



# INAIGEM

Instituto Nacional de Investigación en  
Glaciares y Ecosistemas de Montaña



## EXPEDICIÓN CIENTÍFICA

# HUASCARÁN

## INAIGEM - 2017

Nota Técnica **01**



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña

Expedición Científica Huascarán 2017 / Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. Huaraz : INAIGEM, 2017.

35 p. : il. tab. fot. graf.-- (Nota Técnica; n° 01)

1. Glaciares 2. Nevado Huascarán 3. Cordillera Blanca 4. Investigación Ambiental  
I. Título. II. Serie

### ***Expedición Científica Huascarán 2017***

#### **Presidente Ejecutivo:**

Ing. Benjamín Morales Arnao

#### **Secretario General:**

Sr. Jorge Rojas Fernández

#### **Directores:**

Ing. Marco Zapata Luyo

Ing. David Ocaña Vidal

Ing. Ricardo Villanueva Ramírez

#### **Equipo Técnico-Científico de la Expedición:**

Ing. Ambiental Ricardo Villanueva Ramírez

Ing. Civil-Glaciólogo Oscar Dante Vilca Gómez

Esp. en Hidrometeorología-Glaciólogo Ricardo William Duran Mamani

Téc. en Glaciología Juan Américo Gonzáles Caldúa

Téc. en Glaciología Ítalo Héctor Oropeza Chinchay

Téc. en Glaciología Romaldo Ricardo Santiago Cabello

Téc. en Glaciología Justiniano Santiago Cabello

Téc. en Glaciología Julio Bartolomé Oropeza

Téc. en Glaciología Francisco Marcelino Ostos Ramos

#### **Editado por:**

© Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña  
Dirección de Información y Gestión del Conocimiento. Biblioteca y Publicaciones

Jr. Juan Bautista 887, Huaraz, Ancash, Perú

Teléfono: (043) 22-1766 / (043) 45-6234

[www.inaigem.gob.pe](http://www.inaigem.gob.pe)

#### **Material fotográfico:**

Archivo INAIGEM

#### ***Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional de Perú N° 2017 - 11754***

Primera Edición, septiembre de 2017

Tiraje: 1000 ejemplares

Impreso en:

Corporación Globalmark SAC

RUC: 20530846645

Parque Ginebra 630 - Huaraz - Ancash

# SUMARIO

<b>PRESENTACIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>5</b>
El nevado Huascarán.....	5
Principales trabajos científicos en el nevado Huascarán.....	5
<b>OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>6</b>
General.....	6
Específicos.....	6
<b>ITINERARIO DE LA EXPEDICIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>RESULTADOS DE LA EXPEDICIÓN CIENTÍFICA.....</b>	<b>12</b>
<b>MEDICIÓN DE LA ALTURA DEL NEVADO HUASCARÁN.....</b>	<b>12</b>
Levantamientos Previos.....	12
Medición de la altura de la cumbre sur del nevado Huascarán realizado por el INAIGEM.....	13
<b>DISMINUCIÓN DE LA SUPERFICIE GLACIAR EN EL SISTEMA HUASCARÁN - CHOPICALQUI AL 2016.....</b>	<b>16</b>
Metodología.....	16
Resultados.....	16
<b>ACUMULACIÓN DE NIEVE EN LA CUMBRE DEL NEVADO HUASCARÁN.....</b>	<b>20</b>
Metodología.....	20
Resultados.....	20
<b>CONDICIONES METEOROLÓGICAS EN EL NEVADO HUASCARÁN.....</b>	<b>22</b>
Metodología.....	22
Resultados.....	22
<b>PRESENCIA DEL CARBONO NEGRO EN CAPAS SUPERFICIALES DEL NEVADO HUASCARÁN....</b>	<b>26</b>
Metodología.....	26
Resultados.....	27
<b>IDENTIFICACIÓN DE BIOINDICADORES DE CAMBIO CLIMÁTICO.....</b>	<b>28</b>
Metodología para la identificación de microorganismos.....	28
Presencia de macroorganismos en el nevado Huascarán.....	29
<b>OTROS ASPECTOS OBSERVADOS.....</b>	<b>31</b>
Agrietamiento potencial en la cumbre del Huascarán.....	31
Presencia de residuos sólidos.....	32
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>33</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>34</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>35</b>

## PRESENTACIÓN

El INAIGEM, organismo público especializado adscrito al Ministerio del Ambiente, tiene como finalidad el fomento y la expansión de la investigación científica y tecnológica en el ámbito de los glaciares y los ecosistemas de montaña, promoviendo una gestión sostenible que beneficie a las poblaciones que viven en o se benefician de dichos ecosistemas.

Por ello, el INAIGEM viene monitoreando el comportamiento de los frentes glaciares en diversos ámbitos del Perú (nevados Palcaraju, Pucaranra, Copa, Queullaraju, Llaca, Huillca, Pastoruri en la Cordillera Blanca; Ticlla, Sullcón 3 y Paccha en la Cordillera Central; y Chaupi en la Cordillera Vilcanota). Este monitoreo se viene desarrollando también en otros glaciares desde la década de los 70 del siglo pasado por diferentes instituciones; sin embargo, la información sobre el comportamiento de las cumbres nevadas aún es insuficiente, sobre todo en el actual contexto de cambio climático. Asimismo, la información sobre la altitud de las principales cumbres nevadas del Perú proviene de diferentes fuentes y diversos métodos empleados, algunos de los cuales sin verificación de campo, lo que hace necesario contar con información confiable sobre la altimetría de los nevados.

Por otro lado, es muy limitada la información disponible sobre las características biológicas de los glaciares y nevados peruanos, en apariencia territorios carentes de vida; sin embargo, la existencia de especies de micro y macroinvertebrados, algas, etc. podría ser indicador a considerar sobre la dinámica de los glaciares tropicales.

Un tema que actualmente INAIGEM viene investigando es la concentración de Carbono Negro en la superficie de algunos nevados de la Cordillera Blanca (Tocllaraju, Vallunaraju, Yanapaccha y Shallap). Con esta investigación, además, se pretende evaluar el impacto de la quema de combustibles fósiles e incendios forestales en el nevado Huascarán.

El INAIGEM prevé el desarrollo de investigaciones de manera permanente en los temas antes señalados, así como en los aspectos meteorológicos y geológicos, orientados a la mejor comprensión de los ecosistemas glaciares, para generar conocimiento que contribuya a la conservación y aprovechamiento sostenible de los servicios ecosistémicos de montaña.

Por los motivos indicados, se organizó la Expedición Científica a la cumbre sur del nevado Huascarán, realizada entre el 6 y el 12 de agosto del presente año. Este informe contiene la metodología y los resultados obtenidos, los cuales se ponen a disposición del público y de la comunidad científica.

Huaraz, agosto de 2017

Benjamín Morales Arnao  
*Presidente Ejecutivo*  
**INAIGEM**

### El Nevado Huascarán

El Huascarán (en quechua ancashino: Mataraju, “nevados mellizos”), es un macizo ubicado en la cordillera occidental de los Andes peruanos, denominada “Cordillera Blanca”, ubicado en la provincia de Yungay, departamento de Ancash. Es el nevado tropical más alto del mundo. Es un icono nacional y mundial que da nombre al Parque Nacional y a la Reserva de Biósfera. El nevado Huascarán consta de dos cumbres: la cumbre norte con 6655 msnm y la cumbre sur con 6768 msnm (esta última, según medición establecida antes de la expedición que da lugar al presente informe).

El macizo ocupa la parte norte-central de la Cordillera Blanca y está separado del resto de la cadena por dos profundos valles: Llanganuco al norte y Ulta al sur. El primero es el lugar turístico más conocido por albergar a las dos lagunas Llanganuco: Chinancocha y Orcococha, y a las cumbres más famosas del Perú: Huandoy, Pisco y Chacaraju. El segundo valle alberga al túnel vehicular a mayor altitud del mundo: la Punta Olímpica, en la cota de los 4732 msnm.

