

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE
AEROSOL DEPOSITADOS EN LA ZONA DE
ACUMULACIÓN DEL GLACIAR ARTESONRAJU
PARA EL PERIODO 2014-2016”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

Bach. ROLANDO CESAI CRUZ ENCARNACIÓN

ASESOR:

Dr. Ing. ALFREDO WALTER REYES NOLASCO

Huaraz, Ancash, Perú

Julio, 2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE
AEROSOL DEPOSITADOS EN LA ZONA DE
ACUMULACIÓN DEL GLACIAR ARTESONRAJU
PARA EL PERIODO 2014-2016”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

Bach. ROLANDO CESAI CRUZ ENCARNACIÓN

ASESOR:

Dr. Ing. ALFREDO WALTER REYES NOLASCO

Huaraz, Ancash, Perú

Julio, 2018



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM

Conforme al Reglamento Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI
Resolución de Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

1. Datos del Autor:

Apellidos y Nombres: CRUZ ENCARNACIÓN ROLANDO CESAI

Código de alumno: 05.1281.2.AB

Teléfono: 989458058

Correo electrónico: rcruzenc@gmail.com

DNI: 44236307

2. Datos del Autor:

Trabajo de investigación

Trabajo académico

Trabajo de suficiencia profesional

Tesis

3. Título profesional o grado académico:

Bachiller

Título

Segunda especialidad

Licenciado

Magister

Doctor

4. Título del trabajo de investigación:

EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE AEROSOLES DEPOSITADOS EN LA ZONA DE ACUMULACIÓN DEL GLACIAR ARTESONRAJU PARA EL PERIODO 2014-2016

5. Facultad de: CIENCIAS DEL AMBIENTE

6. Escuela, Carrera o Programa: INGENIERÍA AMBIENTAL

7. Asesor:

Apellidos y Nombres: REYES NOLASCO ALFREDO WALTER Teléfono: 943869269

Correo electrónico: alrenol@yahoo.es

DNI: 08297522

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito respecto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma:

D.N.I.: 44236307

FECHA: Huaraz, 27 de noviembre de 2018



ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el Auditorium de la FCAM-UNASAM, de conformidad a la normatividad vigente conducen el Acto Académico de Sustentación y Defensa de la Tesis **EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE AEROSOL DEPOSITADOS EN LA ZONA DE ACUMULACIÓN DEL GLACIAR ARTESONRAJU PARA EL PERÍODO 2014-2016**, que presenta el Bachiller **CRUZ ENCARNACIÓN ROLANDO CESAI** para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental**.

En seguida, después de haber atendido la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, lo declaramos:

APROBADO

con el calificativo de *Diecisis (16)*

En consecuencia, el Bachiller **CRUZ ENCARNACIÓN ROLANDO CESAI** queda expedito para que el Consejo de Facultad de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniero Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 761-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 232-2017-UNASAM).

Huaraz, 16 de Julio de 2018


Ing. RICARDO RAY VILLANUEVA RAMIREZ
Presidente
Jurado de Sustentación


Ing. FRIDA MÓNICA CABALLERO BEDRIÑANA
Secretaria
Jurado de Sustentación


Ing. HELDER EDEGARDO MALLQUI MEZA
Vocal
Jurado de Sustentación


MSc. ALFREDO WALTER REYES NOLASCO
Asesor de Tesis

DEDICATORIA

*A mis padres, Luis y Matilde,
y a mis hermanos Fredy, Iván y Néida,
por su apoyo y comprensión durante el
desarrollo de este trabajo*

Rolando Cruz Encarnación

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a mi familia por su apoyo incondicional para alcanzar todos mis objetivos y confiar en mí.

A la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, por los conocimientos adquiridos a través de las enseñanzas de ilustres profesionales de esta casa superior.

A la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua, Instituto de Investigación y Desarrollo (IRD-Francia) y la Universidad de Innsbruck (Austria) por el apoyo logístico, económico y proporcionar datos meteorológicos.

A mi asesor el Dr. Ing. Alfredo Reyes Nolasco y al Ing. Rafael Figueroa Tauquino por su amistad y disposición para aclarar dudas generadas a lo largo de la ejecución de esta tesis.

A mis amigos Alexander Santiago Martel y Fiorella Quiñonez Collas por el apoyo incondicional, además de mis compañeros de trabajo el Ing. Alejo Cochachin Rapre y Ing. Gilber Gonzales Lizarme.

A los señores Américo González Caldua, Héctor Oropeza Chinchay y Federico Huané Torres, por su apoyo incondicional en la travesía al glaciar Artesonraju, para realizar los trabajos de extracción de muestras de neviza.

RESUMEN

Los aerosoles son emitidos a la atmosfera por fuentes naturales y antropogénicas, estos son transportados por el viento llegan incluso a lugares remotos como los glaciares alterando su dinámica, por tal motivo se desarrolló la siguiente investigación para evaluar la concentración de aerosoles depositados en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju (Ancash-Perú) para el periodo 2014 al 2016, para lo cual se realizaron expediciones de alpinismo correspondientes a los años hidrológicos 2014-2015 y 2015-2016, para cada temporada se realizaron muestreos con el uso de una perforadora Kovacs se extrajeron testigos de neviza para analizar la variación de la densidad hasta ubicar la capa basal que representa el límite de años hidrológicos diferentes; las muestras extraídas se analizaron mediante un análisis de regresión lineal simple y múltiple donde se obtuvo ecuaciones para calcular la concentración de aerosoles en la zona de acumulación; además se analizaron datos meteorológicos para explicar su presencia en el glaciar.

La variación de la densidad de neviza fue de 0.19 g/cm^3 de la superficie hasta 0.81 g/cm^3 para zonas más profundas de muestras extraídas y una media. 0.56 g/cm^3 . La concentración de aerosoles acumulados para el año hidrológico 2014-2015 fue de 4.017 toneladas para un área de 3.677 km^2 , de 0.0001 g/m^2 a 3.701 g/m^2 (media: 1.191 g/m^2); y para el año hidrológico 2015-2016 fue de 5.495 toneladas para un área de 3.069 km^2 , de 0.001 g/m^2 a 5.099 g/m^2 (media: 1.916 g/m^2), el viento que transporta los aerosoles y la humedad tienen una predominancia mayor del Este (callejón de Conchucos) al Oeste (callejón de Huaylas); la variación del albedo de la superficie glaciar fue de 0.11 a 0.88, (media: 0.37) con una tendencia decreciente, el cual indica que el glaciar está perdiendo la capacidad de reflejar la radiación solar incidente, impactado por el depósito de aerosoles.

Palabras claves: aerosoles, glaciar, zona de acumulación, neviza, albedo.

ABSTRACT

Aerosols are emitted into the atmosphere by natural and anthropogenic sources, they are transported by the wind and even reach remote places such as glaciers, altering their dynamics. For this reason, the following research was carried out to evaluate the concentration of aerosols deposited in the accumulation zone of the Artesonraju glacier (Ancash-Peru) for the period 2014 to 2016, for which mountaineering expeditions were made for the hydrological years 2014-2015 and 2015-2016, for each season were made samples with the use of a Kovacs drill were extracted snow cores to analyze the variation in density to locate the basal layer that represents the limit of different hydrological years; the extracted samples were analyzed by means of a single and multiple linear regression analysis where equations were obtained to calculate the concentration of aerosols in the accumulation zone; in addition meteorological data were analyzed to explain their presence in the glacier.

The variation of the density of firn was of 0.19 g/cm³ of the surface until 0.81 g/cm³ for deeper zones of samples extracted and a half. 0.56 g/cm³. The cumulative concentration of solid aerosols for the 2014-2015 hydrological year was 4,017 tons for an area of 3,677 km², from 0.0001 g/m² to 3,701 g/m² (average: 1191 g/m²); and for the hydrological year 2015-2016 was 5,495 tons for an area of 3,069 km², from 0.001 g/m² to 5,099 g/m² (average: 1,916 g/m²), the winds that transport the aerosols and the humidity have a greater predominance of the East (callejón de Conchucos) to the West (callejón de Huaylas); the variation of the albedo of the glacier surface was from 0.11 to 0.88, (average: 0.37) with a decreasing tendency, which indicates that the glacier is losing the capacity to reflect the incident solar radiation, impacted by the deposit of aerosols.

Keywords: aerosols, glacier, accumulation zone, firn, albedo.

ÍNDICE

Contenido	Pág.
AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE	vii
RELACIÓN DE TABLAS	ix
RELACIÓN DE FIGURAS	x
ABREVIATURAS	xi
UNIDADES DE MEDIDAS	xi
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Hipótesis	2
CAPÍTULO II	
MARCO REFERENCIAL	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Marco teórico	5
2.2.1. Contaminación atmosférica	5
2.2.2. Generación de aerosoles	5
2.2.3. Transporte de aerosoles	6
2.2.4. Glaciar	6
2.2.5. Efectos de aerosoles en glaciares	7
2.2.6. Uso de software para mapeo y condiciones meteorológicas	8
2.2.7. Nieve, neviza y hielo	9
2.3. Definición de términos	10

CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA	15
3.1. Ubicación del glaciar Artesonraju	15
3.2. Coordenadas de puntos de muestreo	15
3.3. Extracción de testigos de neviza	16
3.4. Análisis de aerosoles	17
3.5. Cálculo de la concentración de aerosoles para la zona de acumulación	18
3.6. Datos meteorológicos	18
3.7. Flujograma de la metodología	20
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS	21
4.1. Análisis de la densidad de neviza para el año hidrológico 2014 al 2016	21
4.1.1. Densidades de neviza en el año hidrológico 2014-2015	21
4.1.2. Densidades de neviza en el año hidrológico 2015-2016	25
4.2. Cálculo de la concentración de aerosoles depositados	28
4.2.1. Cálculo de aerosoles en los puntos de muestreo	29
4.2.2. Análisis estadístico	29
4.2.3. Ecuaciones para el cálculo de aerosoles en la zona de acumulación	30
4.3. Concentración de aerosoles depositados en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju	31
4.3.1. Concentración de aerosoles para el año hidrológico 2014-2015	31
4.3.2. Concentración de aerosoles para el año hidrológico 2015-2016	31
4.4. Análisis de datos meteorológicos	32
4.4.1. Temperatura	32
4.4.2. Humedad relativa	33
4.4.3. Precipitación	34
4.4.4. Rosa de viento	35
4.4.5. Radiación solar	39
4.4.6. Albedo	40
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
5.1. Conclusiones	41
5.2. Recomendaciones	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

ANEXOS	48
ANEXO 1: Mapas temáticos	49
ANEXO 2: Panel fotográfico	54
ANEXO 3: Análisis estadístico y generación de ecuaciones	57
ANEXO 4: Datos de las estaciones meteorológicas	59
ANEXO 5: Resultados de análisis de laboratorio	62

RELACIÓN DE TABLAS

Contenido	Pág.
Tabla Nº 1: Tipos de aerosoles	5
Tabla Nº 2: Valores de albedo para diferentes tipos de superficie	13
Tabla Nº 3: Coordenadas de los puntos de muestreo	15
Tabla Nº 4: Ubicación de las estaciones meteorológicas	18
Tabla Nº 5: Variables meteorológicas consideradas	19
Tabla Nº 6: Registro de datos en el punto de muestreo AAC-01	21
Tabla Nº 7: Registro de datos en el punto de muestreo AAC-02	23
Tabla Nº 8: Registro de datos de en el punto de muestreo AAC-03	24
Tabla Nº 9: Registro de datos en el punto de muestreo AP-01	25
Tabla Nº 10: Registro de datos en el punto de muestreo AP-02	26
Tabla Nº 11: Registro de datos en el punto de muestreo AP-03	27
Tabla Nº 12: Concentraciones correspondientes a los puntos de muestreo	29
Tabla Nº 13: Datos para el análisis de regresión lineal simple	29
Tabla Nº 14: Ecuaciones para calcular las concentraciones de aerosoles en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju	31
Tabla Nº 15: Concentración de aerosoles depositados en el año hidrológico 2014-2015	31
Tabla Nº 16: Concentración de aerosoles depositados en el año hidrológico 2015-2016	31

RELACIÓN DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Figura Nº 01: Transporte de aerosoles	6
Figura Nº 02: Partes principales de un glaciar	7
Figura Nº 03: Efecto de aerosoles en glaciares	8
Figura Nº 04: Diagénesis del hielo	10
Figura Nº 05: Espectro electromagnético	12
Figura Nº 06: Capa basal en zona de acumulación de un glaciar	14
Figura Nº 07: Perforación para la extracción de muestras de neviza	16
Figura Nº 08: Perfil de densidad elaborado a partir de un pozo excavado	17
Figura Nº 09: Proceso de muestreo y análisis de aerosoles	17
Figura Nº 10: Flujograma de la metodología realizada	20
Figura Nº 11: Variación de densidad con la profundidad en el punto de muestreo AAC-01	22
Figura Nº 12: Variación de densidad con la profundidad en el punto de muestreo AAC-02	24
Figura Nº 13: Variación de densidad con la profundidad en el punto de muestreo AAC-03	25
Figura Nº 14: Variación de densidad con la profundidad en el punto de muestreo AP-01	26
Figura Nº 15: Variación de densidad con la profundidad en el punto de muestreo AP-02	27
Figura Nº 16: Variación de densidad con la profundidad en el punto de muestreo AP-03	28
Figura Nº 17: Regresión lineal simple de la concentración, DEM, pendiente y orientación	30
Figura Nº 18: Variación de temperatura promedio diaria en las estaciones meteorológicas de Artesonraju y Paria	33
Figura Nº 19: Variación de humedad relativa promedio diaria en las estaciones meteorológicas de Artesonraju y Paria	34
Figura Nº 20: Variación de precipitación acumulada mensual en las estaciones meteorológicas de Arteson Morrena y Paria	35
Figura Nº 21: Rosa de viento en la estación Glaciar Artesonraju para años hidrológicos 2014 al 2016	36

Figura Nº 22: Rosa de viento en la estación Arteson Morrena para años hidrológicos 2014 al 2016	37
Figura Nº 23: Rosa de viento en la estación meteorológica Paria para años hidrológicos 2014 al 2016	38
Figura Nº 24: Sistemas de circulación de viento en el glaciar Artesonraju para los años hidrológicos 2014 al 2016	38
Figura Nº 25: Variación de la radiación solar incidente en la estación meteorológica Glaciar Artesonraju	39
Figura Nº 26: Variación del albedo de la superficie del glaciar Artesonraju	40

ABREVIATURAS

ANA	Autoridad Nacional del Agua
ELA	Altitud de la línea de equilibrio (equilibrium line altitude).
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
DEM	Modelo de Elevación Digital
A.H.	Año Hidrológico

UNIDADES DE MEDIDAS

l	litro
m	Longitud
kg	Kilogramo
t	Tonelada
g/cm ³	Densidad
g/m ²	Concentración
°	Grados
%	Porcentaje
w/m ²	Vatios por metro cuadrado
°C	Grado Celsius
mm	Lámina de agua

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La criosfera describe colectivamente las porciones de la superficie de la Tierra donde el agua está en estado sólido: capa de nieve, glaciares, capas de hielo, hielo de agua dulce, hielo marino, icebergs y permafrost (Barry & Gan, 2011). En las últimas dos décadas, los glaciares siguen derritiéndose casi en todo el mundo, disminuyendo en extensión, el cambio climático y las influencias antropogénicas contribuyen al retroceso de los glaciares desde la década de 1960 (IPCC, 2013).

Las actividades antropogénicas han causado cambios considerables en la composición de aerosoles e incrementando sus emisiones a la atmósfera que tiene una estrecha vinculación al crecimiento económico, la densidad de población, y el desarrollo tecnológico (Steyn & Chaumerliac, 2016). Los aerosoles transportados por el viento llegan a depositarse en los glaciares de diferentes partes del mundo (Ming, Zhang, Kang, & Tian, 2007). El efecto de los aerosoles como el hollín sobre nieve y hielo genera la disminución del albedo y por tanto acelera su fusión (Hansen & Nazarenko, 2004).

Los glaciares tropicales son indicadores muy sensibles del clima global y son reservas de agua dulce en algunas regiones en rápido desarrollo (Kaser & Osmaston, 2002). Además los glaciares están retrocediendo en todas partes en los Andes tropicales, y es más acelerado en pequeños glaciares a bajas altitudes que no tienen una zona de acumulación permanente, y que podría desaparecer en los próximos años o décadas (Rabatel et al., 2013). Presentamos el estudio de los aerosoles evaluando su concentración en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju, además de explicar las condiciones meteorológicas entorno a la zona de estudio.

1.1. Planteamiento del problema

Las actividades humanas han incrementado las emisiones de aerosoles a la atmosfera, siendo transportadas por el viento, llegando a depositarse en lugares remotos como los glaciares ubicados en zonas polares, australes y tropicales que es el caso de este estudio orientado a evaluar la concentración de aerosoles depositados en el glaciar Artesonraju.

1.2. Formulación del problema

¿Es significativa la concentración de aerosoles depositados en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju para el periodo 2014 - 2016?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la concentración de los aerosoles depositados en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju para el periodo 2014 - 2016.

1.3.2. Objetivos específicos

- Extraer testigos de neviza correspondientes a los años hidrológicos 2014-2015 y 2015-2016.
- Estimar la concentración de aerosoles depositados en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju para los años hidrológicos 2014-2015 y 2015-2016.
- Analizar la variación de la temperatura, humedad relativa, precipitación, viento y radiación solar entorno al glaciar Artesonraju.

1.4. Hipótesis

- Existe una menor concentración de aerosoles depositados para el año hidrológico 2014-2015 y mayor concentración de aerosoles depositados para el año hidrológico 2015-2016, en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

En el Ártico (Islandia) las erupciones volcánicas y las tormentas de polvo, llegan a depositarse en los glaciares circundantes, como en el caso del glaciar Vatnajökull, los efectos de la ceniza volcánica depositada sobre hielo y nieve derretida se examinaron mediante experimentos de laboratorio y en el glaciar. La ceniza aisló el hielo debajo en un espesor de 9-15 mm y la fusión máxima ocurrió con un espesor de 1 mm; y la concentración de polvo depositada durante el verano de 2013 van desde 0.2 hasta 16.6 gm^{-2} , además el material que se deposita absorbe mayor radiación solar debido a su color oscuro (Dragosics et al., 2016).

En la Antártica se analizaron muestras de nieve recolectadas durante enero y febrero de 1986 se analizaron para detectar la presencia de partículas que absorben la luz; el resultado fue equivalente a 0.1-0.3 ng de carbono por gramo de nieve (ng/g). El aire ambiental contenía aproximadamente 1-2 ng de carbono por kilogramo de aire, lo que arrojaba una relación entre las partículas presentes en el aire y la nieve (Warren & Clarke, 1990). En el caso de los Alpes Suizos, se investigaron el efecto a largo plazo de las impurezas de nieve como el polvo mineral y el carbón negro (BC) sobre el balance de masa de glaciar y albedo. El análisis se realizó durante el período 1914-2014 para dos glaciares en Claridenfirn, donde se analizaron núcleos de hielo, que registraron la presencia de polvo de Sahara y BC (Gabbi, Huss, Bauder, Cao, & Schwikowski, 2015a).

El impacto de la deposición del polvo en los glaciares es la disminución del albedo superficial por la aparición de una capa de polvo que conduce a un aumento drástico de la escorrentía de los glaciares incluso bajo las mismas condiciones meteorológicas (Fujita, 2007). En el caso de la capa de hielo de Groenlandia en Kronprinz Christians

Land, se analizaron las partículas arrastrados por el viento local donde las partículas de polvo en la superficie a menudo se agregan juntas para formar grumos de escala de centímetros que se funden en el hielo, formando pozos que tienen el nombre de crioconita (albedo 0.1) (Bøggild, Brandt, Brown, & Warren, 2010).

En la India, un extenso programa de muestreo de aerosoles se realizó en Darjeeling (altitud ~ 2200 m s.n.m.), en una estación en el noreste del Himalaya, durante enero-diciembre de 2005. Las concentraciones promedio de aerosol en modo fino y grueso se encontraron en $29.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $19.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. El aerosol de modo fino predominó durante las estaciones secas y el aerosol de modo grueso predominó durante el monzón. Se observó un transporte a larga distancia de aerosoles de polvo de regiones áridas del oeste de la India durante el premonzón. La quema de biomasa, las emisiones vehiculares y las partículas de polvo fueron los principales tipos de aerosoles de las regiones locales y continentales, mientras que las partículas de sal marina fueron los principales tipos de aerosoles de las regiones marinas (Chatterjee et al., 2010).

