

Medición del Carbono Negro en el Glaciar Salkantay, Cordillera de Vilcabamba, Cusco, período 2014 - 2019

Measurement of Black Carbon in the Salkantay Glacier, Vilcabamba Cordillera, Cusco, period 2014 - 2019

¹Maxwell Samuel Rado Cuchills , ²Juan José Zúñiga Negrón

^{1,2} Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Centro de Investigación de Cambio Climático y Gestión Ambiental. maxwell.rado@unsaac.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0002-7848-7926> 021906065@unsaac.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0002-5615-4821>

Págs. 90-102

ARTÍCULO EN EXTENSO

Recibido: 13/12/2021

Aprobado: 10/1/2022

Resumen

El Glaciar Salkantay, ubicado en la Cordillera Vilcabamba, en el distrito de Santa Teresa, provincia de La Convención, Departamento de Cusco. Se eleva a 6271 m.s.n.m. El objetivo general es estudiar y medir del Carbono Negro en la superficie glaciar de manera anual, desde el año 2014 se ha venido realizando tomas de muestras de nieve y hielo, motivados por la acción del calentamiento global, así como por el impacto negativo de la contaminación ambiental sobre la masa glaciar. Para los objetivos específicos, se mide la cantidad de carbono negro en el glaciar Salkantay y determina la variación temporal de los años de estudio, a través de la metodología Single Particle Soot Photometer (SP2) del Nacional Center Atmospheric Research (NCAR). Luego de haber realizado las salidas de campo y colectado muestras de nieve de la superficie del glaciar, aplicando los métodos de estudio respectivos, se pudo observar que cada mes aproximadamente se pierden entre 90 a 130 litros de agua, producto del Carbono Negro, contaminante emitido por el parque automotor, incendios de pastizales y quema de biomasa.

Palabras Clave: Glaciar Salkantay; Carbono Negro; Medición.

Abstract

The Salkantay Glacier, located in the Cordillera Vilcabamba, in the district of Santa Teresa, province of La Convención, Department of Cusco. It rises to 6271 m.a.s.l.m. The general objective is to study and measure the Black Carbon on the glacial surface on an annual basis, since 2014 snow and ice samples have been taken, motivated by the action of global warming, as well as by the negative impact of environmental pollution on the glacier mass. For the specific objectives, the amount of black carbon in the Salkantay glacier is measured and the temporal variation of the study years is determined, through the Single Particle Soot Photometer (SP2) methodology of the National Center Atmospheric Research (NCAR). After having carried out the field trips and collected snow samples from the surface of the glacier, applying the respective study methods, it was observed that approximately 90 to 130 liters of water are lost each month, product of Black Carbon, pollutant emitted by the automotive fleet, grassland fires and biomass burning.

Keywords: Salkantay Glacier; Carbon Black; Measurement.

Introducción

Los glaciares tropicales se ubican en las zonas más altas del cinturón que rodea al globo terráqueo, que abarca desde la altura de la zona central de México hasta el extremo norte de Argentina, y que es conocida como zona tórrida o tropical. Dichos glaciares son las mayores reservas de agua dulce congelada en la tierra después de los polos.

Según el geólogo especializado en glaciares Lonney Thompson, quien estudia este fenómeno en Perú desde 1974, el deshielo afectará seriamente el suministro de agua (para un 70 por ciento de la población del país andino) y del clima en esta región de Sudamérica. El impacto antropogénico adiciona material particulado sobre los glaciares aumentando los niveles de contaminación en la atmósfera. Los contaminantes atmosféricos tales como partículas de carbono negro pueden depositarse en las superficies de los glaciares a través de procesos de precipitación o a través de "deposición seca". Dichas deposiciones producen un oscurecimiento de las superficies, disminuyendo el albedo (relación entre la energía recibida y reflejada) natural de las mismas, y aumentando en consecuencia la absorción de energía solar incidente (Hadley & Kirchstetter 2012). Aunque los estudios han demostrado que el impacto albedo de carbono negro en los glaciares es significativa, el alcance real de la

deposición de carbono negro en los glaciares tropicales aún no se ha investigado. En la Figura 1 observamos el flanco de colecta de muestras de carbono negro del Glaciar Salkantay.

Figura 1.

Glaciar Salkantay.



