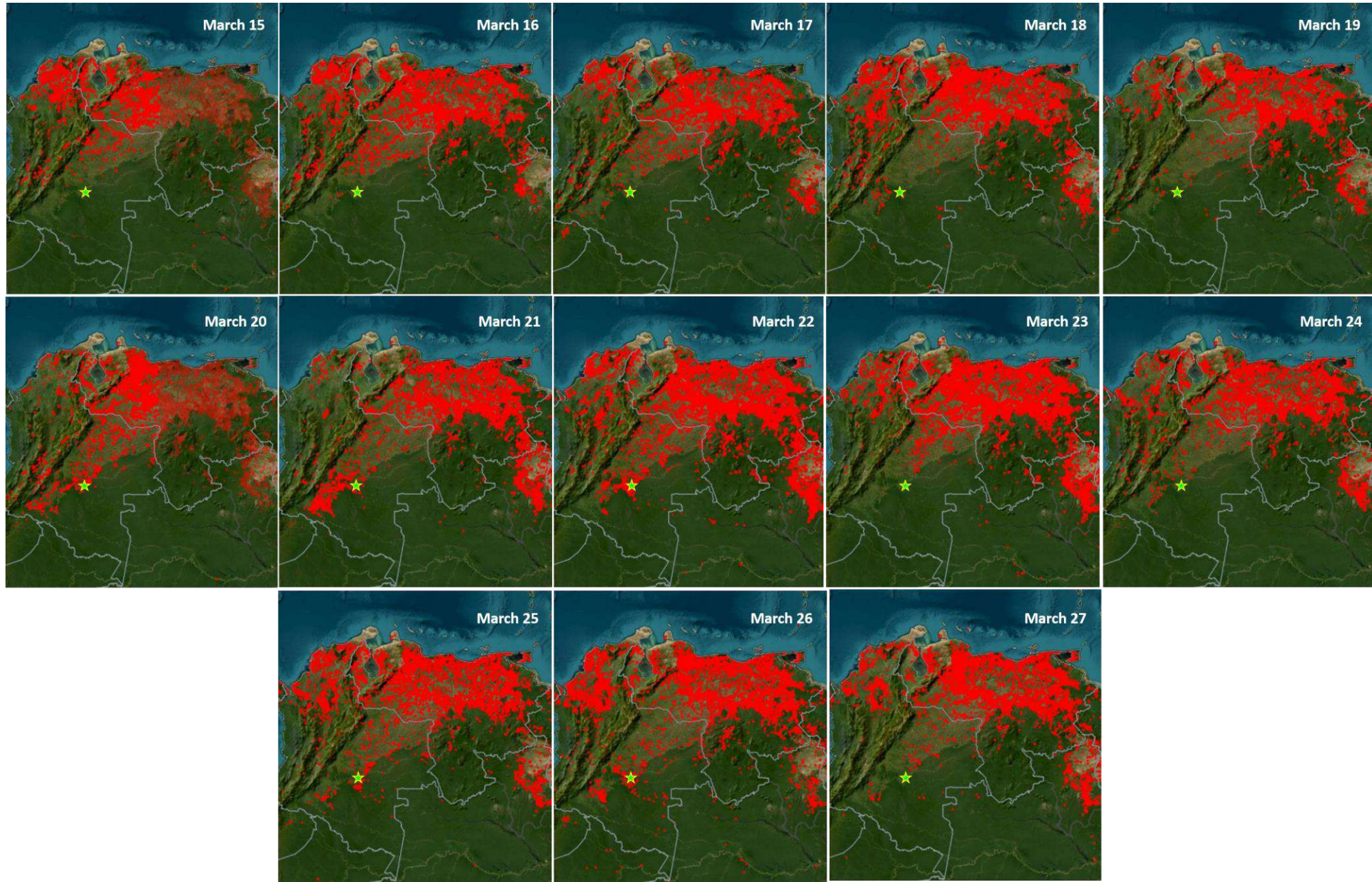
Calidad del aire en Villavicencio

Los **altos niveles de contaminación** que se midieron en Villavicencio cada **Marzo**, se deben a la combinación de los **incendios forestales (BB)** de Venezuela y Colombia con el **Chorro del Orinoco (OLLJ)**

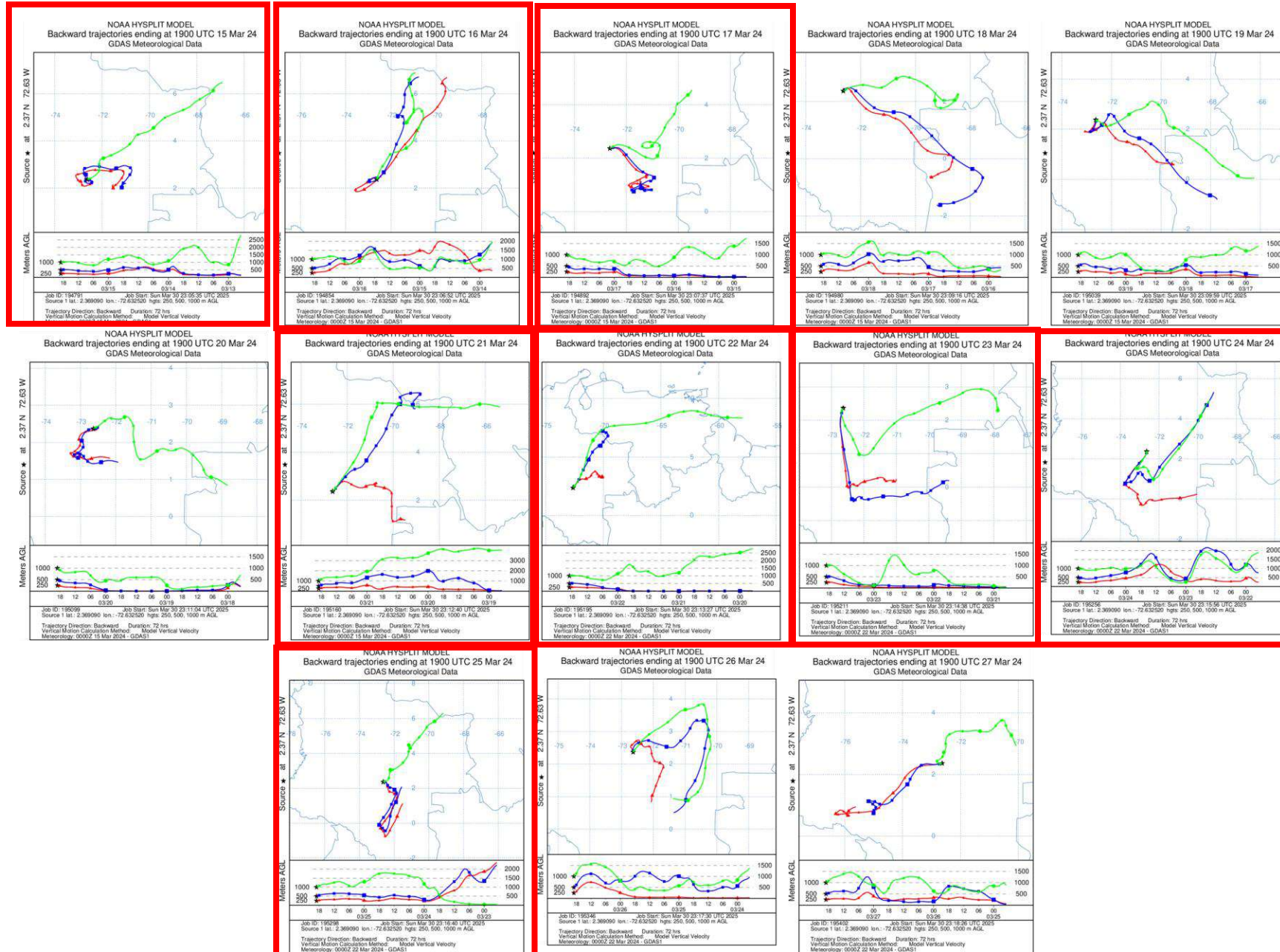
¿Puede la BB + OLLJ impactar el noroeste del Amazonas?



Fuente de contaminación



Fuente de contaminación



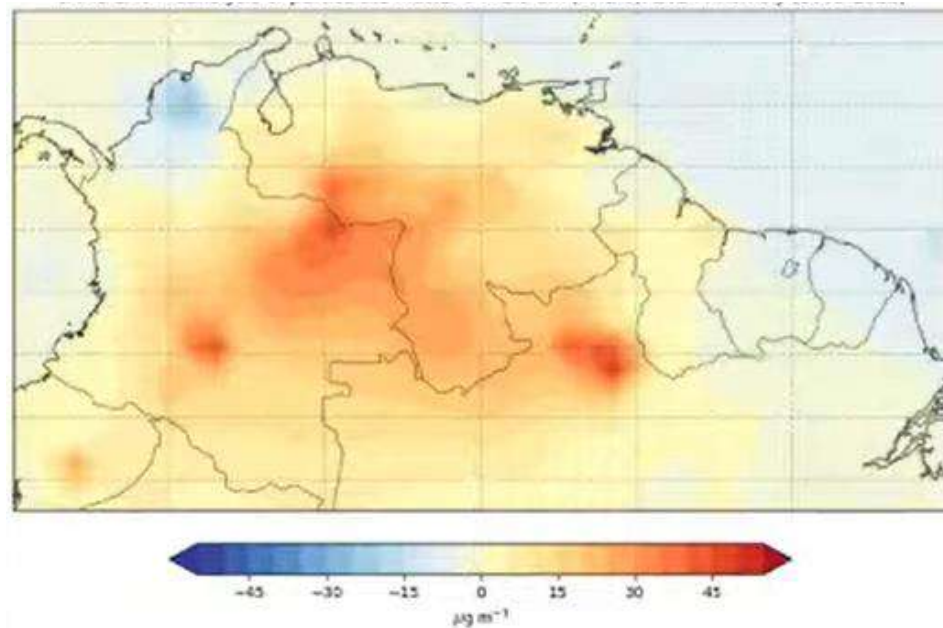
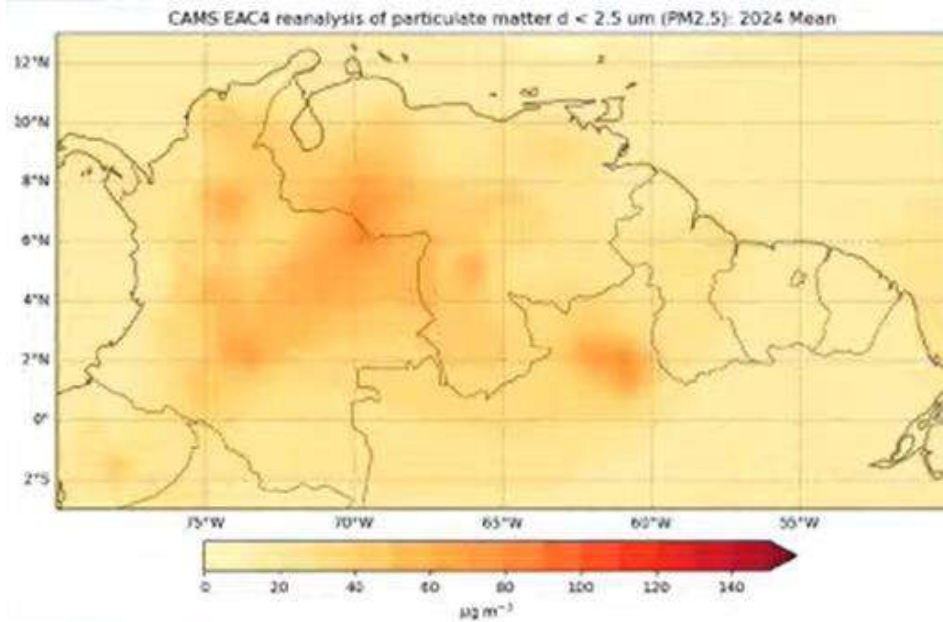
Los resultados indican que varias de las masas de aire que llegaron al punto de muestreo provenían de los incendios en las llanuras Venezolanas y Colombianas

Como se sugirió en el estudio de Villavicencio, la mezcla de BB + OLLJ pueden impactar la calidad del aire del noroeste del Amazonas