En el Perú, específicamente en el Parque Nacional Huascarán (PNH), el pastoreo y las quemadas antropogénicas han interactuado por décadas con igniciones naturales y la variabilidad climática, dándose un incremento en la ocurrencia y tamaño consistente en el número de incendios activos y áreas quemadas durante la estación seca de los incendios principalmente en la zona de amortiguamiento del PNH (All et al., 2017). La generación de los humos en éstos incendios por las actividades antropogénicas se consideran aerosoles (artificiales), que surgen principalmente de una variedad de fuentes de combustión, puede variar por la densidad de la población y zonas industrializadas, y en áreas de intensa quema agrícola (Chin, 2009).

En el caso del PNH, los aumentos en las partículas absorbentes de la luz depositadas en los glaciares podrían estar contribuyendo a la pérdida de masa glaciar, los resultados de muestras de nieve en los glaciares de la Cordillera Blanca (2011, 2012 y 2013), muestran que cerca de los centros poblados se tienen niveles más altos de concentración de Carbono Negro (BC), (70 ng/g), a diferencia de los glaciares remotos (2.0 ng/g de BC) , lo que indica que los centros de población pueden influir en los glaciares locales mediante el abastecimiento de BC (Schmitt et al., 2015).

2.1. Marco teórico

2.1.1. Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica ocurre cuando se agregan gases y partículas no deseados al aire, impactando el ambiente y la salud de manera negativa. En principio, estos compuestos no deseados pueden ser cualquier cosa en cualquier fase, como el dióxido de carbono (CO₂), gotitas de líquido y partículas sólidas como los aerosoles (Vallero, 2008). Un material se etiqueta sólo como contaminante del aire cuando va en contra de los intereses de los seres humanos. Por ejemplo, el dióxido de azufre (SO₂) es se considera un contaminante del aire debido a su impacto negativo en el medio ambiente, y la salud humana (Tan, 2014).

2.1.2. Generación de aerosoles

Los aerosoles son la diversidad de partículas presentes en la atmosfera como resultado de un complejo de procesos físicos y químicos los cuales los hacen muy variables de acuerdo a su origen antropogénico o natural (Kondratyev, Ivlev, Krapivin, & Varotsos, 2006). Su importancia climática de los aerosoles depende no solo de la potencia de sus emisiones, sino también de sus propiedades físicas y químicas (Boucher, 2015). En la Tabla 1, se detalla el flujo de emisión aproximado de diferentes tipos de aerosoles. 1Tg = 10¹² g = 1 millón de toneladas. 1Gg = 1000 toneladas.

Tabla 1. Tipos de aerosoles

Tipo de aerosol	Flujo de emisión (por año)
Aerosoles primarios naturales	
Polvo del desierto	1000-3000 Tg
Spray marino	1000-6000 Tg
Aerosoles de combustión de biomasa	25-35 Tg
Bioaerosoles Aerosoles primarios terrestres	Orden de 1000 Tg
- Incluyendo bacterias	40-1800 Gg
- Incluyendo esporas	30 Tg
Precusores de aerosoles secundarios naturales	
Dimetilsulfuro (DMS)	20-40 Tg S
SO ₂ Volcánico	6-20 Tg S
Terpenos	40-400 Tg
Aerosoles primarios antropogénicos*	
Polvo industrial	40-130 Tg
Aerosoles de combustión de biomasa	50-90 Tg

Carbono negro (del combustible fósil)	6-10 Tg
Carbono orgánico (del combustible fósil)	20-30 Tg
Aerosoles secundarios antropogénicos	
SO₂	70-90 Tg S
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	100-560 Tg C
NH₃	20-50 TgN
NO_x	30-40 Tg N

Fuente: (Boucher, 2015). Traducido.

2.1.3. Transporte de aerosoles

El viento es el parámetro climático más importante en la dispersión y transporte de los aerosoles (Kondratyev et al., 2006). Su dispersión en la atmosfera afecta al clima, mediante la formación de nubes, llegando incluso a la criósfera donde llegan a depositarse (Chin, 2009).



Figura 1. Transporte de aerosoles

Fuente: (Chin, 2009)

2.1.4. Glaciar

Un glaciar es una masa de hielo terrestre que fluye pendiente abajo (por deformación de su estructura interna y por el deslizamiento en su base),

encerrado por los elementos topográficos que lo rodean, como las laderas de un valle o las cumbres adyacentes; la topografía del lecho de roca es el factor que ejerce mayor influencia en la dinámica de un glaciar y en la pendiente de su superficie (IPCC, 2001). Un glaciar subsiste por la acumulación de nieve a gran altura, que se compensa con la fusión del hielo a baja altura o la descarga en el mar; además un glaciar se caracteriza por tener tres partes significativas como la zona de acumulación que es el lugar donde el glaciar gana masa por la acumulación de precipitaciones sólidas, la zona de ablación es la zona donde el glaciar pierde masa por los procesos de fusión, evaporación y sublimación (Benn & Evans, 2010). Y la línea de equilibrio, conocida simplemente como ELA (Equilibrium Line Altitud), el cual representa la frontera entre la zona de acumulación y ablación; también representa el (balance de masa cero) debido a que los procesos de acumulación y ablación se igualan (Rivera, Bown, Napoleoni, Muñoz, & Vuille, 2016).



Figura 2. Partes principales de un glaciar

2.1.5. Efecto de aerosoles en glaciares

Los aerosoles generados por incendios forestales integrados a las emisiones de gases de efecto invernadero, carbono negro, llegan a depositarse

en la superficie de los glaciares como el caso del Ártico, donde el efecto de los aerosoles es reducir el albedo de la superficie e incrementa el forzamiento radiativo acelerando su proceso de derretimiento (Randerson et al., 2006). Similar proceso ocurre en los Alpes donde la fuente principal de aerosoles proviene del desierto Sahara donde el polvo del desierto es transportado por los vientos hasta los glaciares Alpinos, alterando su albedo y como consecuencia acelerando su retroceso (Gabbi, Huss, Bauder, Cao, & Schwikowski, 2015b); en la Figura 3, se observa los aerosoles depositados sobre la superficie glaciar (color oscuro) el cual reduce el albedo superficial y absorbe mayor energía solar acelerando su fusión.

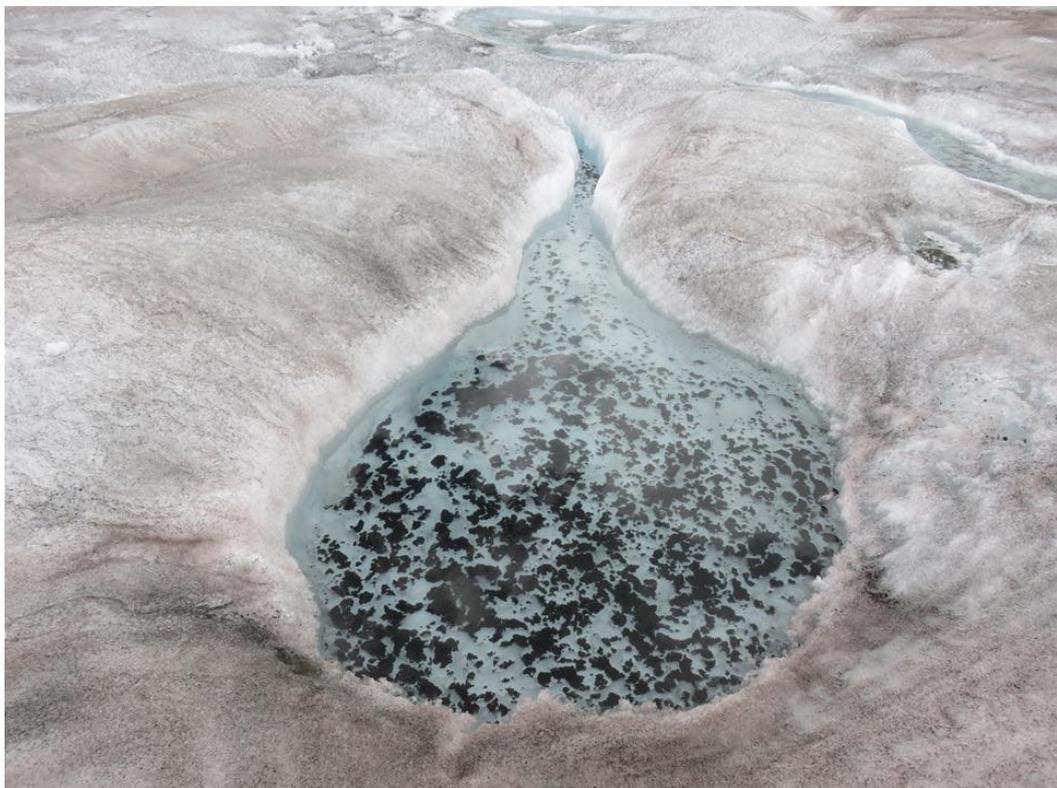


Figura 3. Efecto de aerosoles en glaciares

2.1.6. Uso de software para mapeo y condiciones meteorológicas

El uso de sistemas de información geográfica (SIG) es una base de datos espacial compuesto por un conjunto de “hardware”, “software”, datos geográficos, organizados para capturar, almacenar, consultar, analizar y presentar todo tipo de información que pueda tener una referencia geográfica, donde los formatos de trabajo son de dos tipos el vectorial (cobertura) y el raster, que es un archivo de imagen (Puerta Tuesta, Rengifo Trigozo, & Bravo Morales,

2011) ; el programa más usado es el ArcGIS el cual se usa para modelar, estimar y generar un mapa de la concentración de aerosoles (Puerta Tuesta et al., 2011).

Para el caso de procesamiento de datos meteorológicos, particularmente el viento se organiza a través de registros horarios de la velocidad y dirección de viento, considerando sus coordenadas geográficas, el software de licencia libre para esos procesos es el WRPLOT para los análisis de una serie de tiempo (Thé, Thé, & Johnson, 2016).

2.1.7. Nieve, neviza y hielo

La nieve es la precipitación sólida en forma de cristales de hielo, principalmente en formas hexagonales ramificadas complejas y a menudo aglomeradas en copos de nieve; generalmente caen en las zonas polares y zonas de montaña (IACS, 2011), la neviza es la nieve que se ha conservado en el glaciar después del periodo de lluvias sin haberse transformado en hielo y luego se transforma en hielo cuando los espacios interconectados llenos de aire o agua entre los granos se sellan, un proceso conocido como cierre de poros (pore closeoff), esto ocurre a una densidad de aproximadamente 830 kgm^{-3} (Cuffey & Paterson, 2010). En la Figura 4, se muestra la diagénesis del hielo, donde las columnas señalan la densidad de cada capa en profundidad y el tiempo estimado que demora este proceso.

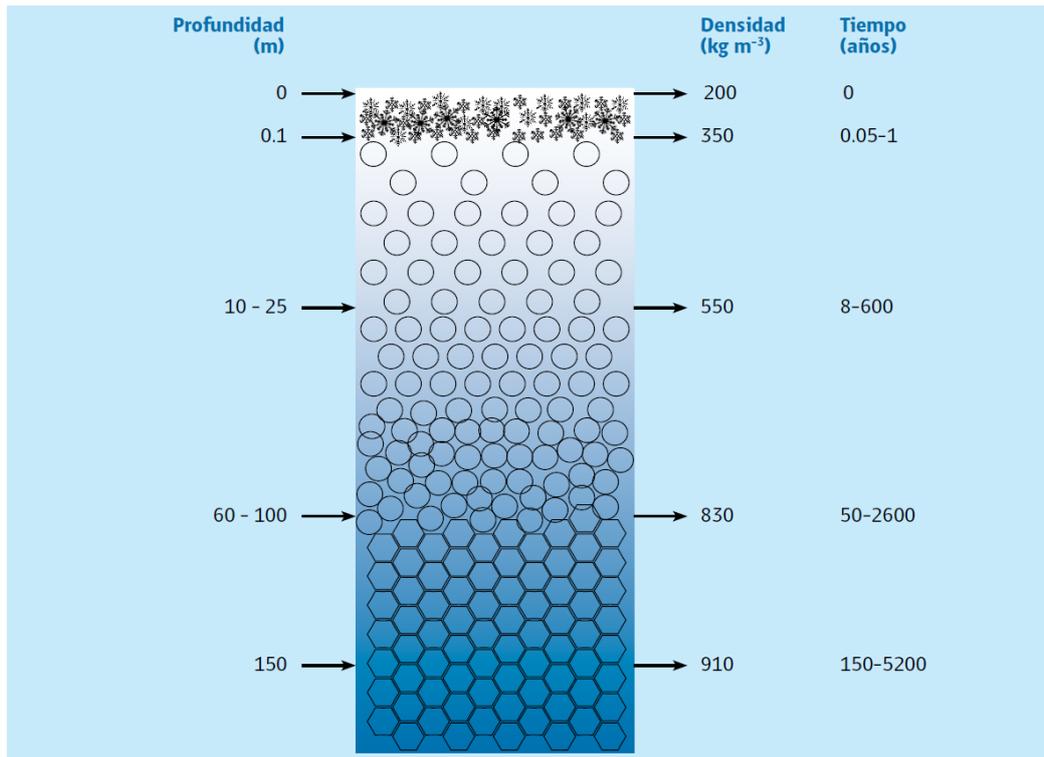


Figura 4. Diagénesis del hielo.

Fuente: (Rivera et al., 2016)

2.2. Definición de términos

2.2.1. Glaciar

Un glaciar es una masa de hielo dura, gruesa y compacta en tierra, que se forma a través de la recristalización de la nieve y avanza por su propio peso (IACS, 2011). Los glaciares se forman durante muchos años de nieve compacta en áreas donde se acumula más nieve de la que se derrite, el cual es considerado un cuerpo de hielo dinámico y frágil que siempre avanza, caracterizado por tres componentes básicos: zona de acumulación, zona de ablación y línea de equilibrio (Ellsworth et al., 2011).

2.2.2. Aerosoles

Es una suspensión de partículas sólidas y/o líquidas en el aire, el tamaño de las partículas varía de aproximadamente 0.002 a más de 100 μm (Hinds, 1999). Los aerosoles además funcionan como núcleos de condensación cuando desciende su temperatura y captan la humedad del aire, el cual genera las precipitaciones (Zhang, Khalizov, Wang, Hu, & Xu, 2012).

2.2.3. Temperatura

La temperatura del aire es el grado sensible de calor y se debe principalmente a la radiación calorífica de onda larga que emite la superficie de la tierra (North & Erukhimova, 2009), varía con el tiempo, la distancia horizontal y la altura sobre la superficie de la tierra; los cambios temporales en la temperatura del aire cerca de la superficie de la tierra son causados por el cambio de las estaciones, la alternancia de la noche y el día (Whiteman, 2000).

2.2.4. Humedad relativa

La humedad es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire, y la expresión mayormente usada es la humedad relativa expresada en tanto por ciento (%), nos da una idea de lo cerca que está una masa de aire de alcanzar la saturación. Una humedad relativa del 100% es indicativo de que esa masa de aire ya no puede almacenar más vapor de agua en su seno, y a partir de ese momento, cualquier cantidad extra de vapor se convertirá en agua líquida o en cristales de hielo, según las condiciones ambientales (Rodríguez Jimenez, Benito Capa, & Portela Lozano, 2004).

2.2.5. Precipitación

Son todas las formas de agua presentes en la atmósfera, se forma de la siguiente manera (1) enfriamiento del aire a la temperatura del punto de rocío; (2) condensación en núcleos para formar gotas de nubes o cristales de hielo; (3) crecimiento de gotitas o cristales en gotas de lluvia o copos de nieve; y (4) captación de vapor de agua para sostener el proceso (Dingman, 2015).

2.2.6. Viento

El viento es el movimiento del aire producido por el desequilibrio radiativo de la Tierra y atmósfera (Whiteman, 2000). Los vientos característicos de la zona de montaña son el anabático (valle hacia la montaña) y el catabático (montaña hacia el valle) y tienden a dirigirse hacia la más baja presión (Ayllón, 2003).

2.2.7. Radiación solar

Radiación proveniente del Sol, que al ingresar a la atmósfera, la radiación solar se divide en componentes de luz directa y difusa, principalmente a la dispersión por moléculas de aire, la dispersión y absorción por aerosoles y la

absorción por vapor de agua y μm ozono, todos los procesos generan diferentes longitudes de onda (Hock, 2005).

Al llegar a la superficie de la Tierra, podemos clasificarlos en radiación solar de onda corta ($0.15 - 2 \mu\text{m}$) y radiación solar de onda larga ($2-100$) incidente y reflejada en ambos casos (Oke, 1987).

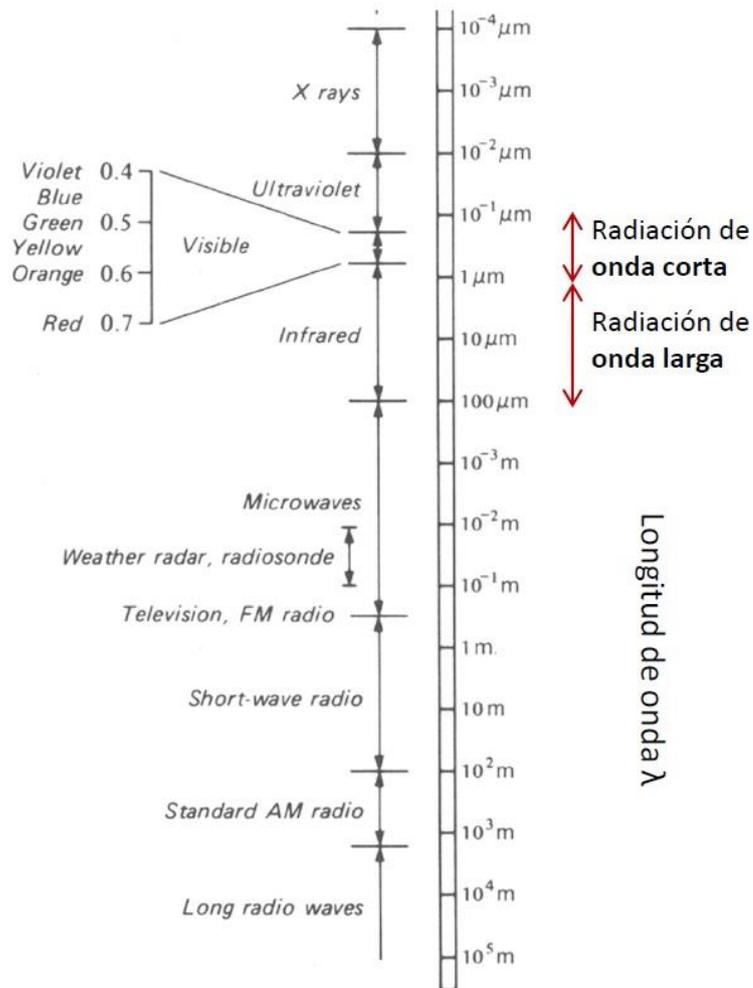


Figura 5. Espectro electromagnético.

Fuente: (Oke, 1987)

2.2.8. Albedo

Es la proporción de flujo de energía radiante solar reflejada y la incidente, comprendida en el espectro de la radiación solar de onda corta (Ellsworth et al., 2011). Los valores de Albedo son altos para superficies de nieve fresca y bajas para superficies de hielo desnudo y sucio; el albedo alto de la nieve significa que

hay mucha menos energía disponible para la ablación (derretimiento) a diferencia del hielo desnudo o cubierto de escombros (Benn & Evans, 2010).

Tabla 2. Valores de albedo para diferentes tipos de superficie.

Tipo de superficie	Mínimo	Máximo
Nieve fresca y seca	0.75	0.98
Nieve antigua, seca y limpia	0.70	0.85
Nieve antigua, húmeda y limpia	0.46	0.70
Nieve antigua, seca con aerosoles	0.30	0.60
Nieve antigua, húmeda con aerosoles	0.30	0.50
Neveza limpia	0.50	0.65
Neveza con aerosoles	0.15	0.40
Hielo superficial	0.63	0.66
Hielo azul	0.60	0.65
Hielo limpio	0.30	0.46
Escombros sobre hielo	0.06	0.30

Fuente: (Cuffey & Paterson, 2010). Traducido.