### Principales Trabajos en el Huascarán

- En 1908, la montañista norteamericana Annie Peck conquista la cima norte del Huascarán. La cumbre sur y el nevado Chopicalqui continuaron inexpugnables hasta la expedición científica austroalemana conformada por los científicos Philipp Borchers, Wilhelm Bernard, Erwin Hein, Hermann Hoerlin, Hans Kinzl y Erwin Schneider, y los porteadores peruanos Néstor Montes y Faustino Rojo, quienes lograron conquistar el pico sur el 20 de julio de 1932 y el Chopicalqui el 3 de agosto del mismo año, determinando la altura de la cumbre sur en 6768 msnm. Los objetivos determinados por los expedicionarios fueron: realizar ascensiones, investigaciones científicas y el levantamiento de un mapa topográfico a gran detalle.
- El Dr. Nicolás Jaeger, en 1979, permaneció solo en la cumbre sur del nevado Huascarán durante 60 días, con el fin de estudiar los efectos fisiológicos.
- En lo que se refiere a la glaciología del coloso, destaca el liderazgo del Dr. Lonnie G. Thompson, quien en 1980 se interesó en el estudio de las capas de hielo, lo que concluyó en un segundo programa realizado en el año 1984. Finalmente, después de varias expediciones, en el año 1993 realizó dos perforaciones hasta la base de la roca madre de Huascarán, encontrando una profundidad máxima de 190 m. En el año 2018 el Dr. Thompson efectuará nuevas perforaciones profundas en la garganta del Huascarán y posiblemente en la cumbre sur o norte de este pico, para lo cual firmaremos un convenio de cooperación científica con el INAIGEM para compartir diversas investigaciones.
- También es pertinente citar el trabajo llevado a cabo en el año 2013 por un equipo de investigadores australianos y alemanes, que revelaron que el Huascarán es el lugar de la superficie terrestre con la menor fuerza de atracción gravitacional.
- El 1 de agosto del 2017, el montañista ruso Valery Rozov realizó con éxito el salto base mas alto en América de Sur, al lanzarse desde la cumbre sur del nevado Huascarán hacia el valle del Santa, planeando unos 2000 metros hasta su aterrizaje a unos 4800 msnm, siendo esta hazaña deportiva muy comentada a nivel mundial

## OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### GENERALES

Evaluar la dinámica glacial y los impactos producidos por los efectos del cambio climático, así como las influencias del tectonismo en el nevado tropical más alto del mundo: el Huascarán.

### ESPECÍFICOS

- **Determinación de la altura**  
Establecer la altura *in situ* de la cumbre sur del Huascarán, utilizando un equipo de precisión GPS diferencial (de exactitud milimétrica), para evaluar posibles variaciones debido a los impactos climáticos y tectónicos.
- **Disminución de superficie glacial**  
Contrastar la disminución de la superficie glacial del sistema Huascarán -que comprende los nevados Huascarán y Chopicalqui-, analizando las fotografías aéreas e imágenes satelitales del periodo comprendido entre los años 1962 y 2016.
- **Acumulación de nieve**  
Determinar la acumulación anual de nieve en la cumbre del nevado Huascarán.
- **Registro meteorológico**  
Identificar las condiciones meteorológicas en el nevado Huascarán con equipo móvil multiparamétrico (marca Kestrel modelo 5500).
- **Medición de Carbono Negro**  
Medir la presencia de material particulado (Carbono Negro PM 2.5) en las capas superficiales del nevado Huascarán, producto del transporte de emisiones atmosféricas como la ignición incompleta de combustibles fósiles y la quema de materia orgánica.
- **Presencia de macro y microorganismos**  
Identificar macro y microorganismos existentes en las diferentes altitudes superficiales del nevado Huascarán.
- **Fuentes de contaminación de origen antrópico**  
Identificar la presencia de desechos humanos.

## ITINERARIO DE LA EXPEDICIÓN

El ascenso y la permanencia en la cumbre del nevado Huascarán es un reto para cualquier montañista, más aún para una expedición con fines científicos. La experiencia es valiosa y significativa, en tanto constituye un precedente para futuras acciones de investigación.

Fueron siete días de intenso trabajo, desde la partida en la localidad de Musho (provincia de Yungay, Ancash), hasta la cumbre y el retorno. El transporte del equipo científico desde los 3020 hasta los 6757 msnm en cuatro campamentos de altura, que son usualmente utilizados por los guías y técnicos de montaña y su retorno, demandó un esfuerzo adicional de los expedicionarios para la logística necesaria. La tarea cumplida tuvo el siguiente itinerario:

- **Día 1 (6 de agosto)**

Caminata desde Musho hasta el Campo Base (4200 msnm).



*Campamento Base: Evaluando la ruta del ascenso*

- **Día 2 (7 de agosto)**

Caminata desde el Campo Base hasta el límite de la morrena. La ruta se efectuó transportando el equipamiento y materiales con la finalidad de poner a prueba las condiciones físicas del personal, además del adiestramiento en el sorteo de senderos peligrosos. La permanencia en el Campo Morrena (4650 msnm) sirvió para hacer una evaluación de la ruta de ascenso y la calibración de los equipos.

- **Día 3 (8 de agosto)**

Se realizó el ascenso al **Campo 1** (ubicado sobre hielo a 5300 msnm), en un tiempo aproximado de cuatro horas, dando inicio con la instalación de dos sensores. En el Frente Glaciar se instaló otro sensor. Durante la permanencia en la zona se experimentaron temperaturas promedio de  $-5^{\circ}\text{C}$ , poniendo a prueba la indumentaria y los equipos de campamento. Esta zona es estratégica debido a que se estudia en detalle la ruta de escalada hacia la Garganta.



*Ruta de ascenso con ubicación de los campamentos*

- **Día 4 (9 de agosto)**

La jornada de ascenso al **Campo 2** - Garganta (6000 msnm), se inició partiendo a las 5:00 h del Campo 1. Los expedicionarios arribaron a la zona más peligrosa denominada "la canaleta" a las 7:00 h. El ascenso a este objetivo se debe de realizar en horas de la madrugada cuando la superficie de la nieve se mantiene dura y se puede evitar los desprendimientos de bloques de hielo, que tienen mayor recurrencia en horas del día.

El desplazamiento se organizó en tres cordadas: la primera, conformada por los técnicos de montaña del INAIGEM Julio Bartolomé y Justiniano Santiago, quienes tuvieron la tarea de señalar la ruta a seguir; la segunda, conducida por Francisco Ostos y por los profesionales del INAIGEM Ricardo Duran y Oscar Vilca; y la tercera cordada, conformada por nuestros técnicos glaciólogos Romaldo Santiago, Américo González y Héctor Oropeza.

En este recorrido, la prueba más complicada fue el ascenso por la temida "canaleta", que posee pendientes mayores a 75°. Es un sector de alto riesgo por la presencia de glaciares colgados y fracturados en toda la cabecera, propenso a eventuales desprendimientos de bloques de hielo y avalanchas.

Más allá de "la canaleta" se encuentra un sector con pendientes entre 40° y 60° aproximadamente. Esta zona, sin ser la más complicada para el desplazamiento es, sin lugar a dudas, la zona de mayor peligro de este tramo. La presencia de avalanchas recientes sobre el terreno indica lo inestable y dinámico que es el glaciar en este sector; además, de estar ubicado entre glaciares colgados y las grietas. Adicionalmente, se tuvo que lidiar con la superficie de hielo duro (cristalizado) que dificultaba significativamente el desplazamiento, provocando resbalones y tensiones en las cuerdas de apoyo.

Durante la permanencia en el Campo 2, se experimentaron temperaturas promedio de -5 °C consideradas "óptimas", tratándose de una altitud tan considerable. El cambio súbito de temperatura se da a partir de las 5:35 h, pasando de -5 °C hasta llegar a -11 °C.



