

Variación espaciotemporal de impurezas (partículas) absorbentes de luz y cenizas volcánicas en la superficie del nevado Coropuna, Arequipa

Solis Salcedo Pfoccori, Santiago (solissalcedo0980@gmail.com)
Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú

Facultad de Letras y Ciencias Humanas
Especialidad de Geografía y Medio Ambiente PUCP

XI

Coloquio Internacional de Estudiantes
Geografía y Medio Ambiente PUCP



RESUMEN

En los últimos años (1962-2016), el nevado Coropuna, el tercero más importante del Perú, ha reducido en 38.1 km² (47 %) de la masa. Así mismo, se observó que entre 1962 y 2010 (48 años) hubo una reducción de 32.0 km² (39.5%) y en tan solo 6 años, comprendidos entre el 2010 a 2016, una reducción de 6.1 km² equivalente al 12.5% de superficie glaciar. Sumado a este problema, el 6 de noviembre de 2016, el volcán Sabancaya (70 km aproximado al nevado) inició un proceso eruptivo con grandes emisiones de ceniza que han alcanzado hasta 4 km del cráter, por lo que se estima que las cenizas volcánicas podrían llegar al nevado Coropuna y contribuir en la pérdida de la superficie glaciar. Otro factor que contribuye en la pérdida glaciar es el aumento de partículas absorbentes de luz (eBC). En esta investigación, se presentan los resultados de la variación espaciotemporal de carbono negro efectivo en las capas de nieve y la acumulación de ceniza volcánica mediante la instalación de cenizómetros en los pueblos aledaños del Coropuna: Andahua, Pampacolca, Ayo y Machaguay. La recolección de muestras de nieve se realizó acorde al protocolo de muestreo del ACSP (American Climber Science Program) y analizados por el método LAHM (Light Absorption Heating Method) desarrollado por Schmitt et al. (2015). Esta técnica mide el aumento de temperatura de carga de partículas en un filtro al aplicarle luz visible que estima la cantidad de energía de luz. Se determinó 0.00349 g de cenizas volcánicas como mínimo en Andahua, y 0.14501 g como máximo en Ayo; las concentraciones de eCN van desde 0.43 (muestra superficial mayo 2018) a 269.38 (muestra superficial julio 2017) ng-eCN g-H₂O-1. Además, se ha identificado la morfología y la identificación de elementos químicos mediante espectroscopia de Energía Disersa (EDS), y se encontró carbono (20.2 %) en Pampacolca, silicio (33.1 %), aluminio (6.86 %), sodio (1.94 %), magnesio (0.9 %), hierro (3.6 %), potasio (1.7 %), calcio (1.52 %), azufre (0.29 %) y titanio (0.43 %) correspondientes a Coropuna. Esto indica la presencia de arena con impurezas de polvo, además, de óxidos por la presencia de Fe y Mg. Las formas de estas partículas fueron irregulares y aglomeradas.

Palabras clave: carbono negro, Coropuna, cenizas volcánicas.

INTRODUCCIÓN

Los glaciares en Perú representan más del 70 % de los recursos de la zona glacial tropical (Kaser, 1999). Rabatel et al. (2013) y que los glaciares de los Andes tropicales han retrocedido aproximadamente el 30 % desde los años setenta, y que la pérdida ha aumentado sustancialmente en la primera década del nuevo milenio. Vuille et al. (2008) demostraron que el aire de superficie Temperatura ha aumentado en $0,10^{\circ}\text{C}$ por década durante los últimos 70 años en los Andes tropicales basados en mediciones de 279 estaciones entre 1°N y 23°S .

Las regiones glaciales (por encima de los 5 000 m) podrían experimentar de 4 a 5 $^{\circ}\text{C}$ del aumento de la temperatura entre 2000 y 2100. Además de los cambios de temperatura del aire, el polvo y BC depositado sobre la nieve, podrían ser factores importantes para la pérdida de masa glacial. BC y el polvo reducen el albedo de la nieve absorbiendo la radiación solar, lo que conduce a un aumento de la sublimación (Warren y Wiscombe, 1980). Recientemente, ha sido demostrado por Painter et al. (2013) que el BC probablemente llevó al final de la pequeña edad de hielo en los Alpes europeos a mediados del siglo XIX.

