

MEDICIÓN Y ANÁLISIS DEL AEROSOL DE CARBONO NEGRO EN EL OBSERVATORIO DE HUANCAYO, PERÚ

MEASUREMENT AND ANALYSIS OF BLACK CARBON AEROSOLS AT OBSERVATORY OF HUANCAYO, PERU

LUIS SUAREZ^{1,†}, CHRISTIAN TORRES^{1,2}, DETLEV HELMIG³, & JACQUES HUEBER⁴

¹Observatorio de Huancayo, Instituto Geofísico del Perú, Perú

²Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo, Perú

³National Center for Atmospheric Research, University Corporation for Atmospheric Research, EE.UU. &

⁴Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado, Boulder, EE.UU.

(Recibido 10 de junio de 2017; aceptado 14 de octubre de 2017)

RESUMEN

El carbono negro (CN) es una fracción de los aerosoles atmosféricos que afecta principalmente al clima y la salud. Este estudio muestra por primera vez los resultados de las mediciones de CN en los aerosoles atmosféricos colectados en el Observatorio de Huancayo (OHY) desde junio a diciembre del 2015. También se realizó una evaluación para identificar las principales áreas desde donde los niveles altos de contaminación del aire podrían ser transportados al OHY. La concentración de CN fue registrado con un etalómetro obteniéndose un promedio de $0.81 \pm 0.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Además, basado en el algoritmo de Sandradewi, se estimó que el 41.27 % del CN se relacionan con las fuentes de quemadas de biomasa. Haciendo uso de diagramas polares de dos variables de la librería OpenAir del software estadístico R, fue posible identificar altas concentraciones de CN provenientes de diferentes direcciones, siendo más dominante las provenientes del sector este con vientos que llegan hasta los 4 m/s. En esta dirección se ubican importantes poblaciones urbanas de la región: Huancayo (501 384 habs.), Sicaya (57 324 habs.) al noreste, y Chupaca (53 263 habs.) al sureste. También se observó que altas concentraciones están asociadas a vientos fuertes que van de 5 a 7 m/s y también provienen del sector este. Las quemadas de biomasa en la cuenca del Amazonas de (Brasil, Bolivia y Perú) y el transporte transfronterizo de los contaminantes atmosféricos explicarían estas observaciones.

Código(s) PACS: 92.20.Bk — 92.40.Cy — 92.60.Sz

Descriptores: Aerosoles — modelaje — cambio climático

ABSTRACT

Black carbon (BC) is a fraction of atmospheric aerosols that primarily affects climate and health. This study shows for the first time the results of BC measurements in atmospheric aerosols collected at the Huancayo Observatory (OHY), Peru; from June to December 2015. Additionally, an evaluation was carried out to identify the main regions from where the high air pollution was transported to OHY. BC concentration was registered with an aethalometer with a mean of $0.81 \pm 0.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Also, based on the algorithm of Sandradewi, it is estimated that 41.27 % of BC was related to biomass burning sources. Using bivariate polar plots from the openair library of R statistical software it was possible to identify, high concentrations of BC coming from all directions, with the most dominant direction being easterly with wind velocities of up to 4 m/s. Within this direction are important populated urban locations: Huancayo (501 384 inh.), Sicaya (57 324 inh.) to the northeast, and Chupaca (53 263 inh.) to the southeast. It was also noted that high concentrations of BC are associated with strong winds ranging from 5 a 7 ms⁻¹ and also winds with an easterly direction. Biomass burning in the Amazon Basin (Brazil, Bolivia and Peru) and the trans boundary transport of air pollutants could explain these observations.

Subject headings: Aerosols — modeling — climate change.

1. INTRODUCCIÓN

El carbono negro (CN) es un compuesto carbonáceo, formado en la combustión incompleta de los combustibles fósiles, tiene propiedades físicas