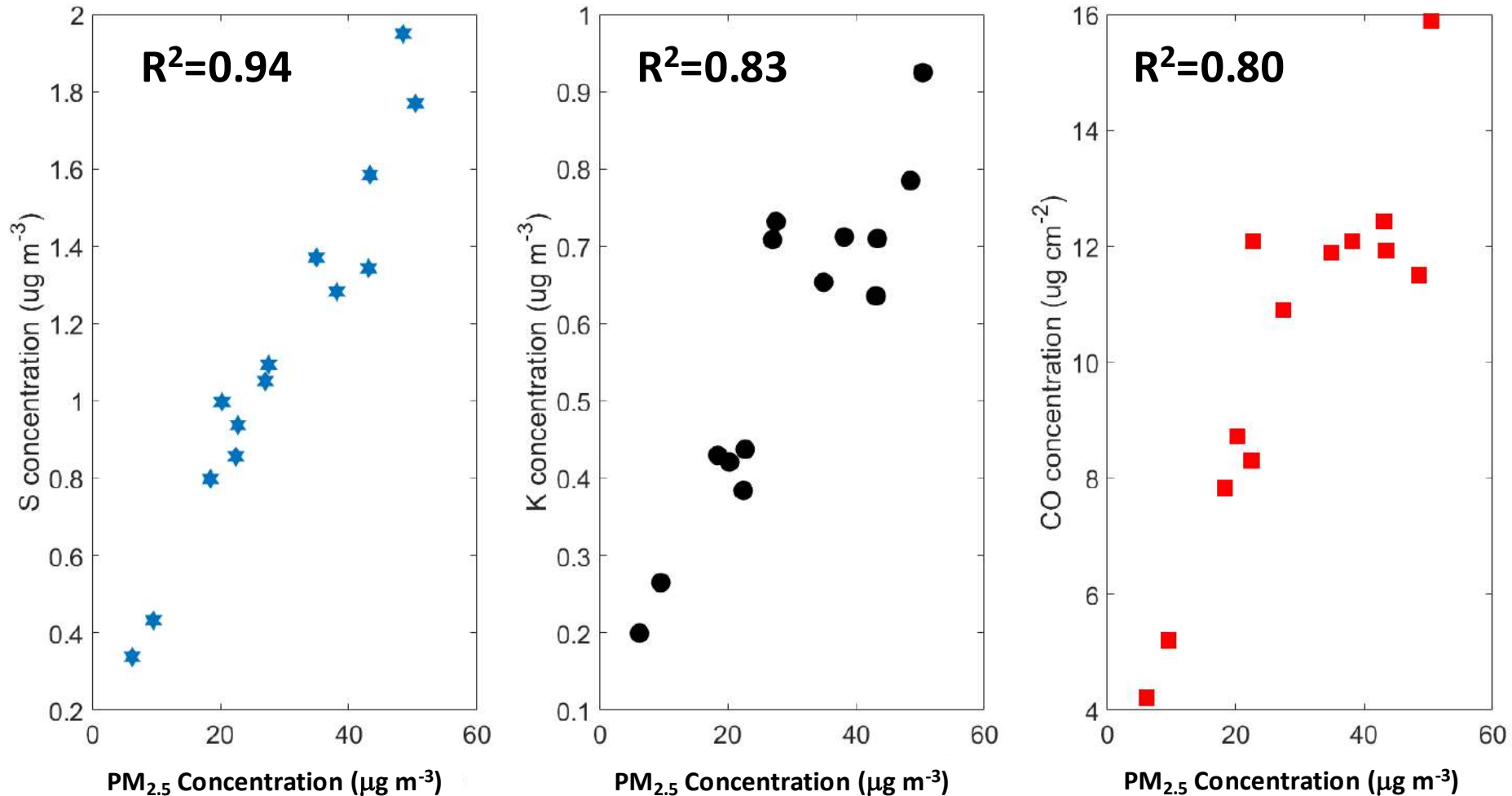
Fuente de contaminación

Los datos de reanálisis (CAMS) muestran una gran concentración de $\text{PM}_{2.5}$ en marzo de 2024 a lo largo de la cuenca del Río Orinoco, llegando hasta el Noroeste del Amazonas.

Si bien cerca de El Trueno se presentaron incendios, la gran mayoría se concentraban en las llanuras Colombianas y Venezolanas, impactando regiones muy lejanas a su punto de emisión.

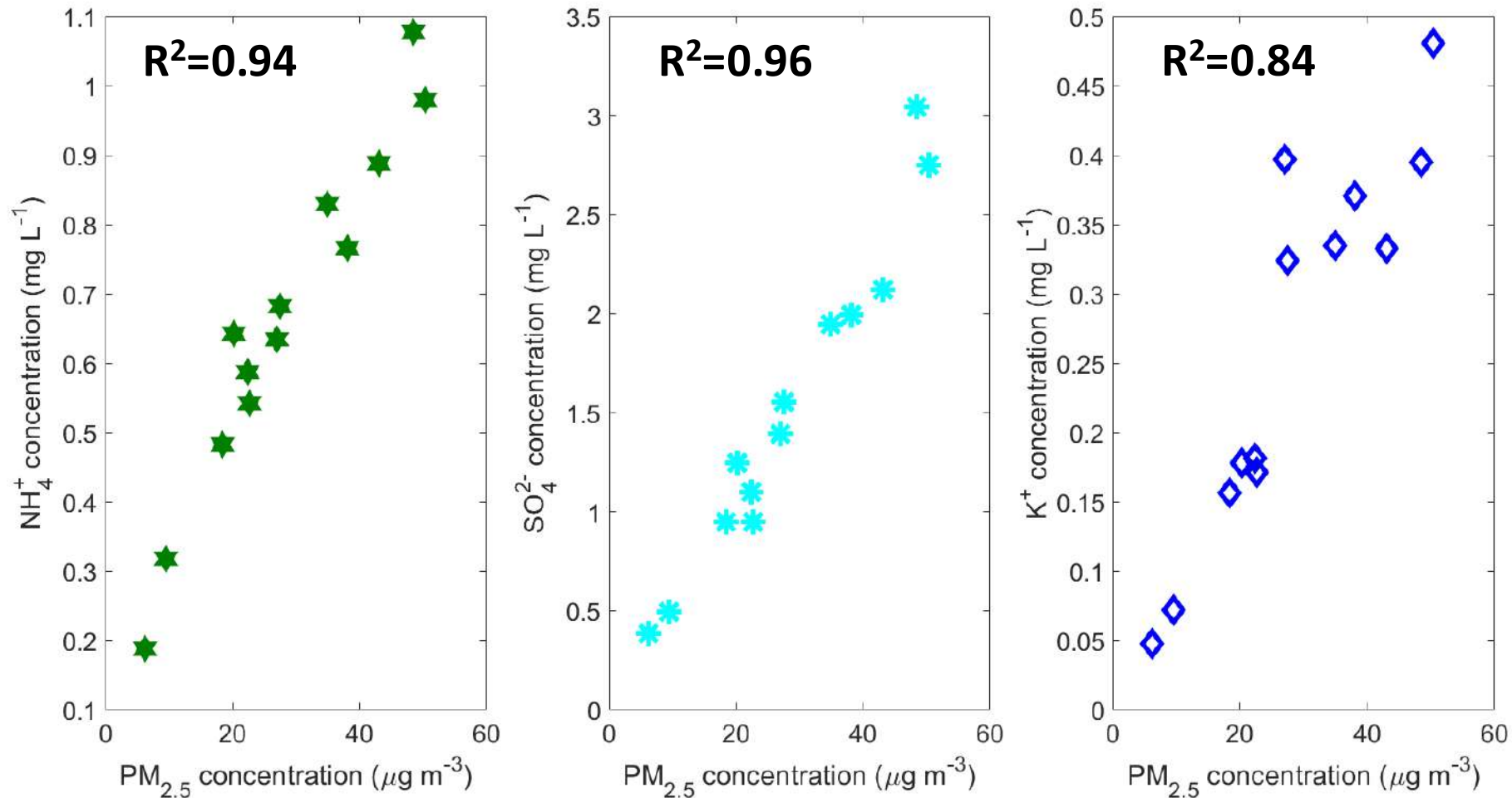


Fuente de contaminación



Se encontraron altas correlaciones de los niveles de $PM_{2.5}$ con la concentración de azufre, potasio y carbono orgánico

Fuente de contaminación



También se encontraron altas correlaciones de los niveles de $\text{PM}_{2.5}$ con la concentración de los iones amonio, sulfato y potasio

Conclusiones

- El Amazonas es supremamente importante para la subsistencia de nuestro planeta.
- Si bien el Amazonas central tiene un gran valor agregado (ambiente prístino), lo que ocurre en las periferias de este bosque tropical necesita una atención urgente.
- Los incendios forestales son una gran fuente de contaminación pudiendo impactar la salud de quienes habitan el Amazonas, incluyendo la biota.
- Otras actividades humanas (e.g., agricultura, ganadería, minería, deforestación y narcotráfico) son un gran amenaza para el Amazonas.

SNOMAX 2025

Financiamiento y Agradecimientos



Jorge Ladino, Elizabeth García, Rodrigo Jiménez, Lina Puerta, Irma Rosas, Graciela B. Raga, Camilo Alvarado, Leticia Martínez, Eva Salinas, Delibes Flores, Maribel Saavedra, Jorge Zavala, Luis González, Vanessa Ayala, Marbella González, Soledad Funes, Maru González, Alejandro García, Fernanda Córdoba, Montserrat Silva, Emma Negrete

y a todo el personal del SINCHI en Bogotá, San José del Guaviare y El Trueno





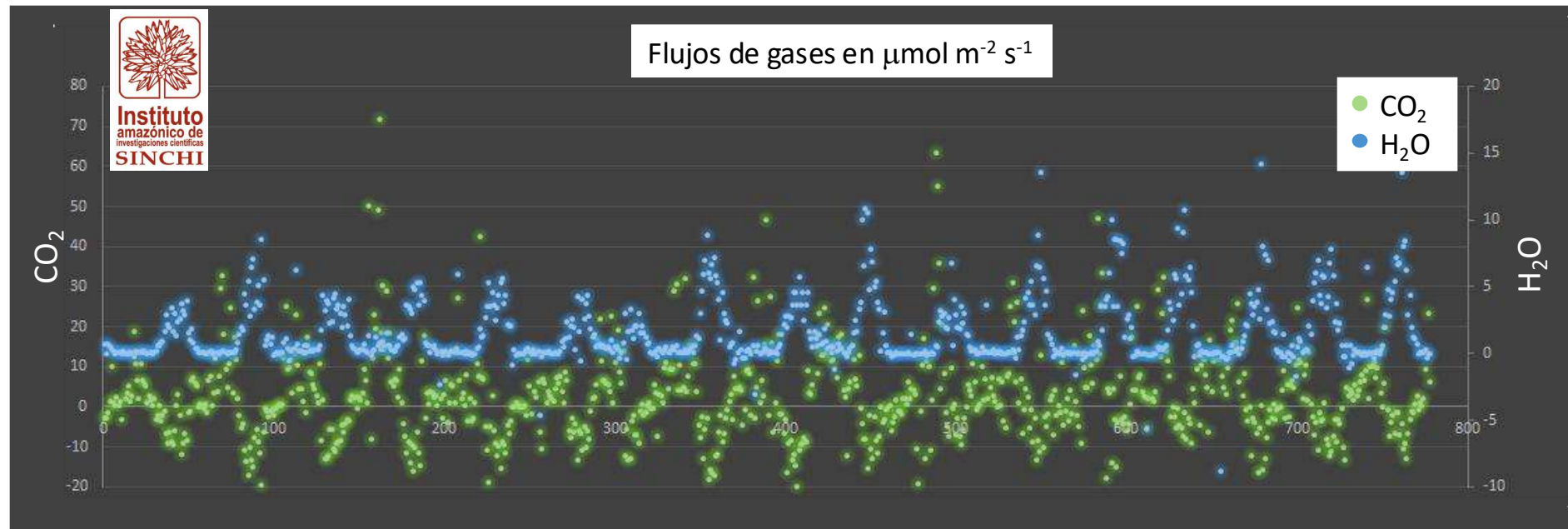
¡Gracias por su Atención!

Email: luis.ladino@atmosfera.unam.mx

Tel: +52 (55) 5622 4800 ext. 81981

www.luis-ladino.com

El Amazonas es de vital importancia porque **la gente de todo el mundo**, así como a nivel local, **depende de la selva tropical**. No sólo para alimentos, agua, madera y medicinas, sino también para ayudar a **estabilizar el clima**: en la selva amazónica se almacenan entre 150 y 200 mil millones de toneladas de carbono. Los árboles del Amazonas también **liberan 20 mil millones de toneladas de agua** a la atmósfera por día, desempeñando un **papel fundamental en los ciclos globales** y regionales del carbono y el agua (WWF, 2024).



Fuente: Camilo Alvarado, SINCHI (2024)



The Amazon Tall Tower Observatory (ATTO)

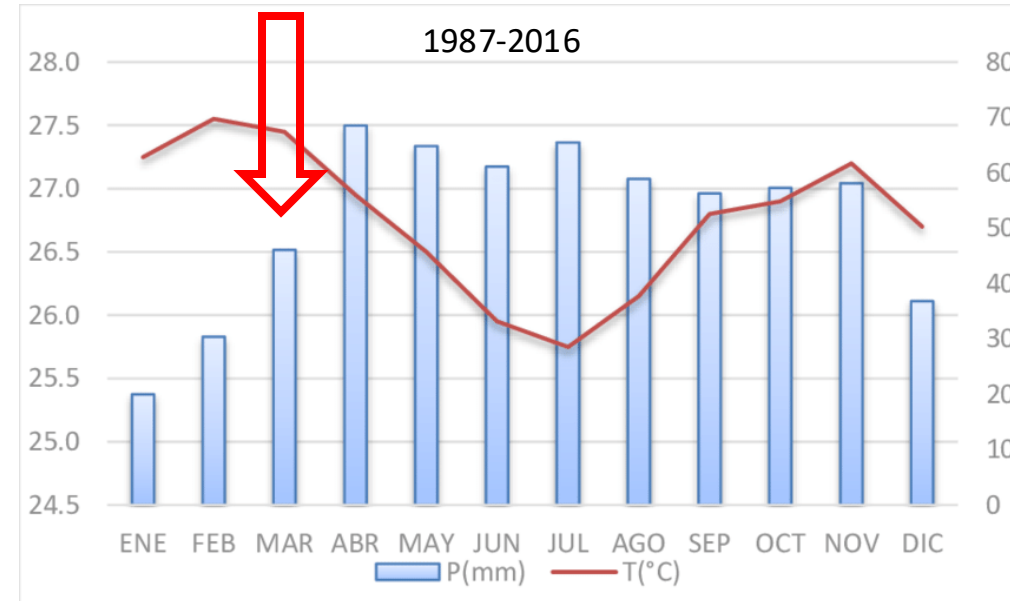
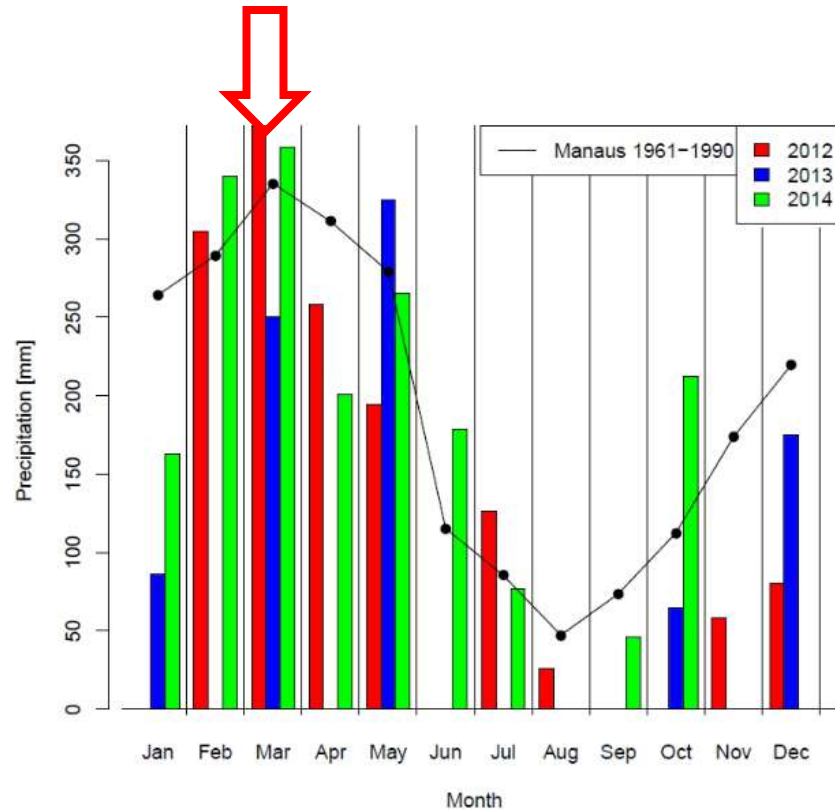