2.2.9. Año hidrológico

Período continuo de 12 meses seleccionados de manera tal que las variaciones globales del almacenamiento sean mínimas para así minimizar la cantidad de agua sobrante de un año que se incorpora al siguiente; en el Perú, el año hidrológico inicia el 01 de septiembre y culmina el 31 de agosto del año siguiente (WMO & UNESCO, 2012).

2.2.10. Capa basal

La capa basal es una capa formada por la acumulación de neveza y aerosoles que se compactan por la presión de su peso y bajas temperaturas, además esta es un indicador que diferencia periodos de precipitación sólidas en la zona de acumulación de los glaciares (Kaser, Fountain, & Jansson, 2002).



Figura 6. Capa basal en zona de acumulación de un glaciar

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Ubicación del Glaciar Artesonraju

El glaciar Artesonraju, se ubica en la región Ancash, provincia de Huaylas, distrito de Caraz, al pie de los Nevados Arteson, Pirámide, y Paria, en la cabecera de la quebrada Parón, vertiente occidental de la Cordillera Blanca. Este glaciar forma parte de la sub cuenca del río Lullán que es afluente del Río Santa. Además por su tipo de morfología este glaciar es considerado como un glaciar del tipo Valle de acuerdo a (Rau, Mauz, Vogt, Khalsa, & Raup, 2005).

3.2. Coordenadas de puntos de muestreo

El traslado hacia los puntos de muestreo se realizó utilizando equipos de seguridad y personal calificado en escalada de montañas, donde se ubicó los lugares que representan la seguridad y representatividad de la zona de acumulación del glaciar Artesonraju.

Tabla 3. Coordenadas de los puntos de muestreo.

Año hidrológico 2014-2015			
Punto de muestreo	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m s.n.m.)
AA-01	211648	9008348	5075
AA-02	211994	9008531	5194
AA-03	212200	9008591	5266
Año hidrológico 2015-2016			
Punto de muestreo	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m s.n.m.)
AP-01	212167	9008571	5250
AP-02	212056	9008575	5201
AP-03	211632	9008348	5066

3.3. Extracción de testigos de neviza

3.3.1. Perforación en los puntos de muestreo

Para realizar la extracción de neviza, se realizaron perforaciones usando la perforadora Kovacs, de diámetro de 7.8 cm y 1 m de longitud. Ésta perforadora se acopla a piezas para poder realizar extracciones a mayor profundidad, y llegar a ubicar la capa basal que diferencia periodos de depósito de nieve en años hidrológicos diferentes (Francou & Pouyaud, 2004).

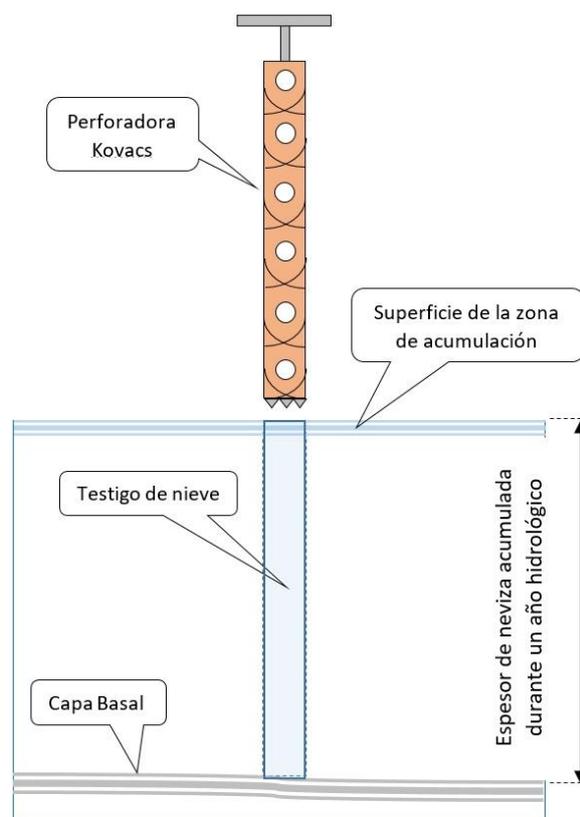


Figura 7. Perforación para la extracción de muestras de neviza.

3.3.2. Análisis de la densidad de neviza

Para el análisis de la densidad, se realizó la medición de las longitudes y el peso de cada muestra de neviza hasta ubicar la capa basal, en cada punto de muestreo (Francou & Pouyaud, 2004).

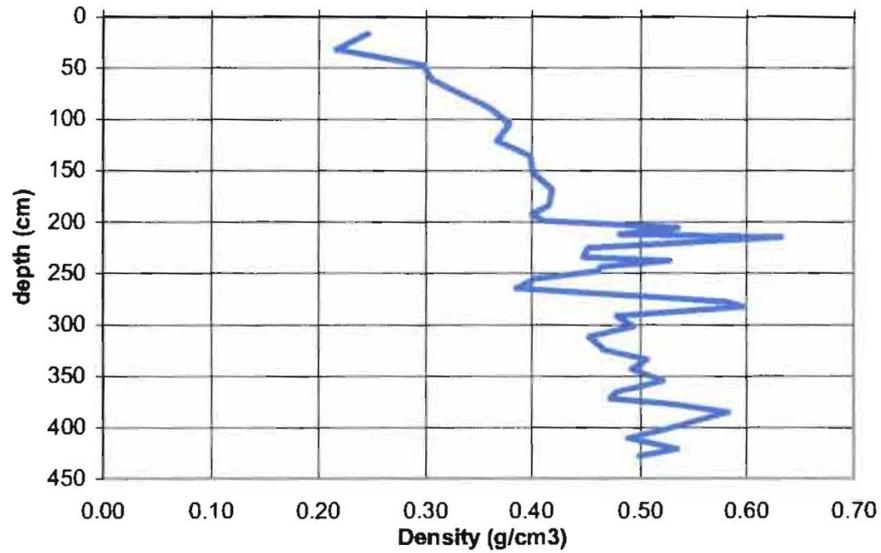


Figura 8. Perfil de densidad elaborado a partir de un pozo excavado.

Fuente: (Francou & Pouyaud, 2004)

3.4. Análisis de aerosoles

Para el análisis de aerosoles depositados se colectó las muestras de neviza de cada punto de muestreo en un envase de 20l de capacidad, previamente esterilizado. Las muestras colectadas se derritieron y luego se extrajo una submuestra de 1l, para su análisis en laboratorio.

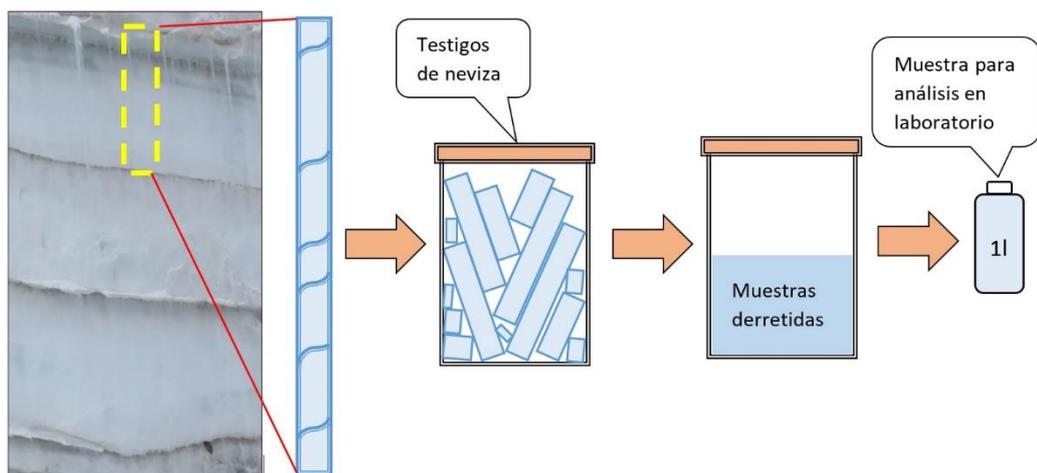


Figura 9. Proceso de muestreo y análisis de aerosoles

3.5. Cálculo de la concentración de aerosoles para la zona de acumulación

Primeramente se realiza el cálculo de la concentración de aerosoles para la submuestra de 1l y luego para todo el volumen de las muestras colectadas en cada envase correspondientes a los puntos muestreados; la concentración de cada envase representa la cantidad de aerosoles depositados en la columna de testigo de neviza extraído.

Los testigos extraídos y analizados corresponden a un área de 0.0047783 m² de perforación; además la concentración de los aerosoles de cada punto analizado le corresponde la misma área de análisis que luego se interpolará para un área de 30 m² correspondiente al tamaño de pixel del Modelo Digital de Terreno (DEM).

Una vez se tenga la concentración para cada pixel se procede a usar las ecuaciones de la Tabla 14. Usando el ArcGis para estimar la concentración para toda la zona de acumulación del glaciar Artesonraju.

3.6. Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos se obtuvieron de las estaciones meteorológicas cercanas al glaciar Artesonraju, perteneciente a la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua (UGRH-ANA).

3.6.1. Coordenadas de las estaciones meteorológicas

La ubicación de las estaciones meteorológicas se detallan en la Tabla 4, donde la estación Glaciar Artesonraju se ubica sobre la superficie del glaciar, la estación Morrena Artesonraju se ubica en la morrena lateral del glaciar Artesonraju (ambos ubicados dentro de la quebrada Parón- callejón de Huaylas) y la estación Paria se ubica en la quebrada Huaripampa (callejón de Conchucos).

Tabla 4. Ubicación de estaciones meteorológicas.

Estación meteorológica	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m s.n.m.)
Glaciar Artesonraju	210585	9007846	4828
Morrena Artesonraju	210003	9007402	4817
Paria	214166	9007309	4434

3.6.2. Variables meteorológicas consideradas y tratamiento

Las variables meteorológicas consideradas para el análisis en la zona del glaciar Artesonraju se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Variables meteorológicas consideradas.

Variable Meteorológica	Estaciones meteorológicas		
	Glaciar Artesonraju	Morrena Artesonraju	Paria
Temperatura ¹	X	X	X
Humedad relativa ¹	X	X	X
Precipitación ²		X	X
Velocidad de viento ³	X	X	X
Dirección de viento ³	X	X	X
Radiación Solar ⁴	X		
Albedo ⁵	X		

(1) El tratamiento de la temperatura y humedad relativa, se realiza calculando el mínimo, promedio y máximo de un registro horario para expresarlo en resultados diarios.

(2) El tratamiento de la precipitación, se realiza calculando la suma de los registros horarios para expresarlo en resultados diarios o mensuales.

(3) El tratamiento del flujo de viento, se realiza a partir de un registro horario con el análisis de la velocidad y dirección de viento, apoyándose del software WRPLOT View.

(4) El tratamiento de la radiación solar, se realiza calculando el promedio de un registro horario para expresarlo en resultados diarios.

(5) El tratamiento del Albedo, se realiza calculando el promedio de un registro horario para expresarlo en resultados diarios.

3.7. Flujograma de la metodología

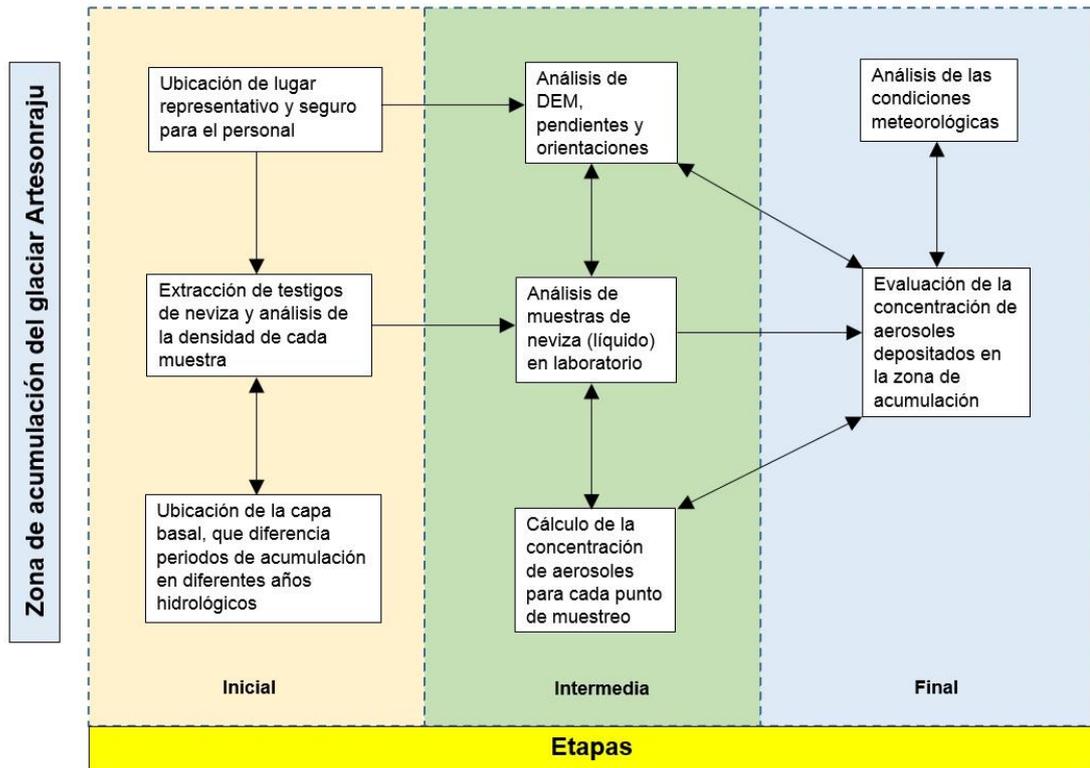


Figura 10. Flujograma de la metodología realizada.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Análisis de la densidad de neviza para el año hidrológico 2014 al 2016

Tal como señala (Francou & Pouyaud, 2004), se analizó el perfil de la densidad de muestras de neviza hasta ubicar la capa basal que es relativamente sucia con una densidad alta en relación a las demás muestras. En cada punto de muestreo, correspondiente a los años hidrológicos 2014-2015 y 2015-2016, ubicamos la capa basal apropiadamente mediante el análisis de densidad y en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju de manera visual en las grietas, donde las capas marcadas son registros correspondientes a años hidrológicos diferentes.

4.1.1. Densidades de neviza en el año hidrológico 2014-2015

La extracción de muestras de neviza en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju, con códigos (AAC-01, AAC-02 y AAC-03), para el análisis de la densidad correspondiente al año hidrológico 2014-2015.

Tabla 6. Registro de datos en el punto de muestreo AAC-01.

Fecha: 02/09/2015			Este (m)	Norte (m)	Altitud (m s.n.m.)
			211648	9008348	5075
Muestras	Longitud (cm)	Profundidad (cm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	14	14	341.7	668.97	0.51
2	15	29	499.8	716.75	0.70
3	36	65	1147.2	1720.21	0.67
4	15	80	485.8	716.75	0.68
5	14	94	385.3	668.97	0.58
6	13	107	351.6	621.19	0.57

7	9	116	249.7	430.05	0.58
8	7	123	247.2	334.49	0.74
9	18	141	493.2	860.11	0.57
10	13	154	334.8	621.19	0.54
11	11	165	339.1	525.62	0.65
12	10	175	389.2	477.84	0.81
13	12	187	387.7	573.40	0.68
14	9	196	234.4	430.05	0.55
15	9	205	277.4	430.05	0.65
16	6	211	178.2	286.70	0.62
17	6	217	163.4	286.70	0.57
18	19	236	570.9	907.89	0.63
19	7	243	205.7	334.49	0.61
20	9	252	225.2	430.05	0.52
21	14	266	464.7	668.97	0.69
22	30	296	896.4	1433.50	0.63

Nota: De los registros de los análisis de las muestras de neviza, encontramos una densidad (mínima: 0.51, media: 0.63 y máxima: 0.81) g/cm³.

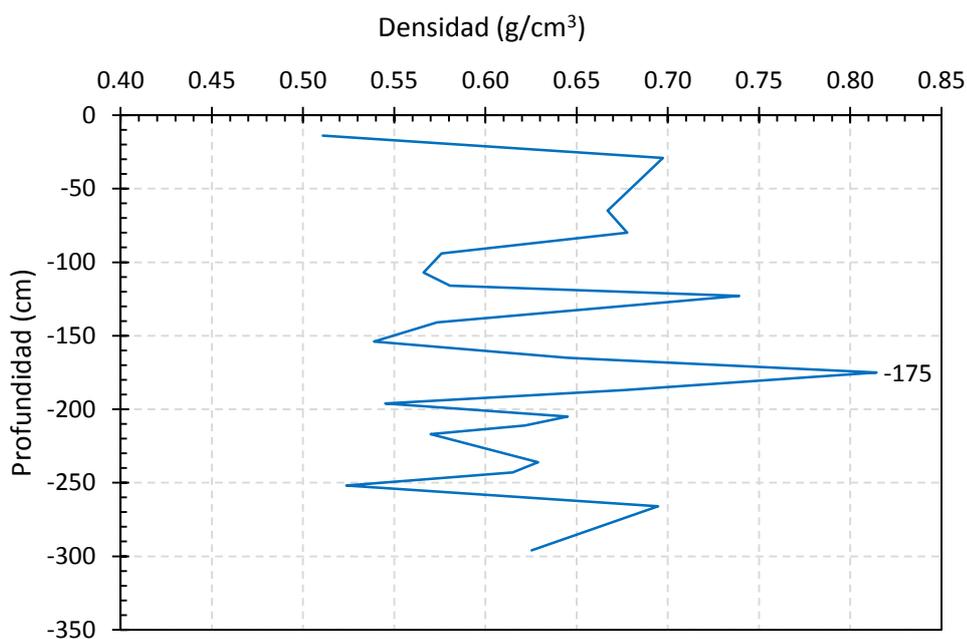


Figura 11. Variación de densidad con la profundidad en el punto de muestreo AAC-01.

Nota: Mediante la Figura 11, se puede ubicar la capa basal que distingue la acumulación del año hidrológico 2014-2015 y se ubica a una profundidad de 175 cm.

Tabla 7. Registro de datos en el punto de muestreo AAC-02.

Fecha: 02/09/2015	Este (m)	Norte (m)	Altitud
-------------------	----------	-----------	---------

Muestras	Longitud (cm)	Profundidad (cm)	(m s.n.m.)		
			211994	9008531	5194
			Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	9.5	9.5	189.4	453.94	0.42
2	10	19.5	262.4	477.84	0.55
3	9	28.5	217.2	430.05	0.51
4	10	38.5	270.4	477.84	0.57
5	14	52.5	325.5	668.97	0.49
6	26	78.5	648.3	1242.37	0.52
7	15	93.5	346.2	716.75	0.48
8	14	107.5	378.8	668.97	0.57
9	16	123.5	396	764.54	0.52
10	17	140.5	427.1	812.32	0.53
11	24	164.5	567.6	1146.81	0.49
12	6	170.5	137.6	286.70	0.48
13	21	191.5	567.8	1003.46	0.57
14	32	223.5	826.1	1529.08	0.54
15	16	239.5	433.7	764.54	0.57
16	13	252.5	354.5	621.19	0.57
17	14	266.5	356.2	668.97	0.53
18	26	292.5	765.1	1242.37	0.62
19	31	323.5	816.1	1481.29	0.55

Nota: De los registros de los análisis de las muestras de neviza, encontramos una densidad (mínima: 0.42, media: 0.53 y máxima: 0.62) g/cm³.