[†]lsuarez@igp.gob.pe

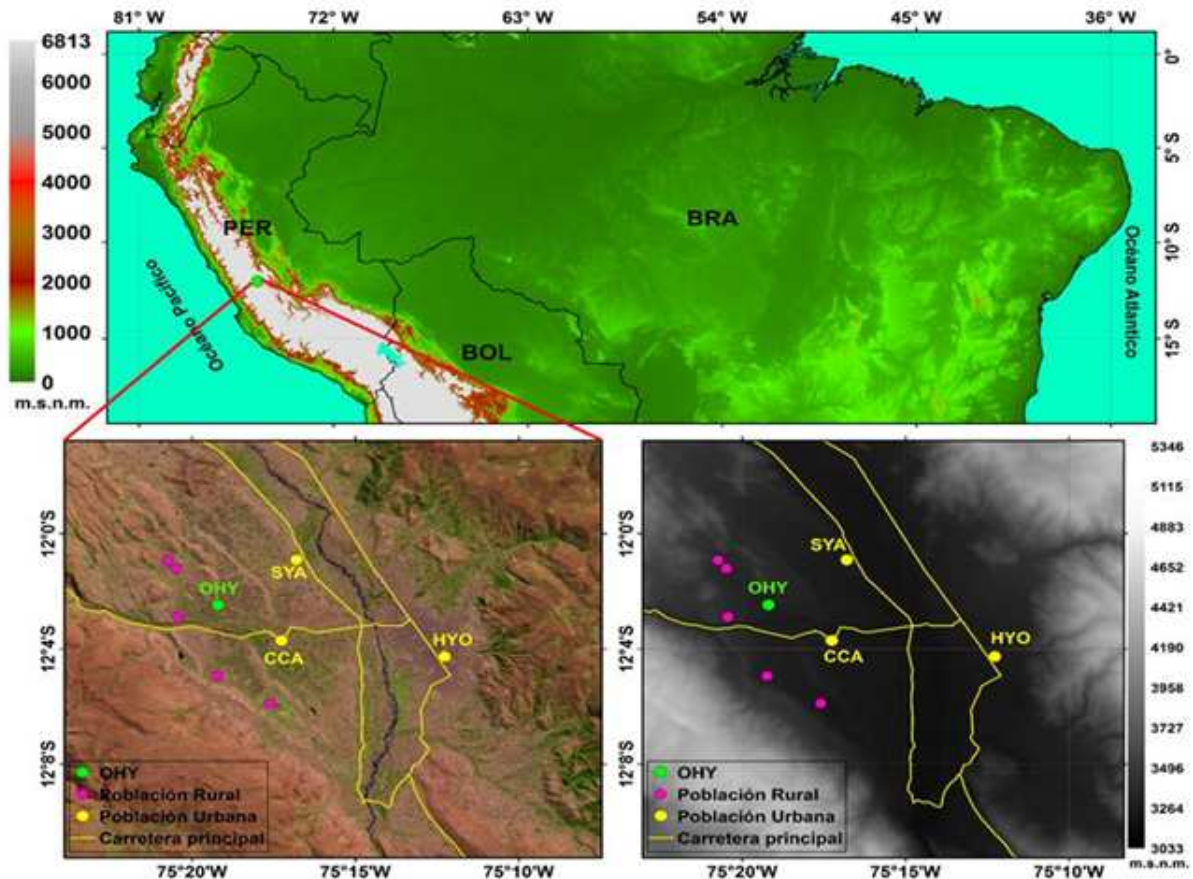


FIG. 1.— Ubicación del Observatorio de Huancayo (punto verde), poblaciones urbanas (puntos amarillos) y poblaciones rurales (puntos rosados) y carreteras principales (líneas amarillas).

únicas, absorbe fuertemente luz visible especialmente a 880 nm, es refractario con una temperatura de vaporización cerca de 4000 K, es insoluble en agua y disolventes orgánicos y en la atmósfera se encuentra en forma de agregados (Bond et al., 2013). Dentro de los compuestos carbonáceos se puede distinguir también al carbono marón (CMa), formado en la quema de biomasa, absorbe luz visible a 370 nm y también dispersa, el conocimiento de sus propiedades físicas y microfísicas aún son limitadas (Chen et al., 2016).

El CN puede afectar principalmente al clima de dos maneras: Por un lado, al estar suspendido en la atmósfera produce un forzamiento radiativo positivo debido a que absorbe fuertemente la radiación visible haciendo que la atmósfera se caliente. Bond et al., (2013) han evaluado el forzamiento radiativo directo del CN, llegando a estimar 0.71 W/m^2 con un nivel de incertidumbre del 90 %.

De otro lado, al depositarse en la nieve y en el hielo por vía seca o húmeda, reduce el albedo ocasionando mayor calentamiento y por ello mayor fusión. En un estudio realizado por Jacobi et al., (2015) en los glaciares del Himalaya estimaron mediante modelos que la deposición de CN puede reducir el albedo en 2.70 % y 6.00 % en presencia de 100 y 300 $\text{ng-CN/g}^1 - \text{H}_2\text{O}$. También en otro estudio realizado por Yasunari et al., (2010) en la misma región, esti-

maron mediante modelos que la reducción del albedo en 2.00 % y 5.20 % siendo esto continuo para todo el año, darían lugar a un aumento de la escorrentía entre 70 - 204 mm de agua.

En la salud el CN tendría potencialmente serios efectos respiratorios luego de la inhalación a largo plazo debido a su pequeño tamaño (con diámetros del orden de nanómetros), las partículas de CN pueden llegar a la región alveolar, llevando consigo especies químicas tóxicas depositadas sobre su superficie porosa (Janssen et al., 2012). También, estos tienden a acumularse en los organismos, la limitada evidencia de reacción en humanos y animales sugieren que los efectos pulmonares son significativos e irreversibles, estos pueden ocurrir con exposiciones a altas concentraciones por vía aérea ($10\text{-}100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), según CCOHS (2006).

Debido a su importancia tanto en el clima como en la salud, en este estudio se muestran las primeras mediciones de CN realizadas en el Observatorio de Huancayo desde junio hasta diciembre del 2015, además se identificaron las principales zonas de donde proviene este compuesto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Sitio de monitoreo

El Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR) se ha instalado el 2015 en el Obser-

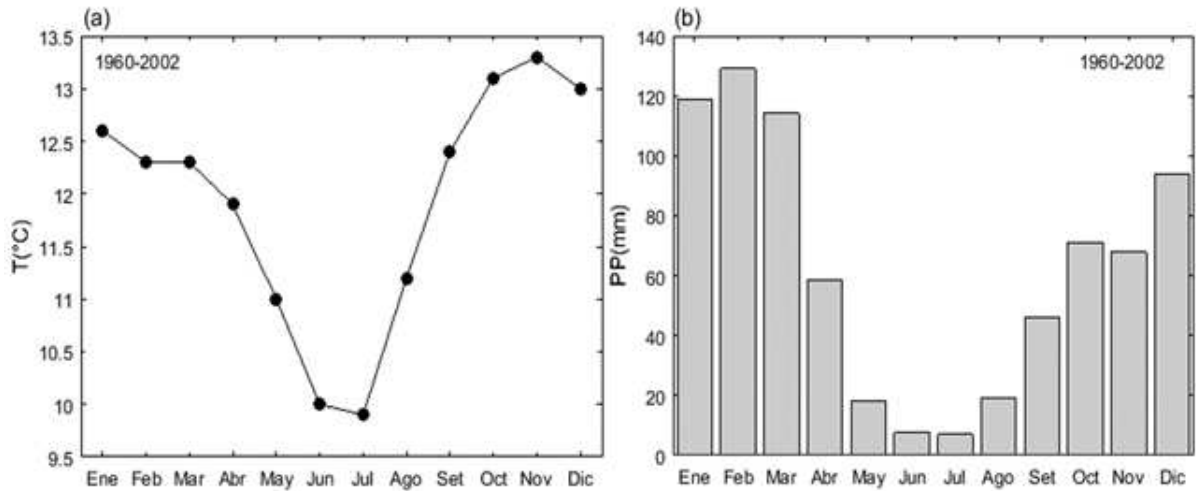


FIG. 2.— Climatología de temperatura media del aire a 2 metros (a) y precipitación (b) en el Observatorio de Huancayo. Fuente: datos del SENAMHI e IGP.

vatorio de Huancayo (OHY), está ubicado a una latitud de $12^{\circ} 02' 18''$ Sur, longitud $75^{\circ} 19' 22''$ Oeste y altitud de 3 330.0 msnm. Donde, se vienen realizando mediciones de las propiedades físicas y microfísicas de la atmósfera, dentro de ellas se encuentran los aerosoles atmosféricos, teniendo especial interés por el CN. La figura 1 muestra la ubicación del OHY respecto a las poblaciones asentadas a su alrededor, entre las principales las principales poblaciones urbanas se encuentran Huancayo (HYO), Chupaca (CCA), Sicaya (CYA). Cabe indicar también que en las áreas colindantes al OHY se practica la agricultura intensivamente.