Mientras que una capa fina de ceniza aumenta la nieve y el hielo se derriten, una capa de ceniza que excede un cierto espesor crítico causó aislamiento. La ceniza con $1\ \varphi$ de tamaño de grano aisló el hielo debajo con un espesor de 9-15 mm. Para el tamaño de grano de 3.5, el grosor del aislamiento es de 13 mm. Estos datos fueron importantes para la determinación del tema de estudio de las cenizas volcánicas provenientes del volcán Sabancaya, ya que, actualmente, el complejo volcánico Sabancaya emite cenizas volcánicas. Por eso, existe la probabilidad de que estas estén llegando al nevado y contribuyan en el deshielo glaciar del Coropuna. Ante esto, es de suma importancia el estudio de las cenizas volcánicas en el nevado Coropuna.

El complejo estratovolcánico de 1 000 km^2 de la cordillera Ampato de los Andes, según el inventario nacional de glaciares y lagunas efectuado por la Autoridad Nacional del Agua en 2014, el sistema Coropuna consta de 3 sectores glaciares que ocupan una superficie de 18.85 km^2 . La población para la presente investigación fue una extensión aproximada de 2 hectáreas (ha), y como objetivo fue determinar la variación espaciotemporal de carbono negro efectivo en las capas de nieve y cuantificar la acumulación de ceniza volcánica aledaña al volcán Sabancaya y al nevado Coropuna.

METODOLOGÍA

Para determinar el carbono negro, se hicieron observaciones y mediciones en campo a base de instrumentación.

Se realizaron muestreo y análisis de nieve por un periodo de 9 meses. El muestreo de carbono negro y polvo lo efectuó el Programa American Climber Science (ACSP), de acuerdo con la técnica básica que ha sido utilizada desde hace 3 años en la cordillera Blanca, Huancayo, Perú. Este comprende las siguientes actividades:

2.1. Recolección de muestras

Para cada muestra aproximadamente 1 kg de nieve se recoge en cada sitio desde la superficie (definida como la Top 2.5 cm) y la subsuperficie (más de 2.5 cm). La idea fue que la muestra de superficie debería dar una indicación de deposición seca que ha ocurrido desde la última tormenta de nieve, así como cualquier acumulación de contaminantes en la superficie. Debido a la fusión y la sublimación, mientras que las muestras de subsuperficie debe contener cualquier contaminante que venga con la más reciente tormenta de nieve como núcleos de hielo o como habiendo sido barrido por la caída de la nieve. En realidad, se encontraba comúnmente que las nevadas frescas durante la estación seca de 10 cm. El resultado fue que la muestra subsuperficial contenía nieve que había sido sometida a deposición en seco y acumulación de superficie antes de las nevadas más recientes. Una vez las muestras son recolectadas y etiquetadas, estas se reúnen en mochilas y regresan al campamento base para procesar.

2.2. Filtrado

Utilizando la jeringa, extraiga 60 ml de agua de la bolsa, empuje el agua a través del filtro. Debería tomar aproximadamente 30 segundos para pasar los 60 ml por el filtro como una regla general para saber que se está filtrado lo suficientemente lento. El agua que sale de la base del filtro debería de ser un flujo continuo de aproximadamente 5 cm antes de separarse en gotas individuales. Al terminar con una jeringa llena, remueva la base, vuelva a llenar con otros 60 ml de agua y repita el proceso, revise la bolsa con los finales del contenedor plástico transparente; luego, etiquetar para marcarlos y diferenciarlos.

2.3. Análisis de los filtros por Light Absorption Heating (LAHM)

El método LAHM estima la cantidad de energía de luz que es absorbida para un derretimiento o sublimación de la nieve. Dado que la nieve es completamente absorbente en la región infrarroja, las longitudes de onda más críticas se encuentran en el rango visible.

Esta técnica de análisis mide el aumento de temperatura de carga de partículas en un filtro al aplicarle luz visible. Cada filtro es suspendido con placas transparentes y es expuesto a una lámpara de luz visible. Debajo del filtro, aproximadamente, a 5 cm de distancia, se coloca un termómetro infrarrojo controlado por un procesador Arduino, que registra la temperatura cada 0.25 segundos. Finalmente, los datos de salida son recuperados y almacenados en archivos .txt para su posterior procesamiento en hojas de cálculo.