**Proyecto
germano-
brasileño.**

**Inició
operaciones
en 2008**



Amazonas Central Vs. Noroeste

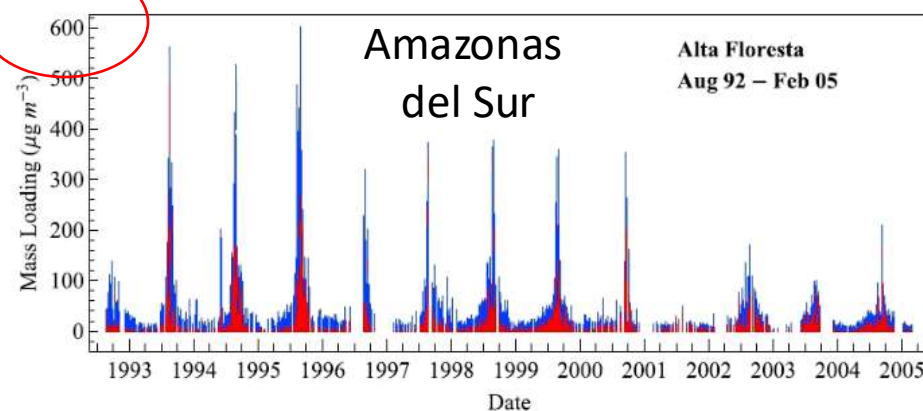
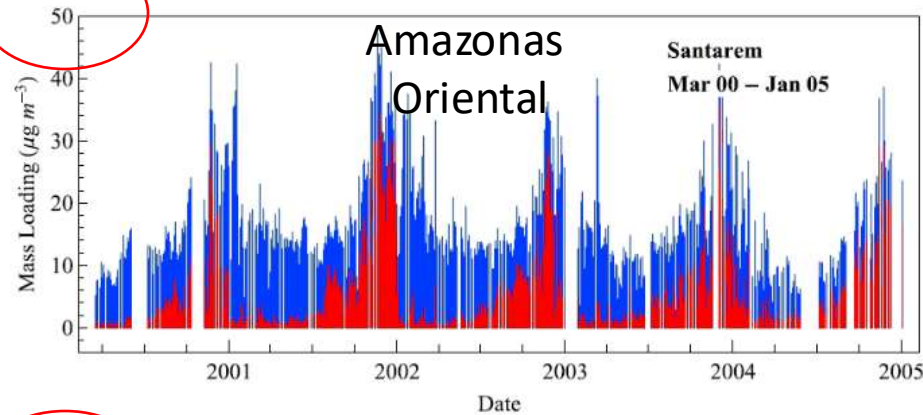
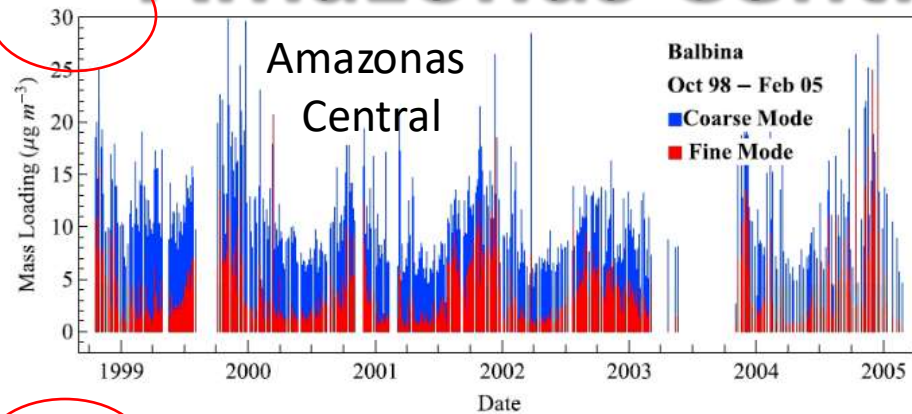


Existen diferencias en los periodos secos y húmedos entre el centro y el noroeste del Amazonas.

Centro: Noviembre-Mayo

Noroeste: Abril-Noviembre

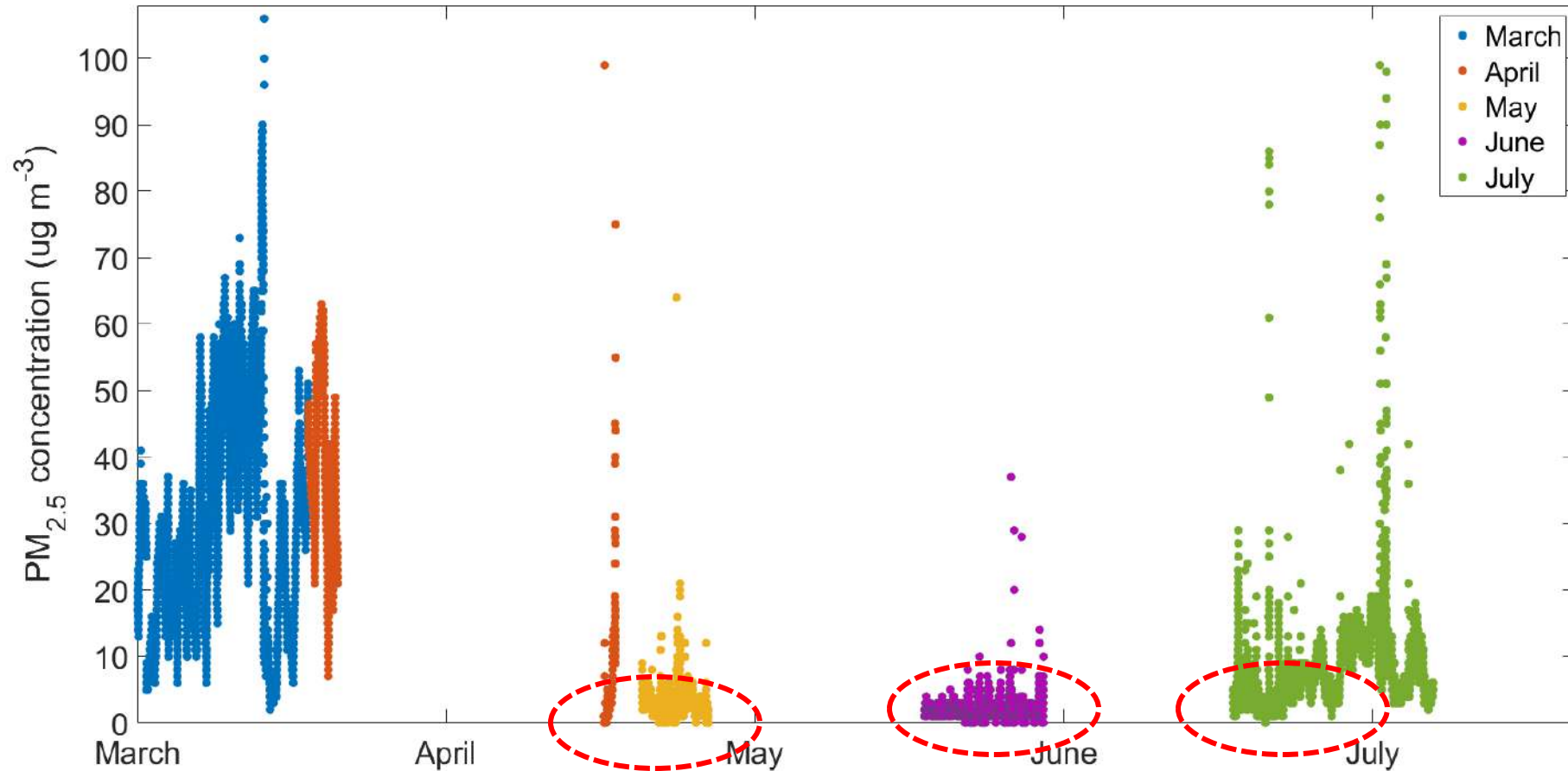
Amazonas Central / Sur / Oriente



Los niveles de contaminación del aire (partículas) en el centro y oriente del Amazonas son muy bajos comparados con el Sur del Amazonas.

¿Y el Norte?

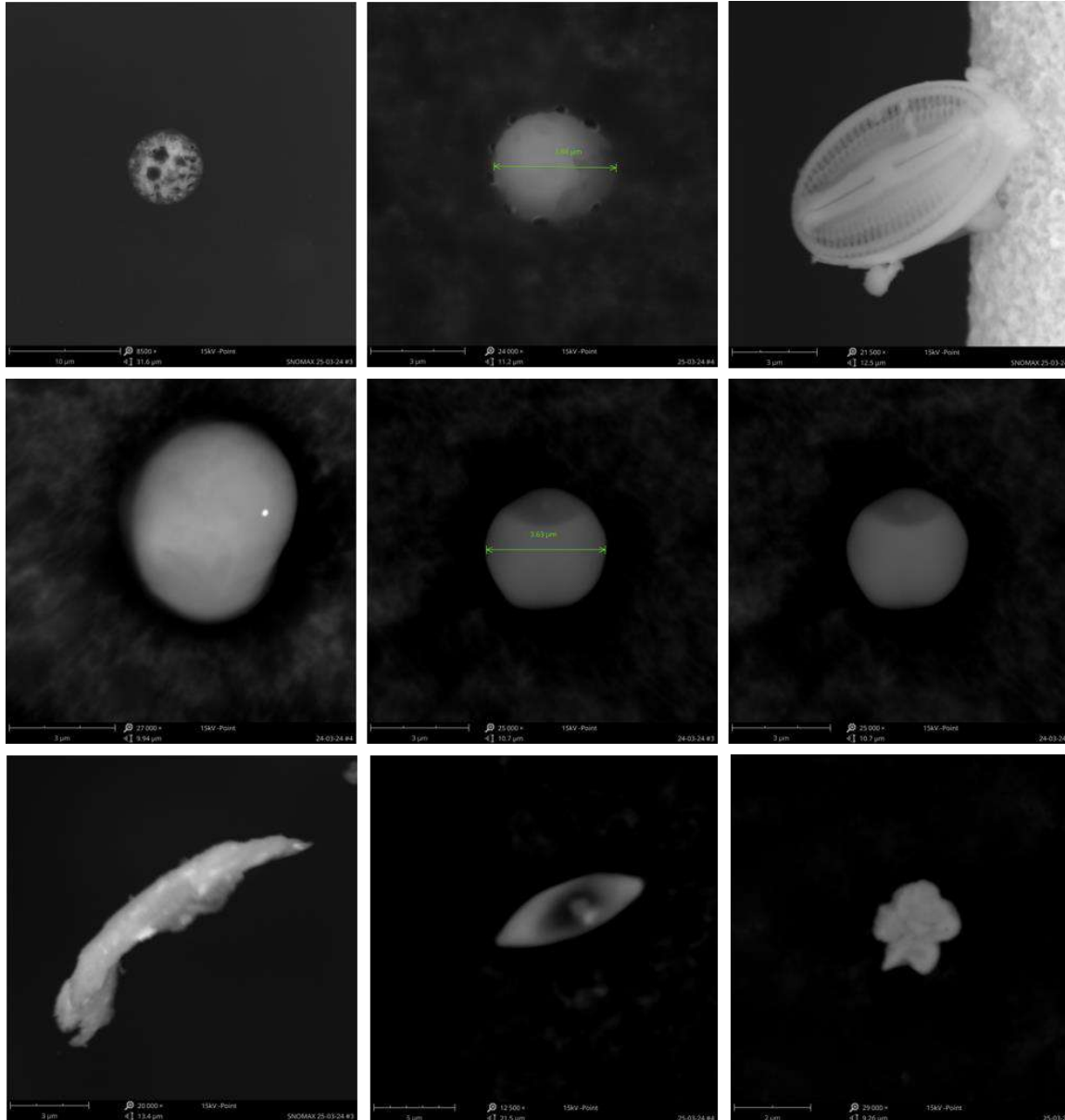
Resultados: Calidad del aire



Los altos niveles de contaminación no se observaron en los meses posteriores (concentraciones tan bajas como $1 \mu\text{g m}^{-3}$)