2.2. Climatología del sitio

La temperatura media del aire presenta valores más bajos en julio y los máximos en noviembre, del mismo modo las precipitaciones tienen gran variabilidad estacional, estando enmarcados por una estación seca entre mayo y agosto, y una estación lluviosa entre septiembre y abril. Cerca del 86 % de la precipitación anual ocurre de septiembre a abril. Casi la mitad de la precipitación anual 49 % se concentra en los meses de enero a marzo, considerándolo como el pico de la estación lluviosa (Silva et al., 2010), ambos parámetros se pueden observar en la figura 2.

2.3. Etalómetro

Mediciones en tiempo real y continuo de CN se llevaron a cabo con un etalómetro (aethalometer) modelo AE33 fabricado por Magee Scientific de Eslovenia. El etalómetro utiliza una técnica de transmisión óptica, mide las pérdidas de señales en 7 longitudes de onda (370, 470, 520, 590, 660, 880 y 950 nm) debido a la absorción de las partículas cargadas en un filtro. El instrumento aspira el aire a través de un tubo montado verticalmente, a una altura de 2 metros del nivel del techo, y de unos 5 metros del nivel del suelo. Esta ubicación fue definida como un lugar sin interferencias cercanas y no tener influen-

cia directa del polvo del suelo ni del techo. En la entrada de la toma de muestra se colocó un ciclón de $2.5 \mu\text{m}$ para evitar partículas gruesas. Las partículas en el flujo de aire entrante se depositan en el filtro de politetrafluoroetileno (PTFE), que opera continuamente a un flujo de 5 litros por minuto (LMP) y las mediciones se registran para una solución de tiempo de 1 minuto de duración a condiciones estándar (1013.25 hPa y 25°C), durante todo el día. Más detalles del instrumento y su funcionamiento se discuten en Drinovec et al., (2015).

La concentración de CN se calcula a partir del cambio de atenuación óptica (ATN) a 880 nm en cualquier intervalo de tiempo seleccionado, con una sección transversal de absorción de masa (σ) de $7,77 \text{ m}^2/\text{g}^1$. A esta longitud de onda, otros aerosoles (carbonáceos o minerales) absorben significativamente menos y la absorción se puede atribuir solo al CN (Fialho et al., 2005; Sandradewi et al., 2008a; Sandradewi et al., 2008b). Para calcular la ATN en el filtro cargado de partículas, se emplea la ecuación (1).

$$ATN = -100 \cdot \ln \left(\frac{I}{I_0} \right), \quad (1)$$

donde I es la intensidad de señal que ha interactuado con el filtro cargado de partículas e I_0 es la intensidad de señal que ha interactuado con el filtro sin partículas. 100 es el factor por conveniencia (Gundel et al., 1984).

Muchos trabajos estaban orientados a corregir el efecto de carga en el filtro, para compensar las subestimaciones con respecto a otros aerosoles presentes en la muestra que tienen la capacidad de dispersar la energía en la misma longitud de onda y también al momento de avance del filtro, trabajos como Weingartner et al., (2003); Virkkula et al., (2007); Rizzo et al., (2011). El nuevo modelo AE33 ha implementado una nueva forma para la corregir el efecto de carga en el filtro en tiempo real, se trata de la nueva tecnología "dual-spot", el cual hace que la misma muestra pase por dos puntos a diferentes flujos, esto se

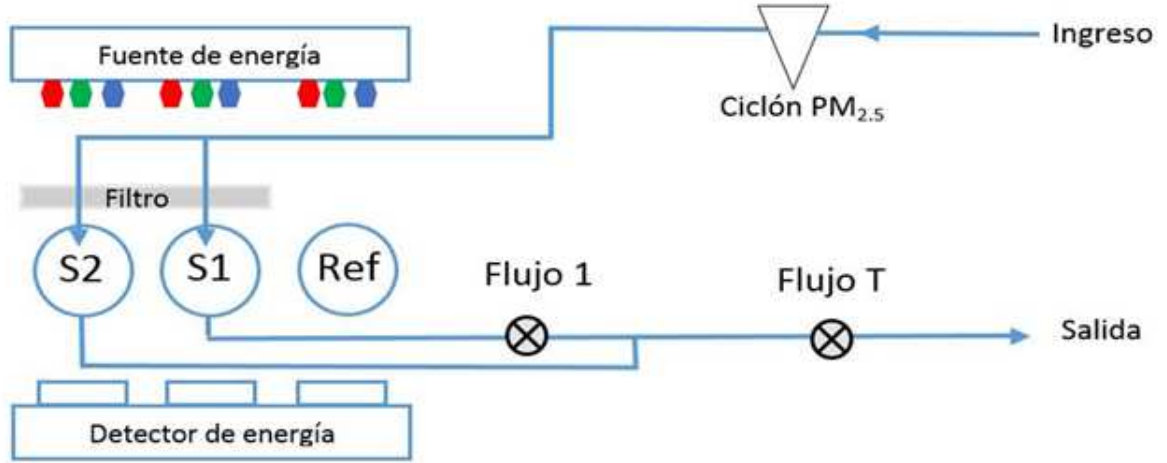


FIG. 3.— Diagrama básico del aethalometer modelo AE33.

puede observar el esquema básico representado en la figura 3, y en base a ello se construyan las ecuaciones empíricas siguientes (2) y (3).

$$e^{-\sigma k B_1} = (1 - k \cdot ATN_1), \quad (2)$$

$$e^{-\sigma k B_2} = (1 - k \cdot ATN_2), \quad (3)$$

donde B_1 y B_2 son velocidades de cambio del filtro, k es el parámetro del efecto de carga, ATN_1 y ATN_2 son las atenuaciones determinadas por la ecuación 1. Resolviendo las ecuaciones (2) y (3) por algún método numérico se calcula k , siendo este autoadaptable para cada situación de muestreo.