Nota. Fuente, Joel Mendizabal Luque, CICCIGA, octubre 2019.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar y medir del Carbono Negro en el Glaciar Salkantay. Se tiene como antecedentes: En 1860 el físico y químico británico Michael Faraday señala el hollín como contaminante compuesto de carbono. Desde 1950 el hollín cobra mayor relevancia social, a raíz de un grave episodio de contaminación por carbono ocurrido en Londres. En 1970, diversos estudios sobre el Black Carbon y el hollín ponen de manifiesto su presencia en Estados Unidos y Europa y su capacidad de absorber la luz visible. En los años de 1980 se detectan altas concentraciones de Black Carbon en la troposfera del Ártico Oeste y el Polo Norte y se estudia su influencia sobre el calor y la radiación en la zona. A comienzos del 2000, los estudios sobre este material son cada vez más numerosos, tantas entidades públicas y privadas comienzan a introducir la reducción del Black Carbón como parte de sus estrategias de acción frente al cambio climático. En agosto y setiembre del 2015 el American Climber Science Program (ACSP) realiza el recojo de muestras de nieve en varios glaciares de las cordilleras de la región Cusco. Durante el año 2016 al 2018 se realiza el estudio del Carbono Negro en el Glaciar Ampay, Apurimac, bajo la dirección del Ing. Juan José Zúñiga Negrón.

En la figura 2 se muestra el área de estudio, tiene la siguiente ubicación geográfica: Región: Cusco. Provincia: Urubamba. Distritos: Santa Teresa. El glaciar Salkantay forma parte de la Cordillera Vilcabamba, su altitud máxima es de 6,271 msnm, geográficamente se encuentra en las coordenadas 13°0'0" S, 73°0'0" W.

Figura 2.

Mapa de Ubicación del glaciar Salkantay



Nota. Fuente propia.

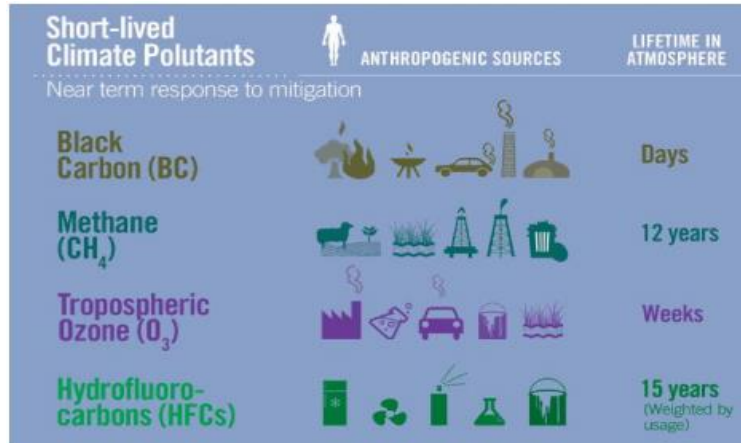
El carbono negro, o *Black Carbon*, por su nomenclatura en inglés, es uno de los principales contribuyentes al cambio climático. Se trata de un conjunto de contaminantes atmosféricos con los que convivimos en nuestra vida cotidiana, que conllevan numerosos efectos negativos para el entorno y la salud humana.

- El BC es un material particulado producido por la combustión incompleta de combustibles fósiles, los biocombustibles y la biomasa, principalmente en los automóviles, estufas de uso doméstico, los incendios e industrias.
- El BC es un factor de riesgo para males respiratorios y cardiacos, contribuyendo a millones de muertes prematuras cada año en el mundo. Calificado como cancerígeno por la OMS.
- En zonas urbanas la principal, son los vehículos pesados diesel (*50-80% de las emisiones de MP/BC en ciudades*)
- En el sector rural, la quema de biomasa, los incendios de pastizales y forestales.
- El BC es el segundo contaminante de cambio climático después del CO2.

En síntesis, el carbono negro BC contaminante climático de vida corta tiene fuente antropogénica como se muestra en la figura 3.

Figura 3.

Vida media de fuentes contaminantes.



Nota. Fuente: Tami Bond. UIUC. 2009. Taller Internacional de Carbón Negro en Latinoamérica 2015.

Las emisiones de carbono negro son el segundo mayor contribuyente hacia el actual calentamiento global después de las emisiones de dióxido de carbono”, según los doctores V. Ramanathan y G. Carmichael. Ellos calculan que la presión climática directa del carbono negro de 0,9 W/m², que es de hasta el 55% de la presión del CO₂ y es mayor que la presión atribuible a otros gases de efecto invernadero como son el CH₄, el CFCs, el N₂O o el ozono de la troposfera”. Otros científicos estiman que la presión directa del carbono negro es de entre 0,2 y 0,6 W/m² con distintos rangos debido a incertidumbres. Esto se compara con las estimaciones de presión climática del IPCC de 1,66 W/m² para el CO₂ y 0,48 W/m² para el CH₄ y no incluye los efectos críticos indirectos del carbono negro sobre el albedo nieve/hielo. Estos efectos hacen que la presión del carbono negro sea de entre dos y tres veces lo efectivo en aumentar las temperaturas en el hemisferio norte y en el Ártico que los valores de presión equivalentes de CO₂.