*Campo 2: Zona de campamento antes del ascenso a la cumbre*

- **Día 5 (10 de agosto)**

El ataque a la Cumbre (6757 msnm) se inició a la 1:00 h. Las cordadas de asalto estuvieron dispuestas según las condiciones físicas observadas en los días previos, encabezando la primera, Francisco Ostos, seguido de Oscar Vilca y Justiniano Santiago; la segunda cordada conformada por Héctor Oropeza, Américo González y Romaldo Santiago; quedando al final, la tercera cordada conformada por Julio Bartolomé y Ricardo Duran.

El ascenso se puede describir en tres tramos:

- **Primer tramo:** de menor riesgo a través de la Garganta y hacia la cumbre sur. Consistió en el desplazamiento con cuerda estática, dado que se sortearon tres grandes grietas y eventuales “puentes” de hielo. Debido a la distancia para sortear las grietas por las zonas más estrechas, el tramo tomó algo más de dos horas hasta llegar al pie de la cara norte del Huascarán Sur.
- **Segundo tramo:** es el que exige mayor destreza técnica y resistencia física, con pendientes sobre los 75° con tramos casi verticales y cornisas, donde es indispensable la pericia técnica para la instalación de sistemas de anclaje en diferentes etapas. En esta zona, las cordadas realizaron el ascenso de manera paralela, optimizando el empleo de las estacas, cuerdas y demás implementos de apoyo en caso de percances. Dadas las condiciones y complejidad técnica para el ascenso en este sector, se puede caracterizar como zona de muy alto riesgo, sumado siempre a la presencia de glaciares colgados en la parte superior. Este tramo demandó un tiempo aproximado de tres horas con un desgaste máximo de energía.



*Cumbre del nevado Huascarán Sur: Instalación y testeo de instrumentos de medición*

- **Tercer y último tramo:** es de travesía, con un nivel de peligro medio debido a la presencia de nieve tipo polvo o nieve seca que cubre los agrietamientos, haciendo que los pasos en falso debiliten las rodillas. En este tramo, la travesía es muy larga y agotadora, tomando hasta tres horas aproximadamente llegar hasta la cumbre.

A las 8:04 h, la primera cordada llegó a la cima y la segunda a las 8:15 h. De inmediato, se dio inicio a las acciones científicas previstas, consistente en el posicionamiento y nivelación de la antena GPS, la excavación del pozo para observar la acumulación de nieve, la determinación de la zona donde se instalará el sensor Kestrel para la captura de información meteorológica y la zona para la extracción de muestras de Carbono Negro.

Posteriormente, con la llegada de la tercera cordada (9:15 h), se realizó el reporte radial al Campo Base, dando cuenta de la llegada exitosa de los expedicionarios a la cumbre. Las condiciones cambiantes y rigurosas del tiempo y la nubosidad en la cumbre, demandaron tomar decisiones que no hicieran peligrar la seguridad del personal y el éxito de la empresa.

Teniendo en cuenta la conveniencia técnica de permanecer el mayor tiempo posible en la cumbre, a fin de obtener el máximo de precisión de los equipos, se registró un periodo de permanencia de cuatro horas. Durante la estadía en la cumbre, el personal experimentó diferentes manifestaciones físicas y fisiológicas, siendo común el agotamiento, sueño, enfriamiento de pies y manos, además de cansancio generalizado producto del propio desgaste. Entre otras reacciones adversas, algunos expedicionarios sintieron también dolores de cabeza, nublado de la vista y zumbidos en los oídos.

La dinámica de los vientos y el ascenso de las nubes provenientes de la vertiente del Amazonas obligaron el descenso rápido; además, la cobertura densa de nubes obstruyó la visibilidad por algunos minutos, esto complicó de sobremanera el desplazamiento, dada la dificultad de encontrar las huellas para el camino de retorno. Se optó por hacer el descenso a paso muy lento con cuerda estática; inclusive en algún momento, se consideró la idea de quedarse en el lugar hasta que las condiciones de visibilidad mejoraran, o en su defecto, construir un vivac cavando en la superficie glaciar para descansar en un lugar protegido de las ráfagas de viento.

Minutos después, se retomó las tareas de descenso cuando se abrieron “ventanas” de visibilidad hacia las zonas bajas. Esta etapa se realizó a paso acelerado hasta alcanzar a la primera cordada que había descendido horas antes. El equipo completo, otra vez reunido, inició la instalación de anclajes para el descenso vertical mediante sistemas de rapel en tramos largos con las cuerdas extendidas en su totalidad (60 m).

Posterior al descenso vertical y con mejores condiciones de tiempo, todo el equipo reunido llegó a la zona de la Garganta a las 17:00 h, quedando pendiente la tarea de sortear grietas en una travesía que duró algo más de hora y media hasta llegar al Campo 2, donde se pernoctó.

- **Día 6 (11 de agosto)**

Partiendo del Campo 2 a las 6:00 h, se inició el descenso a través de “la canaleta”. Se realizó con rapidez. Finalizando el tramo difícil, el equipo acudió al llamado de ayuda de un andinista argentino que evidenciaba signos de agotamiento, producto de una mala aclimatación, por lo que se acudió a su rescate hasta llevarlo al refugio Huascarán.

En la ruta de ascenso nos encontramos con cuatro expediciones provenientes de México, Argentina, Brasil y Francia, que por dificultades técnicas no llegaron a la cumbre del Huascarán.

- **Día 7 (12 de agosto)**

Descenso del Campo Base hasta el Centro Poblado de Musho, donde se realizó una ceremonia de bienvenida con la presencia de la Directora Regional de Turismo, el representante de la Policía de Montaña, el jefe del IPD, representantes de las gobernaciones provinciales de Huaraz y Yungay, autoridades locales y pobladores. También asistieron una numerosa delegación de nuestros compañeros del INAIGEM, con nuestro presidente ejecutivo y directores de línea.

Campamentos y actividades durante el ascenso de la Expedición Científica al Huascarán

Fecha	Lugar	Altitud msnm	Actividades
06/08/2017	Musho Campo Base	4200	
07/08/2017	Campo Base Campo Morrena	4650	
08/08/2017	Campo Morrena Campo 1	5317	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de dos sensores Kestrel en el frente glaciar y en las inmediaciones del Campo 1</li> <li>• Aclimatación</li> </ul>
09/08/2017	Campo 1 Campo 2	6000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sensor Kestrel en las inmediaciones del Campo 2</li> <li>• Aclimatación</li> </ul>
10/08/2017	Campo 2 Cumbre Huascarán Sur Campo 2	6757	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ascensión a la cumbre</li> <li>• Instalación de la antena GPS</li> <li>• Instalación de un sensor Kestrel</li> <li>• Excavación de un pozo de observación evaluación de las condiciones de acumulación de nieve</li> <li>• Muestreo de Carbono Negro</li> <li>• Retorno al Campo 2 y pernocte</li> </ul>
11/08/2017	Campo 2 Campo Base	4200	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retorno al Campo Base</li> <li>• Recojo de sensores Kestrel</li> <li>• Muestreo de Carbono Negro</li> </ul>
12/08/2017	Campo Base Musho	3020	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descenso del Campo Base hasta el Centro Poblado de Musho</li> </ul>