Para identificar las fuentes de emisión de combustión incompleta (ci) y quema de biomasa (qb), se recurrió al algoritmo de Sandradewi et al., (2008a) el cual plantea, que identificar estas fuentes es posible debido a su dependencia espectral. Basado en sus resultados plantea las siguientes ecuaciones (4) (5) (6).

$$\frac{b_{abs}(370nm)_{ci}}{b_{abs}(950nm)_{ci}} = \left(\frac{370nm}{950nm} \right)^{-\alpha_{ci}}, \quad (4)$$

$$\frac{b_{abs}(370nm)_{qb}}{b_{abs}(950nm)_{qb}} = \left(\frac{370nm}{950nm} \right)^{-\alpha_{qb}}, \quad (5)$$

$$b_{abs}(\lambda) = b_{abs}(\lambda)_{ci} + b_{abs}(\lambda)_{qb}, \quad (6)$$

donde b_{abs} es el coeficiente de absorción, α_{ci} y α_{qb} son los exponentes de absorción de combustión incompleta y quema de biomasa. Este algoritmo está implementado en el etalómetro modelo AE33, donde se registra, medidas de porcentaje y saber cuánto es el aporte por quema de biomasa (%qB) en la concentración del CN.

2.4. Anemómetro ultrasónico

Mediciones continuas de velocidad y dirección de viento se llevaron a cabo con un anemómetro ultrasónico modelo 81000 fabricado por Young de Estados Unidos. Este anemómetro opera en modo de

impulsos acústicos, mide las tres componentes ortogonales (u_x, u_y, u_z) del viento y la velocidad del sonido (C) a una frecuencia máxima de 32Hz.

2.5. Modelo de dispersión

Para identificar las zonas de donde proviene el CN al OHY. Se utilizó un modelo de dispersión que representa diagramas polares de dos variables, el cual consiste en mostrar la evolución de algún contaminante con respecto a la distribución de la velocidad y dirección del viento. Para determinar las componentes bivariantes del viento (u) y (v) se emplea la ecuación (7).

$$\begin{aligned} u &= \bar{u} \cdot \cos(2\pi\theta), \\ v &= \bar{u} \cdot \sin(2\pi\theta), \end{aligned} \quad (7)$$

donde \bar{u} es la velocidad media del viento y θ es la dirección media del viento por hora. Para evaluar la evolución de algún contaminante con respecto a la interacción con la velocidad y dirección del viento se emplea la ecuación (8).

$$\sqrt{C_i} = f(u, v) + e_i, \quad (8)$$

donde C_i es la concentración del contaminante y e_i es un residual. Aplicando un modelo aditivo generalizado se encuentran las frecuencias para las mediciones realizadas.

Para nuestro estudio se empleó la librería Opnair desarrollado por Carslaw et al., (2006) en software estadístico R y dentro de esta se encuentra la función polarplot el cual contiene todas las ecuaciones mencionadas para identificar las zonas de donde provienen los contaminantes.

2.6. Procesamiento de datos

Para el procesamiento de los datos de CN adquiridos con el etalómetro se siguió el procedimiento establecido por Rizzo et al., (2011), donde plantea tres niveles. En este estudio se realizó solo el nivel 1, donde se revisó el flujo de la muestra, debiendo estar entre 1 LMP y 8 LMP, también se revisó las concentraciones de CN debiendo estar entre $0.1 \mu g/m^3$ y

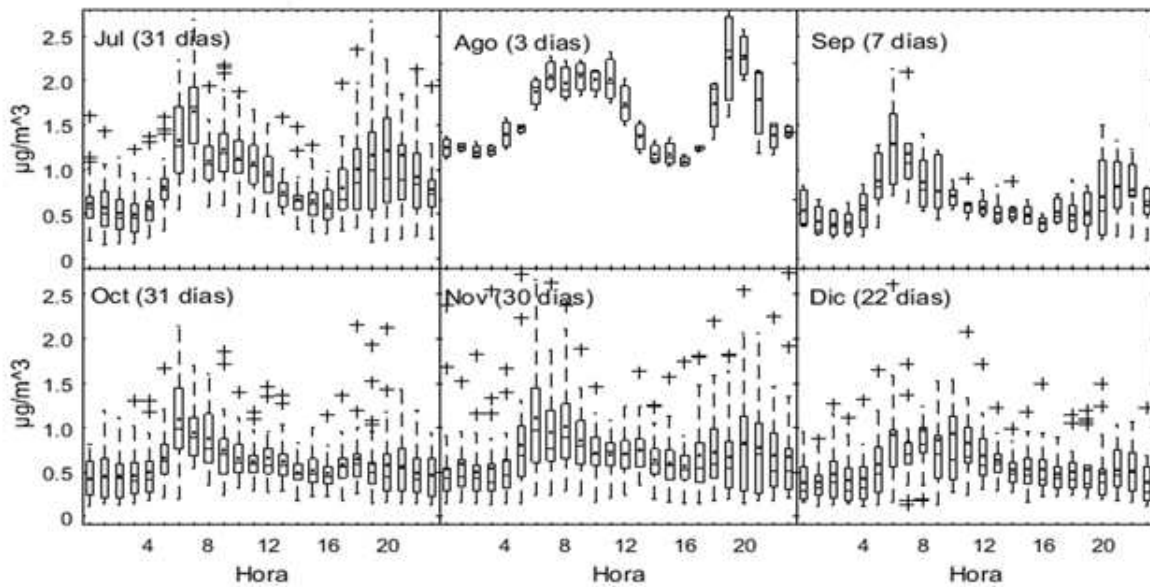


FIG. 4.— Variación horaria de la concentración de CN en el Observatorio de Huancayo.