Resultados:

Microscopía electrónica de barrido (SEM)



Element Number	Element Symbol	Element Name	Weight Concentration	Error
6	C	Carbon	72.8	0.0
8	O	Oxygen	15.2	0.2
29	Cu	Copper	11.9	0.4

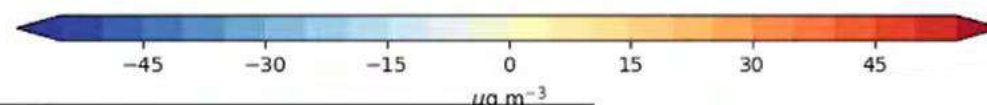
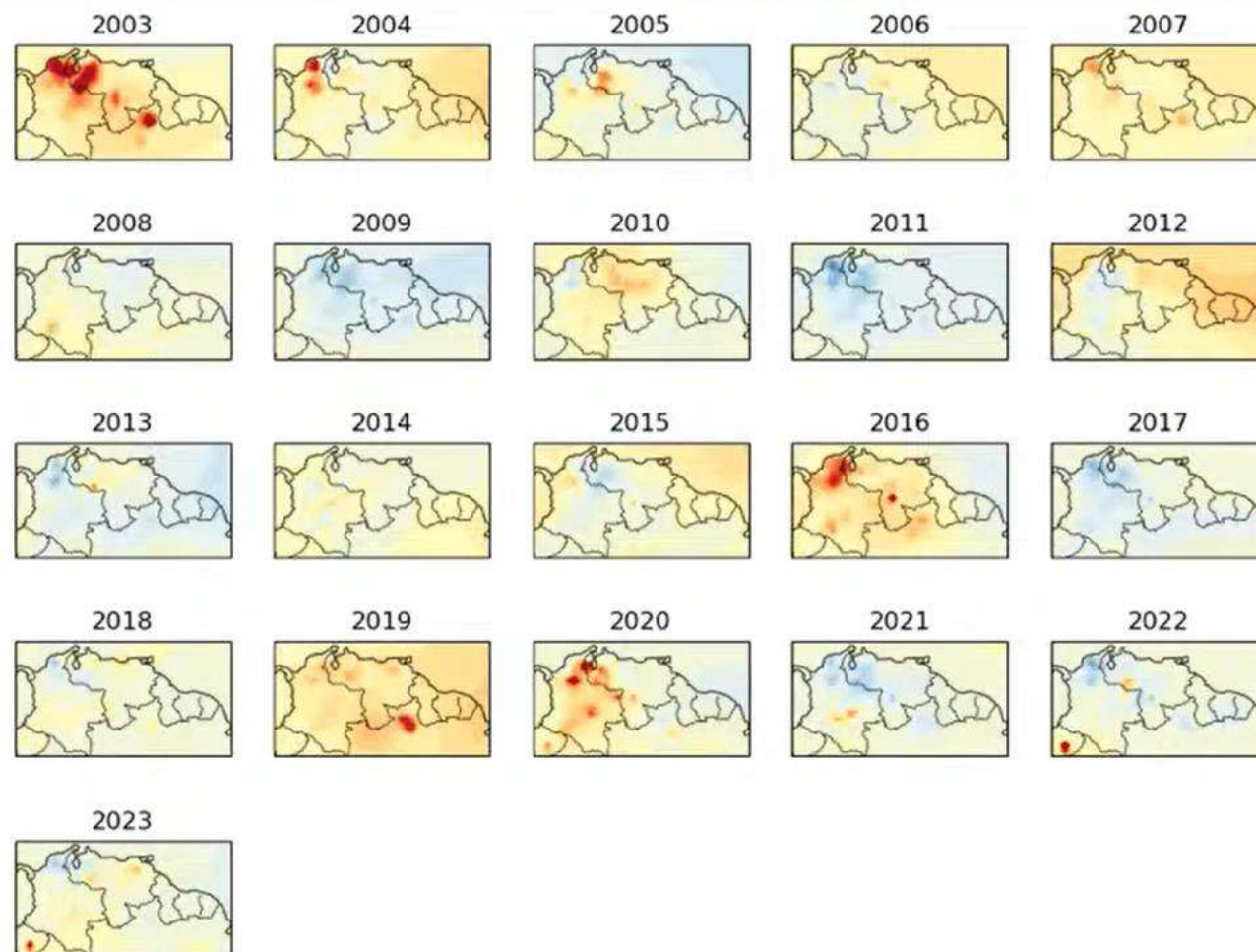
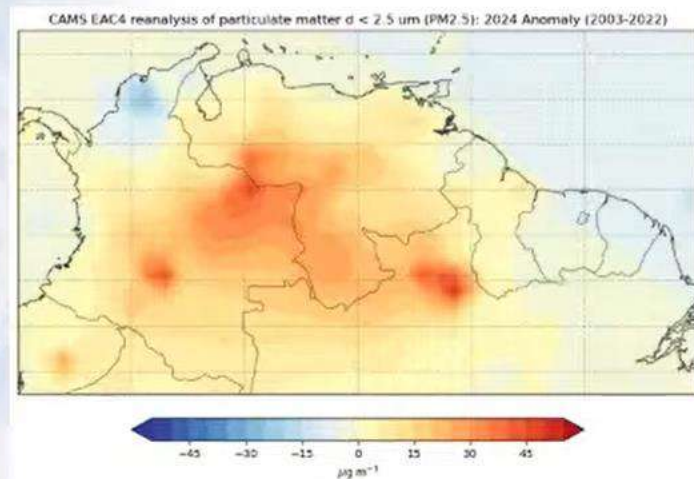
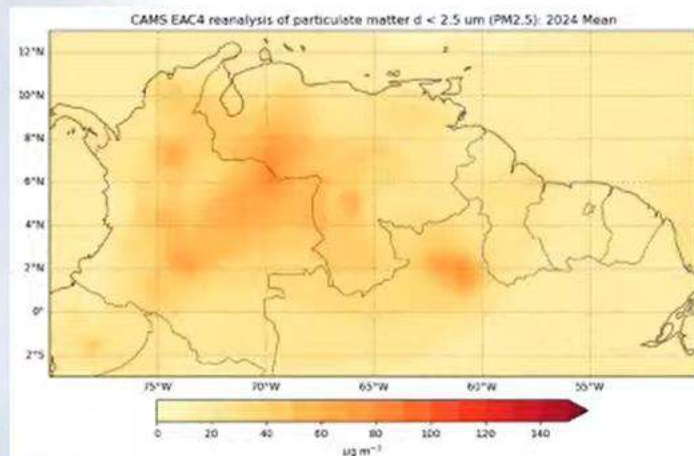
La mayoría de las partículas analizadas por SEM muestran ser orgánicas, incluyendo partículas biológicas.

Se analizaron 1461 partículas con una esfericidad promedio de 0.76



Atmosphere
Monitoring

Monthly mean PM_{2.5}: Marzo



Reanalysis

Using a combination of observations and computer models to recreate historical climate conditions.

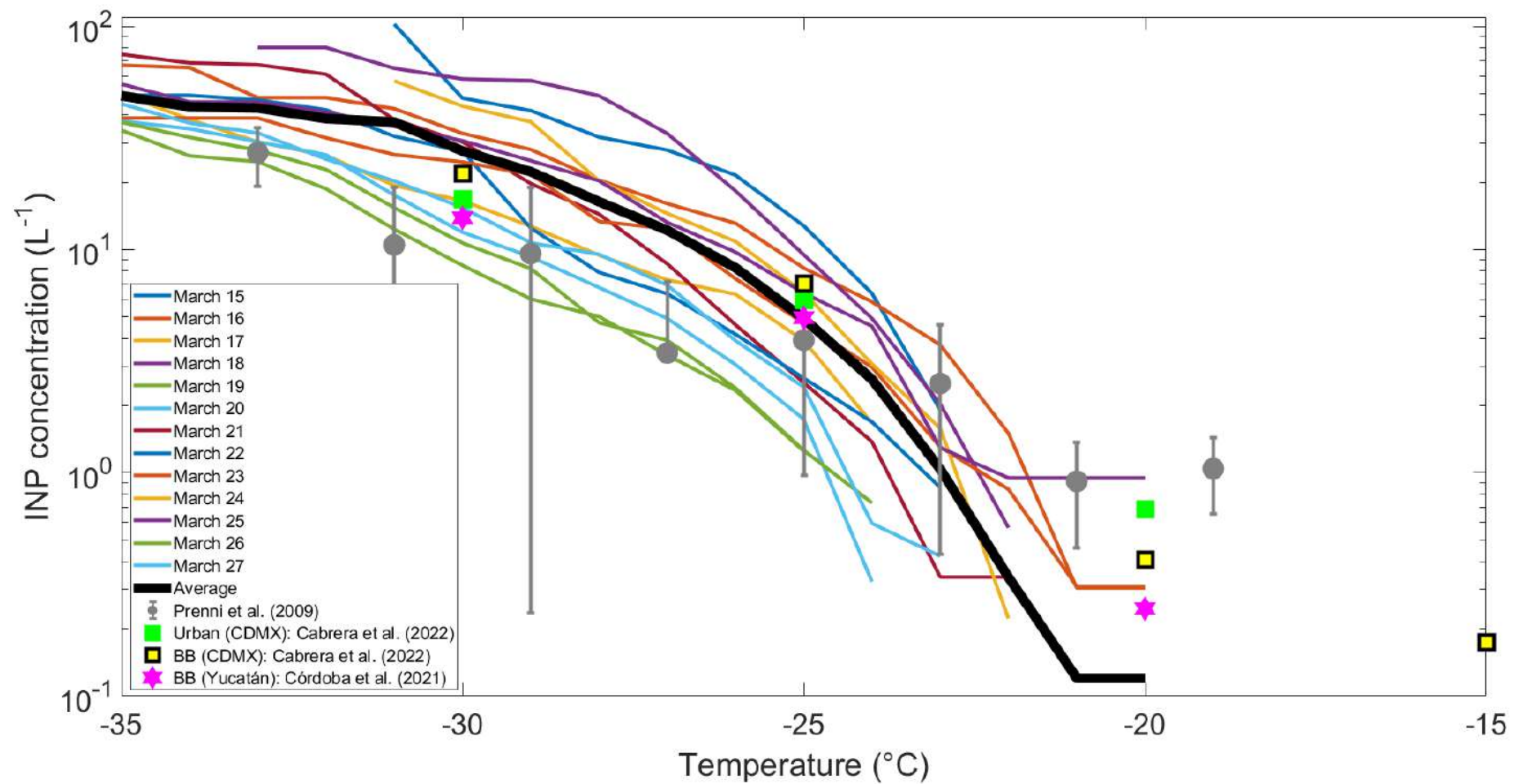
Inness et al. 2019, <https://doi.org/10.5194/acp-19-3515-2019>