Materiales y Métodos

La metodología está basada en literatura científica de instituciones pioneras en el estudio de aerosoles y su impacto en el balance de energía y masa en glaciares (Schmitt et al., 2015, Goelles et al., 2015, Flanner et al., 2007 y Dumont et al., 2014), NCAR. En la figura 4 se observa la forma de colecta de muestras de nieve para medición de las concentraciones de BC, conforme a protocolo.

Figura 4.

PhD Carl Schmitt



Figura 5.

Recojo de muestras



Nota. Fuente: Juan José Zúñiga Negrón 2017.

En el caso del Glaciar Salkantay utilizamos el método Single Particle Soot Photometer (SP2) Black Carbon Mass in Individual Particles Data, NCAR 2015. Brevemente, las muestras de nieve se recogen en varios lugares del glaciar, (figuras 4 y 5). Las muestras se funden, luego pasan a través de filtros de fibra de cuarzo (figura 6 y 7), que se ha demostrado dejan pasar menos el 80% y más a menudo en torno al 95% de la luz que absorbe las partículas en la nieve.

Figura 6.

Filtros con BC



Figura 7.

Filtrado en laboratorio de la UNSAAC



Nota. Fuente Salkantay agosto 2017.

Nota. Fuente CICCIGA, julio 2018

Este conjunto de datos contiene fotómetro de hollín de partículas individuales NSF / NCAR C-130 (SP2) Masa de carbono negro en partículas individuales. Datos recopilados durante el

estudio del Black Carbon BC-SALK (American Climber Science Program and CICC GA - UNSAAC) del año 2014 al año 2019.

Tabla 1.

Información científica de tipo de recurso y conjunto de datos

En el proceso el equipo encuentra correlación matemática con los filtros a través del paquete de programación Scientific Information.

Resource Type	Dataset
Temporal Range Begin	2018-07-24T00:00:00Z
Temporal Range End	2018-09-13T23:59:59Z
Temporal Resolution	N/A
Bounding Box North Lat	49.00000
Bounding Box South Lat	35.00000
Bounding Box West Long	-125.00000
Bounding Box East Long	-100.00000
Spatial Representation	Grid
Spatial Resolution	N/A
Related Links	N/A
Additional Information	N/A
Asset Size	4 MB
Legal Constraints	None
Access Constraints	Access to these data requires a password.
Software Implementation Language	N/A

Nota. Fuente laboratorio NCAR, julio 2019.

Para comprender este proceso se utilizó el software SNICAR (simula el albedo de la nieve con una cantidad de carbono negro), en esta ingresan los valores de masa de carbono negro determinados bajo la metodología SP2 y comprendidos entre los años 2014 a 2018.

Figura 8.

Equipo SP2, NCAR



Nota. Fuente: SP2-NCAR, abril 2019.

Resultados y Discusión

Durante los años 2014 al 2019 se han realizado 10 muestreos, tiempo que permitió apreciar en el glaciar Salkantay la concentración del carbono negro, cabe mencionar que cada año se realizó la colecta de la zona de acumulación como en la de ablación.

Tabla 2.

Puntos de colección de muestras de BC.

GLACIAR INKACHIRIASKA - SALKANTAY 01/09 2016					
Punto	Norte	Este	Cota	Descripción	volumen
1	8522885.892	767057.718	5089.093	PZ01 - Acumulación	240 ml
2	8522355.46	767196.581	4838.361	BZ I-7 – Ablación	240 ml

Nota. Fuente: Estudio del BC, glaciar Salkantay 2019.

- En la tabla 3, los filtros obtenidos, son expuestos a la luz del equipo SP2 y el software Arduino, representados en la columna central y cuya unidad está expresada en nano gramo de Carbono Negro por gramo de nieve.
- Estos valores son incorporados a otro paquete de simulación de característica libre o gratuita, denominada SNICAR, que permite conocer el albedo de cada filtro, es decir la cantidad retenida de luz, respecto al filtro en blanco o limpio, que se aprecia en la última Snow Albedo.
- Seguidamente se muestra los valores obtenidos entre los filtros en blanco, a diferencia de los que contienen cierta cantidad de carbono negro, como se aprecia en la última columna de la derecha.

Tabla 3.