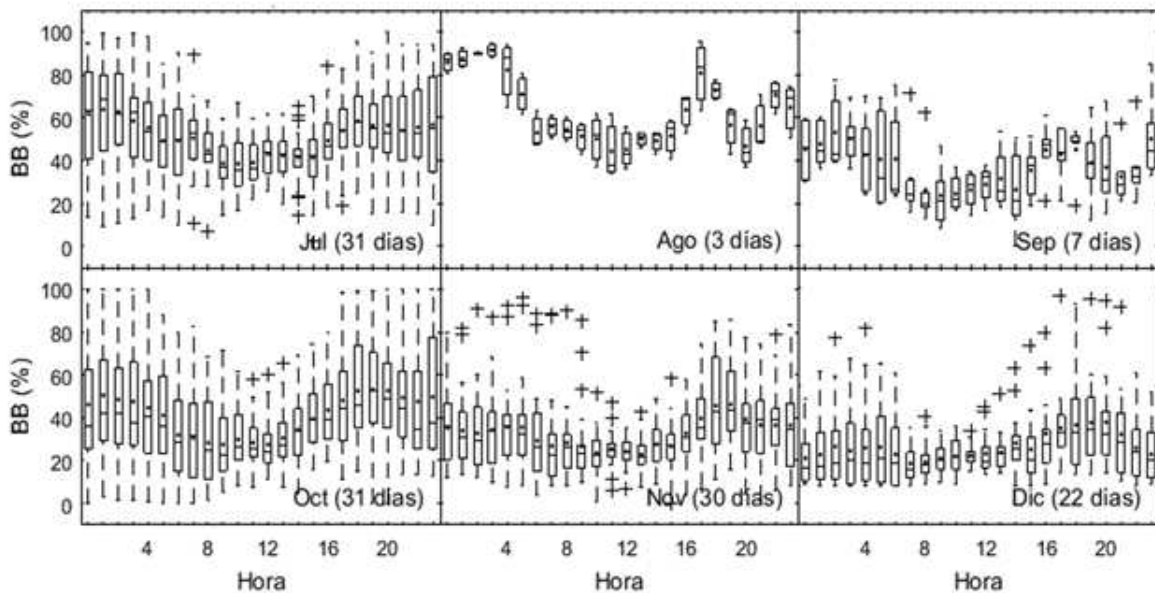


FIG. 5.— Variación horaria del aporte de %qB en el Observatorio de Huancayo.

$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Al realizar una serie de tiempo se observó que pocos valores de CN se encontraron por encima de $4.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores fueron eliminados debido a que estos probablemente se debieron a fuentes muy cercana, tales como un vehículo o un incendio cerca al OHY (Hansen, comunicación personal).

El procesamiento de los datos de velocidad y dirección de viento adquiridos con el anemómetro sónico, consistió en revisar que no tuvieran valores anómalos y solo se utilizó el componente zonal (u_x) del viento.

Terminado con el procesamiento de los datos, se construyó un fichero donde contenían los datos de velocidad y dirección de viento y concentración de

CN por minuto en un archivo en formato comma-separated values (CSV por sus siglas en inglés) para su fácil manejo en los softwares R y Matlab.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Variación horaria de CN y %qB

Con respecto a la variación horaria de la concentración de carbono negro (CN), este parámetro mostró variabilidad bien marcada a lo largo del día. Se observó dos picos máximos bien definidos para los seis meses representados en la figura 4. El primer pico se presentó por la mañana de 06:00 a 09:00 y segundo pico por la tarde de 17:00 y 21:00 hora local (HL), entre estas horas el tráfico vehicular es mayor,

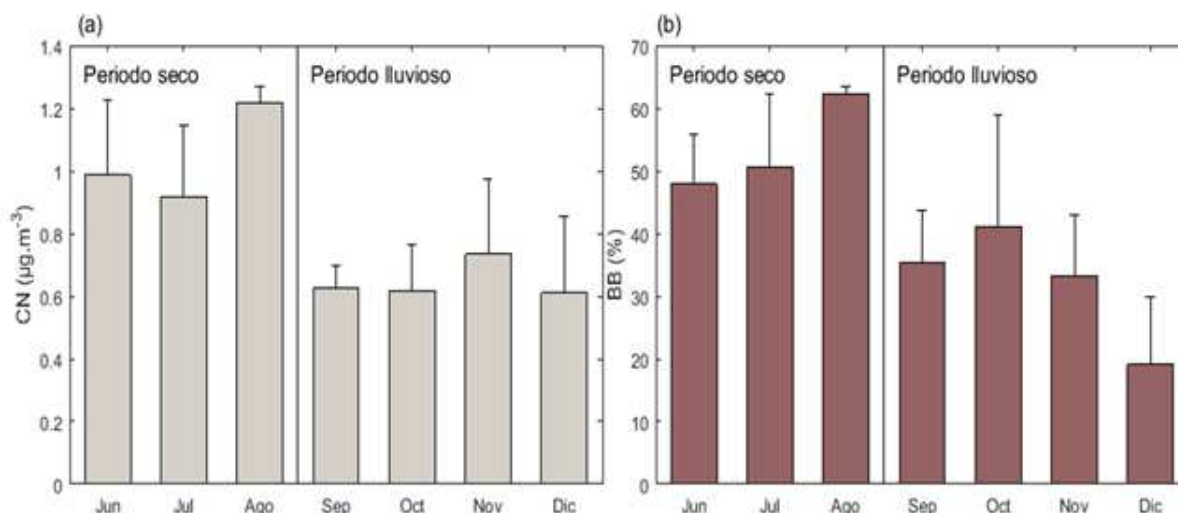


FIG. 6.— Variación mensual de: (a) concentración de carbono negro y (b) porcentaje proveniente de la quema de biomasa.

asociado a las emisiones por quema de biomasa por parte de las (pollerías a carbón, restaurant, entre otros). La variación horaria encontrada en el OHY es similar a lo reportado en otros estudios realizados en Brasil (Krecl et al., 2016) y en la India (Reshma et al., 2015), donde señalaron que la variación horaria de la concentración de CN presenta dos picos máximos: en Brasil en días laborables el primer pico se presenta por la mañana de 07:00 a 08:00 y el segundo pico por la tarde de 18:00 a 19:00 HL, mientras en la India el primer pico durante la mañana de 06:00 a 08:00 y segundo pico por la tarde 19:00 a 21:00 HL.

Con respecto a la variación horaria de CN proveniente de la quema de biomasa (%qB), este parámetro también mostró variabilidad a lo largo del día. Se observaron dos picos máximos bien definidos representado en la figura 5. El primer pico se presentó por la tarde 13:00 a 17:00 HL y el segundo pico a de 00:00 a 05:00 HL.