Para determinar la cantidad de las cenizas volcánicas se construyeron cenizómetros. Estos dispositivos utilizados precisan para medir espesores, densidad de área y densidad total de pequeños depósitos de cenizas (<20 mm). Este instrumento provee todas estas medidas en el campo y permite coleccionar muestras de ceniza para posteriormente realizar análisis de laboratorio; ya una vez en el laboratorio, estas fueron pesados en una balanza analítica. Los cenizómetros fueron elaborados con materiales reciclados como botellas, embudos, filtros y medidores interiores, que permiten hacer mediciones sin ser afectados por los principales efectos meteorológicos y sobre todo la elaboración es de muy bajo costo (Bernard, 2013).

Ambas muestras (cenizas volcánicas y muestras de nieve) fueron analizadas en el laboratorio de microscopía electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) con un microscopio electrónico de barrido Philips S-505 para estudios de superficies de muestras orgánicas o inorgánicas, así como composición química (EDS).

RESULTADOS

Se exponen en la Figura 1 los resultados de las concentraciones máximas, mínimas y promedio de carbono negro de las muestras superficiales de toda la campaña.

Figura 1. Concentraciones máximas y mínimas de BC de muestras superficiales

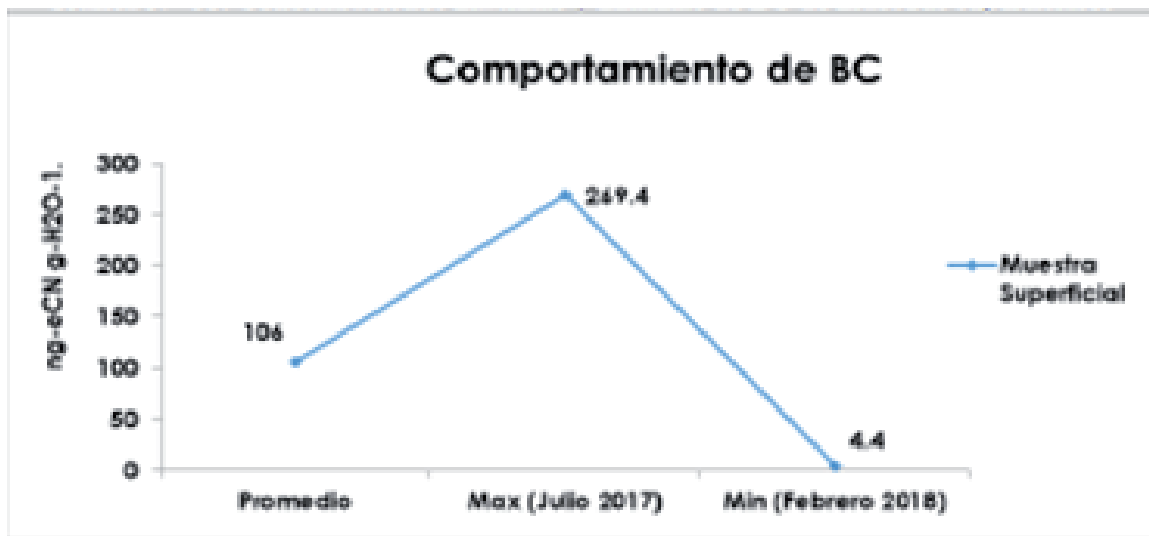


Figura 2. Concentraciones máximas y mínimas de BC de muestras profundas



En la Figura 2, se presenta la determinación de las concentraciones máximas, mínimas y promedio de carbono negro de las muestras profundas en toda la campaña (julio de 2017 a mayo de 2018).