Cálculo de CN con equipo SP2 y software Arduino.

AÑO	VALOR (ng de BC / g de agua)	Snow Albedo (SNICAR)	Diferencia (Blanco – mes)
BLANCO	0.00	0.88614756	0
2014	14.76	0.82098913	0.06515843
2014	56.98	0.81462926	0.0715183
2015	11.45	0.82163388	0.06451368
2015	25.32	0.81913084	0.06701672
2016	133.9	0.80652487	0.07962269
2016	0.8713	0.82388544	0.06226212
2017	3.855	0.82328826	0.0628593
2017	13.72	0.82118678	0.06496078
2018	6.869	0.82259762	0.06354994
2018	15.20	0.82090342	0.06524414

Nota. Fuente: Simulación de datos con SNICAR, enero 2019.

- Ahora es necesario conocer la radiación existente en la zona y en los meses de estudio. Para ello como no se cuenta con estaciones meteorológicas cercanas, se recurre a los datos históricos del SENAMHI, que calcula diariamente estos valores y se expresa en promedios mensuales en unidades de KWh/m^2 .

- Para el cálculo de la Energía Absorbida por el Black Carbon, se realiza los productos de albedos obtenidos (blanco – año) para cada año, con la cantidad de energía expresada en Joule, así obtenemos la cantidad de energía absorbida por el contaminante en la nieve fresca. Ver tabla 4.

Tabla 4.

Energía Absorbida por el Carbono Negro.

AÑO:	Energía Total (ET) (W/m ²)	ET * 3600 (J.seg/m ²)	Diferencia	Energía Absorbida por el B.C.(J*s/m ²)
2014	5500	154000	0.00504714	36123833.6
2014	5500	170500	0.0054189	43897932.5
2015	5000	150000	0.00727994	34837387.2
2015	5000	155000	0.00633592	37395329.8
2016	5000	150000	0.00649279	42996252.6
2016	4500	139500	0.00689852	31268036.7
2017	4500	139500	0.00777072	31567940.5
2017	4500	135000	0.01023156	31570939.1
2018	6500	201500	0.01216835	46099126.5
2018	6500	195000	0.01184249	45801386.3

Nota. Fuente: Estudio del BC, glaciar Salkantay 2019.

Tabla 5

Nieve fundida en el glaciar Salkantay.

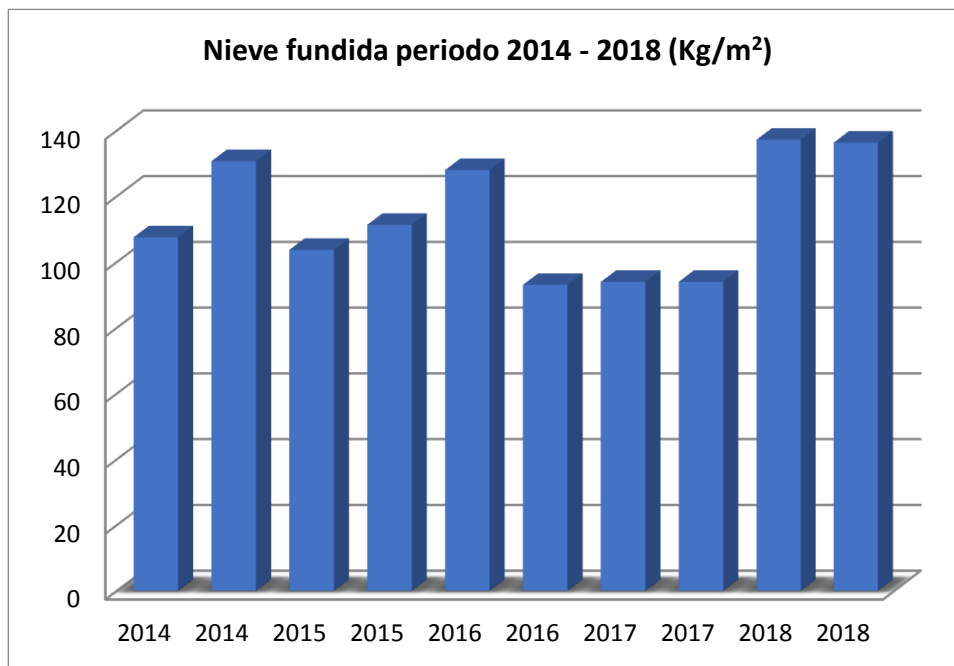
Año:	Energía Absorbida por el B.C.(J*s/m ²)	Energía de Fusión (Joule)	Nieve Fundida por el B. C. (Kg/m ²)
2014	36123833.6	554400000	107.51141
2014	43897932.5	613800000	130.648609
2015	34837387.2	540000000	103.6827
2015	37395329.8	558000000	111.295624
2016	42996252.6	540000000	127.965038
2016	31268036.7	502200000	93.0596329
2017	31567940.5	502200000	93.9522037
2017	31570939.1	486000000	93.9611282
2018	46099126.5	725400000	137.199781
2018	45801386.3	702000000	136.31365

Nota. Fuente: Estudio y Medición del BC, glaciar Salkantay 2019.