Parte de la comitiva de recepción de la Expedición Científica al Huascarán

## RESULTADOS DE LA EXPEDICIÓN CIENTÍFICA

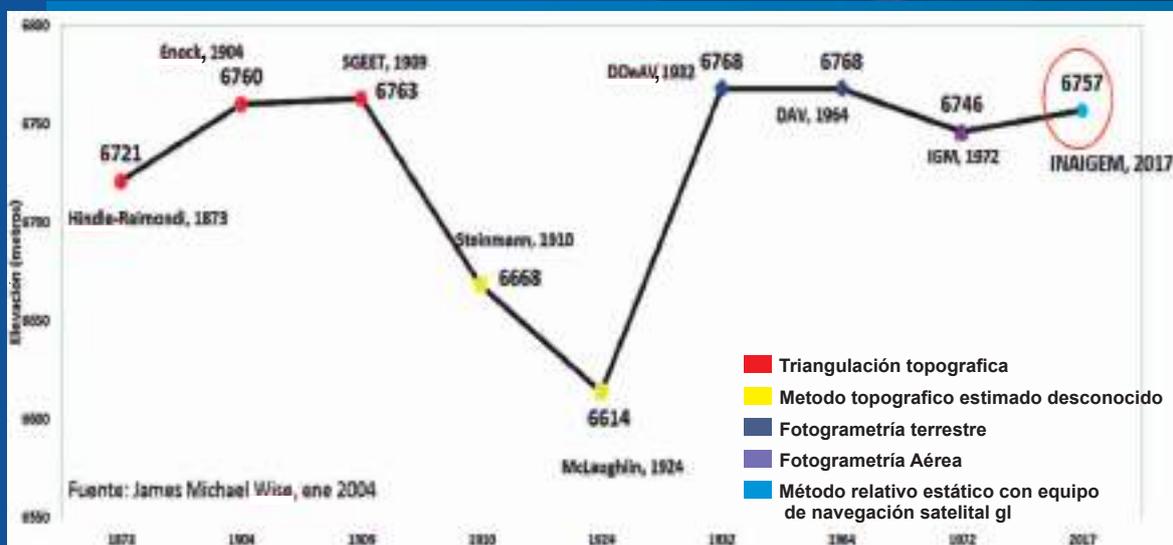
### MEDICIÓN DE ALTURA DEL NEVADO HUASCARÁN

#### Antecedentes

Se han realizado nueve mediciones de las cumbres sur y norte del Huascarán a partir de 1873. Desde la altura dada por Hindle - Raimondi, hasta la última medida tomada por la expedición del INAIGEM, en agosto de 2017.

La penúltima medición fue realizada en el año de 1972 por el Instituto Geográfico Militar (IGM), la cual fue de 6746 msnm. La más conocida es de 6768 msnm, medida que fue realizada por la expedición científica austroalemana de 1932, con el método de fotogrametría terrestre. En la expedición científica del año 2017, el INAIGEM realizó la medición de la cumbre con un GPS diferencial de marca TOPCON, modelo GR5, obteniendo el valor de **6757 m**.

#### Historial de mediciones de altura de la cumbre sur del nevado Huascarán

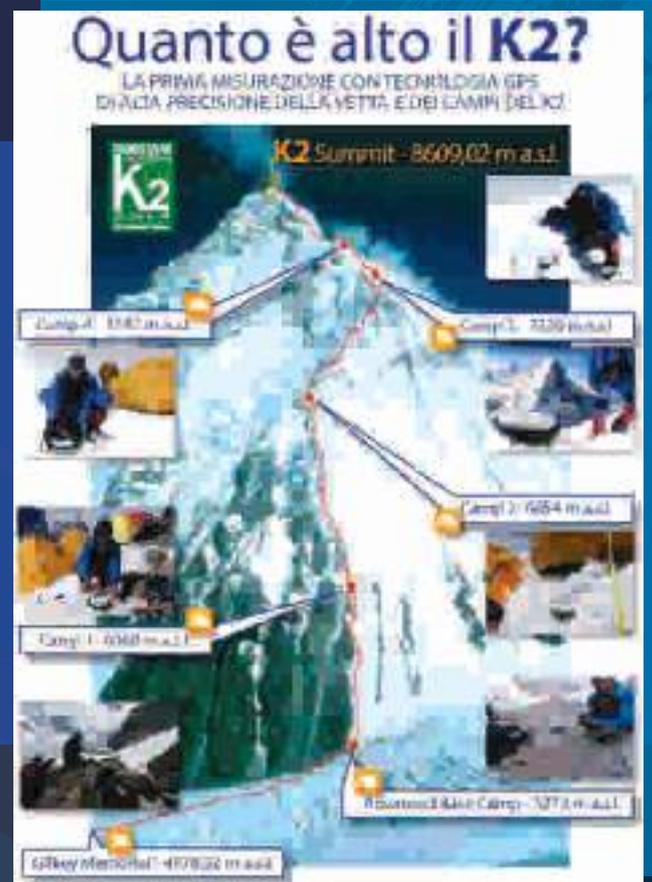


#### Levantamientos Previos

La tecnología GPS diferencial proporciona mayor exactitud a las mediciones de altura. Este tipo de receptor, además de recibir y procesar la información de los satélites, recibe y procesa simultáneamente otra información adicional procedente de una estación terrestre situada en un lugar cercano y reconocido por el receptor. Esta información complementaria permite corregir las inexactitudes que se puedan introducir en las señales que el receptor recibe de los satélites. En este caso, la estación terrestre transmite al receptor GPS los ajustes que son necesarios realizar en todo momento, éste los contrasta con su propia información y realiza las correcciones teniendo los datos correctos con una gran exactitud.

Esta metodología de medición se ha aplicado en muchas cumbres a nivel mundial, podemos mencionar las siguientes:

- Monte Everest: Año 1992 en Nepal
- Monte Kilimanjaro: Año 1999 en Tanzania
- Aconcagua: Año 2001 en Argentina
- K2: Año 2014 en Pakistán - China



Infografías sobre la medición del K2 con GPS diferencial: Año 2014

Un antecedente reciente de la metodología empleada en el nevado Huascarán aconteció en el año 2014, en la segunda montaña más alta del mundo: el K2, en la cordillera Karakórum (sistema de los Himalayas), con la expedición “K2 setenta años después”, donde se determinaron las elevaciones de los diferentes puntos, desde los campamentos hasta la cumbre.

### Medición de Altura de la Cumbre Sur del Nevado Huascarán Realizado por el INAIGEM

Para el cálculo de la elevación del nevado Huascarán, se empleó un equipo satelital de navegación global de alta precisión conocido como GPS diferencial (marca TOPCOM GR5). Su uso consiste en la utilización de un receptor móvil y una estación (o estaciones) de referencia sobre coordenadas conocidas. Lo básico para comprender el fundamento del DGPS es la utilización de receptores sobre puntos de coordenadas muy bien conocidas; estos receptores (llamados estaciones de referencia o estación base) leen en todo momento las posiciones reportadas por sus observaciones con el GPS y las comparan con las posiciones teóricas de sus coordenadas conocidas.

La diferencia entre las coordenadas conocidas y las coordenadas calculadas mediante el sistema GPS, es el error. La corrección del error, el cual ha sido determinado en la estación base, puede ser aplicado a los otros receptores GPS conocidos como Rover. La corrección de los datos tomados en campo puede hacerse en una etapa de post-procesamiento, en el cual es necesario un software especializado o también pueden corregirse los datos en tiempo real.

## Método

El método empleado en el cálculo de las coordenadas de la cumbre del nevado Huascarán, fue el Relativo Estático; según lo detallado en la “Norma Técnica Geodésica: Especificaciones Técnicas para el Posicionamiento Estático Relativo con Receptores del Sistema Satelital de Navegación Global” del Instituto Geográfico Nacional (IGN). El trabajo realizado tiene como objetivo la localización de un punto geodésico de orden “C” en la cumbre sur del nevado Huascarán.

Se tomó como referencia geodésica el Punto Geodésico de orden “A”, determinado por el IGN con código YUNY, localizado en la ciudad de Yungay, específicamente en la azotea del Centro Cultural. La descripción monográfica de este punto fue adquirida al IGN. Se tuvo un tiempo de recolección de datos de 6:37:25 h en la estación base, y en la cumbre sur del Huascarán, un tiempo de recopilación de información de 2:03:45 h con fecha 10 de agosto de 2017. La distancia desde la localidad de Yungay a la cumbre sur del Huascarán es de 16 km.