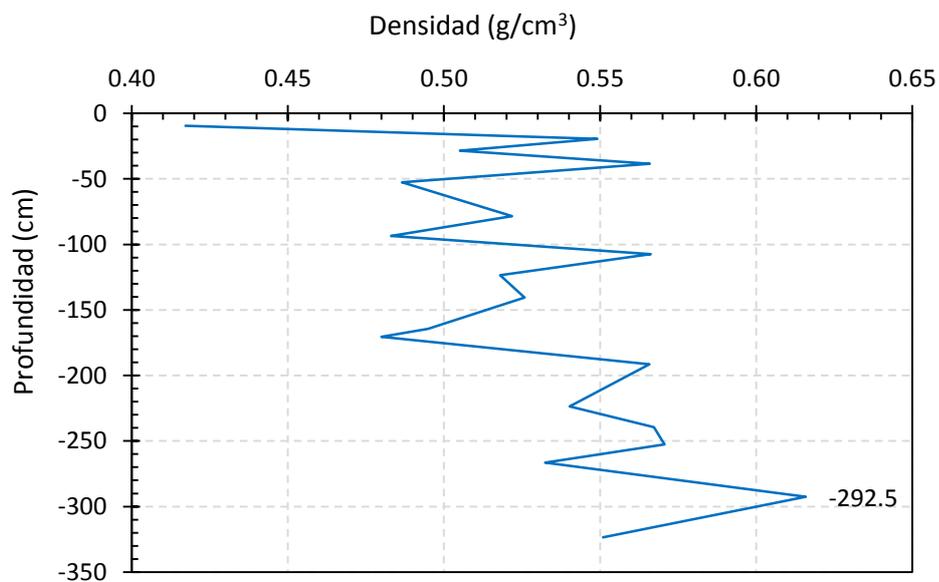


Figura 12. Variación de densidad con la profundidad en el punto de muestreo AAC-02.

Nota: Mediante la Figura 12, se puede ubicar la capa basal que distingue la acumulación del año hidrológico 2014-2015 y se ubica a una profundidad de 292.5 cm.

Tabla 8. Registro de datos de en el punto de muestreo AAC-03.

Fecha: 02/09/2015			Este (m)	Norte (m)	Altitud (m s.n.m.)
			212200	9008591	5266
Muestras	Longitud (cm)	Profundidad (cm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	7	7	93.5	334.49	0.28
2	13	20	367.9	621.19	0.59
3	4	24	127.1	191.13	0.66
4	9	33	238.2	430.05	0.55
5	17	50	530.7	812.32	0.65
6	12	62	357	573.40	0.62
7	14	76	334.1	668.97	0.50
8	11	87	285	525.62	0.54
9	10	97	265.3	477.84	0.56
10	14	111	338.9	668.97	0.51
11	18.5	129.5	455.3	884.00	0.52
12	9.5	139	259.7	453.94	0.57
13	18.5	157.5	490.5	884.00	0.55
14	23	180.5	588.2	1099.02	0.54
15	20	200.5	501	955.67	0.52
16	28.5	229	710.3	1361.83	0.52
17	16.5	245.5	490.3	788.43	0.62
18	41.5	287	1061.5	1983.02	0.54
19	15	302	374.3	716.75	0.52
20	10	312	246.3	477.84	0.52

Nota: De los registros de los análisis de las muestras de neviza, encontramos una densidad (mínima: 0.28, promedio: 0.54 y máxima: 0.66) g/cm³.

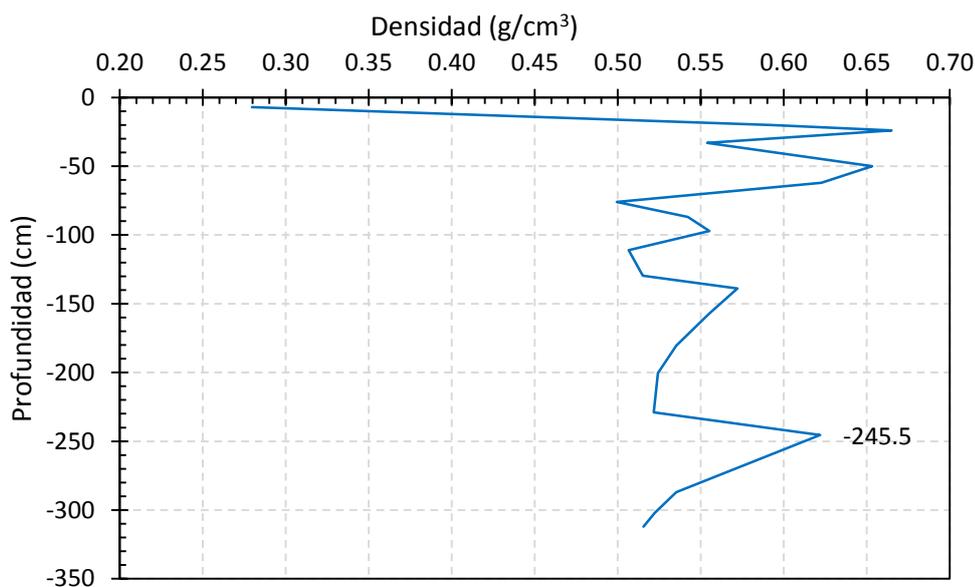


Figura 13. Variación de densidad con la profundidad en el punto de muestreo AAC-03.

Nota: mediante la Figura 13, se puede ubicar la capa basal que distingue la acumulación del año hidrológico 2014-2015 y se ubica a una profundidad de 245.5 cm.

4.1.2. Densidades de neviza en el año hidrológico 2015-2016

La extracción de muestras en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju, con códigos (AP-01, AP-02 y AP-03), para el análisis de la densidad correspondiente al año hidrológico 2015-2016.

Tabla 9. Registro de datos en el punto de muestreo AP-01.

Fecha: 10/09/2016			Este (m)	Norte (m)	Altitud (m s.n.m.)
			212167	9008571	5250
Muestras	Longitud (cm)	Profundidad (cm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	19.5	19.5	178.4	931.78	0.19
2	35.5	55	983.9	1696.32	0.58
3	32	87	812.3	1529.08	0.53
4	21	108	517.5	1003.46	0.52
5	36	144	933.3	1720.21	0.54
6	42	186	1017.2	2006.91	0.51
7	21	207	546.5	1003.46	0.54
8	17	224	481.4	812.32	0.59
9	28.5	252.5	723.6	1361.83	0.53
10	5.5	258	158.2	262.81	0.60
11	17	275	494.3	812.32	0.61

12	10	285	252.6	477.84	0.53
----	----	-----	-------	--------	------

Nota: De los registros de los análisis de las muestras de neviza, encontramos una densidad (mínima: 0.19, media: 0.52 y máxima: 0.61) g/cm³.

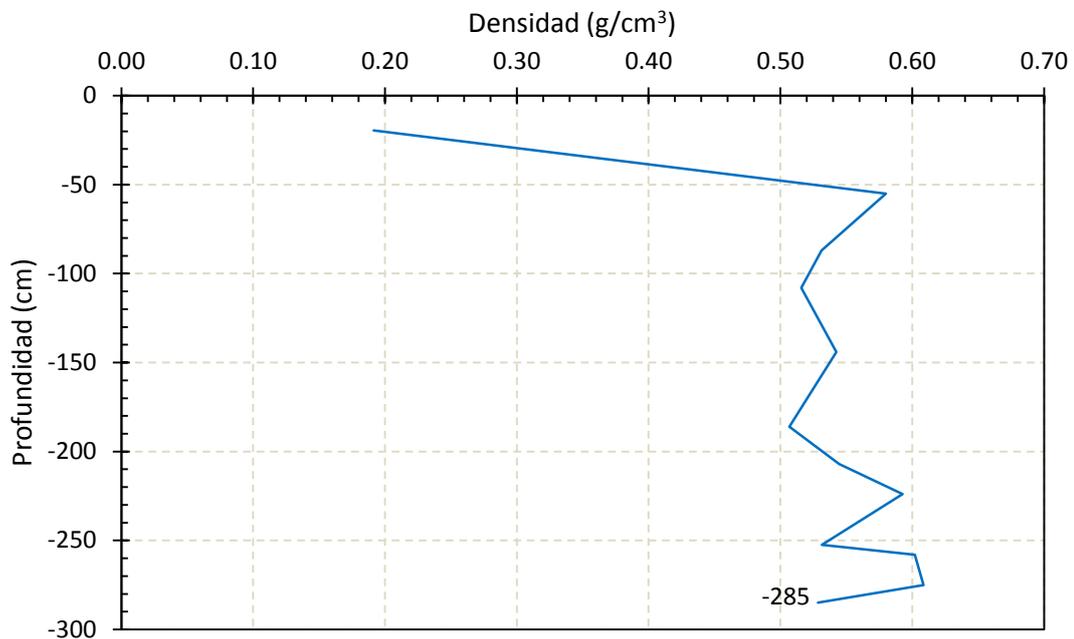


Figura 14. Variación de densidad con la profundidad en el punto de muestreo AP-01.

Nota: mediante la Figura 14, se puede ubicar la capa basal que distingue la acumulación del año hidrológico 2015-2016 y se ubica a una profundidad de 285 cm.

Tabla 10. Registro de datos en el punto de muestreo AP-02

Fecha: 10/09/2016			Este (m)	Norte (m)	Altitud (m s.n.m.)
			212056	9008575	5201
Muestras	Longitud (cm)	Profundidad (cm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	15.5	15.5	443.4	740.65	0.60
2	44.5	60	1215.7	2126.37	0.57
3	16	76	437.6	764.54	0.57
4	26.5	102.5	646.3	1266.27	0.51
5	8.5	111	232.3	406.16	0.57
6	42.5	153.5	1088.2	2030.80	0.54
7	8	161.5	260.9	382.27	0.68
8	16.5	178	503.7	788.43	0.64
9	16	194	452.9	764.54	0.59
10	28.5	222.5	775.1	1361.83	0.57
11	29.5	252	813.2	1409.62	0.58
12	14	266	386.8	668.97	0.58

Nota: De los registros de los análisis de las muestras de neviza, encontramos una densidad (mínima: 0.51, promedio: 0.58 y máxima: 0.68) g/cm³.

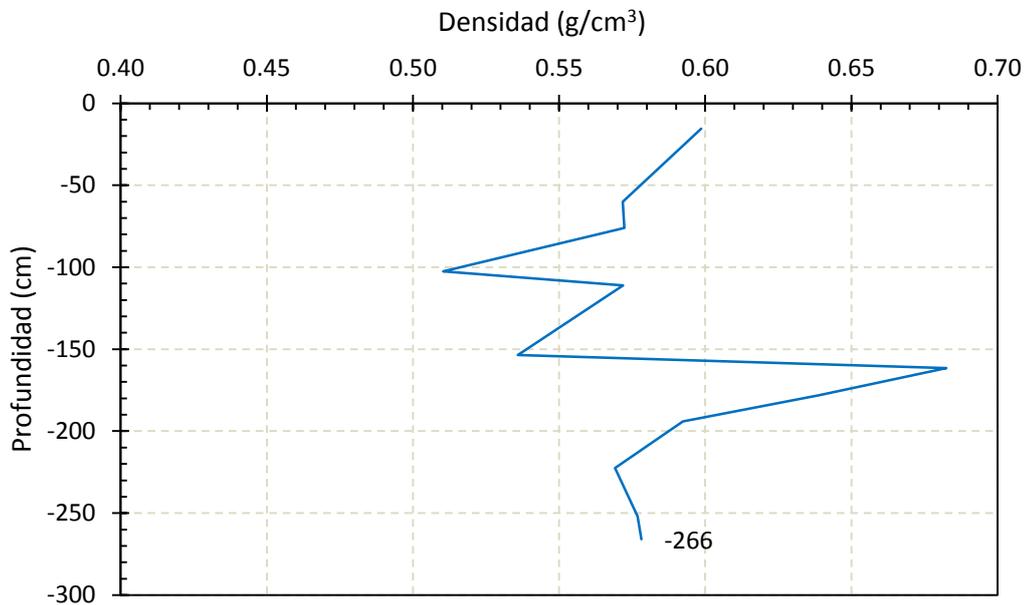


Figura 15. Variación de densidad con la profundidad en el punto de muestreo AP-02.

Nota: mediante la Figura 15, se puede ubicar la capa basal que distingue la acumulación del año hidrológico 2015-2016 y se ubica a una profundidad de 266 cm.

Tabla 11. Registro de datos en el punto de muestreo AP-03

Fecha: 10/09/2016			Este (m)	Norte (m)	Altitud (m s.n.m.)
			211632	9008348	5066
Muestras	Longitud (cm)	Profundidad (cm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	5	5	118.4	238.92	0.50
2	9	14	251.6	430.05	0.59
3	13	27	432.9	621.19	0.70
4	17	44	482.8	812.32	0.59
5	33	77	886.5	1576.86	0.56

Nota: De los registros de los análisis de las muestras de neviza, encontramos una densidad (mínima: 0.50, promedio: 0.59 y máxima: 0.70) g/cm³

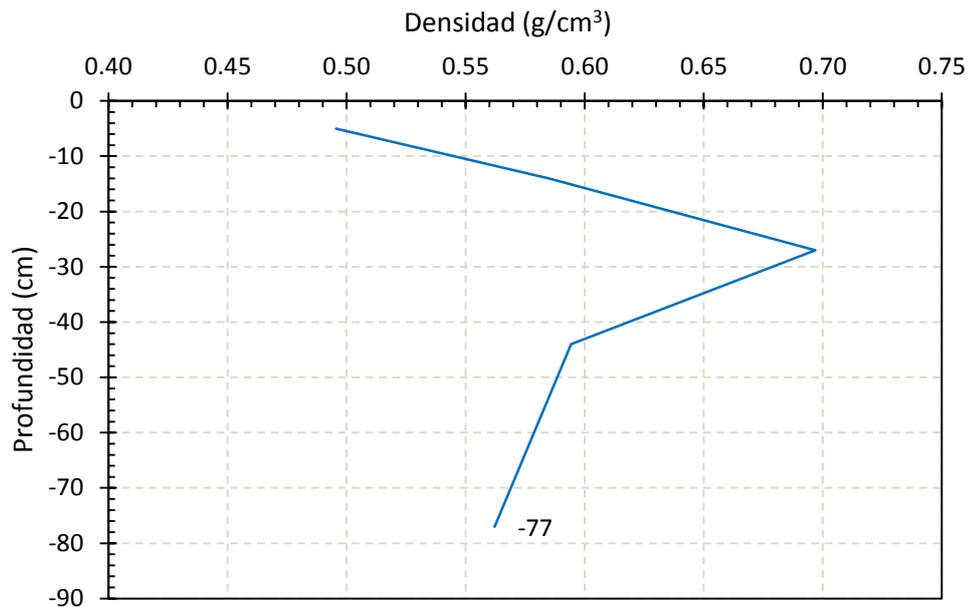


Figura 16. Variación de densidad con la profundidad en el punto de muestreo AP-03.

Nota: mediante la Figura 16, se puede ubicar la capa basal que distingue la acumulación del año hidrológico 2015-2016 y se ubica a una profundidad de 77 cm.

De acuerdo a los análisis realizado por (Van Den Broeke, 2008), nuestros datos de análisis de densidad para el año 2014-2015, con densidades general (mínima: 0.28, media: 0.57 y máxima: 0.81) g/cm³ y para el año 2015-2016, con densidades general (mínima: 0.19, media: 0.55 y máxima: 0.70) g/cm³, se pueden usar para realizar balance de masa, y de acuerdo a (Huss, 2013), se puede interpolar los datos para la zona de acumulación del glaciar y realizar un análisis geodésico.

4.2. Calculo de la concentración de aerosoles depositados

Las muestras obtenidas de la nieve acumulada en cada punto de muestreo se derritieron para luego enviarlos a analizar con un laboratorio acreditado. Las muestras analizadas fueron agua en estado líquido, para analizar el parámetro de sólidos totales, donde el procedimiento en laboratorio es exponer a la muestra de agua a una temperatura de 105°C como indica (APHA, 1998), donde se evapora el agua y finalmente permanece los aerosoles.

4.2.1. Cálculo de aerosoles en los puntos de muestreo

Las concentraciones de los sólidos totales analizados muestran una variación en los puntos de muestreo, tal como se puede apreciar en la Tabla 12.

Tabla 12. Concentraciones correspondientes a los puntos de muestreo.

Código	Análisis de laboratorio (mg/l)	V.T.M.F. (l)	S.T. (mg)	S.T. (g) para la columna de muestra	g/m ² (*)	g/30m ² (**)
AA-01	11.3	6.96	78.65	0.08	16.46	493.78
AA-02	9.67	7.06	68.27	0.07	14.29	428.62
AA-03	23.5	7.54	177.19	0.18	37.08	1112.45
AP-01	3	7.65	22.95	0.02	4.80	144.09
AP-02	37	7.26	268.62	0.27	56.22	1686.48
AP-03	14	1.29	18.06	0.02	3.78	113.39

Nota: V.T.M.F. = Volumen total para la muestra fusionada, S.T.= Sólidos totales, (*) se usó el área de 0.0047783 m² correspondiente a la perforadora Kovacs, (**) 30 m² es el tamaño de pixel de DEM.

4.2.2. Análisis estadístico

Las concentraciones de los sólidos totales analizados muestran una variación en los puntos de muestreo, tal como se puede apreciar en la Tabla 13.

Tabla 13. Datos para el análisis de regresión lineal simple.

Código	g/30m ²	DEM (m s.n.m.)	Pendiente (°)	Orientación (°)
AA-01	493.78	5114	10.16	18.43
AA-02	428.62	5153	29.41	237.91
AA-03	1112.45	5249	11.99	210.96
AP-01	144.09	5239	11.38	210.17
AP-02	1686.48	5207	35.30	257.79
AP-03	113.39	5113	13.65	270.00

Nota: DEM = Modelo de elevación digital, (°)= grados.

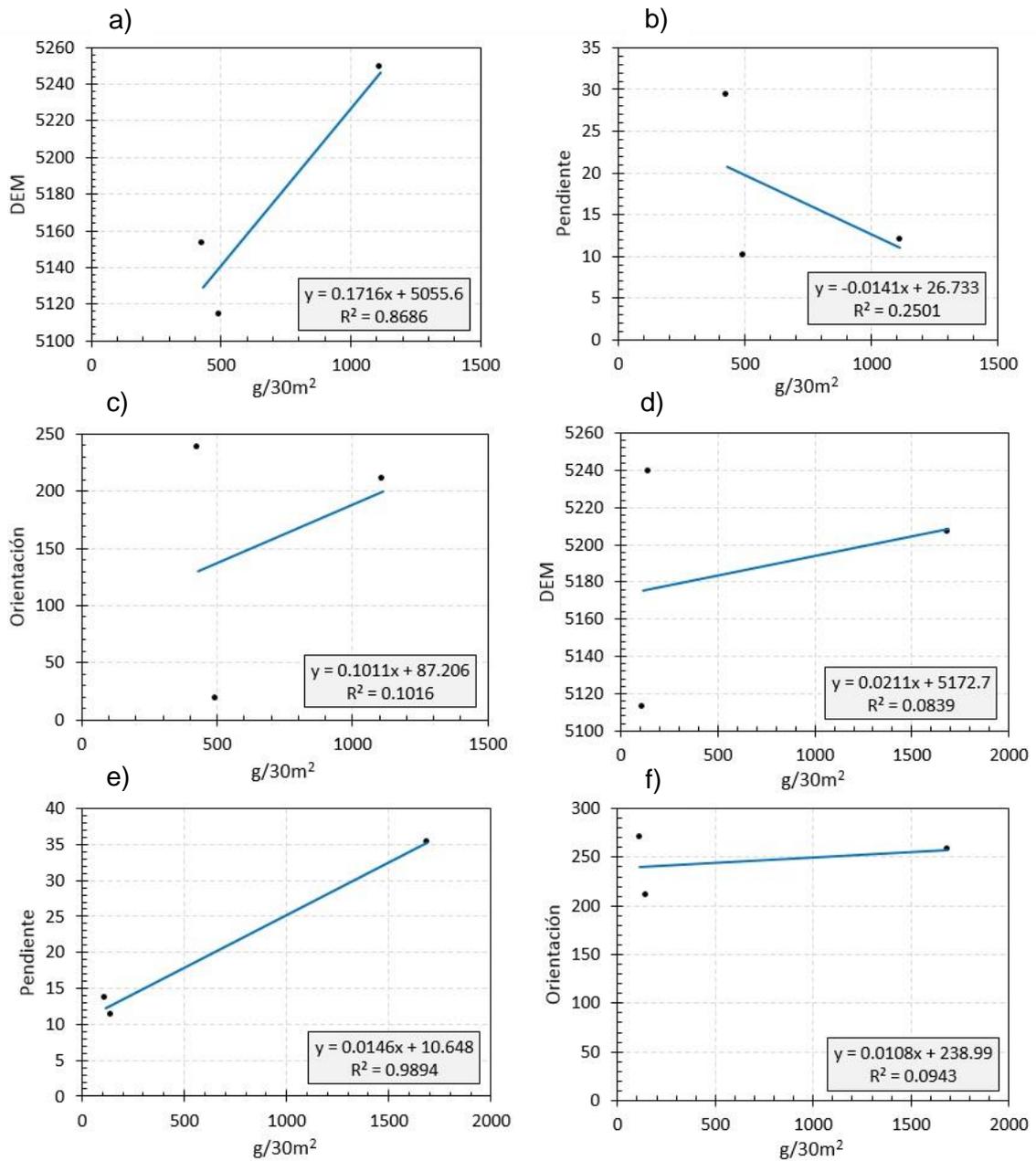


Figura 17. Regresión lineal simple de la concentración, DEM, pendiente y orientación.