- El término "calor de fusión latente" es la energía necesaria para cambiar el estado del agua de hielo a líquido y es de 336 KJ/Kg, 336000 julios de energía para cambiar un kilogramo de hielo en líquido.
- Finalmente calculamos la nieve fundida a causa del Black Carbon en el glaciar Salkantay, en Kilogramos por metro cuadrado como indica la tabla 5, y representado en la figura 9

Figura 9

Nieve fundida 2014-2018



Nota. Estudio del Black Carbon en el Glaciar Salkantay, 2019

- Además de los mencionados impactos en el clima, la presencia del Black Carbon en la atmósfera conlleva graves efectos negativos sobre la salud humana. Se tiende a estudiar su impacto dentro del conjunto de materias particuladas que, según la OMS (OMS, 2011), afectan a más personas que cualquier otro contaminante. Además del Black Carbon, sus principales componentes son los sulfatos, los nitratos, el amoníaco y el cloruro sódico.
- Así, afirma que la mayoría de la población urbana y rural de los países desarrollados y en desarrollo está actualmente sometida a niveles de exposición de materias

particuladas en los que ya se dan sus efectos, como el aumento del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y respiratorias, y cáncer de pulmón.

- En esta línea, alerta del riesgo de infección aguda en las vías respiratorias inferiores y la mortalidad por esta causa entre niños pequeños como consecuencia de la exposición a los contaminantes derivados de la quema de combustibles fósiles sólidos en espacios abiertos y las cocinas tradicionales en espacios cerrados, así como del riesgo de enfermedad pulmonar obstructiva crónica y cáncer de pulmón entre los adultos debido a la contaminación atmosférica en espacios interiores.

Conclusión

- La variación temporal del black carbon en el glaciar Salkantay, ha sido considerable, sobre todo en los últimos años, cuando se incrementan las temperaturas, disminuyen las lluvias, además se acrecientan los incendios forestales y de pastizales.
- Al hacer algunas suposiciones razonables, esto podría significar que aproximadamente 100 kilogramos de nieve se derriten por metro cuadrado por mes durante la estación seca (cuando las nubes son raras) lo que conduce a una pérdida adicional de nieve de al menos 20 cm por año (Schmitt et, al 2018).

Referencias bibliográficas

Bond, TC, et al. 2013. Bounding el papel del carbono negro en el sistema climático: Una evaluación científica, *J. Geophys. Res. Atmos*, 118, doi: 10.1002 / jgrd.50171.

Hadley and Kirchstetter: Hadley and Kirchstetter, The magnitude of the decline in VNIR is consistent with the surface presence of black carbon, (2012).

NCAR laboratory, July 2019: Vanda Grubišic, Jeff Stith, Pavel Romashkin, Jorgen Jensen, and Gabriele Pfister ´ NCAR Earth Observing Laboratory, Boulder, Colorado, United States of America, grubisic@ucar.edu

OMS: OMS (2011). Organización Mundial de la Salud. Calidad del aire y salud. Public Health and Environment - World Health Organization (WHO). Disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/> (fecha de último acceso: 28/05/14).

Schmitt et.al 2015: CG Schmitt, JD All, JP Schwarz, WP Arnott, RJ Cole, E Lapham, :Measurements of light-absorbing particles on the glaciers in the Cordillera Blanca, Peru. *The Cryosphere* 9 (1), 331-340

- Schmitt et.al 2018: C Schmitt, C Torres, L Suárez, R Estevan, D Helmig: Measurement of light absorbing particles in the snow of the Huaytapallana glacier in the central Andes of Peru and their effect on albedo and radiative forcing, Chem. Phys 10, 6603-6615
- Tami Bond. UIUC. 2009: Bond T., Bridging the gap between theory and application in black carbon emissions", Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la U. de Chile, 15 de abril de 2015.
- Zúñiga, Juan J., Schmitt, CG, Rado Maxwell, Quantitative estimation of black carbon in the glacier Ampay-Apurímac, Perú. SDEWES 2019 / tc-9-331-2019.