Estes de febrero y el prosimo es para maso. So exactamente el mismo pero

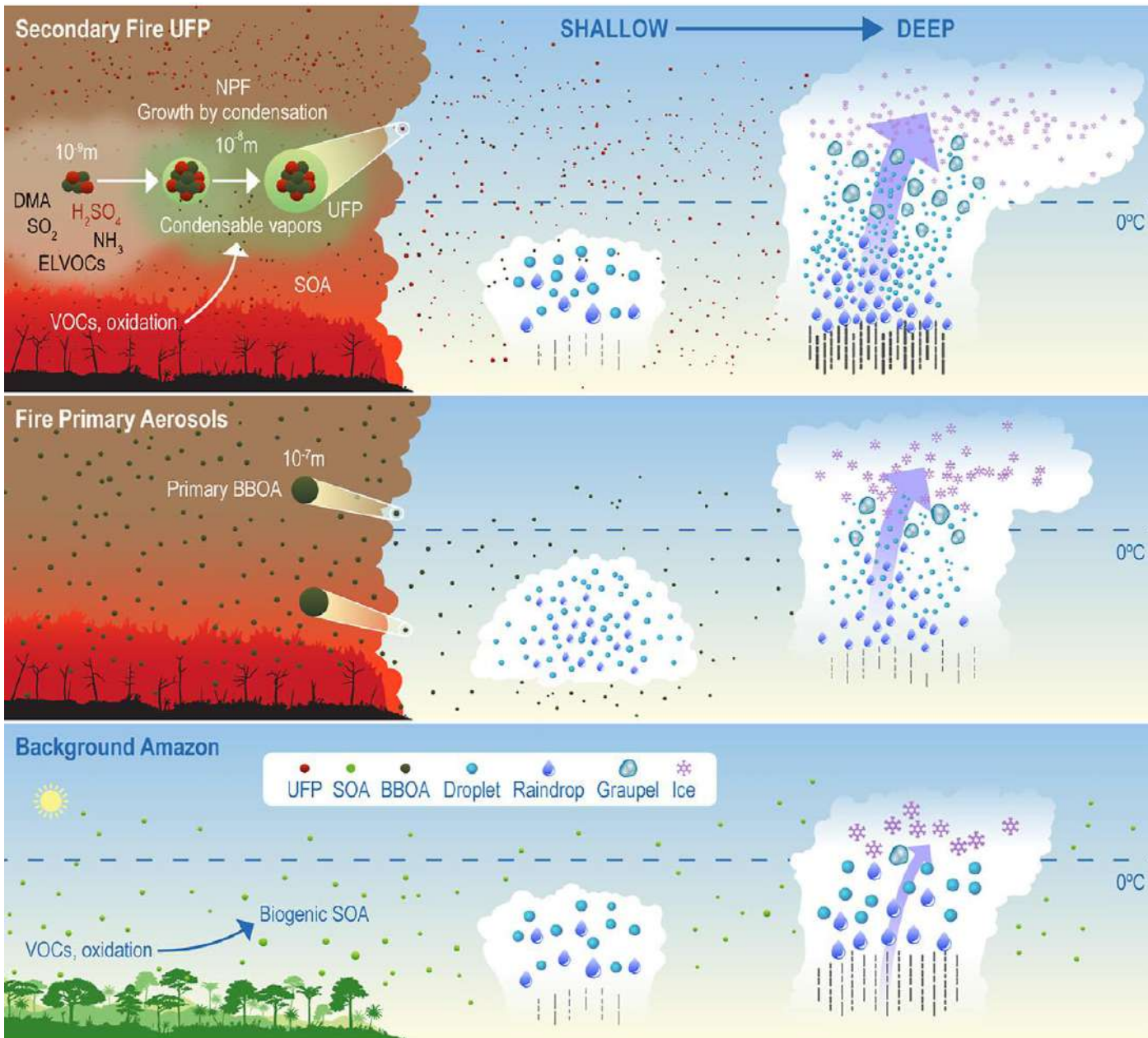


PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION





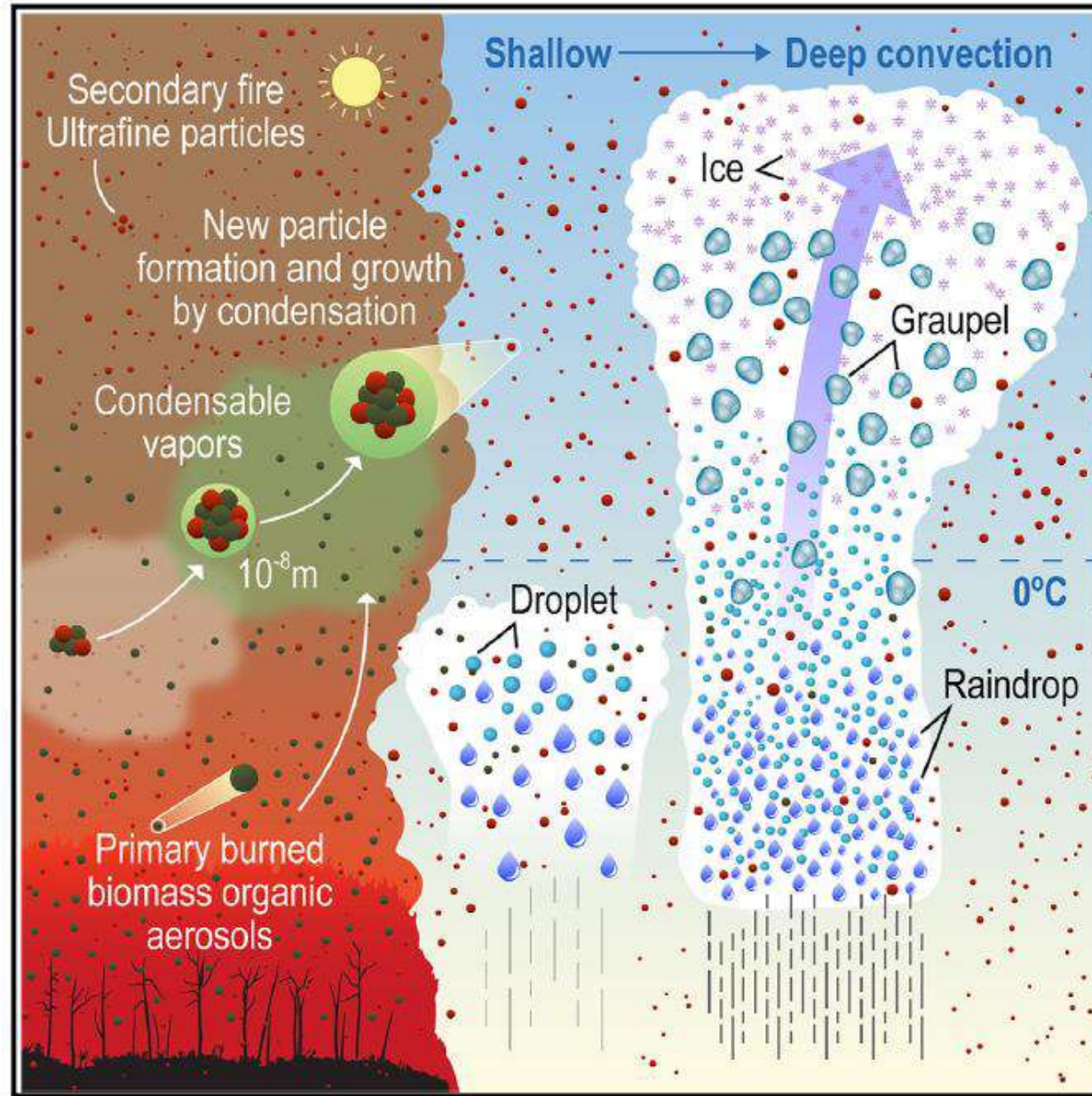
BB vs. Formación de nubes



Las partículas ultrafinas (UFP) pueden causar una tormenta más fuerte con un yunque más grande y lluvia más intensa, mientras que las partículas más grandes emitidas directamente por los incendios retrasan y suprimen la lluvia.

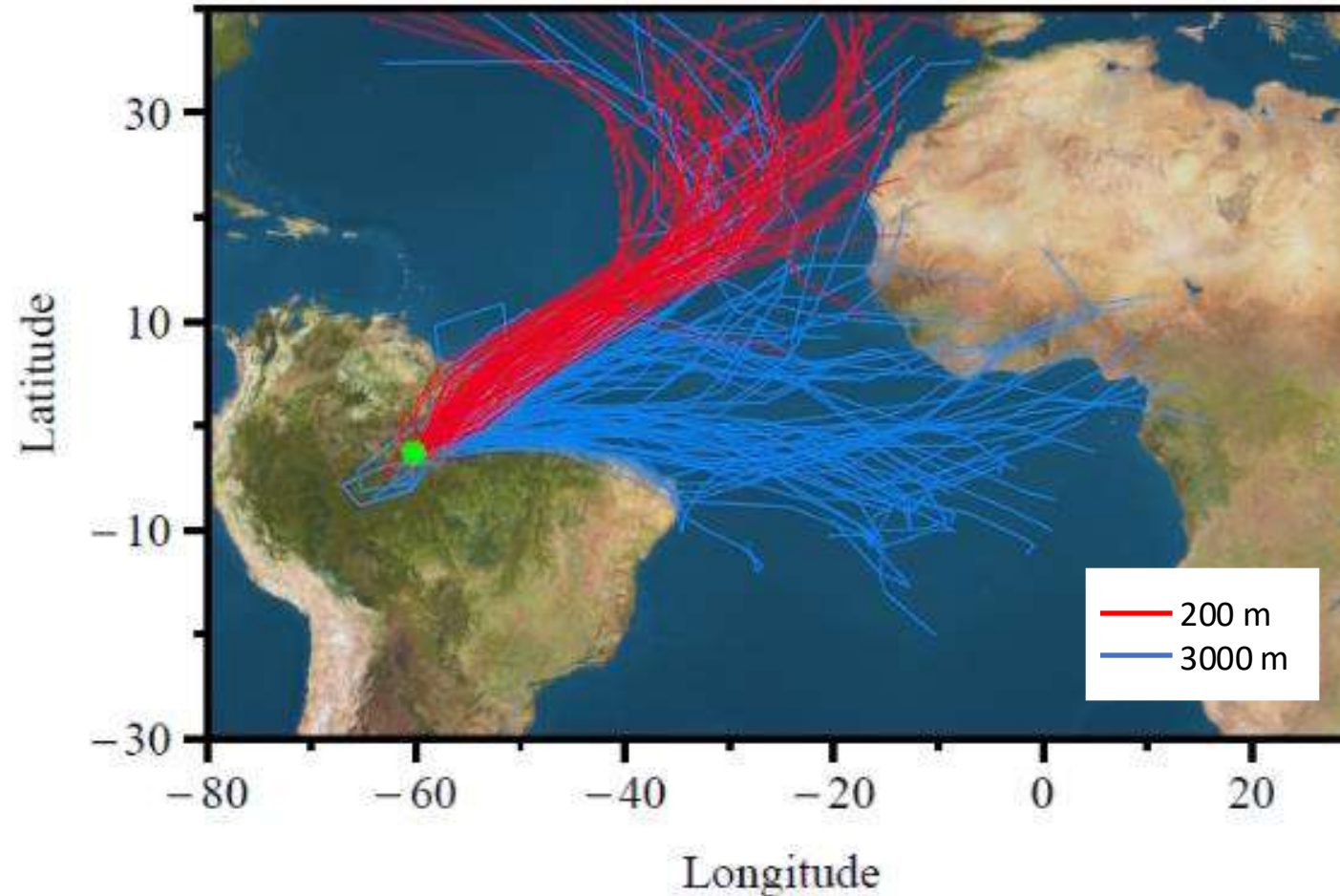
BB vs. Nubes vs. Precipitación

Las emisiones de la quema de biomasa juegan un papel determinante en la interacción aerosol-nubes en ambientes prístinos, como el Amazonas.



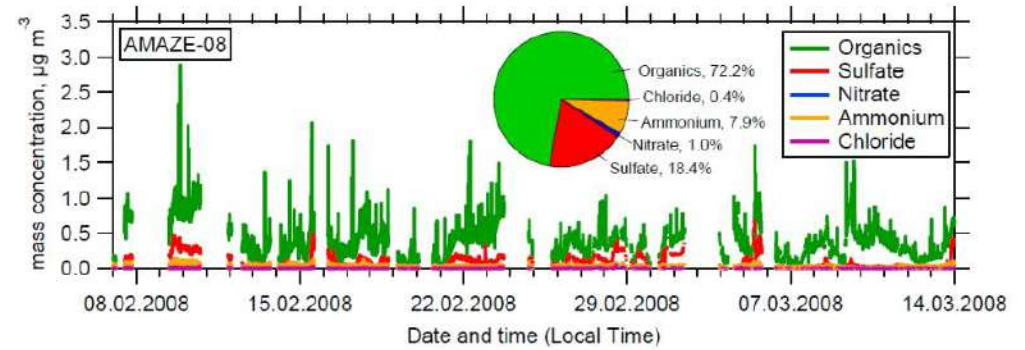
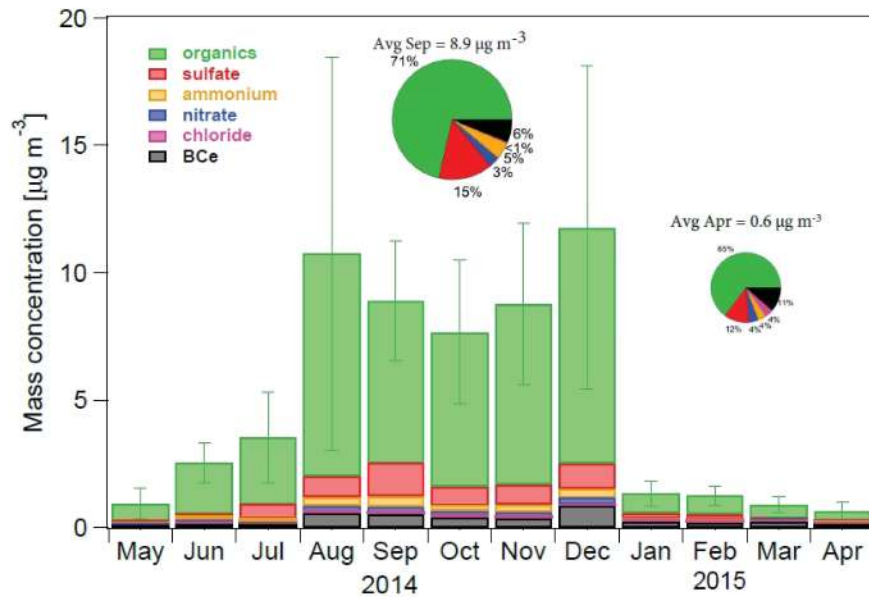
Importancia de la meteorología

10-day HYSPLIT back-trajectories



La altura a la que se encuentre un contaminante determinará si será transportado grandes distancias o no.