Nota: De la Figura 17, podemos elegir (a), (e) y (f) los cuales describen mejor la relación entre variables a diferencia de (b), (c) y (d) que el coeficiente de correlación tiene valores bajos, como indica (Spiegel & Stephens, 2018).

4.2.3. Ecuaciones para el cálculo de aerosoles en la zona de acumulación

De acuerdo a (Spiegel & Stephens, 2018), sugiere realizar un análisis de regresión lineal múltiple para generar ecuaciones para los años hidrológicos 2014-2015 y 2015-2016, usando la concentración de aerosoles, DEM y

pendiente. Las ecuaciones fueron usadas en el software Arcmap, para realizar mapas de concentraciones para cada periodo correspondiente.

Tabla 14. Ecuaciones para calcular las concentraciones de aerosoles en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju.

Año hidrológico	Ecuación
2014-2015	$Y = - 23714.574 + 4.759*DEM - 13.027*PENDIENTE$
2015-2016	$Y = - 8148.146 + 1.438*DEM + 66.411*PENDIENTE$

4.3. Concentración de aerosoles depositados en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju

4.3.1. Concentración de aerosoles para el año hidrológico 2014-2015

La concentración de aerosoles depositados correspondiente al año hidrológico 2014-2015, se resume en la Tabla 15.

Tabla 15. Concentración de aerosoles depositados en el año hidrológico 2014-2015.

Concentración	g/30m ²	g/m ²
Mínimo	0.115	0.0001
Media	1071.514	1.191
Máximo	3331.356	3.701
Total	4.017 t o 4017.106 kg	
Área de la zona de acumulación	3.677 km ² o 3677381 m ²	

4.3.2. Concentración de aerosoles para el año hidrológico 2015-2016

La concentración de aerosoles depositados correspondiente al año hidrológico 2015-2016, se resume en la Tabla 16.

Tabla 16. Concentración de aerosoles depositados en el año hidrológico 2015-2016.

Concentración	g/30m ²	g/m ²
Mínimo	1.063	0.001
Promedio	1724.385	1.916
Máximo	4589.903	5.099
Total	5.495 t o 5495.616 kg	
Área de la zona de acumulación	3.069 km ² o 3069634 m ²	

Las concentraciones obtenidas en los años hidrológicos: 2014-2015 fue de 0.0001 g/m² a 3.701 g/m² (media: 1.191 g/m²) y 2015-2016 fue de 0.001 g/m² a 5.099 g/m² (media: 1.916 g/m²), siendo éste último año hidrológico con mayor concentración que el anterior. Los resultados obtenidos en comparación con otros glaciares es relativamente similar, ya que un estudio realizado en la superficie de los glaciares Qaanaaq Ice Cap y Tugto en el noroeste de Groenlandia en la temporada de fusión de 2012, fue de 0.01 a 8.7 g/m² (media: 3.6 g/m²) en la superficie de la nieve en los sitios de estudio. (Takeuchi, Nagatsuka, Uetake, & Shimada, 2014).

En el caso de la capa de hielo de Groenlandia en Kronprinz Christians Land, se analizaron las partículas arrastrados por el viento local sobre la superficie donde se registraron concentraciones de aproximadamente 16 g/m² en superficies con baja carga de impurezas, y las superficies muy cargadas presentaron concentraciones tan altas como 1,4 kg/m² (Bøggild et al., 2010).

4.4. Análisis de datos meteorológicos

Los parámetros analizados de acuerdo a la disponibilidad de datos de cada estación son: la temperatura, humedad relativa, precipitación, vientos, radiación solar y albedo.

4.4.1. Temperatura

La Figura 18, muestra la variación de la temperatura promedio diaria (T), para el año hidrológico 2014-2015 en las estaciones meteorológicas: Glaciar Artesonraju varía de -0.89°C a 2.99°C y promedio de 1.21°C; Morrena Arteson varía de -0.87°C a 4.58°C y el promedio de 1.92°C y Paria varía de 1.28°C a 8.37°C y promedio de 3.98°C. Y para el año hidrológico 2015-2016, las estaciones meteorológicas: Glaciar Artesonraju varía de -0.44°C a 5.07°C y promedio de 1.87°C; Morrena Arteson varía de 0.70°C a 5.59°C y el promedio de 2.66°C y Paria varía de 1.74°C a 8.19°C y promedio de 4.89°C. De acuerdo a la Figura 18, se observa una tendencia creciente de la temperatura promedio diaria (línea amarilla) para las estaciones meteorológicas en el periodo de 13 octubre del 2013 al 01 de setiembre del 2017.

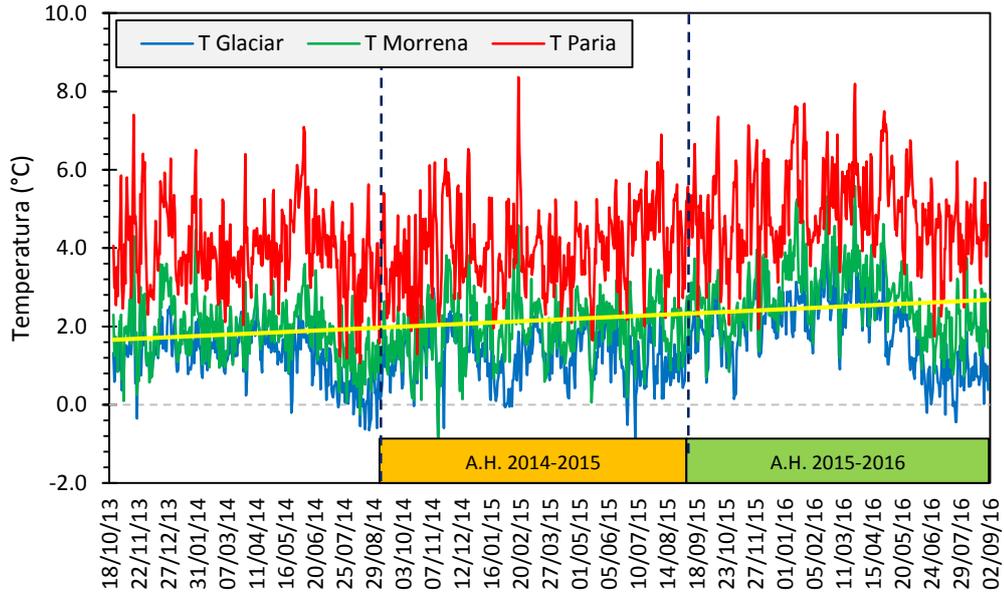


Figura 18. Variación de temperatura promedio diaria en las estaciones meteorológicas de Artesonraju y Paria.

Nota: El cuadro naranja y verde muestran los datos de la temperatura promedio diaria (T) para los años hidrológicos (A.H.) 2014-2015 y 2015-2016, respectivamente.

4.4.2. Humedad relativa

La Figura 19, muestra la variación de la humedad relativa promedio diaria (HR), para el año hidrológico 2014-2015 en las estaciones meteorológicas: Glaciar Artesonraju varía de 33% a 98% y promedio de 77%; Morrena Arteson varía de 21% a 100% y promedio de 77% y Paria varía de 26% a 98% y promedio de 78%. Y para el año hidrológico 2015-2016, las estaciones meteorológicas: Glaciar Artesonraju varía de 26% a 95% y promedio de 73%; Morrena Arteson varía de 19% a 100% y promedio de 74% y Paria varía de 14% a 95% y promedio de 74%. De acuerdo a la Figura 19, se observa una tendencia decreciente de la humedad relativa promedio diaria (línea amarilla) para las estaciones meteorológicas para el periodo de 13 octubre del 2013 al 01 de setiembre del 2017.

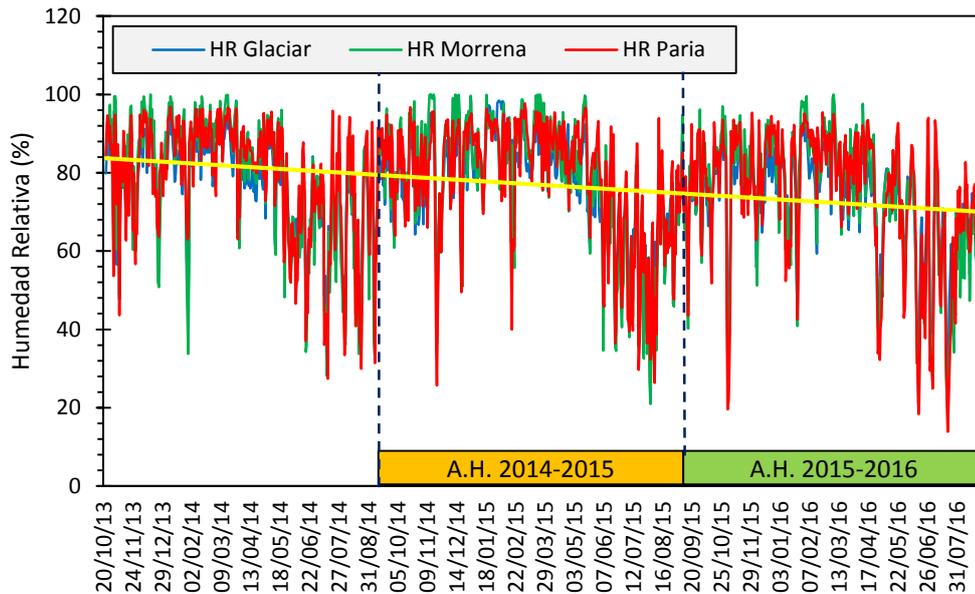


Figura 19. Variación de humedad relativa promedio diaria en las estaciones meteorológicas de Artesonraju y Paria.

Nota: El cuadro naranja y verde muestran los datos de la humedad relativa promedio diaria (HR) para los años hidrológicos (A.H.) 2014-2015 y 2015-2016, respectivamente.

4.4.3. Precipitación

En la Figura 20, se puede observar la variación de precipitación acumulada mensual correspondientes a las estaciones meteorológicas de Arteson Morrena y Paria, ambas estaciones tienen un comportamiento similar. Para el año hidrológico 2014-2015, la estación Arteson Morrena registró una precipitación acumulada total de 1335.97 mm y Paria de 1629.11 mm; en tanto para el año hidrológico 2015-2016, la estación Arteson Morrena registró una precipitación acumulada total de 1104.38 mm y Paria de 1364.07 mm. Se evidencia una reducción de la precipitación acumuladas total para el año hidrológico 2015-2016 en ambas estaciones meteorológicas.

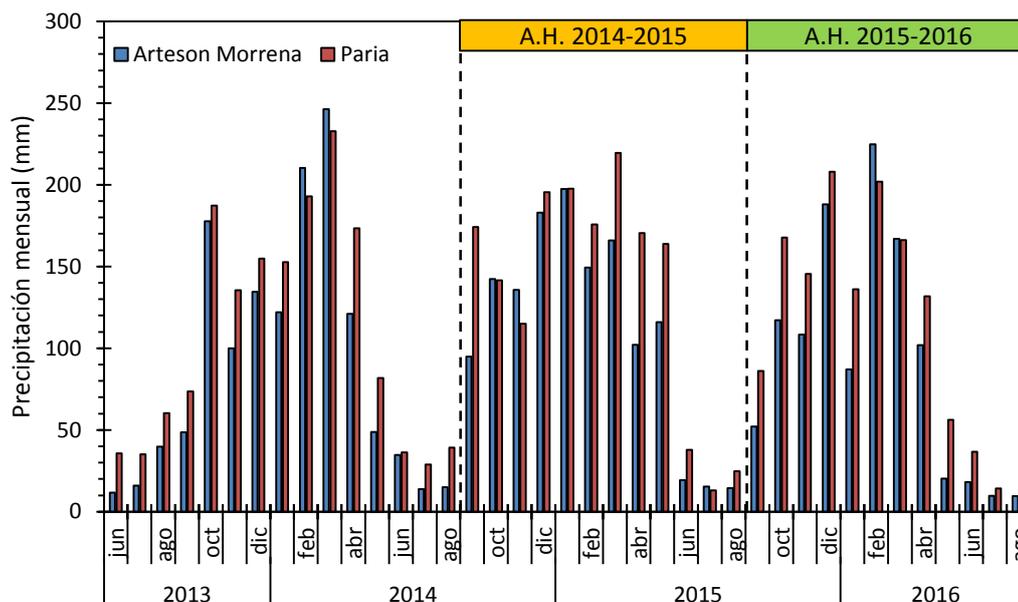


Figura 20. Variación de precipitación acumulada mensual en las estaciones meteorológicas de Arteson Morrena y Paria.

Nota: El cuadro naranja y verde muestran los datos de la precipitación acumulada mensual para los años hidrológicos (A.H.) 2014-2015 y 2015-2016, respectivamente.

4.4.4. Rosa de viento

En la Figura 21 Se muestra la rosa de viento correspondiente a la estación meteorológica Glaciar Artesonraju, para el año hidrológico 2014-2015 (a) se observa que el 28.4% de las direcciones predomina hacia el Sur, además los intervalos de velocidad más frecuentes están de 0.2 a 5.4 m/s, mientras que el de menor frecuencia es el intervalo de 7.9 a 10.7 m/s; además la desviación estándar de los valores de dirección medidos es de 79.68°. Mientras la rosa de viento del año hidrológico 2015-2016 (b) observamos que el 33.9% de las direcciones predomina hacia el ONO, además los intervalos de velocidad más frecuente están de 0.2 a 5.4 m/s, mientras que el de menor frecuencia es el intervalo de 7.9 a 10.7 m/s; y la desviación estándar de los valores de dirección medidos es de 49.98°.

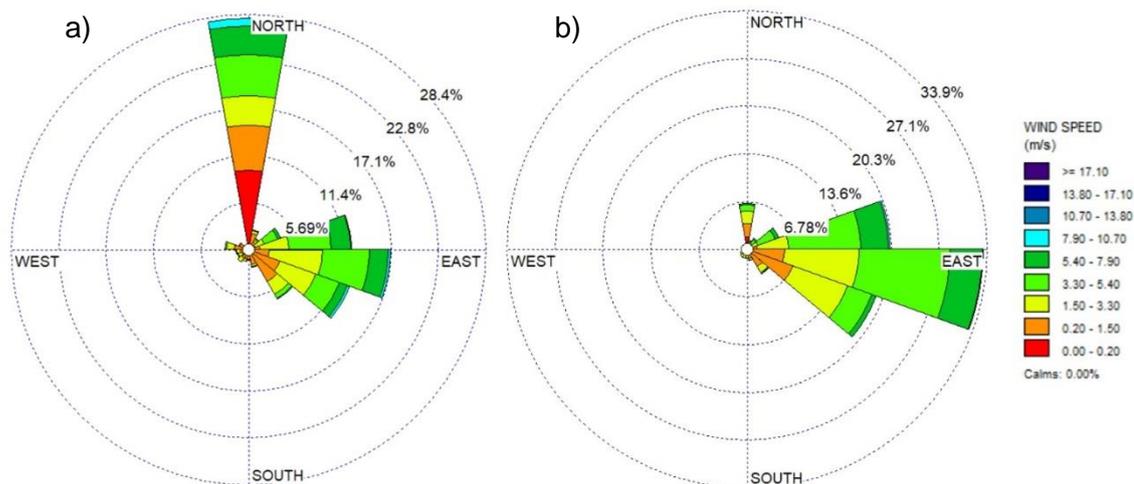


Figura 21. Rosa de viento en la estación Glaciar Artesonraju para años hidrológicos 2014 al 2016.

Nota: (a) corresponde al año hidrológico 2014-2015 y (b) corresponde al año hidrológico 2015-2016.

En la Figura 22 se muestra la rosa de viento correspondiente a la estación meteorológica Arteson Morrena, para el año hidrológico 2014-2015 (a) se observa que el 29.9% de las direcciones predomina hacia el SO, además los intervalos de velocidad más frecuentes están de 0.2 a 7.9 m/s, mientras que el de menor frecuencia es el intervalo de 13.8 a 17.1 m/s; además la desviación estándar de los valores de dirección medidos es de 82.28°. Mientras la rosa de viento del año hidrológico 2015-2016 (b) observamos que el 34.2% de las direcciones predomina hacia el SO, similar al año hidrológico anterior, además los intervalos de velocidad más frecuente están de 0.2 a 7.9 m/s, mientras que el de menor frecuencia es el intervalo de 13.8 a 17.1 m/s; y la desviación estándar de los valores de dirección medidos es de 74.29°.

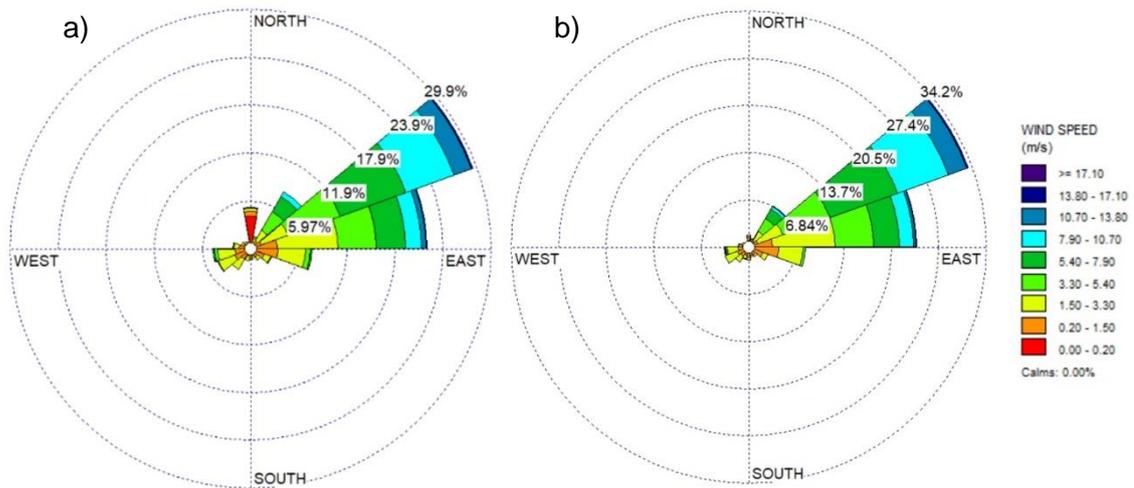


Figura 22. Rosa de viento en la estación Arteson Morrena para años hidrológicos 2014 al 2016.

Nota: (a) corresponde al año hidrológico 2014-2015 y (b) corresponde al año hidrológico 2015-2016.

En la Figura 23 se muestra la rosa de viento correspondiente a la estación meteorológica Paria, para el año hidrológico 2014-2015 (a) se observa que el 19.33% de las direcciones predomina hacia el SO, además los intervalos de velocidad más frecuentes son los de 0.2 a 1.5 m/s y 1.5 a 3.3 m/s, mientras que el de menor frecuencia es el intervalo de 3.3 a 5.4 m/s; además la desviación estándar de los valores de dirección medidos es de 118.19°. Mientras la rosa de viento del año hidrológico 2015-2016 (b) observamos que el 19.50% de las direcciones predomina hacia el SO, similar al año hidrológico anterior, además los intervalos de velocidad más frecuente es de 0.2 a 1.5 m/s, mientras que el de menor frecuencia es el intervalo de 7.9 a 10.7 m/s. y la desviación estándar de los valores de dirección medidos es de 116.35°.