Figura 3. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de BC de muestras profundas y superficiales

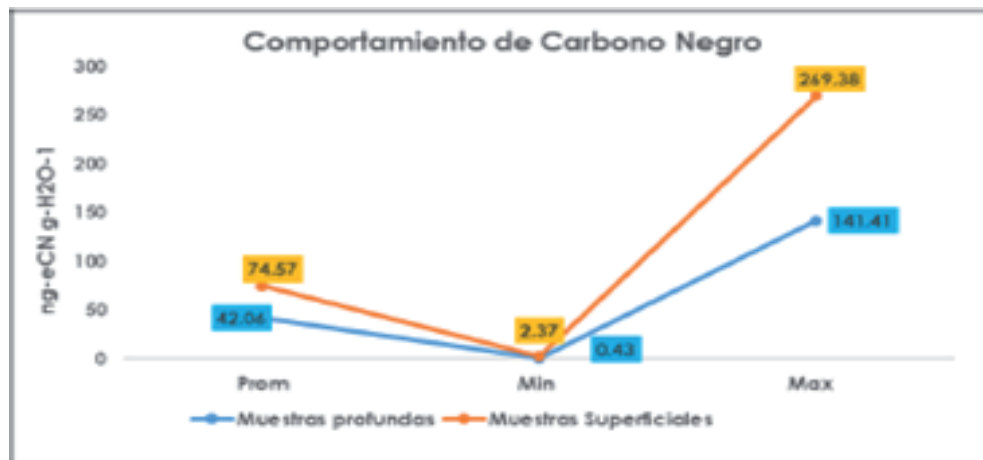


Figura 4. Comportamiento de BC de toda la campaña



En la Figura 4, se presenta el comportamiento de los resultados de carbono negro de toda la campaña intersecadas para las muestras superficiales y profundas.

Figura 5. Acumulación de cenizas volcánicas



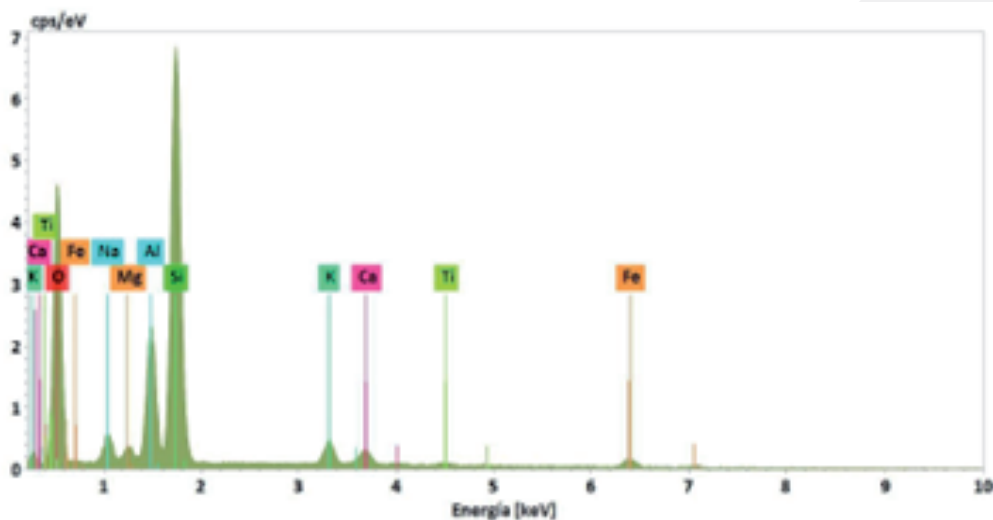
En el Figura 5 se presentan los resultados de la acumulación de las cenizas volcánicas para los 4 pueblos muestreados, estos se encuentran a pocos kilómetros del nevado Coropuna.

Figura 6. Distribución de elementos químicos en las muestras de nieve



En la Figura 6, se presentan los resultados de identificación de elementos químicos mediante Espectroscopia de energía dispersa, que fueron analizados en el laboratorio de microscopía electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) con un microscopio electrónico de barrido Philips S-505.

Figura 7. Absorción de energía de los elementos químicos en las muestras de nieve mediante Espectroscopia de energía dispersa.