Terminados los trabajos de campo, la información almacenada en los receptores GPS es transferida a una computadora, estos datos son ingresados al software Magnet Tools, el post-proceso de las Líneas Base formadas entre el Punto Geodésico con código YUNY (base), y el Punto Rover en la cumbre sur del Huascarán. El procesamiento es realizado por el software de los equipos, el cual repite y analiza su consistencia.

Con esta metodología -de posicionamiento diferencial con post-procesamiento-, se determina las coordenadas UTM y geográficas en el sistema WGS84. La elevación para los puntos es calculado con referencia al elipsoide WGS84 y al modelo geoidal EGM2008 (modelo matemático de geoide a escala global desarrollado por la National Geospatial Intelligence Agency - NGA-) de los Estados Unidos de América en el año 2008. Se trata de un modelo establecido para la transformación entre alturas).

Según el Instituto Geográfico Nacional, se debe tener las siguientes consideraciones para la localización de puntos geodésicos de orden “C”:

- **Puntos geodésicos de orden “C”:**

Este orden se destina al establecimiento de control suplementario en áreas urbanas y rurales, al apoyo para el desarrollo de proyectos básicos de ingeniería y de desarrollo urbano-rural, y a trabajos que requieran precisión a un nivel máximo de 10.00 mm.

Para la toma de datos de todos los puntos geodésicos de orden “C”, se utiliza el método relativo estático; estos se obtienen con apoyo de por lo menos un punto geodésico, ya sea de orden “O”, orden “A” u orden “B” a nivel nacional, que estén separados equidistantemente a una distancia no mayor de 100 km al punto geodésico que se quiere establecer, considerando el tiempo continuo de observación no menor a 900 registros o épocas (de coincidencia con la base), a no menor de un (1) segundo ni mayor de cinco (5) segundos de sincronización (con la base), con una elevación de la máscara no mayor a quince (15) grados sobre el horizonte y con el rastreo permanente no menor de cuatro satélites.

- **Precisión:**

**Horizontal: hasta 10.00 mm**

**Vertical: hasta 15.00 mm**

## Resultados

La altitud registrada en la cumbre sur del nevado Huascarán fue de **6756.697 m**, las coordenadas y elevaciones se muestran en la tabla siguiente:

Altura del nevado Huascarán

PUNTO	COORD. NORTE (UTM)	COORD. ESTE (UTM)	ELEVACIÓN (m)
BASE (YUNGAY)	8988588.685	198291.733	2500.363
CUMBRE SUR HUASCARÁN	8990724.614	213778.255	<b>6756.697</b>



GPS diferencial estacionado en la cumbre sur del Huascarán

El equipo satelital de navegación global marca TOPCON GR5 fue empleado en modo estático para el cálculo de la elevación del nevado Huascarán, de este modo la precisión que alcanza este equipo es:

POSICIÓN	PRECISIÓN
Horizontal (X e Y)	3.0 m m + 0.1 p p m
Vertical (Z)	3.5 m m ± 0.4 p p m

La medición milimétrica de este equipo moderno permitió medir la altura del Huascarán con precisión.

## DISMINUCIÓN DE LA SUPERFICIE GLACIAR EN EL SISTEMA HUASCARÁN - CHOPICALQUI AL 2016

### Metodología

Para el cálculo de la reducción del área glaciaria del sistema Huascarán - Chopicalqui, se emplearon diversas técnicas y fuentes de información:

- Primer inventario iniciado por la Corporación Peruana del Santa, INGEOMIN, INGEMMET y culminado por HIDRANDINA S.A., 1989. Emplearon fotografías aéreas verticales del Proyecto N° AF-60-17, vuelo alto USAF de 1962 a 1970.
- UGRH-ANA, 2014: Emplearon imágenes de satélite SPOT, ASTER, LISS III y LANDSAT del 2003 al 2010.
- INAIGEM, 2017: Emplearon imágenes de satélite Sentinel 2 del 2016 con resolución espacial de 10 m.

En el primer inventario se emplearon técnicas fotogramétricas, es decir procesamiento de fotografías aéreas verticales. En el caso de la UGRH-ANA y el INAIGEM, se emplearon técnicas de procesamiento digital de imágenes satelitales: a) captura de imágenes satelitales multispectrales, b) correcciones radiométricas y geométricas, c) interpretación y aplicación de índices y ratios, como el cálculo del índice de hielo-nieve (NDSI).

### Resultados

#### Reducción de áreas glaciares entre 1962 y 2016

		HIDRANDINA S.A, 1989	ANA-UGRH, 2014		INAIGEM, 2017	
		1962	2003		2016	
Área glaciaria (km <sup>2</sup> )		65.6	41 años	51.4	13 años	46.9
Reducción del área glaciaria por periodo (km <sup>2</sup> )	1962 y 2003	14.2 km <sup>2</sup> (21.65%)				
	2003 y 2016	4.5 km <sup>2</sup> (8.75%)				
	1962 y 2016	18.7 km <sup>2</sup> (28.51%)				

Entre 1962 y 2016 (54 años), el sistema Huascarán ha experimentado una reducción de su área glaciaria de 65.6 km<sup>2</sup> a 46.9 km<sup>2</sup>; representando esto una pérdida de 18.7 km<sup>2</sup> de superficie glaciaria, equivalente al 28.51%.