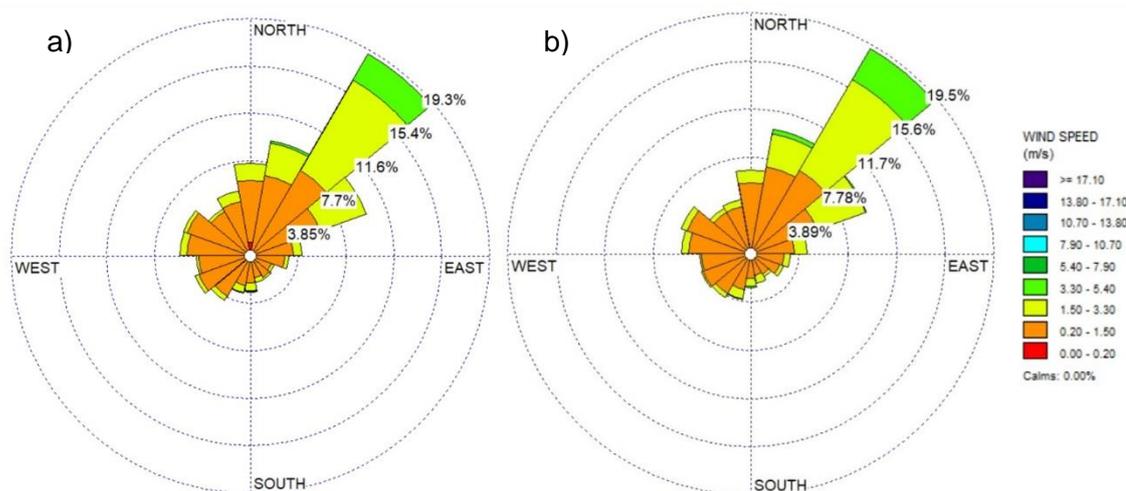


Figura 23. Rosa de viento en la estación meteorológica Paria para años hidrológicos 2014 al 2016.

Nota: (a) corresponde al año hidrológico 2014-2015 y (b) corresponde al año hidrológico 2015-2016.

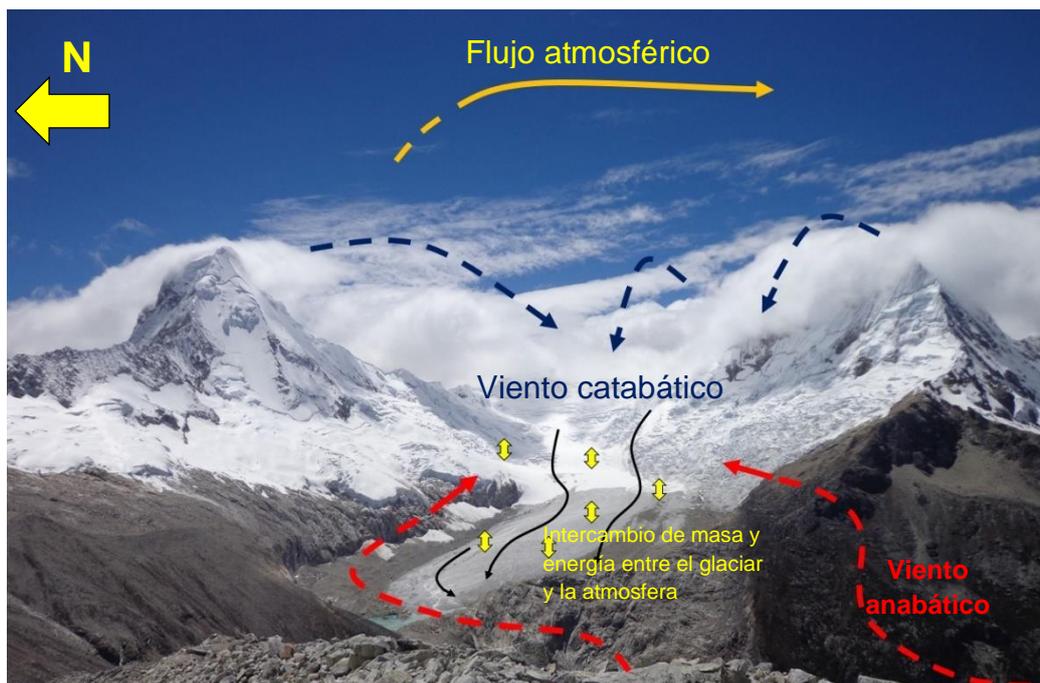


Figura 24. Sistemas de circulación de viento en el glaciar Artesonraju para los años hidrológicos 2014 al 2016.

En la Figura 24, se muestra los flujos los sistemas de circulación de viento en el glaciar Artesonraju para los años hidrológicos del 2014 al 2016, donde las líneas azules son las masas de aire con humedad que pasan los picos de los glaciares y fluyen hacia el valle (líneas negras), a éste tipo de viento se le

conoce como catabático que superan los 4 m/s de velocidad; las líneas rojas son vientos más suaves inferiores a los 4 m/s se le conoce como anabático; la línea amarilla es el flujo de viento en la estratosfera. Este flujo de viento explica el transporte de los aerosoles que llegan a depositarse en el glaciar Artesonraju.

4.4.5. Radiación solar

La Figura 25, muestra la variación de la radiación solar de onda corta incidente (W/m^2) sobre la superficie del glaciar Artesonraju, para el año hidrológico 2014-2015 se registró una máxima de $739.22 W/m^2$, un promedio de $430.31 W/m^2$ y una mínima de $111.72 W/m^2$. Y para el año hidrológico 2015-2016 se registró una máxima de $727.77 W/m^2$, un promedio $454.41 W/m^2$ y una mínima de $148.46 W/m^2$. De acuerdo a la Figura 25, se observa una tendencia creciente de la radiación solar de onda corta incidente (línea amarilla) para el periodo de 13 octubre del 2013 al 01 de setiembre del 2016, donde indica el incremento de la radiación solar incidente sobre la superficie del glaciar Artesonraju.

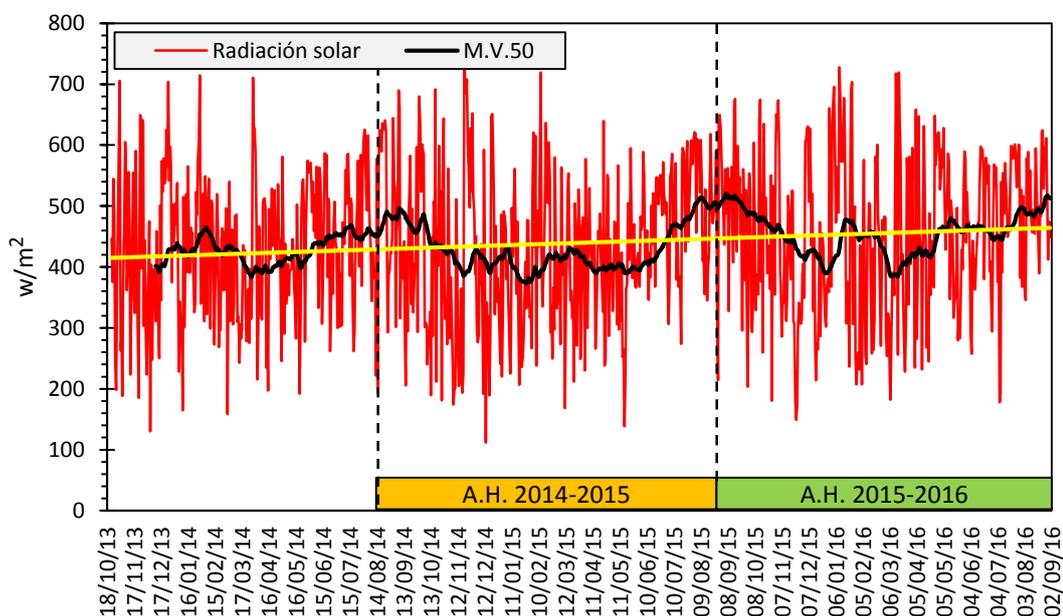


Figura 25. Variación de la radiación solar incidente en la estación meteorológica Glaciar Artesonraju.

Nota: El cuadro naranja y verde muestran los datos de la radiación solar de onda corta incidente sobre la superficie del glaciar Artesonraju para los años hidrológicos (A.H.) 2014-2015 y 2015-2016, respectivamente, donde se muestra una tendencia ascendente de los valores registrados, M.V. = Media móvil cada 50 días.

4.4.6. Albedo

La Figura 26, muestra la variación del albedo sobre la superficie del glaciar Artesonraju, cuyo análisis corresponde a la zona de ablación que a su vez tiene un vínculo con la zona de acumulación donde se analizó la concentración de aerosoles. Para el año hidrológico 2014-2015 se registró una máxima de 0.88, un promedio 0.42 y una mínima de 0.11 del albedo. Y para el año hidrológico 2015-2016 se registró una máxima de 0.72, un promedio 0.31 y una mínima de 0.17 del albedo. De acuerdo a la Figura 26, se observa una tendencia decreciente del albedo (línea roja) para el periodo de 13 octubre del 2013 al 01 de setiembre del 2016, indicando el oscurecimiento de la superficie glaciar por el depósito de aerosoles. En el caso de la estación meteorológica Vadret da Morteratsch, Suiza, el albedo de superficie típico en verano disminuyó de 0.32 a 0.15. el cual provocó una fusión adicional de aproximadamente 3,5 m de hielo en 4 años, además el polvo mineral (aerosol) estimula el crecimiento de las algas, disminuye el albedo de la superficie e incrementa las tasas de fusión (Oerlemans, Giesen, & Van Den Broeke, 2009).

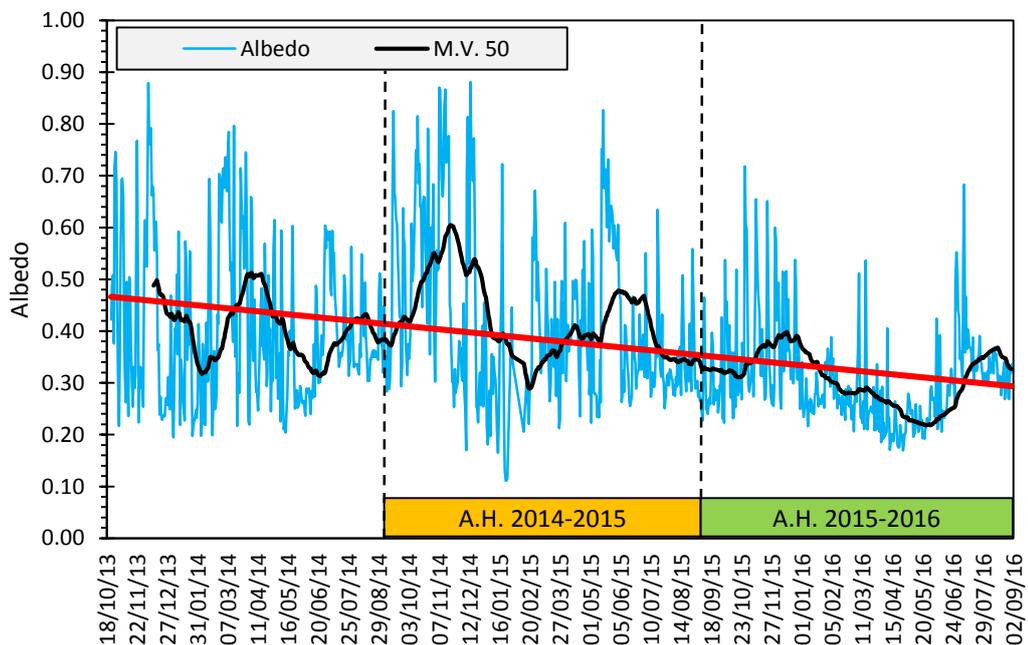


Figura 26. Variación del albedo de la superficie del glaciar Artesonraju.

Nota: El cuadro naranja y verde muestran los datos de albedo sobre la superficie del glaciar Artesonraju para los años hidrológicos (A.H.) 2014-2015 y 2015-2016, respectivamente. M.V. = Media móvil cada 50 días.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los testigos de neviza extraídos de la zona de acumulación del Artesonraju, registraron una variación de la densidad de 0.19 g/cm^3 a 0.81 g/cm^3 (media: 0.56 g/cm^3) y de la capa basal la variación fue de 0.61 g/cm^3 a 0.81 g/cm^3 (media: 0.67 g/cm^3), para los años hidrológico 2014 al 2016.
- La concentración de aerosoles depositados para el año hidrológico 2014-2015 fue de 4.017 toneladas para un área de 3.677 km^2 , de 0.0001 g/m^2 a 3.701 g/m^2 (media: 1.191 g/m^2); y para el año hidrológico 2015-2016 fue de 5.495 toneladas para un área de 3.069 km^2 , de 0.001 g/m^2 a 5.099 g/m^2 (media: 1.916 g/m^2).
- La temperatura y radiación solar tienen una tendencia creciente el cual acelera la fusión glaciaria; una tendencia decreciente para la humedad relativa; el viento que transporta los aerosoles tiene una predominancia de Este a Oeste y las precipitaciones en la estación Arteson Morrena (callejón de Huaylas) fueron menores que la estación Paria (callejón de Conchucos), para el periodo 2014 - 2016.
- El albedo del glaciar Artesonraju, tiene una tendencia decreciente, y su variación fue de 0.11 a 0.88, (media: 0.37), el cual indica que el glaciar está perdiendo la capacidad de reflejar la radiación solar incidente, impactado por el depósito de aerosoles.

5.2.Recomendaciones

- Incrementar la red de los puntos de muestreo de neviza en la zona de acumulación para obtener mayor información y afinar el modelo para el cálculo de concentración de aerosoles.
- Realizar un vuelo con dron, para generar un DEM correspondiente al periodo de análisis y tener mayor detalle de la topografía y mejorar los cálculos.
- Realizar el análisis químico de los aerosoles a nivel de isótopos para identificar el origen y la principal fuente de emisión.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- All, J., Medler, M. J., Arques, S., Cole, R., Woodall, T., King, J., ... Schmitt, C. (2017). Fire Response to Local Climate Variability: Huascarán National Park, Peru. *Fire Ecology*, 13(2), 85–104. <http://doi.org/10.4996/fireecology.130288764>
- APHA. (1998). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. (L. S. Clescert, A. E. Greenberg, & A. D. Eaton, Eds.) *Standard Methods* (20th Editi). Washington, USA. <http://doi.org/ISBN 9780875532356>
- Ayllón, T. (2003). *Elementos de meteorología y climamalogía* (segunda ed). Mexico, D.F.: Trillas.
- Barry, R. G., & Gan, T. Y. (2011). *The Global Cryosphere*. <http://doi.org/10.1017/CBO9780511977947>
- Benn, D. I., & Evans, D. J. A. (2010). Glacier & Glaciation. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 2, 817. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bøggild, C. E., Brandt, R. E., Brown, K. J., & Warren, S. G. (2010). The ablation zone in northeast greenland: Ice types, albedos and impurities. *Journal of Glaciology*, 56(195), 101–113. <http://doi.org/10.3189/002214310791190776>
- Boucher, O. (2015). *Atmospheric Aerosols: Properties and climate impacts*. Paris, France: Springer. <http://doi.org/10.1007/978-94-017-9649-1>
- Chatterjee, A., Adak, A., Singh, A. K., Srivastava, M. K., Ghosh, S. K., Devara, P. C. S., & Raha, S. (2010). Aerosol Chemistry over a High Altitude Station at Northeastern Himalayas , India, 5(6). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0011122>
- Chin, M. (2009). *Atmospheric Aerosol Properties and Climate Impacts*. Book. <http://doi.org/10.1007/978-94-017-9649-1>
- Cuffey, K. M., & Paterson, W. S. . (2010). *The physics of glaciers*. *Elsevier* (Fourth Edi, Vol. 2). New York: Elsevier. [http://doi.org/10.1016/0016-7185\(71\)90086-8](http://doi.org/10.1016/0016-7185(71)90086-8)
- Dingman, S. L. (2015). *Physical Hydrology* (Third Edit). Long Grove, USA: Waveland Press, Inc.
- Dragosics, M., Meinander, O., Jónsdóttir, T., Dürig, T., De Leeuw, G., Pálsson, F., ... Thorsteinsson, T. (2016). Insulation effects of Icelandic dust and volcanic ash on snow and ice. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(2), 1–10. <http://doi.org/10.1007/s12517-015-2224-6>
- Ellsworth, L., Woodward, J., Siegert, M. J., Smith, A. M., Ross, N., Glaciation, Q., ...

- Preservation, E. (2011). *Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers* (Vol. 20). <http://doi.org/10.1007/978-90-481-2642-2>
- Francou, B., & Pouyaud, B. (2004). *Métodos de Observación de Glaciares en los Andes Tropicales : mediciones de terreno y procesamiento de datos*.
- Fujita, K. (2007). Effect of dust event timing on glacier runoff : sensitivity, 2896(December 2006), 2892–2896. <http://doi.org/10.1002/hyp>
- Gabbi, J., Huss, M., Bauder, A., Cao, F., & Schwikowski, M. (2015a). The impact of Saharan dust and black carbon on albedo and long-term mass balance of an Alpine glacier. *Cryosphere*, 9(4), 1385–1400. <http://doi.org/10.5194/tc-9-1385-2015>
- Gabbi, J., Huss, M., Bauder, A., Cao, F., & Schwikowski, M. (2015b). The impact of Saharan dust and black carbon on albedo and long-term mass balance of an Alpine glacier. *Cryosphere*, 9(4), 1385–1400. <http://doi.org/10.5194/tc-9-1385-2015>
- Hansen, J., & Nazarenko, L. (2004). Soot climate forcing via snow and ice albedos. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(2), 423–428. <http://doi.org/10.1073/pnas.2237157100>
- Hinds, W. (1999). *Aerosol Technology Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles* (second). New York: John Wiley and Sons. <http://doi.org/10.1533/9781845695750>
- Hock, R. (2005). Progress in Physical Geography Glacier melt : a review of processes and their modelling. <http://doi.org/10.1191/0309133305pp453ra>
- Huss, M. (2013). Density assumptions for converting geodetic glacier volume change to mass change. *The Cryosphere Discussions*, 7(1), 219–244. <http://doi.org/10.5194/tcd-7-219-2013>
- IACS. (2011). *Glossary of Glacier Mass. Internation Hydrological Programme of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)* (Vol. 86). Retrieved from unesdoc.unesco.org/images/0019/001925/192525e.pdf
- IPCC. (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge. Retrieved from http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/pdf/WGI_TAR_full_report.pdf
- IPCC. (2013). *Summary for Policymakers. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- Kaser, G., Fountain, A., & Jansson, P. (2002). *A manual for monitoring the mass balance*

- of mountain glaciers. IHPVI Technical documents in Hydrology*. Retrieved from <http://glaciers.pdx.edu/fountain/MyPapers/KaserEtAl2002.pdf>
- Kaser, G., & Osmaston, H. (2002). *Tropical Glaciers. International Hydrology Series*. <http://doi.org/10.1029/2002EO000287>
- Kondratyev, K. Y., Ivlev, L. S., Krapivin, V. F., & Varotsos, C. A. (2006). *Atmospheric Aerosol Properties Formation, Processes and Impacts. Animal Genetics* (Vol. 39). Chichester, UK: Springer.
- Ming, J., Zhang, D., Kang, S., & Tian, W. (2007). Aerosol and fresh snow chemistry in the East Rongbuk Glacier on the northern slope of Mt. Qomolangma (Everest). *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 112(15), 1–11. <http://doi.org/10.1029/2007JD008618>
- North, G. R., & Erukhimova, T. L. (2009). *Atmospheric Thermodynamics: Elementary Physic sand Chemistry. North*. Cambridge University Press.
- Oerlemans, J., Giesen, R. H., & Van Den Broeke, M. R. (2009). Retreating alpine glaciers: Increased melt rates due to accumulation of dust (Vadret da Morteratsch, Switzerland). *Journal of Glaciology*, 55(192), 729–736. <http://doi.org/10.3189/002214309789470969>
- Oke, T. R. (1987). *Boundary Layer Climates. Earth-Science Reviews* (Second edi, Vol. 27). United Kingdom: Taylor & Francis.
- Puerta Tuesta, R., Rengifo Trigozo, J., & Bravo Morales, N. (2011). *Arcgis Básico 10. Universidad Nacional Agraria de la Selva*. Tingo María. Retrieved from <http://arcgeek.com/descargas/MA10B.pdf>
- Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., C??ceres, B., Ceballos, J. L., ... Wagnon, P. (2013). Current state of glaciers in the tropical Andes: A multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *Cryosphere*, 7(1), 81–102. <http://doi.org/10.5194/tc-7-81-2013>
- Randerson, J. T., Liu, H., Flanner, M. G., Chambers, S. D., Jin, Y., Hess, P. G., ... Zender, C. S. (2006). The impact of boreal forest fire on climate warming. *Science*, 314(5802), 1130–1132. <http://doi.org/10.1126/science.1132075>
- Rau, F., Mauz, F., Vogt, S., Khalsa, S., & Raup, B. (2005). *Illustrated GLIMS glacier classification manual* (first). Institut für Physische Geographie, Universität Freiburg. Retrieved from http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Glacier-Classification-Manual_V1_2005-02-10.pdf

