

Caracterización óptica de los aerosoles carbonosos en Ushuaia durante 2024

Giselle Marincovich¹, Eija Asmi², Celeste Mulena^{1,3}, Francisco Quarín¹, Gonzalo Gambarte¹, Lino Condori¹, Emiliano Petrucci¹, M. de los Milagros Skansi¹
gmarincovich@smn.gob.ar

¹Servicio Meteorológico Nacional (SMN)- Argentina

²Finnish Meteorological Institute - Finland

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Palabras clave: Aerosoles atmosféricos, carbono negro equivalente, VAG-OMM

1. INTRODUCCIÓN

El carbono negro (BC) es uno de los aerosoles con mayor impacto climático y ambiental. Se genera principalmente por la combustión incompleta de biomasa y combustibles fósiles, y es el principal aerosol absorbente de radiación solar. Su presencia contribuye al forzamiento radiativo positivo y a la reducción del albedo cuando se deposita sobre superficies reflectantes como nieve o hielo (por ejemplo: Bond et al., 2013). Además, forma parte del material particulado fino (PM_{2.5}), lo que representa un riesgo significativo para la salud humana al poder penetrar profundamente en el sistema respiratorio (por ejemplo: Rohrer & Wyzga, 2012).

El presente trabajo se centra en la caracterización de los aerosoles carbonosos, en la estación Ushuaia durante el año 2024. A través de mediciones de absorción óptica y análisis complementarios con variables meteorológicas y retro trayectorias de masas de aire, se busca identificar la variabilidad estacional, posibles fuentes y condiciones representativas de fondo atmosférico.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

El estudio se realizó en la estación Ushuaia que está ubicada en la latitud 54.8°S, longitud 68.3 °O y a 11 m sobre el nivel del mar. Se encuentra a aproximadamente 5 km en línea recta de la ciudad de Ushuaia y a 200 m del aeropuerto Internacional de dicha ciudad (Figura 1, A). Es una de las 31 estaciones globales dentro del Programa de Vigilancia Global de la Atmósfera de la Organización Meteorológica Mundial (VAG-OMM) que existen en el mundo, permitiendo el estudio de diferentes componentes de la atmósfera bajo condiciones libres de actividad antropogénica directa en gran parte de su tiempo. Esto se debe primero a que se encuentra lejos del entorno urbano de la ciudad, a orillas del canal de Beagle y que recibe la mayor parte del tiempo, viento del sud-sudoeste (Figura 1, B, C).

En la estación se encuentra instalado un Aethalometer AE33. Este instrumento es un fotómetro de absorción basado en filtros. Permite determinar las concentraciones del BC simultáneamente en siete longitudes de onda que van desde el infrarrojo cercano (950 nm) al ultravioleta cercano (370 nm) a partir de medir la atenuación de la luz a través de una cinta de filtro cargado de partículas.

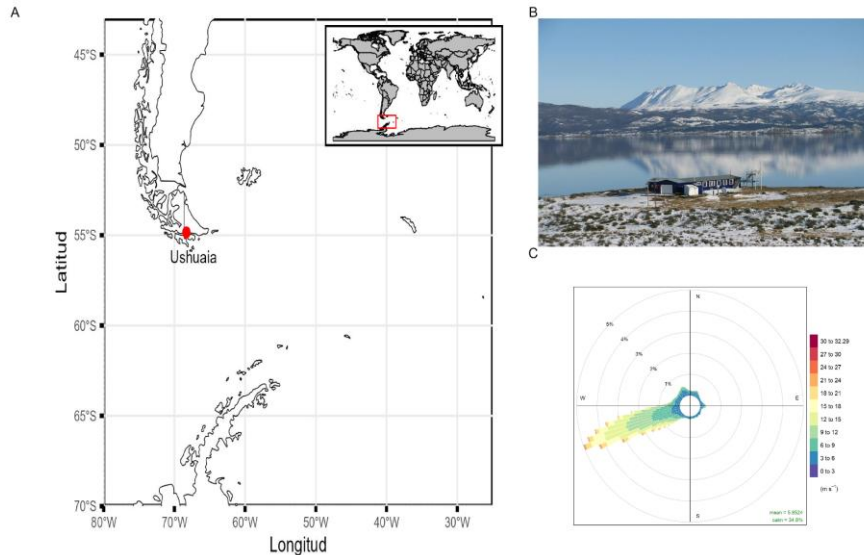


Figura 1: A) Mapa de la ubicación de la estación. B) Fotografía de la estación y su entorno. c) Rosa de los vientos para el año 2024.