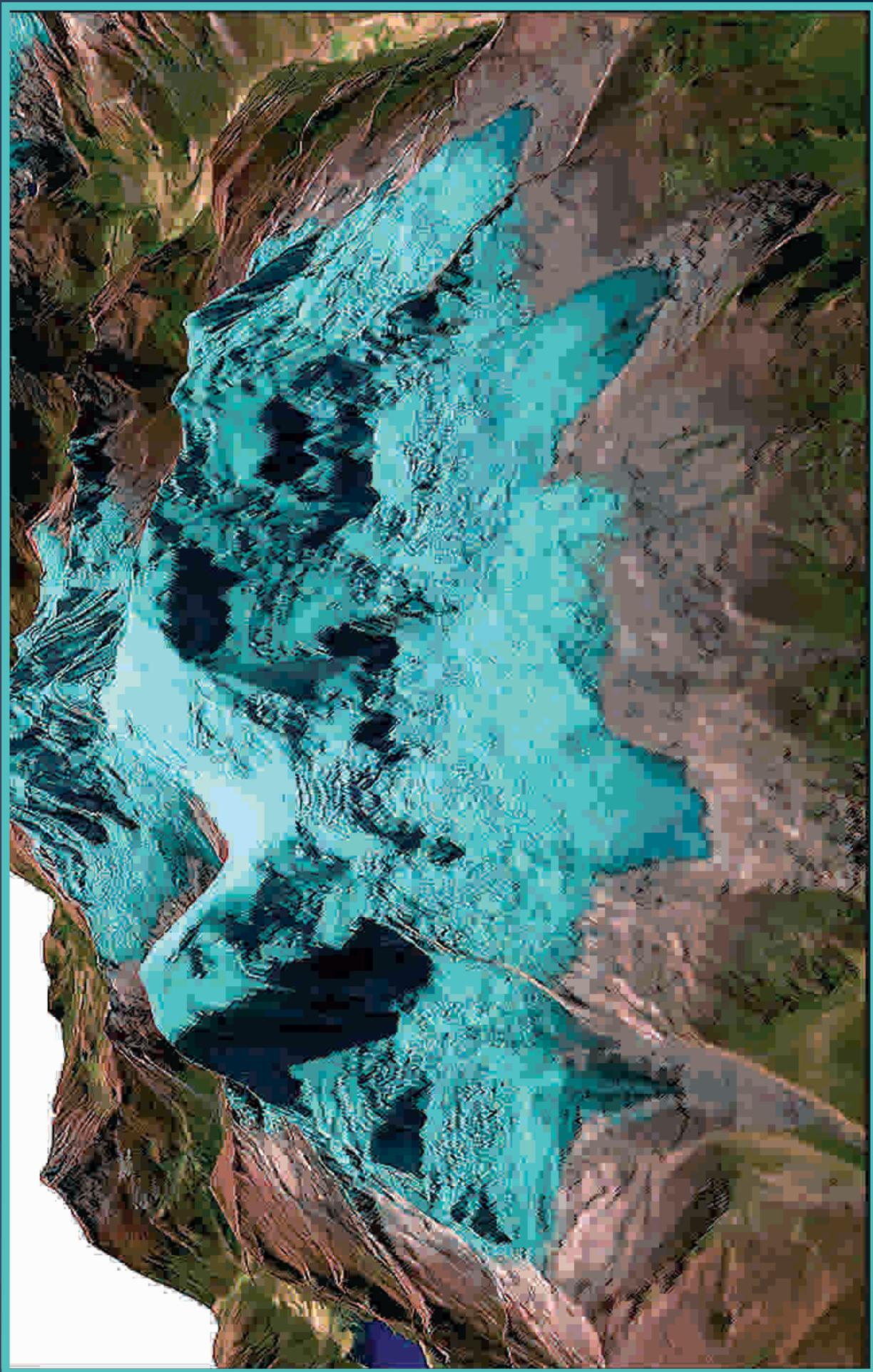


Reducción del área glaciaria entre los años 1962 y 2016

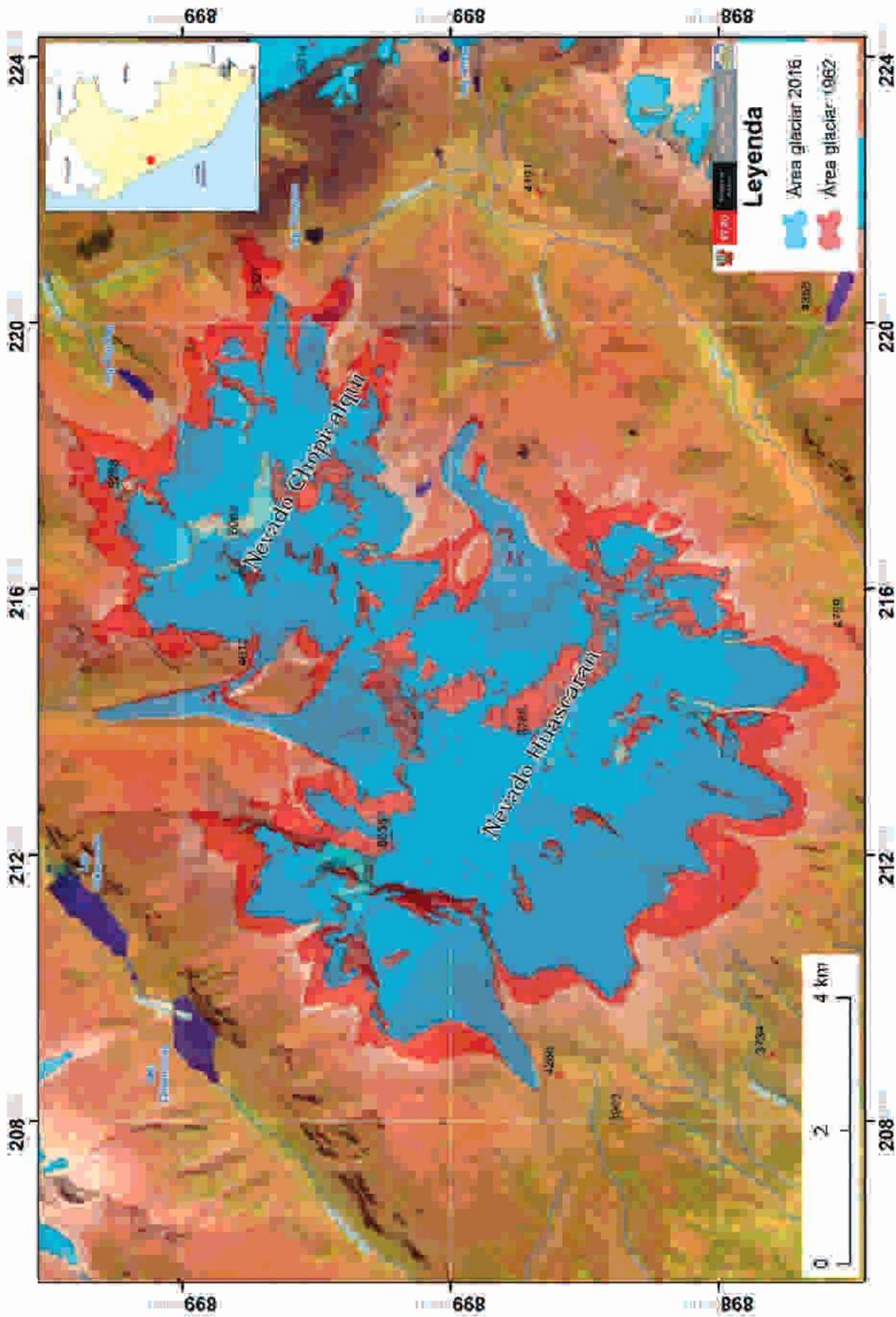
Es conveniente indicar que la acción de la elevación de la temperatura, la radiación y la sublimación son factores definitivos en la fusión de los glaciares. Una prueba objetiva es la acontecida en noviembre del año 2016, cuando se tuvo una sequía total en la Cordillera Blanca, sin ninguna precipitación y con fusión de glaciares a gran magnitud, que colmaron las lagunas glaciares en mayor volumen que en la época de lluvias, tal como se constató en la laguna Palcacocha y toda la Cordillera Blanca. Un ejemplo, es la situación del nevado Huascarán: en las imágenes satelitales de 2016 y 2017 (pág. 17 y 18), se muestra la gran fusión ocurrida en este nevado, que llegó a afectar hasta sus cotas superiores.



*Vista satelital del nevado Huascarán: noviembre 2016. Muestra una severa fusión del área glaciar en sus partes inferiores*



*Vista satelital multiespectral del nevado Huascarán: año 2017. Muestra una acumulación de nieve sobre la parte inferior del glaciar*



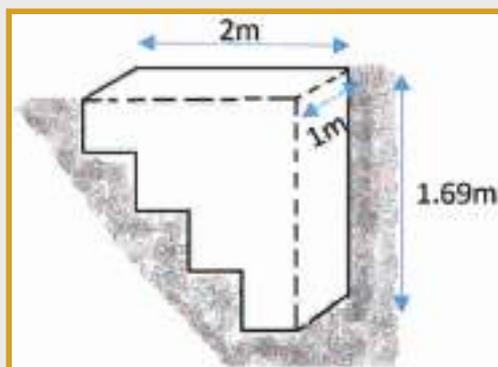
Sistema Huascarán - Chopicalqui: Reducción del área glaciar entre 1962 y 2016

### Metodología

La caracterización de la acumulación de nieve en la cumbre permite conocer el comportamiento de la estratificación en altitudes mayores a los 6000 msnm. Esta expedición observó las diferentes formaciones glaciares a lo largo de la ruta de ascenso hacia la cumbre. Los resultados permiten determinar las características de la acumulación de nieve en la cumbre del nevado Huascarán e identificar zonas para realizar futuros estudios glaciológicos.

La evaluación se realizó mediante el siguiente procedimiento:

- Excavación de un pozo de un metro de ancho y dos metros de largo con ingreso escalonado para evaluar los estratos de acumulación, llegando a una profundidad de 1.69 m. Asimismo, se determinó una costra en la superficie (20 cm) y una columna homogénea de nieve fresca. Esta zona fue ubicada en un área libre de agrietamientos y alteraciones en la superficie del glaciar.