3.2. Variación mensual del CN y %qB

Los promedios mensuales de CN medidos en los aerosoles colectados en el OHY se representan en la tabla 1. Se observó que la concentración promedio de CN durante el periodo estudiado fue $0.81 \pm 0.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que es similar a los valores reportados en otros estudios realizados como en la India (Panwar et al., 2013) y Boston (Allen, 2014), con promedios anuales de $0.85 \pm 0.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $0.70 \pm 0.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Pero es menor cuando con estaciones urbanas como China (Feng et al., 2014) y también en la India (Reshma et al., 2015), con promedios anual $3.80 \pm 0.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $2.20 \pm 0.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. El valor máximo se obtuvo el 24 de junio a las 20:00 HL con $3.85 \pm 0.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el valor mínimo fue el 13 de diciembre a la 01:00 HL con $0.11 \pm 0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hay que precisar que durante los meses estudiados hubo días donde no se realizaron mediciones. Esto debido a inconvenientes con la fuente energía del sistema de monitoreo. Como es el caso del mes

de agosto donde muestra el promedio mensual más alto $1.23 \pm 0.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ siendo una tendencia atípica, se cree que no es representativa para este mes, debido a que solo se contaron con 3 días de mediciones y es posible que en estos días la concentración de CN fueron altas. Por otro lado, en el mes de septiembre al parecer si muestra una tendencia normal pese a haber solo 7 días de mediciones.

Los promedios porcentuales mensuales de CN proveniente de la quema de biomasa (%qB) en el OHY son representados en la tabla 1. Se observó para todo el periodo de estudio que una fuente importante de CN en el OHY es la quema de biomasa, contribuyendo con $41.27 \pm 12.84 \%$, que es similar a los valores reportados en otros estudios realizados por Bond et al., (2013); Ramanathan y Carmichael (2008) donde señalaron que la quema de biomasa es un gran contribuyente a las emisiones globales de CN, llegando a aportar cerca del 40 % del total, en ambos trabajos, Sin embargo en el trabajo de Sandradewi et al, (2008a) reportaron que la quema de biomasa contribuye en 51 % siendo mayor a nuestro valor, esto podría estar sucediendo debido a que en el lugar de estudios de Sandradewi las personas utilizan estufas a leña.

3.3. Variación del CN y %qB en el periodo seco y lluvioso

También se evaluó la variación de la concentración CN y %qB para el periodo seco y lluvioso, representados en la figura 6. Se aplicó la prueba estadística U de Mann Whitney para evaluar si existen diferencias significativas en ambos parámetros, al comprobar que nuestros datos no tienen distribución normal. Se observó que en ambos parámetros existen diferencias significativas con p-valor de 9.62×10^{-10} y 4.29×10^{-10} , respectivamente. En el periodo seco el promedio de la concentración de CN fue $0.95 \pm 0.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y de %qB fue $51.11 \pm 11.18 \%$. Mientras que en periodo lluvioso fue $0.65 \pm 0.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $32.64 \pm 15.74 \%$, respectivamente. En el trabajo de Tiwari et

TABLA 1

MEDIA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR (DESV. ST.), MÁXIMO VALOR (MAX.) EXPRESADOS EN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Y (%) NÚMERO DE DÍAS MEDIDOS (N) EN EL OBSERVATORIO DE HUANCAYO.

| Estadístico/Mes | CN | | | %qB | | | N |
|-----------------|-------|------------|------|-------|-------------|--------|----|
| | Media | Desv. St. | Max. | Media | Desv. St. | Max. | |
| Junio | 0.95 | ± 0.59 | 3.85 | 44.89 | ± 21.95 | 100.00 | 30 |
| Julio | 0.91 | ± 0.54 | 3.26 | 50.74 | ± 19.00 | 100.00 | 31 |
| Agosto | 1.23 | ± 0.56 | 2.85 | 63.40 | ± 17.14 | 95.32 | 3 |
| Septiembre | 0.65 | ± 0.34 | 2.13 | 36.83 | ± 16.57 | 84.98 | 7 |
| Octubre | 0.61 | ± 0.33 | 2.16 | 40.99 | ± 24.60 | 100.00 | 31 |
| Noviembre | 0.72 | ± 0.47 | 3.51 | 32.68 | ± 17.55 | 96.14 | 30 |
| Diciembre | 0.60 | ± 0.47 | 4.32 | 19.66 | ± 17.42 | 96.27 | 22 |
| General | 0.81 | ± 0.22 | | 41.27 | ± 12.84 | | |

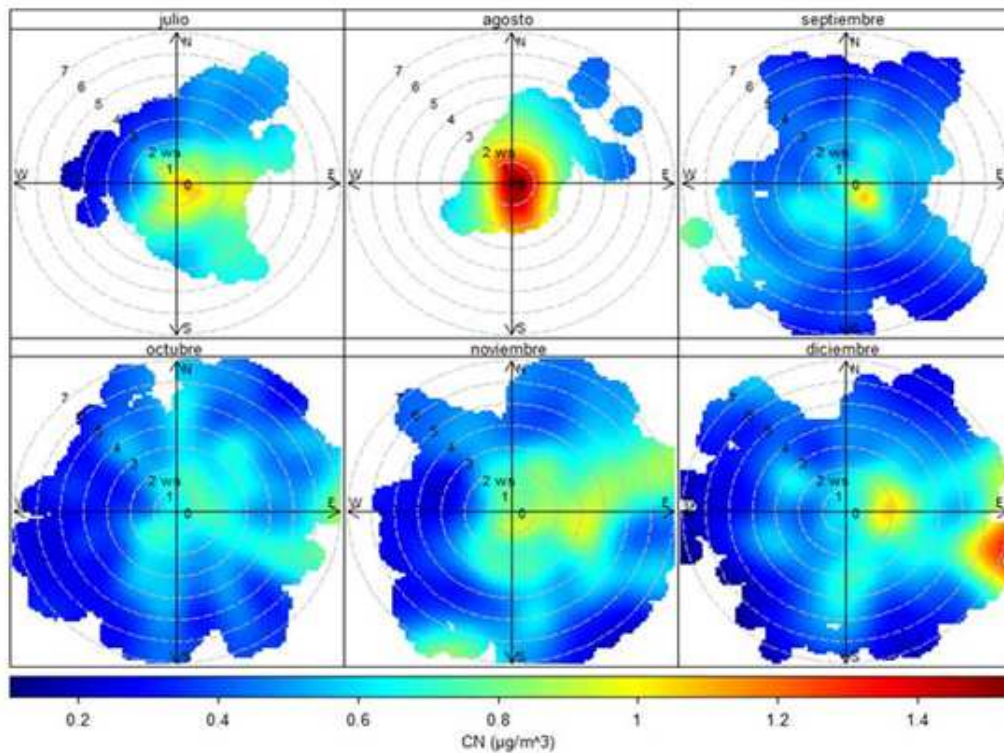


FIG. 7.— Diagrama polar de dos variables, variación mensual de la concentración de CN representado en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