Para cumplir el objetivo del estudio los datos del carbono negro en la longitud de onda de 880 nm (eBC) recolectados durante 2024 son limpiados, analizados y procesados. Se descartan las fallas del instrumento, se promedian los datos cada 10 minutos con el fin de reducir el ruido, y con el fin de eliminar los outliers observados se filtran los valores que se encuentren fuera del 99.9% de los datos. Una vez realizado esto, se calculó el coeficiente de absorción (σ_{abs}) y el exponente de angstrom de absorción (AAE) entre las longitudes de onda de 370 y 880 nm. Estas mediciones se analizan y complementan con mediciones de parámetros meteorológicos como temperatura, intensidad y dirección del viento de la estación meteorológica automática del sitio, y con datos de las retrotrayectorias de HYSPLIT.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 presenta diagramas de caja (boxplots) que ilustran la distribución mensual de las concentraciones de eBC. Se observa una clara estacionalidad, con valores más elevados durante los meses de invierno para ambas longitudes de onda. Este comportamiento sugiere una mayor influencia de fuentes locales de emisión, en particular la quema de leña para calefacción residencial, común en los meses más fríos. El valor medio anual de eBC en 2024 fue de 29.8 ng/m³. Bajo condiciones consideradas de fondo (vientos con velocidades superiores a 2.5 m/s y direcciones entre 90° y 270°), las concentraciones disminuyen significativamente, con promedios de 23.57 ng/m³. En contraste, cuando las masas de aire provienen de sectores urbanos con influencia antropogénica directa, las concentraciones aumentan marcadamente, alcanzando valores promedio de 214.85 ng/m³, respectivamente.

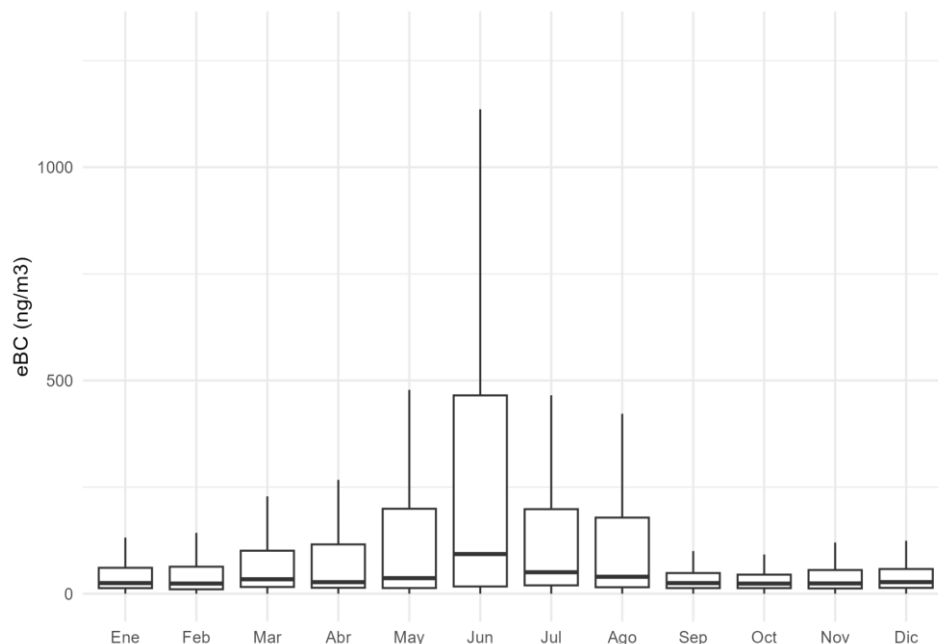


Figura 2: Gráfico de caja (boxplot) para cada mes durante el 2024 de eBC en longitud de onda 880 nm.

4. CONCLUSIONES

El análisis de las concentraciones de eBC en Ushuaia durante el año 2024 evidencia una marcada variabilidad estacional, con máximos en invierno, lo cual puede atribuirse a fuentes locales. Los valores medios anuales se ubican en torno a los 28–30 ng/m³, lo que constituye una línea base representativa para esta región austral. La diferenciación de condiciones según la dirección y velocidad del viento permitió identificar con claridad los aportes de origen antropogénico. En condiciones de fondo, las concentraciones fueron menores, destacando la sensibilidad del sitio a emisiones antropogénicas locales.

Estos resultados refuerzan la importancia estratégica del sitio de monitoreo de Ushuaia, tanto por su ubicación en una región subantártica con escasa presencia de fuentes emisoras, como por su potencial para caracterizar condiciones de fondo en el hemisferio sur. Las mediciones continuas de eBC y otros parámetros atmosféricos en este sitio remoto permiten identificar con precisión eventos de contaminación local, pero también aportan información valiosa para la vigilancia de largo plazo de los aerosoles. Además, de contribuir con información clave para la validación de modelos regionales y globales.

REFERENCIAS

Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., DeAngelo, B. J., ... & Zender, C. S. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(11), 5380–5552. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50171>

Rohr, A. C., & Wyzga, R. E. (2012). Attributing health effects to individual particulate matter constituents. *Atmospheric Environment*, 62, 130–152. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.036>