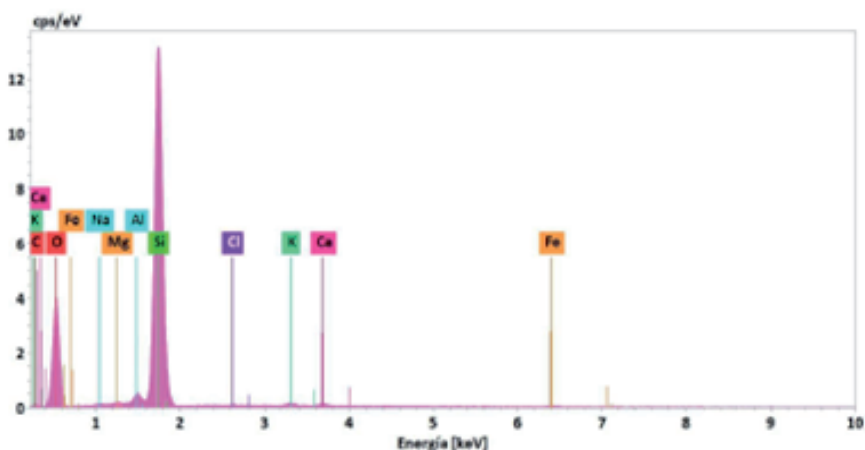
En la Figura 7, se presenta la emisión de energía de cada elemento químico identificado en las muestras de nieve mediante un microscopio electrónico de barrido Philips S-505 en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)-Perú.

Figura 8. Distribución de elementos químicos en las muestras de cenizas volcánicas



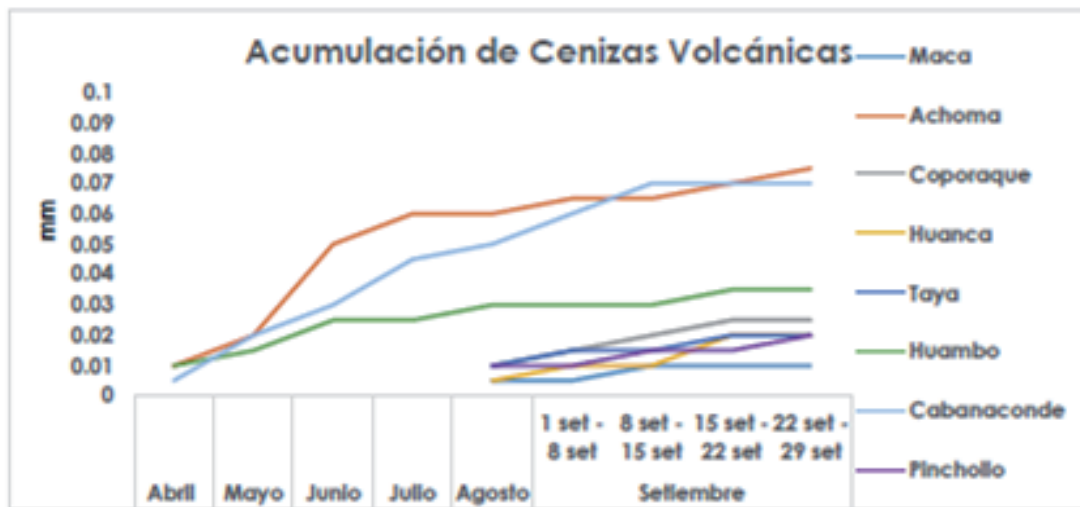
En el Figura 8, se presenta la distribución de los elementos químicos en las muestras de las cenizas volcánicas que fueron identificadas por el microscopio electrónico de barrido Philips S-505 en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)-Perú.

Figura 9. Absorción de energía de los elementos químicos en las muestras de cenizas volcánicas mediante Espectroscopia de energía dispersa.



En la Figura 9, se presenta la emisión de energía de cada elemento químico identificado en las muestras de cenizas volcánicas mediante un microscopio electrónico de barrido Philips S-505 en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)-Perú.

Figura 10. Volumen de las cenizas volcánicas



En la Figura 10, Figura 5; se aprecia el comportamiento del volumen de las cenizas volcánicas registrándose 0.075 mm de cenizas volcánicas como máximo en Achoma, y la acumulación de estas estas registrándose como 0.14405 g como máximo en el pueblo de Ayo, respectivamente. Esta última se encuentra a 21 km aproximadamente del volcán Sabancaya.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el nevado Coropuna, las concentraciones de partículas absorbentes de luz (carbono negro) van desde 0.43 a 269 ng-eCN g-H₂O⁻¹, siendo 269.4 ppb la concentración máxima en una muestra superficial (este incremento probablemente está influenciado por el aumento de los incendios de vegetación abierta que ocurren en América del Sur como lo reportan Vasconcelos et al. (2013) en el mes de julio de 2017, la concentración mínima en una muestra profunda fue de 0.43 (muestra profunda mayo de 2018) y con un promedio general de 58.31 de ng-eCN g-H₂O⁻¹. De acuerdo con la Figura 4, las concentraciones de BC en las muestras superficiales (top 2.5 cm) son mayores que las muestras profundas (más de 2.5 cm). Las altitudes más altas tienen sustancialmente menos BC, mientras que los valores de altitud más bajos fueron mayores.