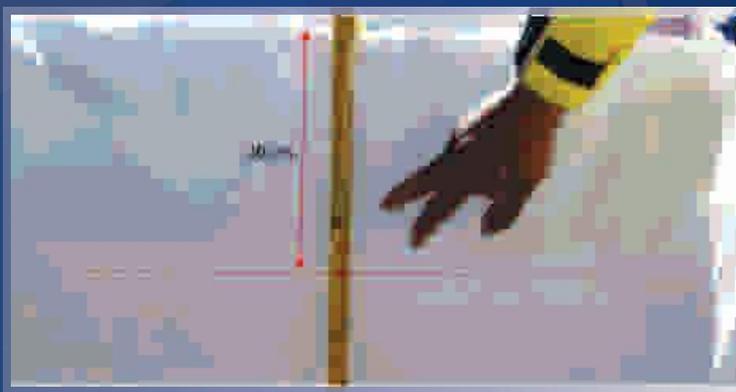
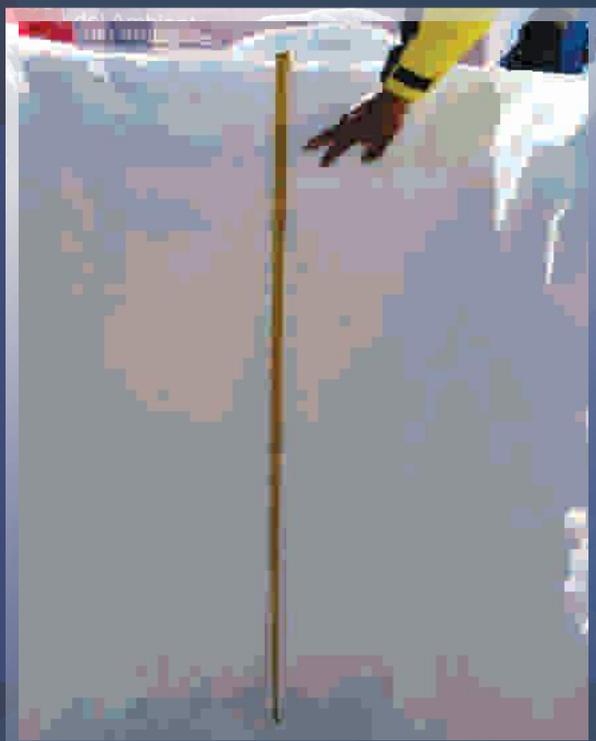


- Observación directa y medición de los diferentes estratos y cambios en la columna de acumulación de nieve.

### Resultados

- La superficie glaciar en la cumbre del nevado Huascarán Sur es uniforme, con leves sinuosidades y ondulaciones modeladas por agentes climáticos como los vientos, temperatura y radiación solar.
- La principal característica de la nieve observada en la cumbre es la nieve seca o nieve polvo, cubierta con una costra de 20 cm de nieve que no se funde debido a que la temperatura se encuentra a niveles bajo cero y a la presencia de ráfagas de vientos de las diferentes vertientes.
- La acumulación de nieve está directamente asociada a las condiciones del viento y morfología del terreno, la cumbre del nevado Huascarán Sur tiene forma de un casquete semi esférico, modelado por la acción del viento principalmente.
- Se observó un perfil estratigráfico uniforme hasta la profundidad de 1.69 m con una densidad aproximada de  $0.6 \text{ gr/cm}^3$ .
- La estratigrafía por debajo de los 20 cm de la superficie es uniforme, formada en su integridad por nieve seca y sin presencia de partículas, con una densidad aproximada  $0.6 \text{ gr/cm}^3$ . Este tipo de nieve no posee adherencia entre sí, ni se compacta debido a las temperaturas extremadamente bajas. No se llegó hasta la base del límite de la acumulación anual debido al extremo esfuerzo que requería la excavación con lampa a esa altitud, reto que cumpliremos en una próxima expedición.
- Esto explica la escasa acumulación, dado a que la nieve que cae sobre la superficie, al no compactar, es arrastrada fácilmente por las corrientes de viento, muy frecuentes en el lugar.

La capa superficial de nieve acumulada se encuentra congelada en un espesor aproximado de 20 cm, debido principalmente a una temperatura imperante por debajo de cero grados imperantes. Se observó que por debajo de esta capa de 20 cm existe una capa homogénea de nieve seca o polvo.



*El pozo de acumulación se excavó hasta 1.69 m de profundidad.  
Se observó un perfil homogéneo en la acumulación de nieve*

## CONDICIONES METEOROLÓGICAS EN EL NEVADO HUASCARÁN

### Metodología

Las variables meteorológicas medidas fueron:

- Temperatura
- Humedad relativa
- Velocidad y dirección del viento

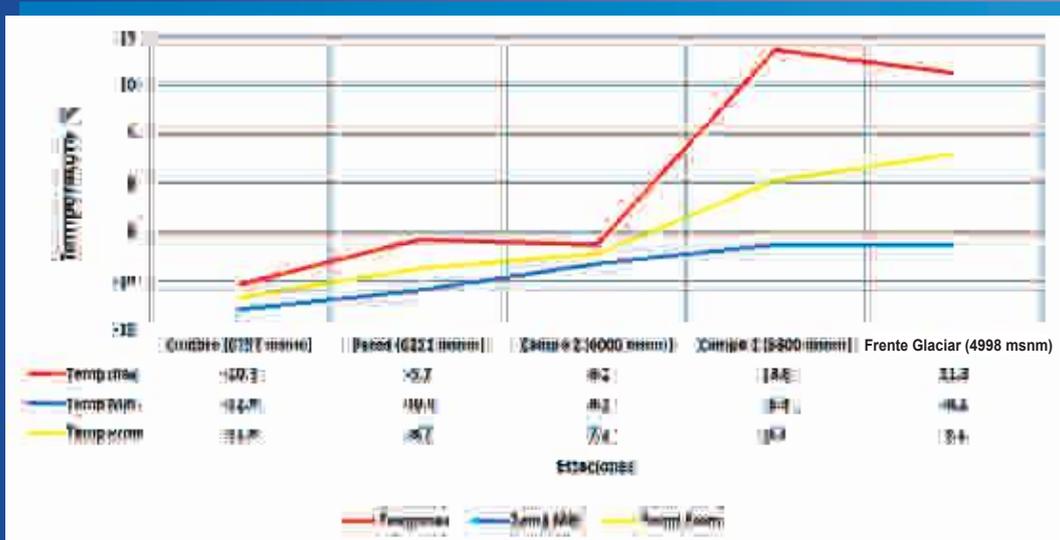
Para estas mediciones se utilizó una estación meteorológica multiparamétrica de marca Kestrel modelo 5500, equipo ampliamente empleado en alta montaña debido a su peso ligero y a la confiabilidad de los resultados que registra.

Las estaciones portátiles fueron ubicadas en transecto altitudinal: en el Frente Glaciar (4998 m), en el Campo 1 (5300 m), en el Campo 2 (6000 m), en la Pared de acceso a la cumbre (6251 m) y en la Cumbre (6757 m), para registrar información de manera simultánea. El periodo de registro presentado en los gráficos siguientes corresponde a las cinco estaciones durante el tiempo en que se tuvo localizada la estación meteorológica portátil en la cumbre, es decir, desde las 8:30 h hasta las 11:10 h. Se presentan también los registros completos de las estaciones ubicadas en el Frente Glaciar y en el Campo 1, donde se tienen los mayores periodos de registro.

Los datos registrados por las estaciones meteorológicas son descargados de cada equipo y procesados estadísticamente para obtener valores promedio.