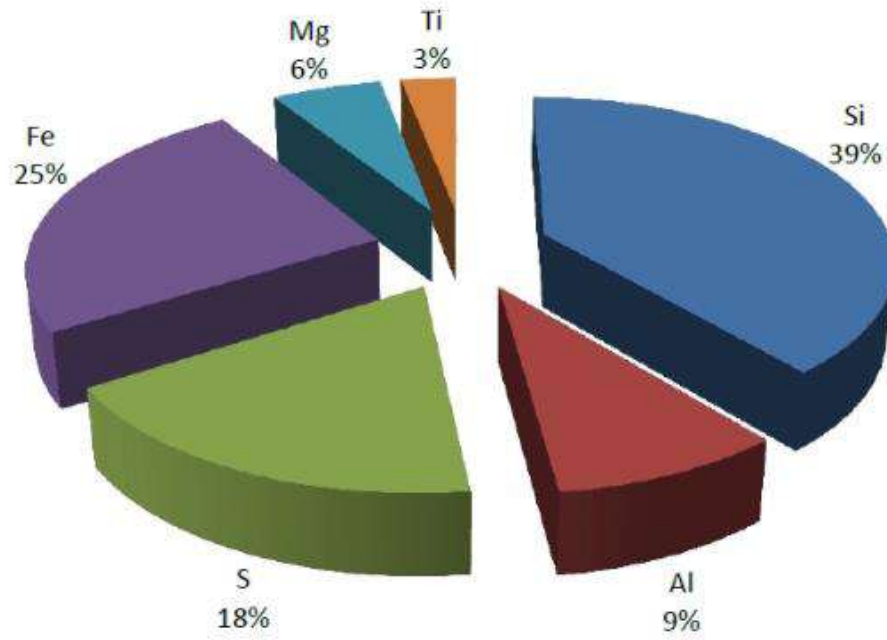
Resultados



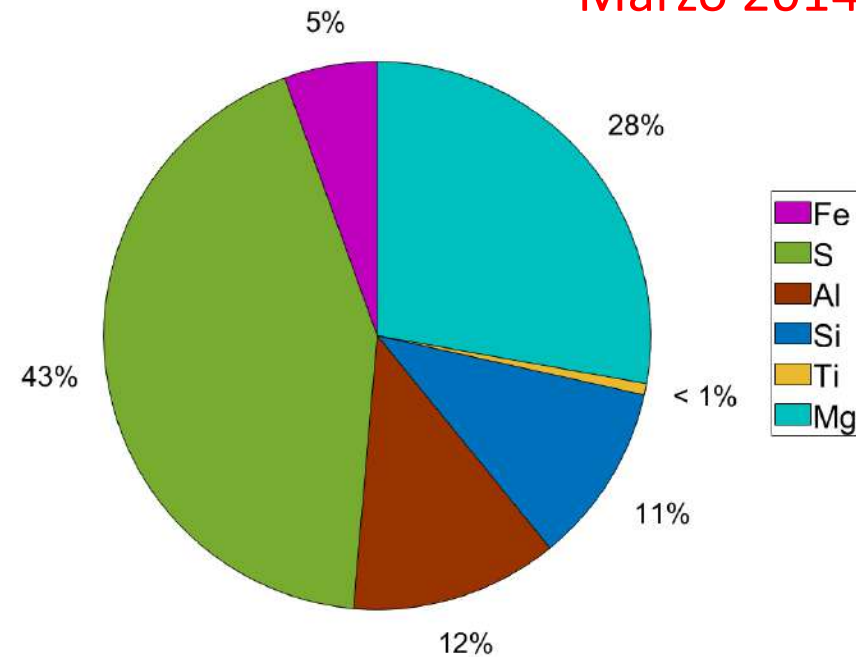
Los compuestos orgánicos definitivamente son muy importantes tanto en el Amazonas Central como en el Noroeste (casi el 75%).

Centro Vs. Noroeste

Marzo-Abril 2012

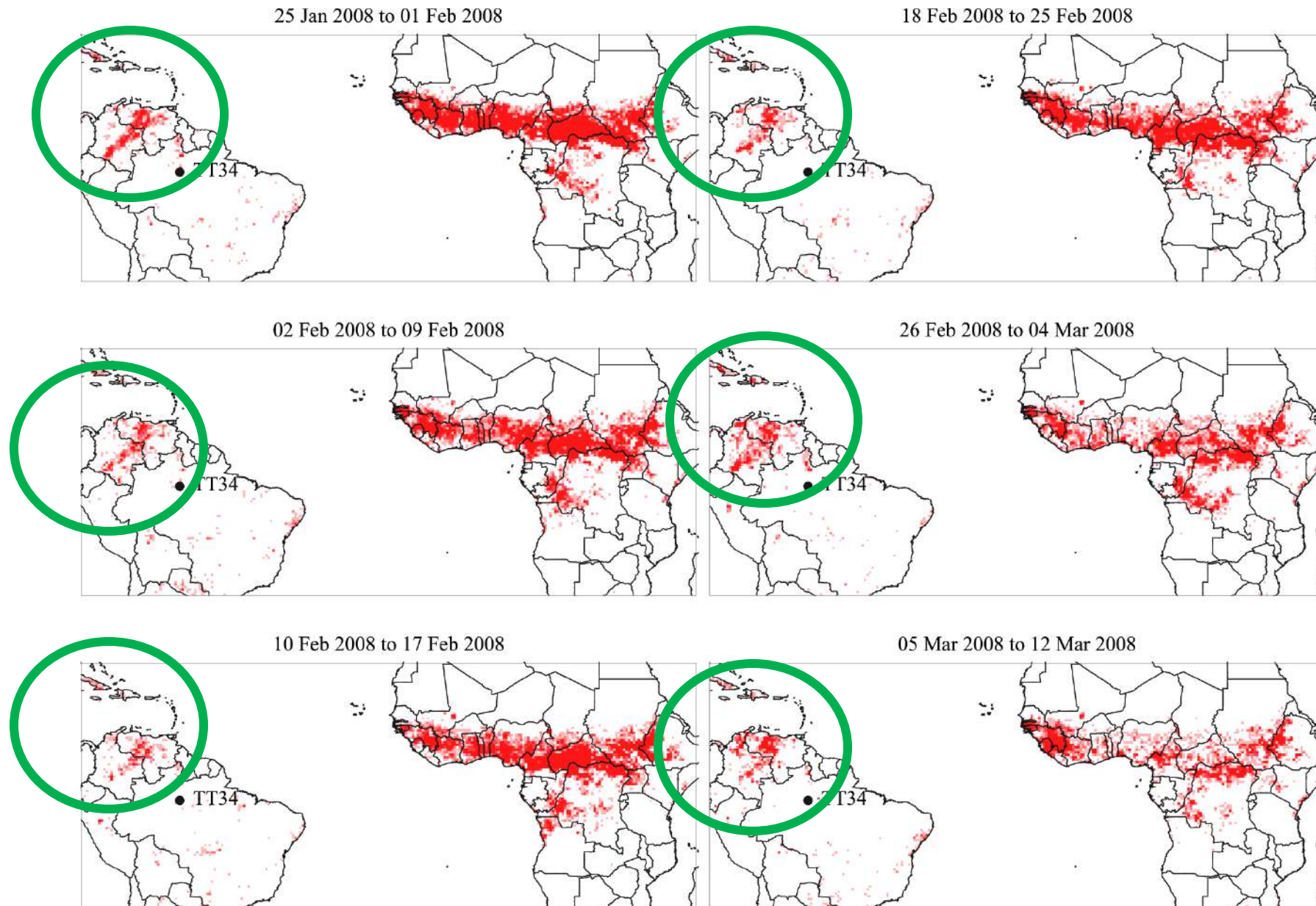


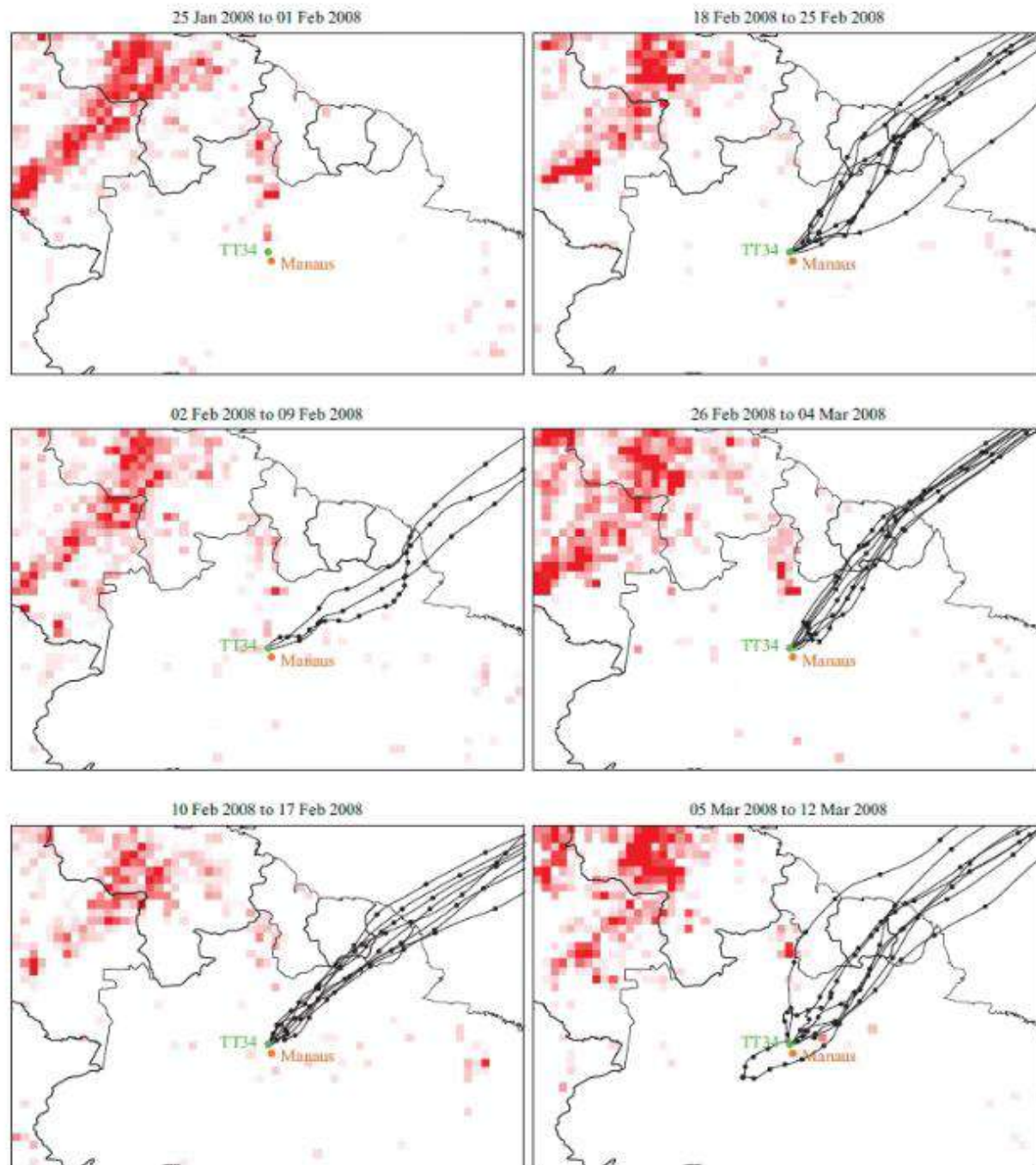
Marzo 2014



En el Centro la mayor fracción corresponder a los trazadores de Polvo Mineral; sin embargo, para este no es el caso para el Noroeste.

Fuente de contaminación

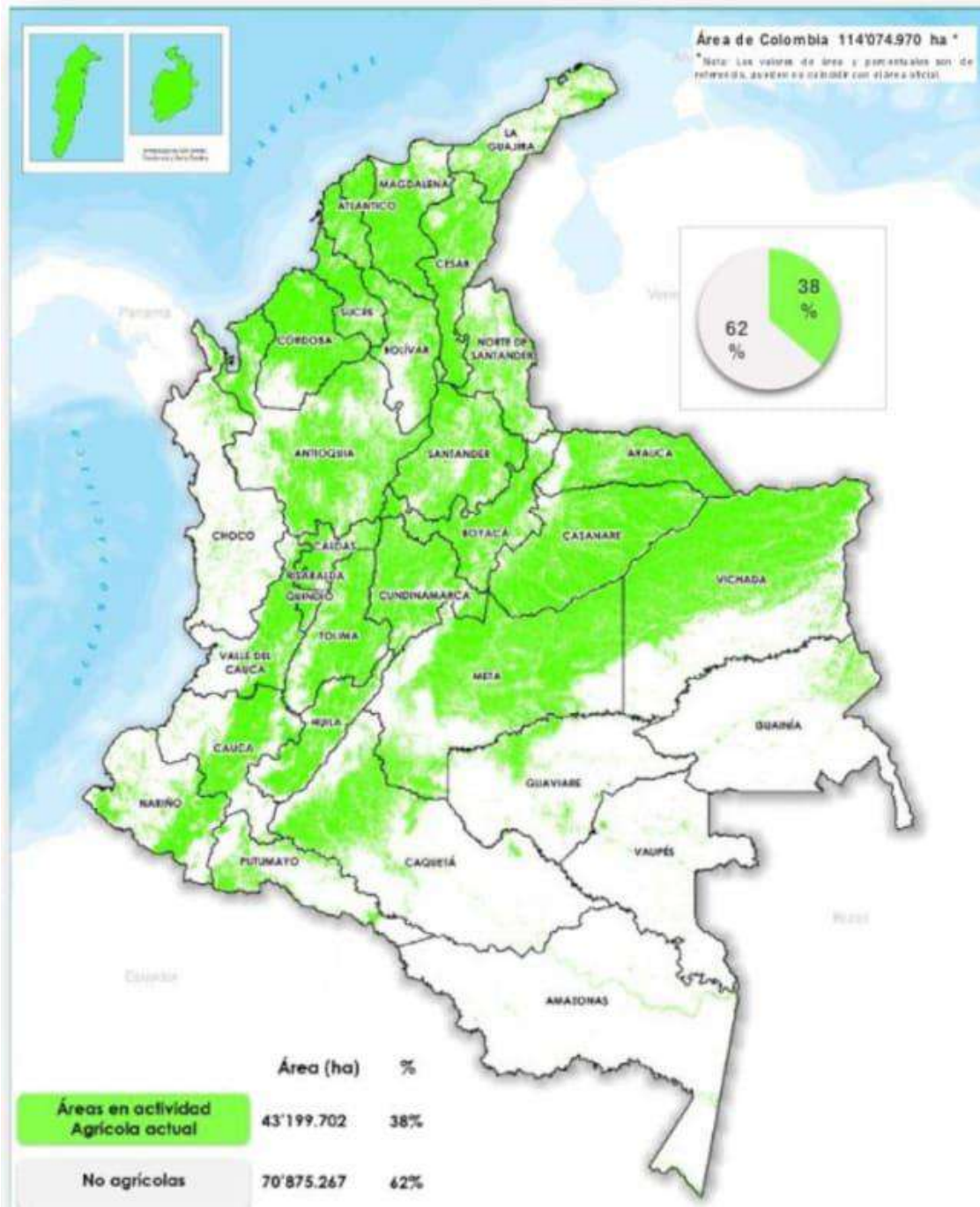




Fecha	Etapas del MOUDI	# de partículas analizadas	Circularidad promedio
23.03	3	47	0.804
	4	72	0.847
	5	670	0.593
24.03	3	44	0.710
	4	58	0.845
	5	171	0.798
25.03	3	86	0.81
	4	96	0.787
	5	79	0.669
26.03	4	138	0.738