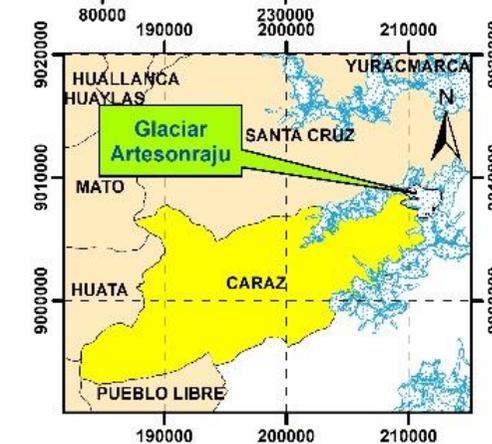
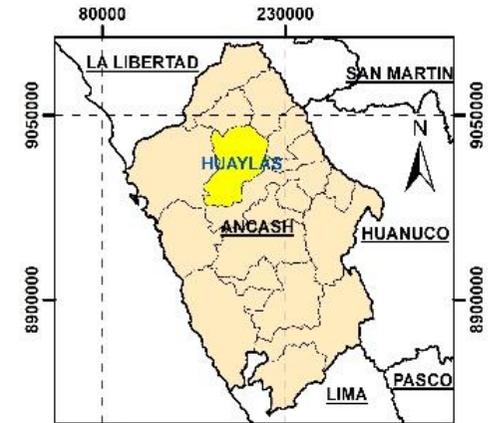
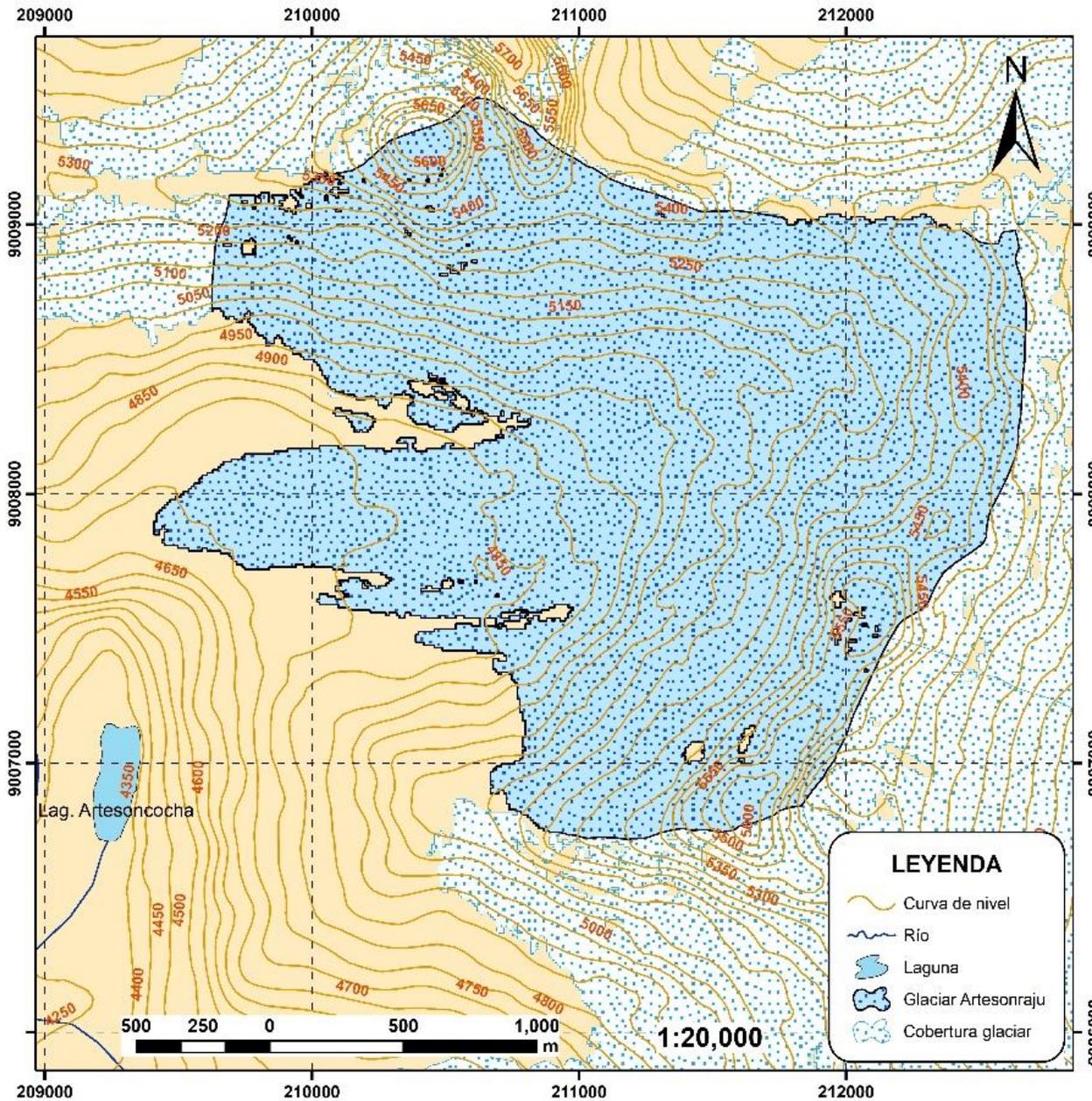
- Rivera, A., Bown, F., Napoleoni, F., Muñoz, C., & Vuille, M. (2016). *Balance de masa glaciar* (CECs). Valdivia, Chile.
- Rodríguez Jimenez, R. M., Benito Capa, Á., & Portela Lozano, A. (2004). *Meteorología y Climatología*. <http://doi.org/M-XXXXX-2004>
- Schmitt, C. G., All, J. D., Schwarz, J. P., Arnott, W. P., Cole, R. J., Lapham, E., & Celestian, A. (2015). Measurements of light-absorbing particles on the glaciers in the Cordillera Blanca, Peru. *Cryosphere*, 9(1), 331–340. <http://doi.org/10.5194/tc-9-331-2015>
- Spiegel, M. R., & Stephens, L. J. (2018). *Statistics* (Sixth Edit). Nueva York: McGraw-Hill Education.
- Steyn, D. G., & Chaumerliac, N. (Eds.). (2016). *Air Pollution Modeling and Its Application. Eos, Transactions American Geophysical Union* (Vol. 64). Switzerland: Springer. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-24478-5>
- Takeuchi, N., Nagatsuka, N., Uetake, J., & Shimada, R. (2014). Spatial variations in impurities (cryoconite) on glaciers in northwest Greenland. *Bulletin of Glaciological Research*, 32(1), 85–94. <http://doi.org/10.5331/bgr.32.85>
- Tan, Z. (2014). *Air Pollution and Greenhouse Gases*. New York: Springer.
- Thé, J. L., Thé, C. L., & Johnson, M. A. (2016). *WRPLOT View Wind and Rain Rose Plots for Meteorological Data*. Lakes Environmental Software. <http://doi.org/10.1111/j.1468-2982.2006.01162.x>
- Vallero, D. A. (2008). *Fundamentals of air pollution*. Elsevier. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780123736154>
- Van Den Broeke, M. R. (2008). Depth and Density of the Antarctic Firn Layer. *Arctic and Alpine Research*, 40(2), 432–438. [http://doi.org/10.1657/1523-0430\(07-021\)](http://doi.org/10.1657/1523-0430(07-021))
- Warren, S. G., & Clarke, A. D. (1990). Soot in the atmosphere and snow surface of Antarctica. *Journal of Geophysical Research*, 95(D2), 1811. <http://doi.org/10.1029/JD095iD02p01811>
- Whiteman, C. D. (2000). *Mountain Meteorology: Fundamentals and Applications*. Oxford University Press. [http://doi.org/10.1659/0276-4741\(2001\)021\[0095:MMFAA\]2.0.CO;2](http://doi.org/10.1659/0276-4741(2001)021[0095:MMFAA]2.0.CO;2)
- WMO, W. M. O., & UNESCO, U. N. E. and S. O. (2012). *International Glossary of Hydrology. IHP/OHP-Berichte*. Retrieved from http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/publications/international_glossary/385_IGH

_2012.pdf

Zhang, R., Khalizov, A., Wang, L., Hu, M., & Xu, W. (2012). Nucleation and growth of nanoparticles in the atmosphere. In *Chemical Reviews* (Vol. 112, pp. 1957–2011).

ANEXOS

ANEXO 1
MAPAS TEMÁTICOS



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO" FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TEMA DE TESIS:
"EVALUACIÓN DE AEROSOLÉS SÓLIDOS DEPOSITADOS EN EL GLACIAR ARTESONRAJU, AÑOS HIDROLÓGICOS 2014 AL 2016"

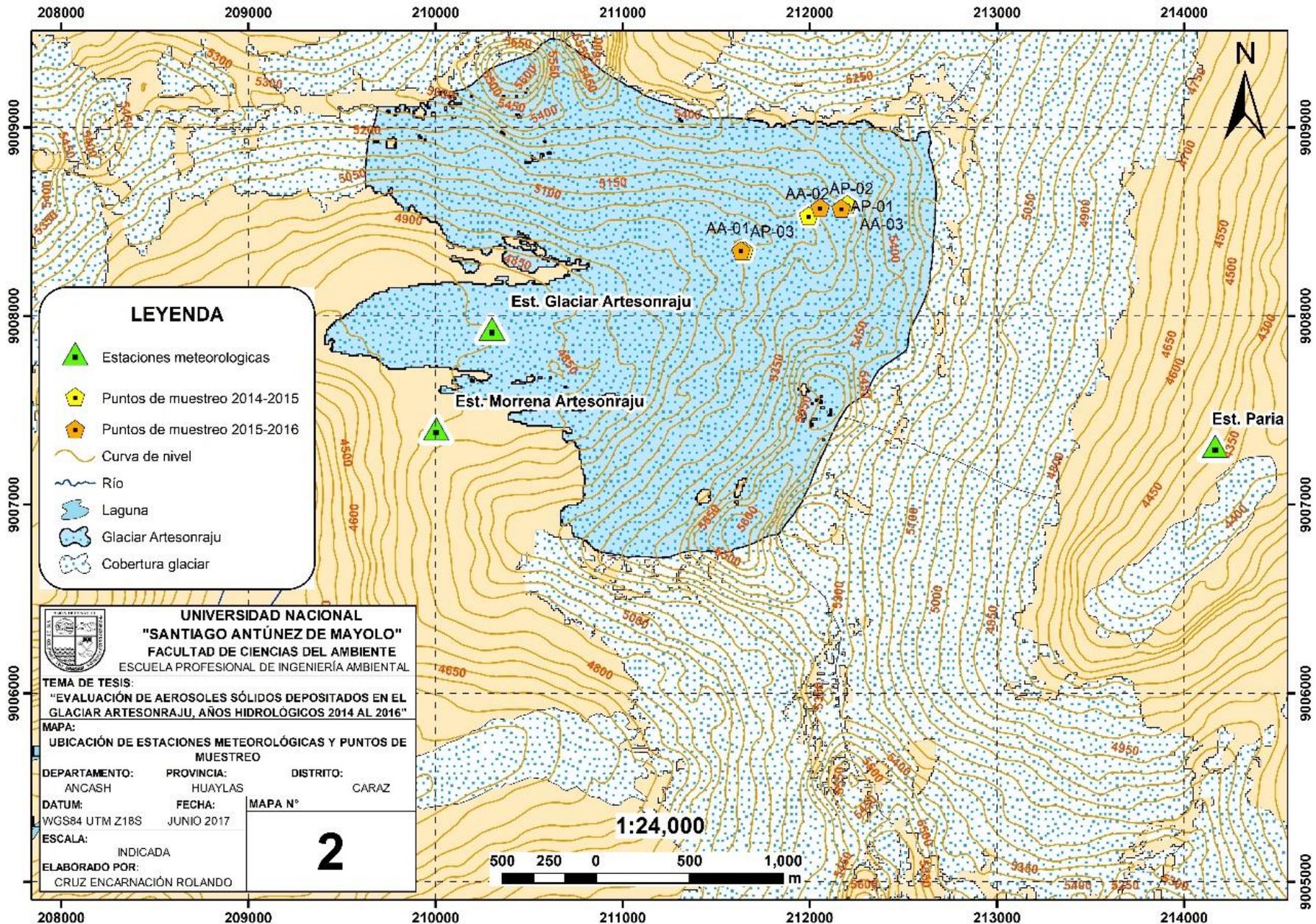
MAPA:
UBICACIÓN DEL GLACIAR ARTESONRAJU

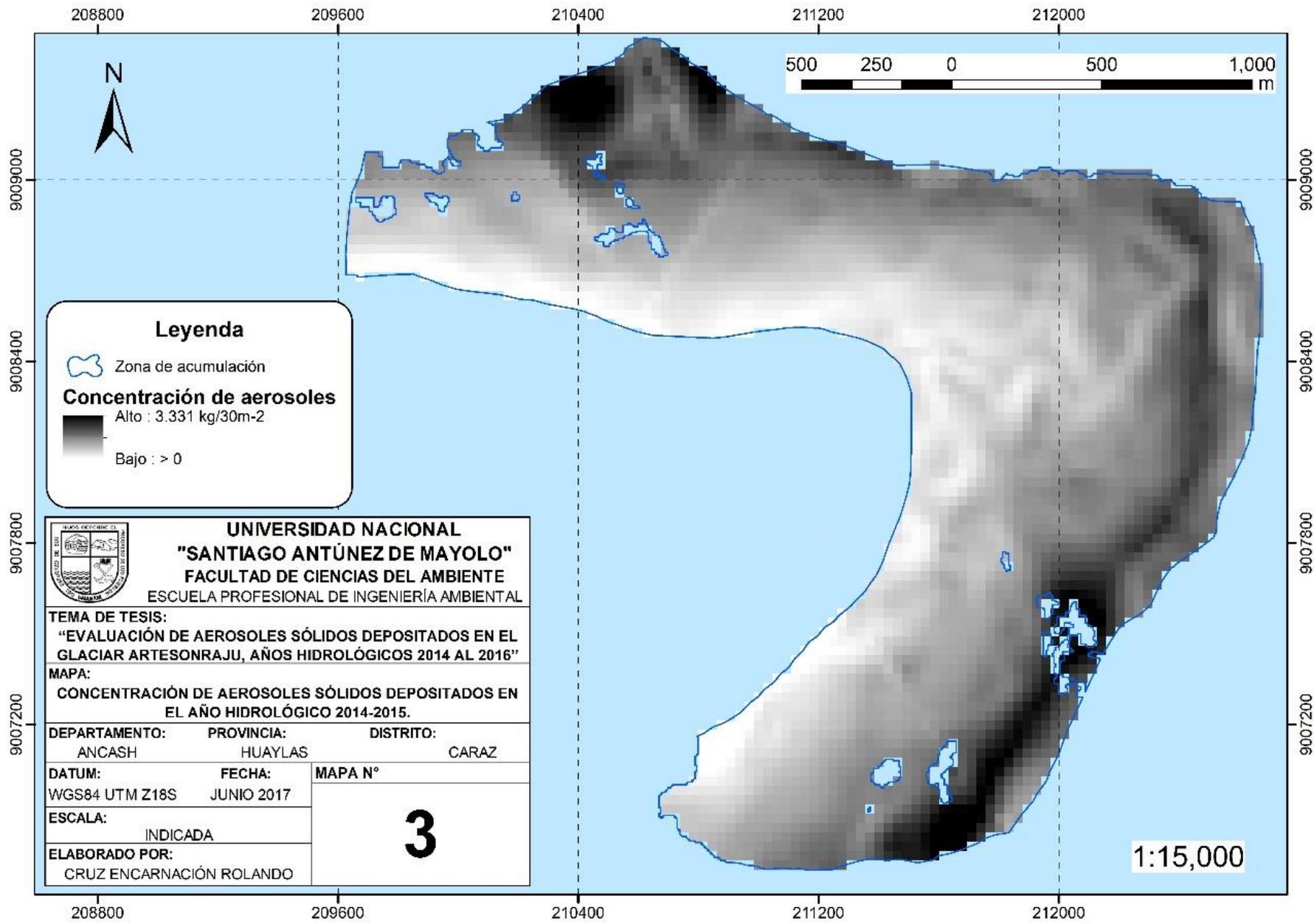
DEPARTAMENTO:	PROVINCIA:	DISTRITO:
ANCASH	HUAYLAS	CARAZ

DATUM:	FECHA:	MAPA N°
WGS84 UTM Z18S	JUNIO 2017	1

ESCALA: INDICADA

ELABORADO POR: CRUZ ENCARNACIÓN ROLANDO





Leyenda

Zona de acumulación

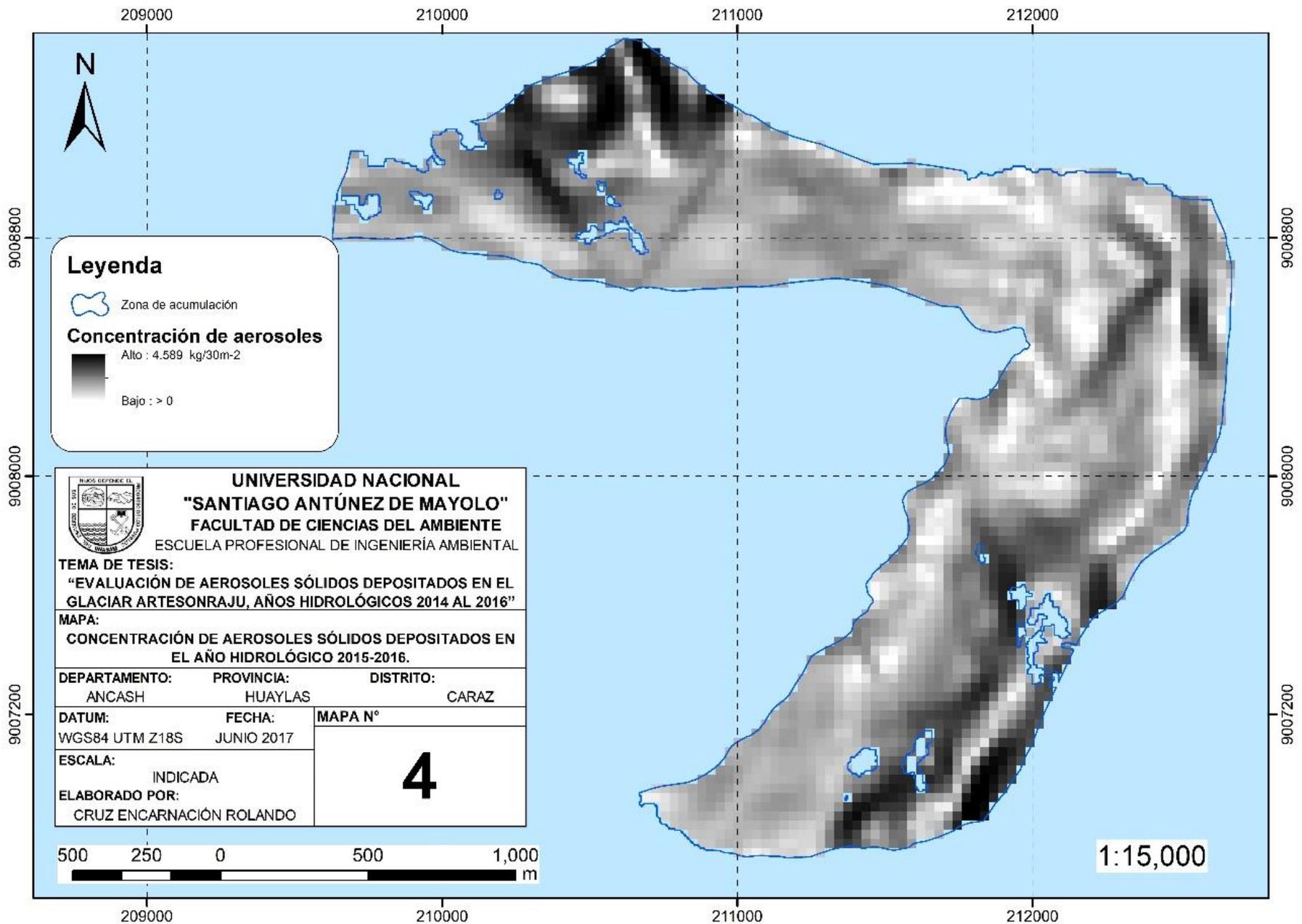
Concentración de aerosoles

Alto : 3.331 kg/30m-2

Bajo : > 0

 UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO" FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL		
TEMA DE TESIS: "EVALUACIÓN DE AEROSOLÉS SÓLIDOS DEPOSITADOS EN EL GLACIAR ARTESONRAJU, AÑOS HIDROLÓGICOS 2014 AL 2016"		
MAPA: CONCENTRACIÓN DE AEROSOLÉS SÓLIDOS DEPOSITADOS EN EL AÑO HIDROLÓGICO 2014-2015.		
DEPARTAMENTO:	PROVINCIA:	DISTRITO:
ANCASH	HUAYLAS	CARAZ
DATUM:	FECHA:	MAPA N°
WGS84 UTM Z18S	JUNIO 2017	3
ESCALA:		
INDICADA		
ELABORADO POR:		
CRUZ ENCARNACIÓN ROLANDO		

1:15,000



ANEXO 2
PANEL FOTOGRAFICO

A**B****C****D**

Las fotografías muestran los trabajos realizados en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju; la fotografía **A** se observa la travesía, transportando los equipos hacia los puntos de muestreo; **B** se observa la capa de nieve acumulada durante un año hidrológico; **C** perforación para la extracción de muestras; **D** muestras de neviza extraída con la perforadora Kovacs.