al., (2016) encontraron que las concentraciones del Material Particulado (PM) eran más bajas durante días de lluvia. El lavado de lluvia y la deposición húmeda son los mecanismos más eficaces para la limpieza de contaminantes atmosféricos (Yamagata, 2009). Con lo que respecta al aporte de la quema de biomasa en el periodo lluvioso no solo el factor meteorológico influye en la disminución de %qB, si no también existe una disminución considerable de la quema de biomasa por parte de los agricultores en la región.

3.4. Identificación de las principales zonas contribuyentes de CN

Los diagramas polares de dos variables han demostrado ser extremadamente valiosos para identificar y comprender las fuentes de contaminación del aire (Carslaw et al., 2006; Westmoreland et al., 2007). Estos gráficos muestran como la con-

centración de algún contaminante atmosférico varía según la velocidad y dirección del viento. Para nuestro estudio se realizaron representaciones de diagramas polares mensuales (Figura 7). En la temporada seca (julio y agosto) se observó que altas concentraciones de CN provienen de todas partes, siendo más relevante del ESTE con vientos débiles con velocidades que van de 0 a 4 m/s. Las fuentes principales en esta temporada son las quemas de biomasa por parte de los agricultores locales y las poblaciones urbanas (HYO, SYA, CCA) representadas en la figura 1b. En la temporada lluviosa (septiembre, octubre, noviembre y diciembre) se observa altas concentraciones de CN provienen del este asociado a vientos fuertes con velocidades que van de 5 a 7 m/s. La fuente importante en esta temporada podría ser el transporte transfronterizo de los contaminantes generados por la quema de biomasa que ocurren en

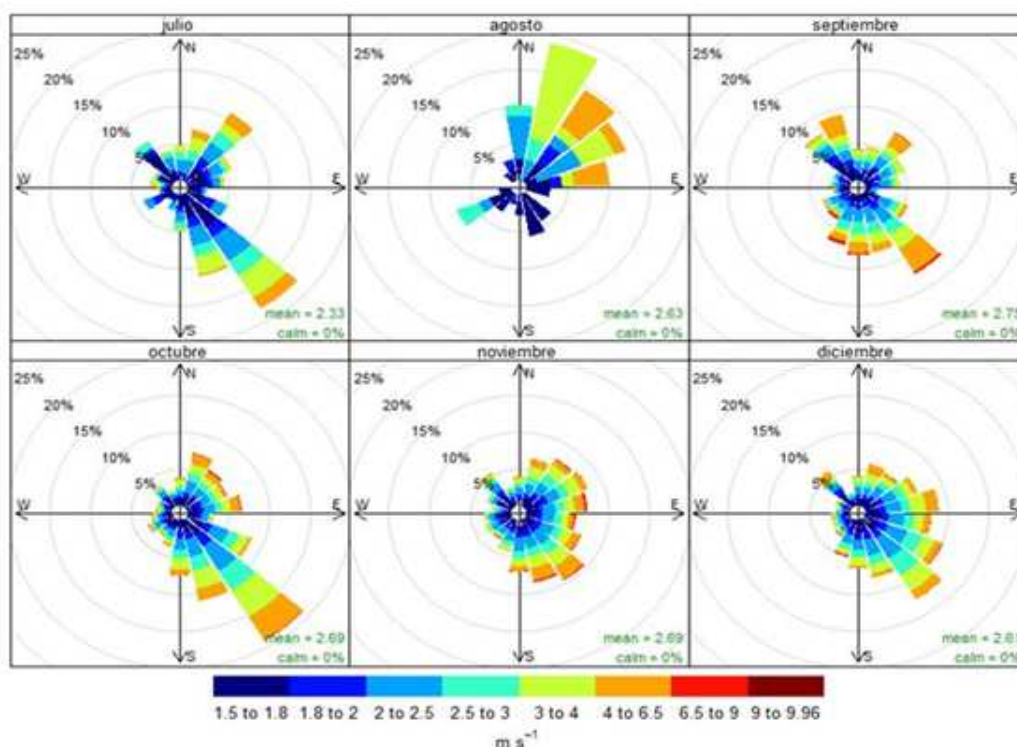


FIG. 8.— Rosa de vientos mensual $\dot{\lambda}$ a 1.5 m/s^1 en el Observatorio de Huancayo.

la cuenca del Amazonas. Estudios como el de Andreae et al., (2012); Suarez, (2015) y Bourgeois et al., (2015) han observado que los contaminantes atmosféricos producto de la quema de biomasa (gases y partículas) son transportados de este a oeste, de la cuenca del Amazonas a la Cordillera de los Andes. En general, altas concentraciones de CN en el OHY se generan bajo condiciones atmosféricas inestables cuando los vientos son fuertes y estables cuando los vientos son débiles. Para observar una relación directamente proporcional de la concentración de CN y la velocidad del viento la fuente de emisión deberá ser flotante, en estas fuentes se encuentra los incendios de gran magnitud. Mientras que bajo condiciones atmosféricas estable. Para observar una relación inversamente proporcional de la concentración de CN y la velocidad del viento las fuentes deberán ser del nivel del suelo no flotante, en estas fuentes se encuentran el transporte por carretera y las poblaciones rurales y urbanas (Uria-Tellaetxe y Carslaw, 2014).

4. CONCLUSIONES

Las mediciones de carbono negro realizadas en el Observatorio de Huancayo muestran variabilidad a lo largo del día adoptando dos picos máximos bien marcados, el primero se presenta por la mañana de

05:00 a 09:00 y el segundo por la tarde de 17:00 a 21:00 HL. El aporte de la quema de biomasa a la concentración de carbono negro (%qB) también presenta variabilidad a lo largo del día adoptando dos picos máximos bien marcados, el primero se presenta de 13:00 a 17:00 y el segundo de 00:00 y 05:00 HL. Ambos parámetros muestran diferencias significativas tanto en el periodo seco y lluvioso. También se identificó que la quema de biomasa aporta en 41.27 % a la concentración de carbono negro siendo un valor importante.