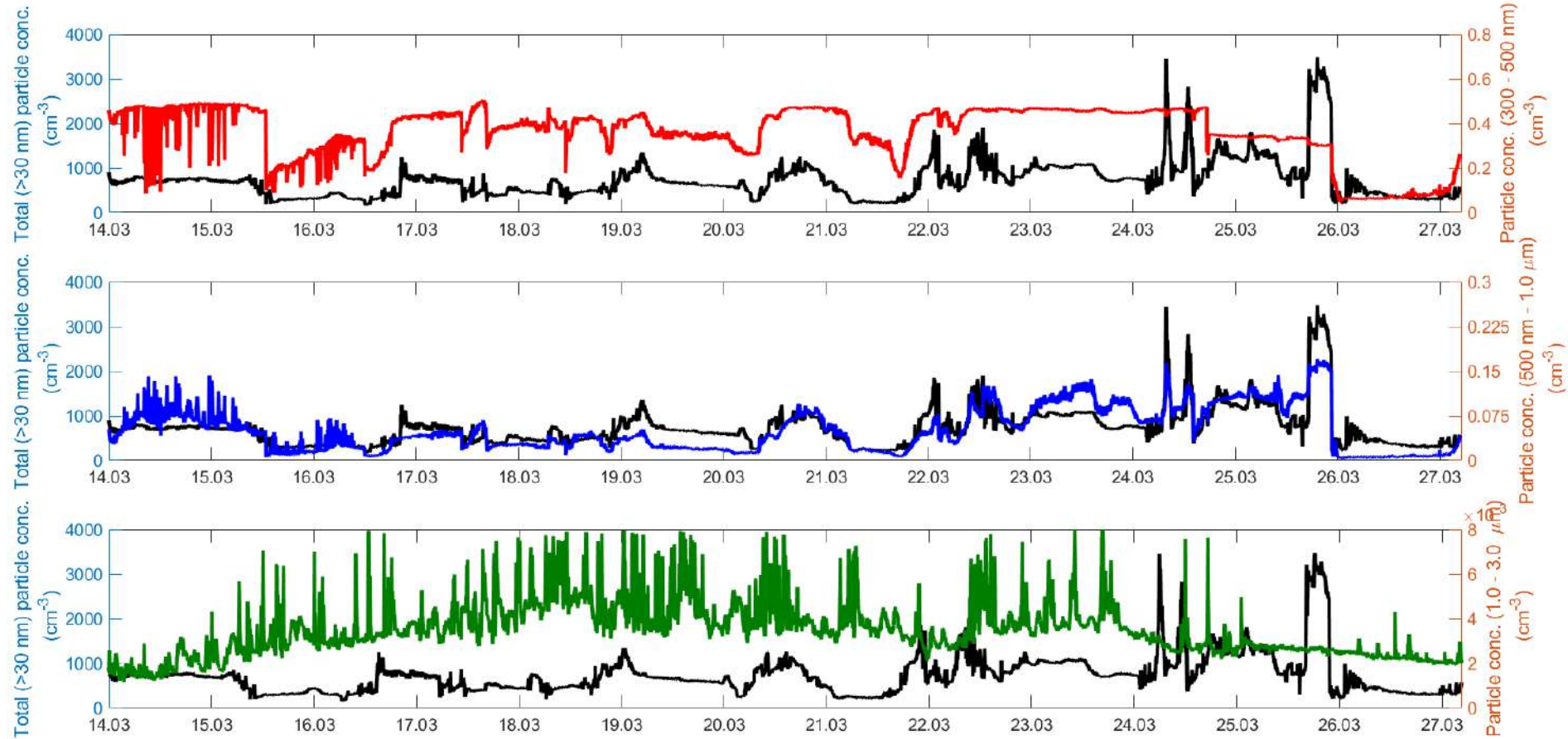
Fecha	Etapas del MOUDI	Rango de partículas	# de partículas analizadas	Circularidad promedio
23.03	3	3.2 – 5.6	47	0.804
	4	1.8 – 3.2	72	0.847
	5	1.0 – 1.8	670	0.593
24.03	3	3.2 – 5.6	44	0.710
	4	1.8 – 3.2	58	0.845
	5	1.0 – 1.8	171	0.798
25.03	3	3.2 – 5.6	86	0.81
	4	1.8 – 3.2	96	0.787
	5	1.0 – 1.8	79	0.669
26.03	4	1.8 – 3.2	138	0.738

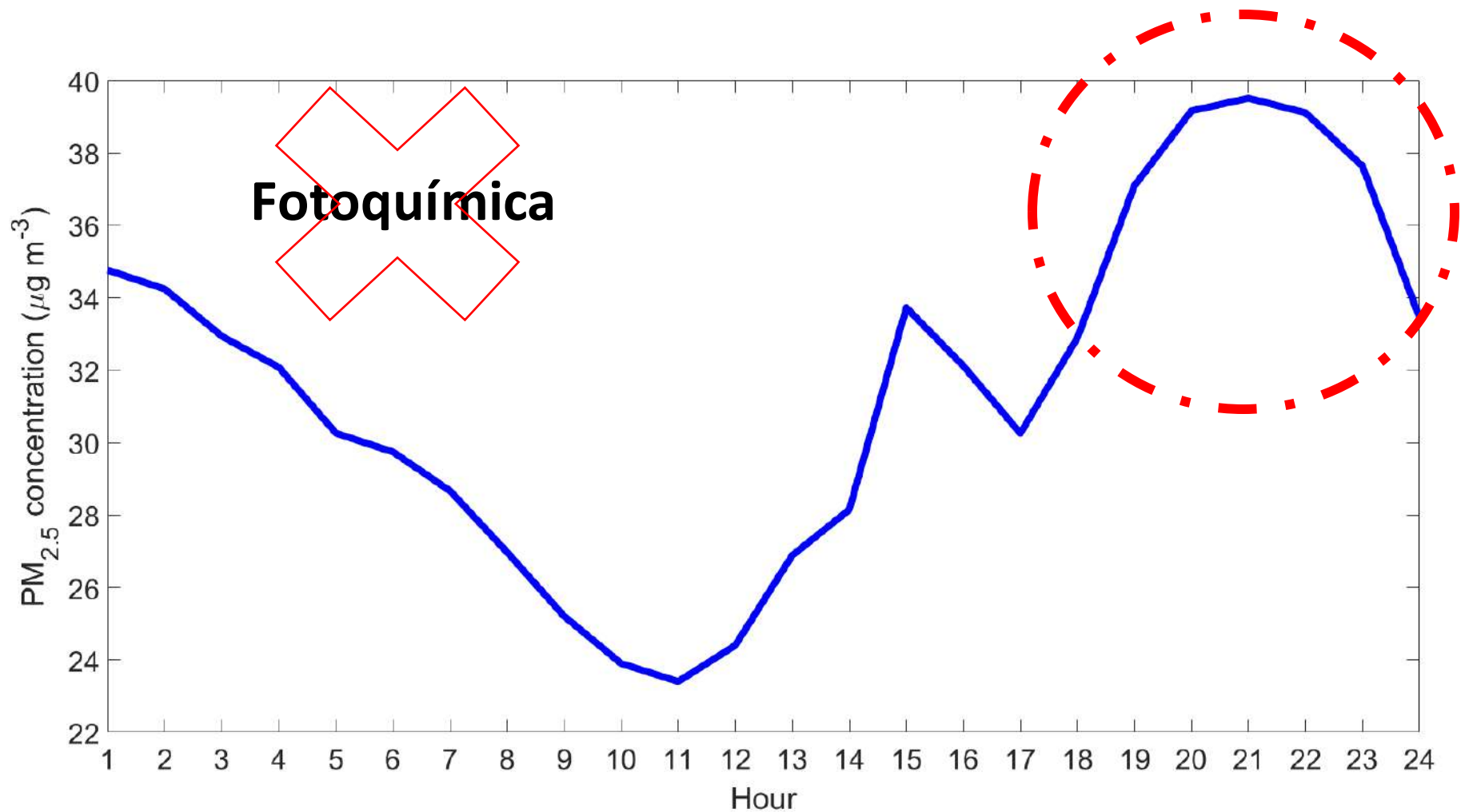
Mapa 1. Áreas en actividad agropecuaria



https://caracol.com.co/radio/2018/06/22/nacional/1529618547_873138.html

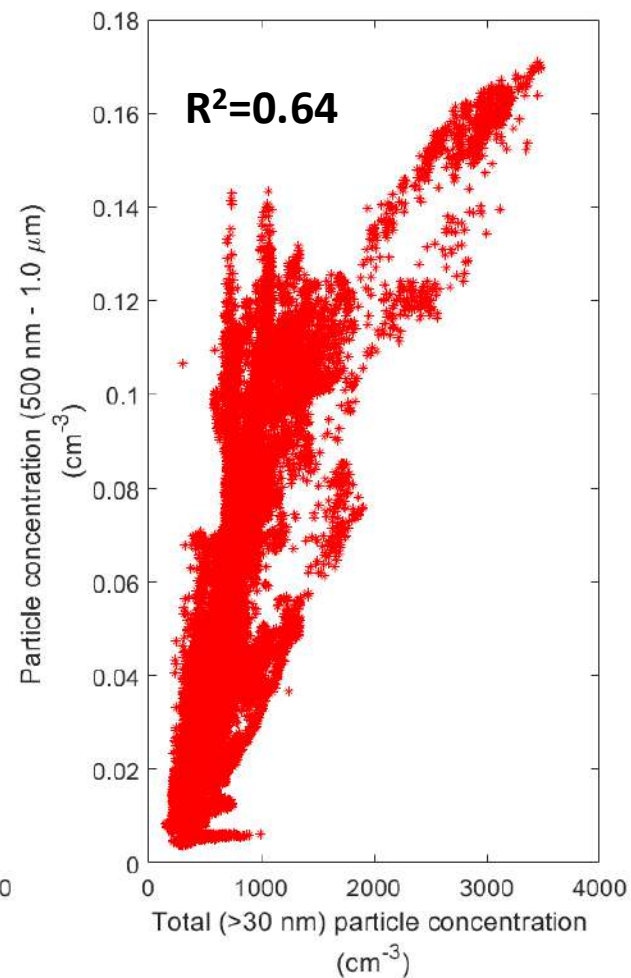
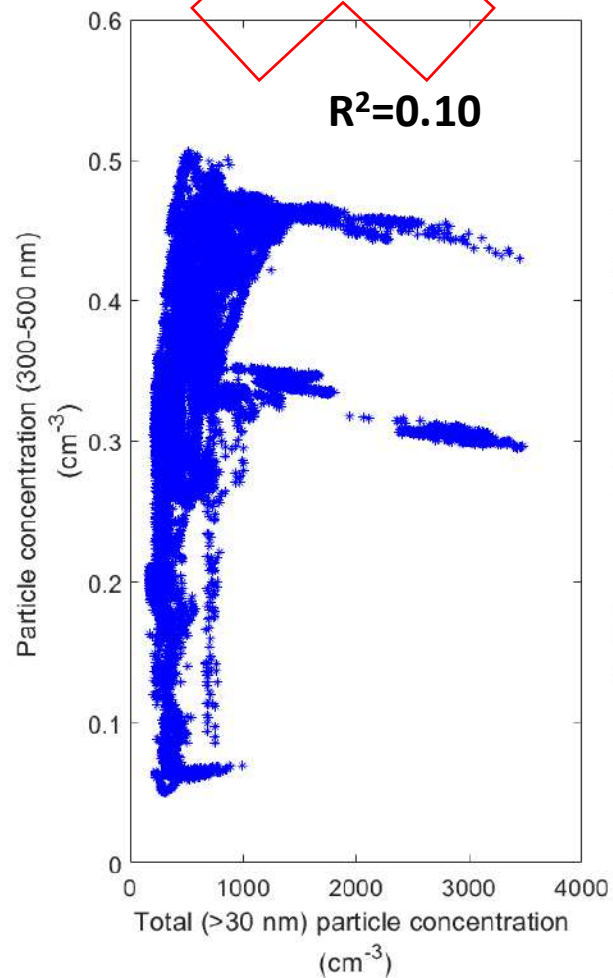
Tamaño de partícula vs. fuente