Si la nieve fresca prístina contiene entre 20 y 80 ng g⁻¹ de carbono negro, puede resultar en una disminución en el albedo espectral de más de 1% (SNICAR-online: Snow, Ice y Aerosol Radiation; Flanner et al., 2007). Según los resultados obtenidos por el método LAHM, se encuentran dentro del rango por lo que se estima la disminución de albedo espectral de más de 1 %.

Si se compara con el estudio de Mediciones de partículas absorbentes de luz sobre los glaciares Cordillera Blanca, Perú con los resultados del Coropuna (0.43 a 269 ng-eCN g-H₂O⁻¹) son menores que los resultados en los glaciares de Yanapaccha (de 10.66 ng/g corresponde a octubre de 2015 a 814.51 mayo 2016) y Shallap (de 61.36 Dic-2015 a 1047.07 mayo 2016) tomando como fuente los resultados del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), donde indica que la fuente principal de BC es la actividad antropogénica (quema de biomasa, incendios forestales).

Respecto a los resultados de la acumulación de las cenizas volcánicas, la mayor cantidad se reportó en Ayo en la última semana de marzo de 2018. Esta estación se encuentra a 21 km del volcán Sabancaya y es la más cercana hacia el volcán. Este resultado se contrastó con los reportes de monitoreo de la actividad volcánica Sabancaya elaborado por parte de INGEMMET, que indica que esas fechas el radio de dispersión estimada de las cenizas fue de 50 km. Según los resultados mostrados en la identificación de elementos químicos, se puede concluir que existe

la presencia de arena por los porcentajes altos de Silicio y Aluminio además de óxidos por la presencia de Fe y Mg, además existió la presencia de azufre en menor proporción por lo que comprueba que las cenizas volcánicas son provenientes del volcán Sabancaya. Además, cabe resaltar que las morfologías de las muestras de nieve y cenizas volcánicas son muy irregulares, aglomeradas y amorfas.

CONCLUSIONES

Primero: Debido a que el carbono negro tiene una alta capacidad para absorber la energía solar en la longitud de onda visible (400 nm a 700 nm), cuando se presenta mayor cantidad de carbono negro (este incremento probablemente está influenciado por el aumento de los incendios de vegetación abierta que ocurren en América del Sur, como lo reporta Vasconcelos et al. (2013)) será mayor la cantidad de energía absorbida por el carbono negro y según los resultados en el mes de mayo de 2017 probablemente se haya producido a mayor absorción de energía solar por lo tanto mayor cantidad de nieve fundida.

Segundo: En cada punto de muestreo de carbono negro se encuentra en relación inversa a la altitud. Es decir, a mayor altitud menor cantidad de carbono negro, y de manera inversa a menor altitud mayor cantidad de carbono negro.

Tercero: Se observa una disminución de carbono negro a partir del mes de febrero 2018, debido al incremento de las precipitaciones durante estos meses que no favorece a la deposición seca del carbono negro en el glaciar.

Cuarto: Las partículas absorbentes de luz sobre los glaciares juegan un papel importante debido a su poder de absorción de luz solar y así acelerar el retroceso glaciar. Por lo tanto, las autoridades deben implementar medidas de control para evitar los incendios forestales y las quemas agrícolas, ya que estas son fuentes de carbono negro, que contribuyen en el derretimiento glaciar.

Quinto: Según los resultados de Cenizas Volcánicas, la cantidad depositada es mínima en los pueblos aledaños del Sabancaya, por lo que se estima una baja afectación al glaciar.