Altas concentraciones de carbono negro provienen de todas partes, siendo más dominante las provenientes de la dirección este con vientos que llegan hasta 4 m/s , en esta dirección se encuentran las poblaciones urbanas de la región como Sicaya, Huancayo y Chupaca. Todas las emisiones de carbono negro generadas en estos ambientes urbanos son transportadas al Observatorio de Huancayo. También se observaron altas concentraciones de carbono negro provenientes del sector este con vientos fuertes que van de 5 a 7 m/s . La quema de biomasa en la cuenca Amazónica (Brasil, Bolivia y Perú) y el transporte transfronterizo de los contaminantes atmosféricos explicarían dichas observaciones.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses con respecto a la publicación de éste documento.

REFERENCIAS

- Allen, G. 2014, Analysis of Spatial and Temporal Trends of Black Carbon (<http://www.nescaum.org/documents/analysis-of-spatial-and-temporal-trends-of-black-carbon-in-boston/>)
- Andreae, M., Artaxo, P., Beck, V., Bela, M., Freitas, S., Gerbig, C., Longo, K., Munger, J., Wiedemann, K., & Wofsy, S. 2012, Atmos. Chem. Phys., 12, 6041

- Bond, C. T., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., DeAngelo, B. J., Flanner, M. G., Ghan, S., Kärcher, B., Koch, D., Kinne, S., Kondo, Y., Quinn, P. K., Sarofim, M. C., Schultz, M. G., & Schultz, M. 2013, *J. Geophys. Res.*, 118, 5380
- Bourgeois, Q., Ekman, A., & Krejci, R. 2015, *J. Geophysical Res.*, 120, 8411
- Carshaw, D., Beevers, S., Ropkins, K., & Bell, M. 2006, *Atm. Environ.*, 40, 5424
- C.C.O.H.S. 2006, Black Carbon-Effects in the Health (Canadian National Resource for Occupational Safety and Health. (<https://www.ccohs.ca/headlines/text186.html>))
- Chen, Y., Schleicher, N., Fricker, M., Cen, K., Lui, X., Kaminski, U., Yu, Y., Wu, X., & Norra, S. 2016, *Env. Pol.*, 212, 269
- Drinovec, L., Mocnik, G., Zotter, P., Prévot, A. S. H., Ruckstuhl, C., Coz, E., Rupakheti, M., Sciare, J., Müller, T., Wiedensohler, A., & Hansen, A. D. A. 2015, *Atmos. Meas. Tech.*, 8, 1965
- Feng, J., Zhong, M., Xu, B., Du, Y., Wu, M., Wang, H., & Chen, C. 2014, *Atmos. Res.*, 147, 1
- Fialho, P., Hansen, A., & Honrath, R. 2005, *J. Aerosol Sci.*, 36, 267
- Gundel, L. A., Dod, R. L., Rosen, H., & Novakov, T. 1984, *Sci. Total Environ.*, 36, 197
- Jacobi, H., Lim, S., Ménégos, M., Ginot, P., Laj, P., Bonasoni, P., Stocchi, P., Marinoni, A., & Arnaud, Y. 2015, *The Cryosphere*, 9, 1685
- Janssen, N., Gerlofs, M., Lanki, E., Cassee, F., Hoek, G., Fisher, P., Brunekreef, B., & Krzyzanowski, M. 2012, Health Effects of Black Carbon (World Health Organization Regional Office for Europe)
- Krecl, P., Créso, A., Wiese, L., Ketzler, M., & Paula, M. 2016, *Atm. Pollut. Res.*, 7, 1022
- Panwar, T., Hooda, R. K., Lihavainen, H., Hyvarinen, A. P., a. V. P., & Viisanen, Y. 2013, *Environ. Monit. Assess.*, 185, 4753
- Ramanathan, V. & Carmichael, G. 2008, *The Nature*, 1, 221
- Reshma, G., Viswanath, C., Nazeer, Y., Raghavendra, K., Suresh, S., & Reddy, R. 2015, *Atm. Res.*, 171, 77
- Rizzo, L. V., Correia, A. L., Artaxo, P., Procópio, A. S., & Andreae, M. O. 2011, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 8899
- Sandradewi, J., Prévot, A., Szidat, S., Perron, N., Alfarra, M. R., Lanz, V. A., Weingartner, E., & Baltensperger, U. 2008a, *Environ. Sci. Technol.*, 42, 3316
- Sandradewi, J., Prévot, A., Weingartner, E., Schmidhauser, R., Gysel, M., & Baltensperger, U. 2008b, *Atmos. Environ.*, 42, 101
- Silva, Y., Takahashi, K., & Chávez, R. 2008, *Adv. Geosci.*, 14, 261
- Suarez, L. 2015, Transboundary air pollution in Southern Amazon of Peru (Unpublished. <https://doi.org/10.13140/rg.2.1.1453.6161>)
- Tiwari, S., Kumar, R., Tunved, P., Singh, S., & Panicker, A. S. 2016, *Sci. Total Environ.*, 15, 504
- Uria-Tellaetxea, I. & Carshaw, D. 2014, *Environmental Modelling & Software*, 59, 1
- Virkkula, A., Mäkelä, T., Hillamo, R., Yli-Tuomi, T., Hirsikko, A., a. H. K., & Koponen, I. 2007, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 57, 1214
- Weingartner, E., Saathoff, H., Schnaiter, M., Streit, N., Bitnar, B., & Baltensperger, U. 2003, *J. Aerosol Sci.*, 34, 1445
- Westmoreland, E., Carshaw, N., Carshaw, D., Gillah, A., & Bates, E. 2007, *Atm. Environ.*, 41, 9195
- Yamagata, S., Kobayashi, D., Ohta, S., Murao, N., Shiobara, M., Wada, M., Yabuki, M., Konishi, H., & Yamanouchi, T. 2009, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 261
- Yasunari, T. J., Bonasoni, P., Laj, P., Fujita, K., Vuillermoz, E., Marinoni, A., Cristofanelli, P., Duchi, R., Tartari, G., & Lau, K. M. 2010, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 6603