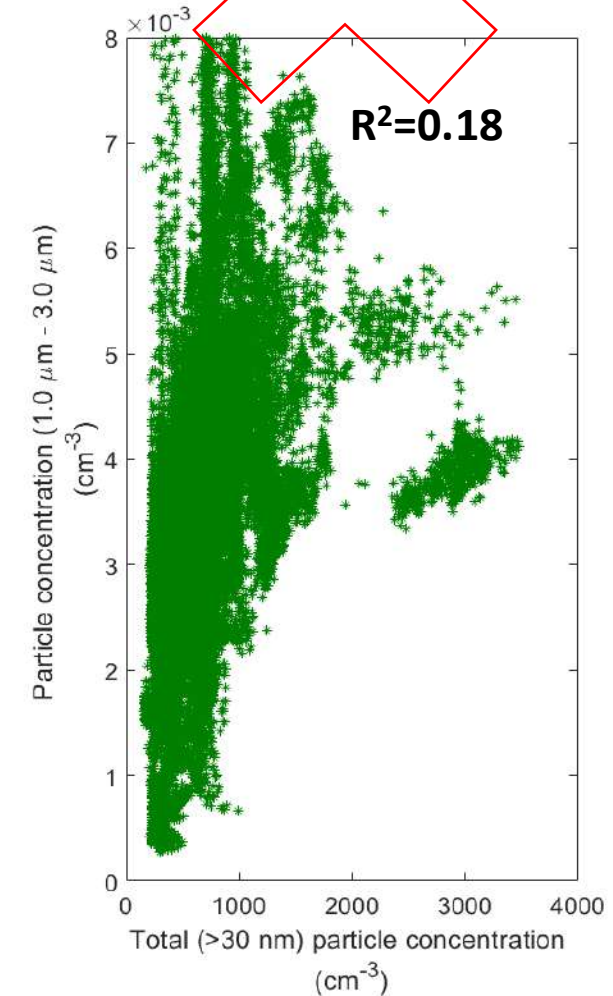


El perfil diario promedio de $PM_{2.5}$ indica que la mayor concentración de partículas se observa en horas de la noche

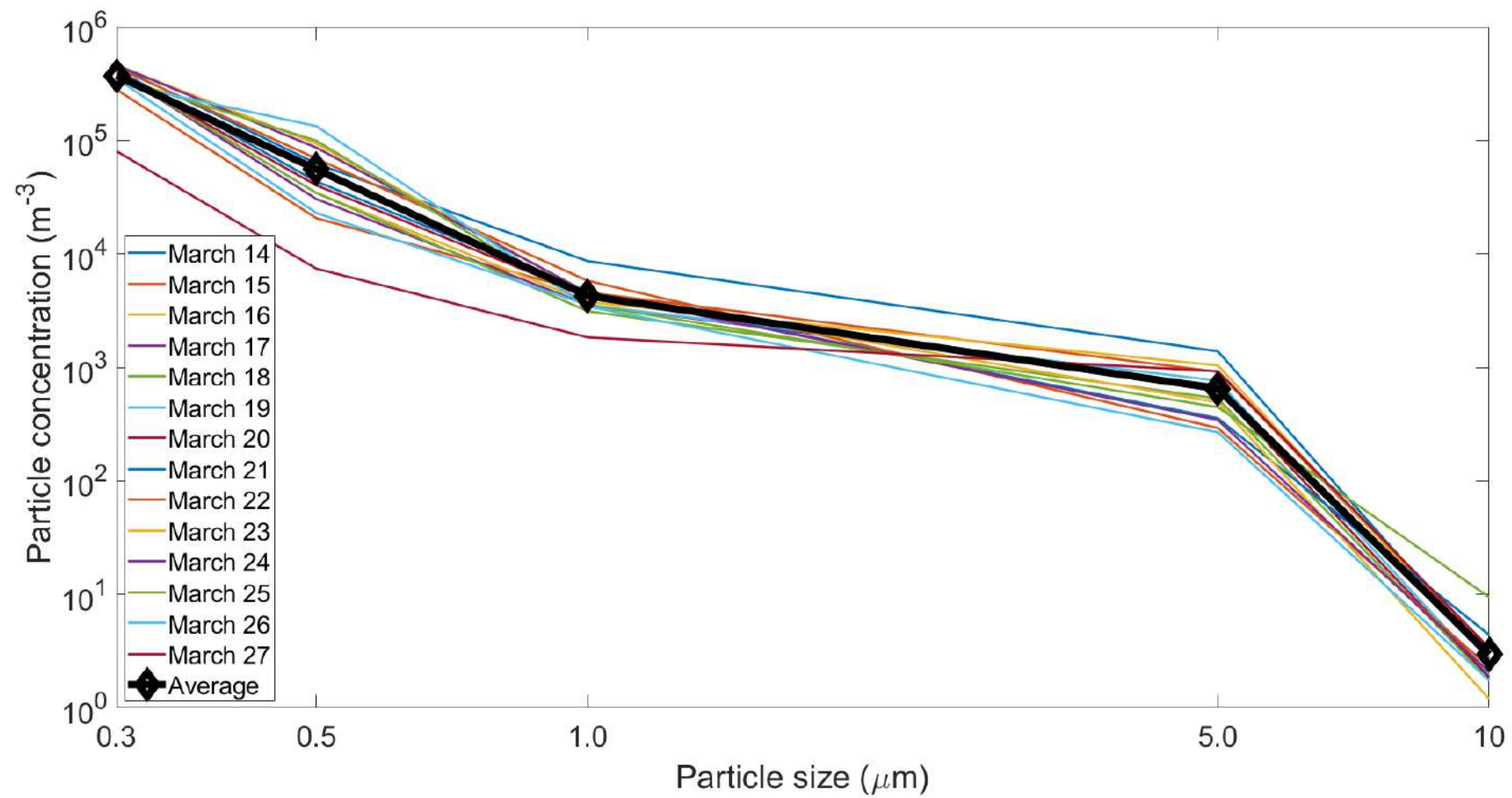
~~Gas-to-particle?~~



~~Polvo o biopartículas~~



Nuestros datos indican que las partículas que deterioran la calidad del aire tienen un tamaño entre 500 nm y 1.0 μm



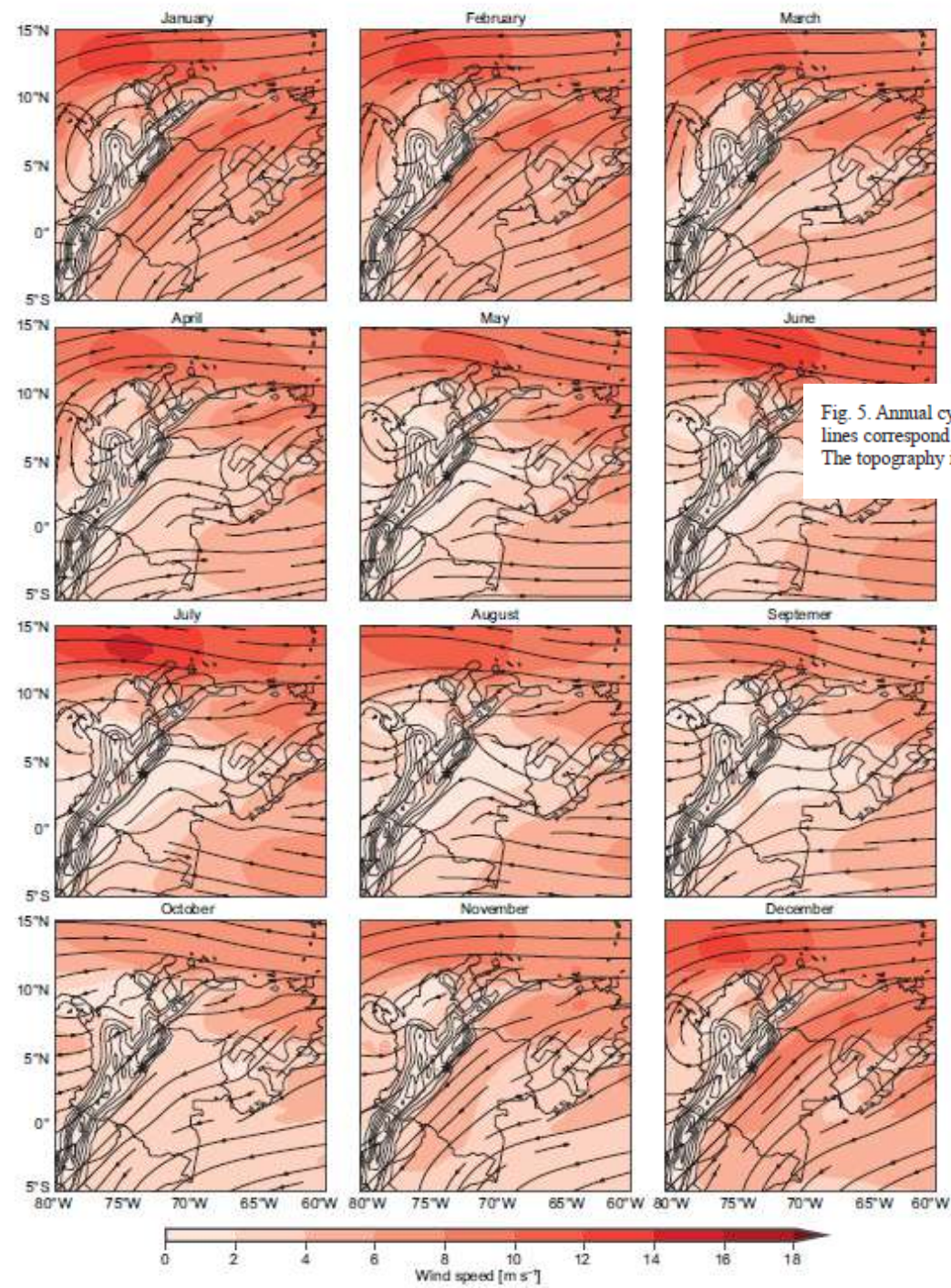


Fig. 5. Annual cycle of mean monthly winds in the layer between 950-800 hPa for the period 1980-2019. The lines correspond to streamlines pointing as the wind direction, and color contours correspond to wind speed. The topography is shown for reference as closed contours. Data from MERRA-2.

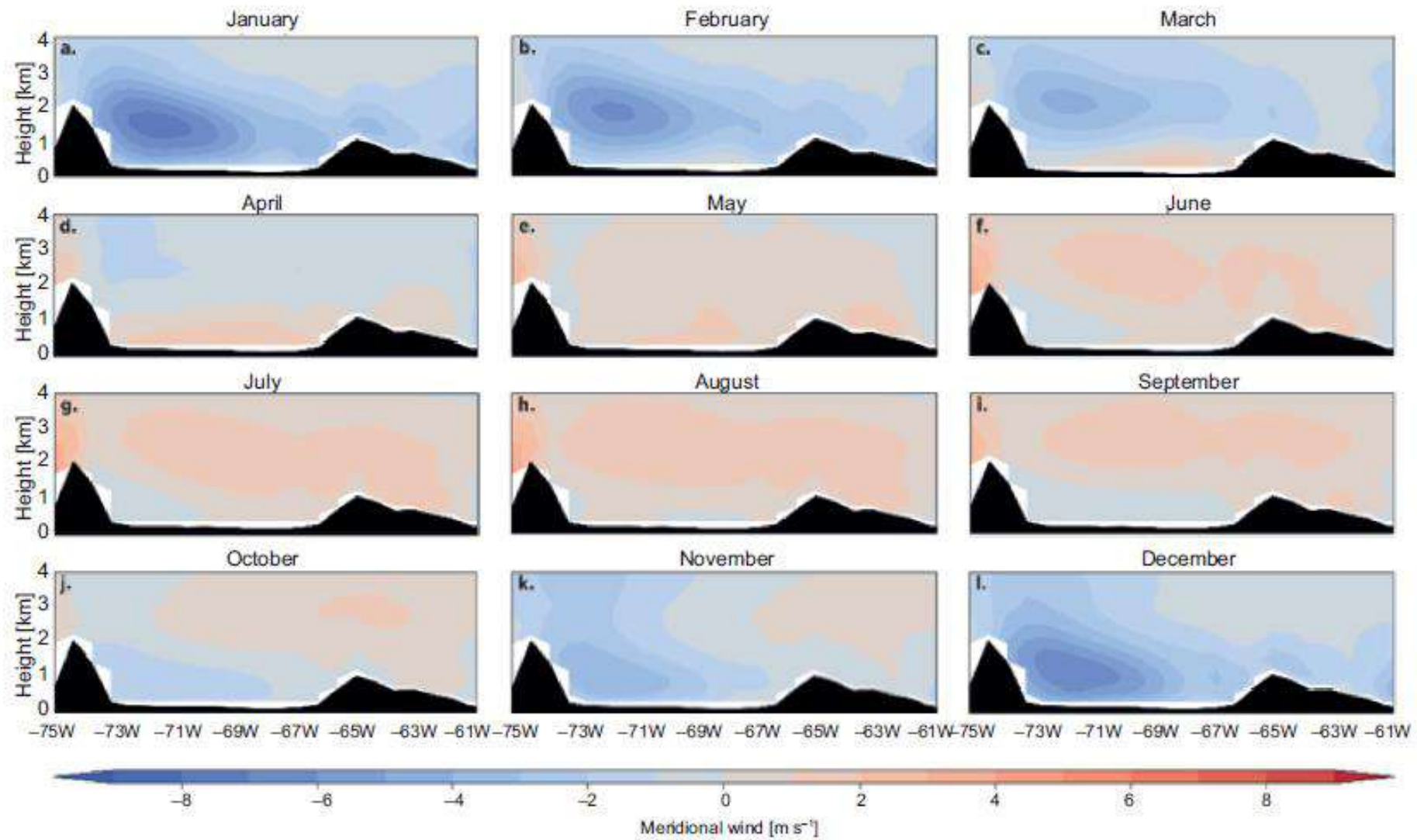


Fig. S4: Vertical Orinoco low level jet climatology.