E**F****G****H**

La fotografía **E** se observa la medición del peso de cada muestra de neviza para calcular la densidad; **F** se observa la capa basal (línea amarillo) que diferencia periodos de acumulación de nieve durante un año hidrológico; **G** muestras de neviza colectando en un envase para análisis de laboratorio; **H** equipo de trabajo de alta montaña.

ANEXO 3

Análisis estadístico y generación de ecuaciones

Las variables seleccionadas de la Tabla 13 para realizar un análisis de regresión lineal múltiple son: la concentración de aerosoles ($\text{g}/30\text{m}^2$), el DEM y la pendiente. Para el análisis de éstos datos (Spiegel & Stephens, 2018), sugiere realizar un análisis de regresión lineal múltiple para generar los modelos matemáticos para los años hidrológicos 2014-2015 y 2015-2016, los resultados se muestran en las Tablas (16. 17,18 y 19).

Tabla A. Estadísticas de la regresión múltiple para 2014-2015 y 2015-2016

Estadísticas de la regresión	2014-2015	2015-2016
Coeficiente de correlación múltiple	1	1
Coeficiente de determinación R ²	1	1
R ² ajustado	65535	65535
Error típico	0	0
Observaciones	3	3

Tabla B. Análisis de la varianza para 2014-2015 y 2015-2016

Análisis de Varianza	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados
2014-2015	Regresión	284876.9823	142438.4912
	Residuos	0	65535
	Total	284876.9823	-
2015-2016	Regresión	1618175.492	809087.746
	Residuos	0	65535
	Total	1618175.492	-

Tabla C. Cálculo de los coeficientes de la regresión múltiple para 2014-2015 y 2015-2016

Estimación lineal	Coeficientes	Estadístico t	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
2014-2015	Int	23714.5742	65535	23714.5742	23714.5742	23714.5742
	X ₁	4.7596147	65535	4.7596	4.7596	4.7596
	X ₂	13.0274062	65535	13.0274	13.0274	-13.0274
2015-2016	Int	8148.14608	65535	8148.1461	8148.1461	8148.1461
	X ₁					
	X ₂					

2015- 2016	X 1	1.43852 771	65535	1.4385	1.4385	1.4385	1.4385
	X 2	66.4114 361	65535	66.411 4	66.4114	66.4114	66.4114

ANEXO 4

Datos de las estaciones meteorológicas

Tabla A. Datos registrados en la estación meteorológica Glaciar Artesonraju

Fechas	Temp (°C)	HR (%)	RS (w/m2)	VV (m/s)	DV (°)	Albedo
oct-13	1.14	85.74	406.76	1.72	105.90	0.50
nov-13	1.36	76.40	424.07	2.18	107.92	0.39
dic-13	1.55	82.03	431.60	2.10	112.36	0.43
ene-14	1.42	81.07	423.84	2.08	105.41	0.33
feb-14	1.44	86.43	415.04	1.76	51.00	0.38
mar-14	1.38	86.56	377.48	1.60	40.34	0.52
abr-14	1.74	79.57	407.54	3.14	19.92	0.39
may-14	1.33	77.86	391.63	2.27	11.90	0.32
jun-14	1.50	65.58	454.83	3.85	48.26	0.34
jul-14	0.53	65.63	446.39	3.76	125.81	0.43
ago-14	0.23	65.40	481.41	3.75	121.15	0.38
sep-14	0.94	75.39	447.16	2.78	121.19	0.44
oct-14	1.18	77.39	413.24	3.28	120.47	0.55
nov-14	1.51	77.46	430.08	2.23	134.49	0.49
dic-14	1.54	82.80	369.65	2.03	124.54	0.41
ene-15	0.97	86.69	375.08	1.31	118.22	0.28
feb-15	0.76	88.97	447.86	1.21	173.54	0.22
mar-15	1.47	86.36	382.12	0.67	88.09	0.37
abr-15	1.22	83.90	404.00	0.60	20.71	0.41
may-15	1.57	78.35	379.48	2.52	4.72	0.49
jun-15	1.28	63.75	463.76	5.10	3.49	0.36
jul-15	1.01	59.15	473.01	3.47	92.40	0.35
ago-15	1.04	61.10	503.26	3.99	91.54	0.34
sep-15	1.57	74.51	485.89	3.07	101.48	0.30
oct-15	1.75	77.97	440.88	2.94	101.49	0.35
nov-15	2.01	74.49	389.24	2.48	97.58	0.36
dic-15	2.20	77.35	418.84	2.78	50.54	0.38
ene-16	2.54	76.55	491.23	2.32	99.06	0.27
feb-16	2.72	82.22	403.46	2.63	110.06	0.28
mar-16	2.88	78.89	415.96	2.92	105.67	0.27
abr-16	2.56	75.14	453.57	2.85	121.67	0.21
may-16	1.88	70.47	457.86	2.94	108.11	0.23
jun-16	0.91	61.85	446.81	3.52	103.85	0.30
jul-16	0.66	55.07	497.83	3.60	102.73	0.37
ago-16	0.87	67.92	497.01	2.90	109.45	0.32
sep-16	1.02	70.24	478.20	2.53	98.32	0.37

Tabla B. Datos registrados en la estación meteorológica Morrena Artesonraju

Fechas	Temp (°C)	HR (%)	VV (m/s)	DV (°)	PP (mm)
oct-13	1.72	85.84	2.57	123.92	177.68
nov-13	1.93	79.26	2.20	132.06	99.96
dic-13	2.14	85.07	2.24	137.27	134.53
ene-14	2.09	83.93	2.23	133.65	122.05
feb-14	1.96	90.51	2.05	128.00	210.39
mar-14	1.68	91.84	1.71	127.65	246.28
abr-14	2.13	83.83	3.24	100.14	121.03
may-14	2.06	79.73	2.79	122.98	48.72
jun-14	2.40	63.89	5.07	79.22	34.78
jul-14	1.43	63.79	5.67	88.24	13.79
ago-14	1.06	62.55	5.75	84.16	15.01
sep-14	1.48	76.65	4.13	105.83	94.84
oct-14	1.40	81.70	3.74	107.92	142.41
nov-14	2.13	80.47	2.46	140.26	135.7
dic-14	2.07	86.91	2.35	119.77	183.06
ene-15	1.67	87.35	2.92	106.68	197.41
feb-15	2.27	83.59	2.79	126.69	149.37
mar-15	1.90	90.50	2.71	120.48	165.99
abr-15	1.89	84.85	3.61	98.61	102.05
may-15	1.96	82.77	2.90	104.40	115.94
jun-15	2.06	62.05	6.14	78.39	19.37
jul-15	2.07	55.91	4.61	91.70	15.44
ago-15	2.17	56.47	5.62	81.74	14.39
sep-15	2.38	74.60	4.17	107.98	52.11
oct-15	2.22	81.30	3.49	111.02	117.25
nov-15	2.55	77.72	2.75	113.13	108.43
dic-15	2.64	81.81	3.14	100.84	188.12
ene-16	3.59	77.84	2.52	131.86	87.11
feb-16	3.29	86.84	3.17	112.03	224.75
mar-16	3.45	82.79	3.27	110.62	167.02
abr-16	3.27	78.15	3.37	104.35	101.91
may-16	2.86	70.17	3.73	95.31	20.23
jun-16	1.87	59.30	5.36	86.17	18.19
jul-16	1.83	49.43	6.25	77.70	9.77
ago-16	2.02	63.56	5.34	93.32	9.49
sep-16	1.91	69.73	3.60	105.06	44.25

Tabla C. Datos registrados en la estación meteorológica Paria

Fechas	Temp (°C)	HR (°C)	VV (°C)	DV (°C)	PP (mm)
oct-13	3.94	83.29	1.06	142.64	14.9
nov-13	4.44	76.44	1.08	155.73	19.39
dic-13	4.15	83.86	0.89	129.52	93.31
ene-14	4.03	85.71	0.95	136.33	119.74
feb-14	3.69	89.62	0.90	131.69	128.39
mar-14	3.71	88.05	0.87	135.42	92.86
abr-14	3.91	85.85	1.02	147.66	90.28
may-14	4.36	79.26	1.05	148.10	139.22
jun-14	4.78	65.51	1.31	166.51	139.11
jul-14	3.69	67.94	1.25	148.10	89.73
ago-14	3.34	65.29	1.33	144.21	67.45
sep-14	3.45	78.84	1.11	142.10	11.87
oct-14	3.46	80.62	1.11	145.72	14.23
nov-14	4.56	75.60	1.12	154.92	21.36
dic-14	4.14	84.62	0.97	143.04	62.5
ene-15	3.44	88.04	0.94	146.84	182.33
feb-15	4.33	81.84	1.11	144.94	143.01
mar-15	3.75	89.36	0.92	138.47	147.02
abr-15	3.56	86.56	1.01	158.59	157.31
may-15	3.76	85.75	0.96	144.38	167.03
jun-15	4.06	67.41	1.30	168.55	249.41
jul-15	4.64	57.78	1.45	165.16	147.43
ago-15	4.62	60.83	1.46	147.26	112.48
sep-15	4.49	75.65	1.12	124.29	35.74
oct-15	4.48	78.57	1.12	148.50	35.04
nov-15	5.03	73.85	1.15	143.77	60.36
dic-15	4.46	83.63	1.05	159.34	73.63
ene-16	5.88	75.47	1.04	145.91	187.33
feb-16	5.02	87.90	0.96	148.55	135.45
mar-16	5.53	82.44	1.11	141.04	154.77
abr-16	5.32	78.94	1.05	145.58	152.62
may-16	5.37	69.06	1.16	159.15	193
jun-16	4.41	60.49	1.35	160.98	232.81
jul-16	4.33	51.54	1.51	164.68	173.39
ago-16	4.35	68.62	1.29	130.90	81.77
sep-16	4.16	71.90	1.21	137.86	36.35

ANEXO 5

Resultados de análisis de laboratorio

**SAG**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-047



Registro N° LE - 047

INFORME DE ENSAYO N° 094810-2015 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado		Agua superficial	Agua superficial	Agua superficial	Agua superficial
Matriz analizada		Agua natural	Agua natural	Agua natural	Agua natural
Fecha de muestreo		2015-09-15	2015-09-15	2015-09-15	2015-09-02
Hora de inicio de muestreo (h)		14:50	10:40	11:40	15:00
Condiciones de la muestra		Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada
Código del Cliente		YW-02	YAC-01	YAC-02	AAC-01
Código del Laboratorio		15093313	15093314	15093315	15093316
Ensayos		Resultados			
**Fosfatos (PO ₄ ⁻³)	PO ₄ ⁻³ mg/L	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030
**Nitratos	NO ₃ ⁻ - N mg/L	<0.030	0.048	<0.030	0.112
**Sólidos totales (TS)	mg/L	<4.0	12.0	13.5	11.3
Sulfatos	SO ₄ ⁻² mg/L	<1.00	1.27	<1.00	<1.00
Producto declarado		Agua superficial	Agua superficial	Agua superficial	Agua superficial
Matriz analizada		Agua natural	Agua natural	Agua natural	Agua natural
Fecha de muestreo		2015-09-02	2015-09-02	2015-09-26	2015-09-26
Hora de inicio de muestreo (h)		14:00	12:25	14:55	14:15
Condiciones de la muestra		Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada
Código del Cliente		AAC-02	AAC-03	PW-01	PW-02
Código del Laboratorio		15093317	15093318	15093319	15093320
Ensayos		Resultados			
**Fosfatos (PO ₄ ⁻³)	PO ₄ ⁻³ mg/L	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030
**Nitratos	NO ₃ ⁻ - N mg/L	0.191	0.062	0.076	0.384
**Sólidos totales (TS)	mg/L	9.67	23.5	124.5	230.0
Sulfatos	SO ₄ ⁻² mg/L	<1.00	<1.00	68.11	120.78
Producto declarado		Agua superficial	Agua superficial	Agua superficial	Agua superficial
Matriz analizada		Agua natural	Agua natural	Agua natural	Agua natural
Fecha de muestreo		2015-09-26	2015-09-26	2015-09-26	2015-09-26
Hora de inicio de muestreo (h)		12:45	11:55	11:40	11:40
Condiciones de la muestra		Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada
Código del Cliente		PW-03	PW-04	PW-05	PW-05
Código del Laboratorio		15093321	15093322	15093323	15093323
Ensayos		Resultados			
**Fosfatos (PO ₄ ⁻³)	PO ₄ ⁻³ mg/L	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030
**Nitratos	NO ₃ ⁻ - N mg/L	<0.030	0.033	0.023	0.023
Sólidos totales (TS)	mg/L	37.0	<4.0	<4.0	<4.0
Sulfatos	SO ₄ ⁻² mg/L	10.80	<1.00	<1.00	<1.00

**El resultado del método de ensayo indicado se encuentra fuera del alcance de acreditación otorgada por el INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo por haber superado el tiempo de perecibilidad.

[Firma]
Quim. **Belbeth Y. Fajardo León**
Director Técnico
C.Q.P. N° 648
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

1.-FI.02/Revisión: 06/FE/09/2015

* El método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW) APHA-AWWA-WEF 22nd, Edition 2012. EPA: U.S. Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana
OBSERVACIONES: Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Solo es válido para las muestras referidas en el presente informe.
Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 2 de 6

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 - Urb. Chacra Ríos Norte - Lima 01 - Perú. Central Telefónica (511) 425-7227 - 425-6885 - 425-5564 - 425 - 6047 | MÓVIL 994 976 442

**SAG**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-047



Registro N° LE - 047

INFORME DE ENSAYO N° 094810-2015 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT - IRD
DOMICILIO LEGAL : CAL.17 NRO. 455 URB. CORPAC (A 20 M DE AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA)
LIMA - LIMA - SAN ISIDRO
SOLICITADO POR : ROLANDO CESAI CRUZ ENCARNACION
REFERENCIA : ANCASH - PNH
PROCEDENCIA : ANCASH - PNH
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2015-09-30
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2015-09-30
MUESTREADAS POR : EL CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Fosfatos (PO_4^{3-})	SM 4500-P E. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	0.030	PO_4^{3-} mg/L
Nitratos	SM 4500-NO ₃ B. Nitrogen (Nitrate). Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method.	0.030	NO ₃ - N mg/L
Sólidos totales (TS)	SM 2540 B. Solids. Total Solids Dried at 103-105°C.	4.0	mg/L
Sulfatos	SM 4500 SO ₄ ²⁻ E. Sulfate. Turbidimetric Method.	1.00	SO ₄ ²⁻ mg/L
Metales totales (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Silice(SiO ₂), Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, titanio, Vanadio, Zinc).	EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wates by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry. 1994	---	mg/L

L.C.: límite de cuantificación.

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua superficial	Agua superficial	Agua superficial	Agua superficial
Matriz analizada	Agua natural	Agua natural	Agua natural	Agua natural
Fecha de muestreo	2015-09-02	2015-09-02	2015-09-02	2015-09-15
Hora de inicio de muestreo (h)	18:00	17:40	17:20	16:10
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada
Código del Cliente	AW-01	AW-02	AW-03	YW-01
Código del Laboratorio	15093309	15093310	15093311	15093312
Ensayos	Unidades	Resultados		
**Fosfatos (PO_4^{3-})	PO_4^{3-} mg/L	<0.030	<0.030	<0.030
**Nitratos	NO ₃ - N mg/L	0.040	<0.030	0.040
**Sólidos totales (TS)	mg/L	33.5	<4.0	111.0
Sulfatos	SO ₄ ²⁻ mg/L	7.82	<1.00	<1.00

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
Director Técnico
C.Q.P. N° 648
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

* El método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF. 22nd. Edition 2012. EPA: U.S. Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana
OBSERVACIONES: Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.
Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 1 de 6

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.



INFORME DE ENSAYO AG160667

CLIENTE Razón Social : ROLANDO CRUZ ENCARNACIÓN
 Dirección : Huaraz
 Atención : Rolando Cruz Encarnación

MUESTRA Producto declarado : Agua de Nieve
 Matriz : Aguas Naturales - Agua Superficial
 Procedencia : Glaciar Artesonraju, Departamento de Ancash
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC160519

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

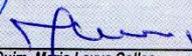
LABORATORIO Fecha de recepción : 19/Setiembre/2016
 Fecha de análisis : 19/Setiembre/2016 - 26/Setiembre/2016
 Cotización N° : CO160693

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	AP - 01
					Fecha de muestreo ¹	08/09/2016
					Hora de muestreo ¹	11:40
					Código del Laboratorio	AG160765
FQ	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS					
FQ27	Sólidos totales	mg/l	APHA 2540 B (*)	1		3

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA
¹ Datos proporcionados por el cliente
 Legenda: APHA: Standard Method for de Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012

Huaraz, 26 de Setiembre de 2016




Quim. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG160668

CLIENTE Razón Social : ROLANDO CRUZ ENCARNACIÓN
 Dirección : Huaraz
 Atención : Rolando Cruz Encarnación

MUESTRA Producto declarado : Agua de Nieve
 Matriz : Aguas Naturales - Agua Superficial
 Procedencia : Glaciar Artesonraju, Departamento de Ancash
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC160519

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 19/Setiembre/2016
 Fecha de análisis : 19/Setiembre/2016 - 26/Setiembre/2016
 Cotización N° : CO160693

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	AP - 02
					Fecha de muestreo ¹	08/09/2016
					Hora de muestreo ¹	12:30
					Código del Laboratorio	AG160766
FQ					ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS	
FQ27	Sólidos totales	mg/l	APHA 2540 B (*)	1		37

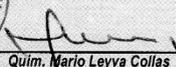
(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA

¹ Datos proporcionados por el cliente

Leyenda: APHA: Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012

Huaraz, 26 de Setiembre de 2016




 Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 QQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental. Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG160671

CLIENTE Razón Social : ROLANDO CRUZ ENCARNACIÓN
 Dirección : Huaraz
 Atención : Rolando Cruz Encarnación

MUESTRA Producto declarado : Agua de Nieve
 Matriz : Aguas Naturales - Agua Superficial
 Procedencia : Glaciar Artesonraju, Departamento de Ancash
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC160520

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 19/Setiembre/2016
 Fecha de análisis : 19/Setiembre/2016 - 26/Setiembre/2016
 Cotización N° : CO160693

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	AP - 05
					Fecha de muestreo ¹	08/09/2016
					Hora de muestreo ¹	14:35
					Código del Laboratorio	AG160769
FQ	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS					
FQ27	Sólidos totales	mg/l	APHA 2540 B (*)	1		14

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA

¹ Datos proporcionados por el cliente

Leyenda: APHA: Standard Method for de Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012

Huaraz, 26 de Setiembre de 2016



Quim. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental. Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.