Sexto: tanto en las muestras de nieve y cenizas volcánicas se encontró arena (Si = 26 % promedio) y polvo (% Ca, % Mg, % Al).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adhikary, S, Nakawo, M., & Shakya, B. (2000) Dust influence on the melting process of glacier ice: experimental results from Lirung Glacier, Nepal Himalayas. IAHS Publication, 264, 43-52.

Arnalds, O., Olafsson, H., & Dagsson-Waldhauserova, P. (2014). Quantification of iron-rich volcanogenic dust emissions and deposition over the ocean from Icelandic dust sources. *Biogeosciences* 11(3), 6623-6632.

<https://doi.org/10.5194/bg-11-6623-2014>

----- (2016). The Icelandic volcanic aeolian environment: processes and impacts—a review. *Aeolian Research*, 20, 176-195.

<https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2016.01.004>

Bahr, D., Meier, M., & Peckham, S. (1997) The physical basis of glacier volume-area scaling. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102(B9), 20355-20362.

<https://doi.org/10.1029/97JB01696>

Cusicanqui, D., Soruco, A., Rabate, A., & Anthelme, F. (2015). Balance de masa del glaciar de Zongo entre 2006 y 2013 mediante el método volumétrico, empleando imágenes de alta resolución pléiades adquiridas sobre la Cordillera Real, Bolivia (16°s, 68°w). *Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente*, 7(7), 5-20.

Doherty, S., Dang, C., Hegg, D., Zhang, R., & Warren, S. (2014). Black carbon and other light-absorbing particles in snow of central North America. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 119(22), 12807-12831.

<https://doi.org/10.1002/2014JD022350>

EPA. (2012). Report to Congress on Black Carbon. U. S. Environmental Protection Agency.

Flanner, M., Zender, C., Randerson, J., & Rasch, P. (2007). Present-day climate

forcing and response from black carbon in snow. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 112(D11202), 1-17.

<https://doi.org/10.1029/2006JD008003>

Gislason, S. R., Hassenkam, T., Nedel, S., & Stipp, S. L. (2011). Characterization of Eyjafjallajökull volcanic ash particles and a protocol for rapid risk assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(18), 7307-7312.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1015053108>

Grenfell, T., Doherty, S., Clarke, A., & Warren, S. (2011). Light absorption from particulate impurities in snow and ice determined by spectrophotometric analysis of filters. *Applied Optics*, 50(14), 2037-2048.

<https://doi.org/10.1364/AO.50.002037>

INGEMMET/IGP. (2018). Reporte semanal de monitoreo de la actividad del volcán Sabancaya.

<http://ovs.igp.gob.pe/reportes-vulcanologicos/sabancaya>.

Ming, J., Xiao, C., Cachier, H., Qin, D., Qin, X., Li, Z., & Pu, J. (2009). Black Carbon (BC) in the snow of glaciers in west China and its potential effects on albedos. *Atmospheric Research*, 92(1) 114-123.

<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.09.007>

Peduzzi, P., Herold, C., & Silverio, W. (2010) Assessing high altitude glacier thickness, volume and area changes using field, GIS and remote sensing techniques: the case of Nevado Coropuna (Peru). *The Cryosphere*, 4(3), 313-323.

<https://doi.org/10.5194/tc-4-313-2010>

Prospero, J. M., Bullard, J., & Hodgkins, R. (2012) High-Latitude Dust Over the North Atlantic: inputs from Icelandic proglacial dust storms. *Science*, 335(6072), 1078-1082.

<https://doi.org/10.1126/science.1217447>

Schmitt, C. G., All, J. D., Schwarz, J. P., Arnott, W. P., Cole, R. J., Lapham, E., & Celestian, A. (2015). Measurements of light-absorbing particles on the glaciers in the Cordillera Blanca, Peru, *The Cryosphere* 9(1), 331-340.

<https://doi.org/10.5194/tc-9-331-2015>

Thordarson, T., & Larsen, G. (2007) Volcanism in Iceland in historical time: Volcano types, eruption styles and eruptive history. *Journal of Geodynamics* 43(1), 118-152.

<https://doi.org/10.1016/j.jog.2006.09.005>

Wang, X., Doherty, S., & Huang, J. (2013). Black carbon and other light-absorbing impurities in snow across Northern China. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 118(3), 1471-1492.

<https://doi.org/10.1029/2012JD018291>