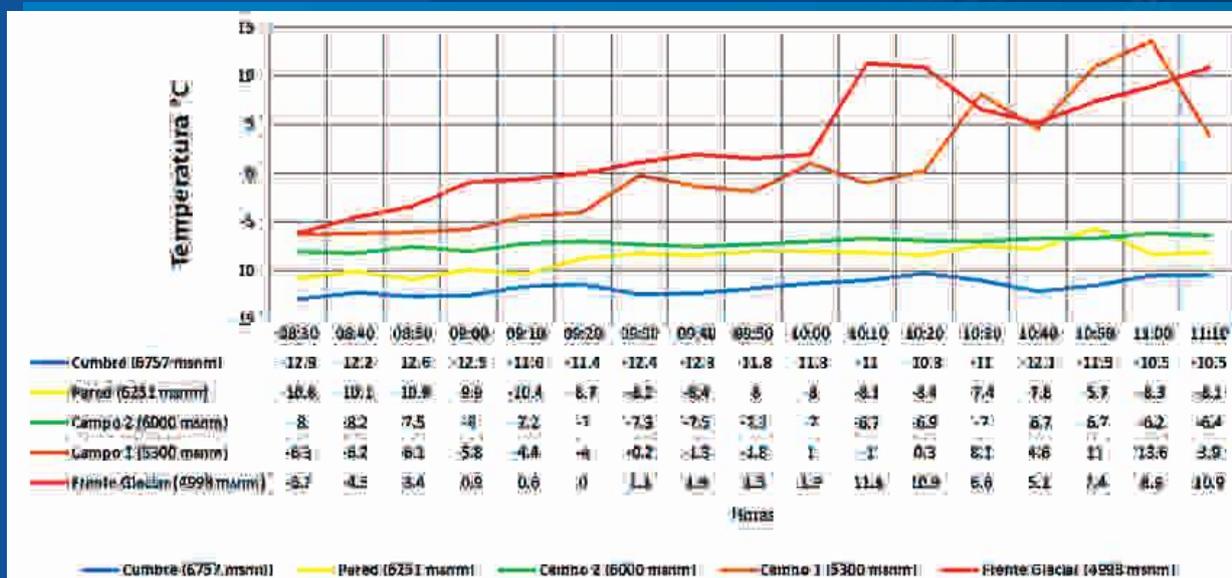
### Resultados

Evidentemente la temperatura en la cumbre del nevado Huascarán resulta ser la más baja en todo el transecto, llegando la mínima a  $-12.9^{\circ}\text{C}$ ; sin embargo, se puede observar una importante gradiente de temperatura entre la máxima y la mínima de más de  $19.9^{\circ}\text{C}$ , tanto en el Campo 1 como en Frente Glaciar. Este comportamiento puede deberse a la menor incidencia de vientos en estas zonas, hecho que permite la acción de la radiación solar sobre la superficie glaciar incrementando su temperatura.



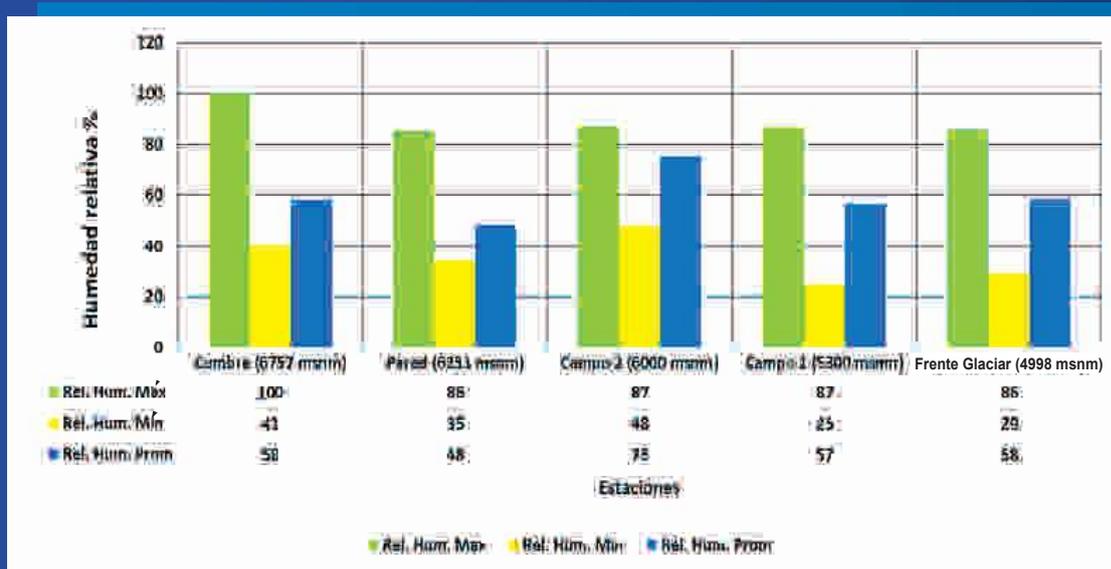
Temperaturas a diferentes altitudes en el nevado Huascarán: día 10 de agosto de 2017 desde las 8:30 h a 11:10 h

Como es de esperar, se observa una relación inversa entre la altitud y la temperatura. Las menor temperatura se registra en la Cumbre con una débil gradiente térmica debido a la influencia del viento en esta zona. Las mayor temperatura se registra en el Campo 1 y el Frente Glaciar. Se puede observar una mayor gradiente de temperatura a medida que avanza la mañana. Se infiere que existe, en la parte baja del glaciar, una mayor influencia de la radiación solar por el incremento de la temperatura debido a la menor incidencia de vientos y a la existencia de Carbono Negro.



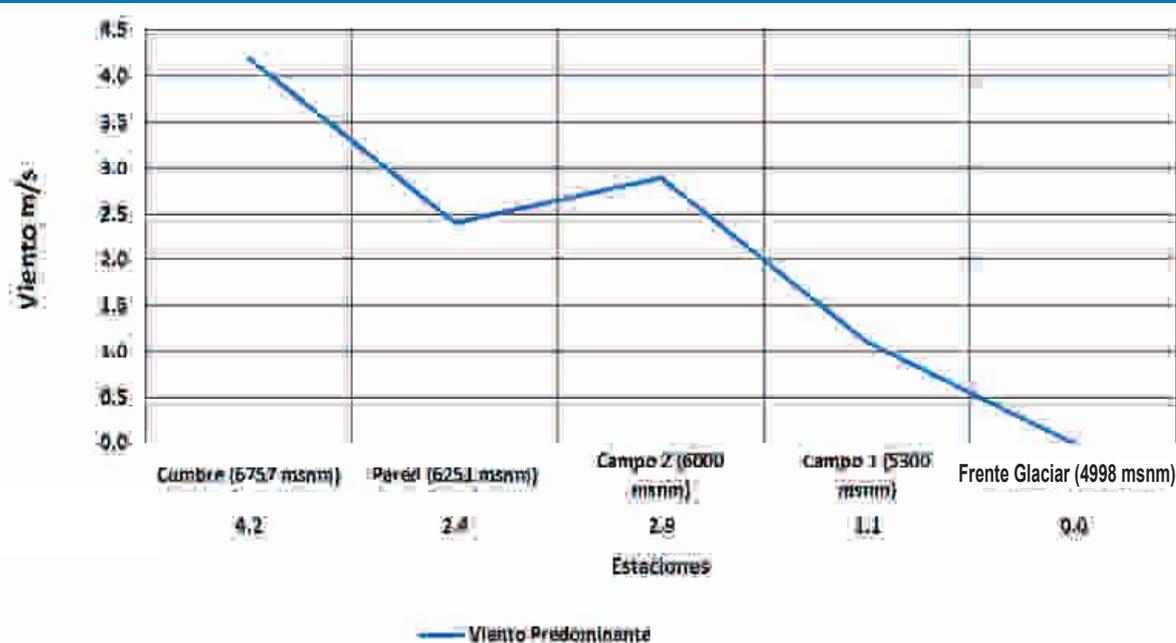
Comportamiento de la temperatura cada 10 minutos a diferentes altitudes en el nevado Huascarán: día 10 de agosto del 2017 desde las 8:30 h a 11:10 h

El comportamiento de la humedad relativa en el transecto altitudinal nos muestra un ambiente predominantemente seco con cortos periodos en los que se alcanza una alta humedad atmosférica, debido a la presencia de nubosidad. La humedad relativa máxima llega al 100% en la cumbre y está por encima del 80% en las demás zonas, la humedad relativa mínima está por debajo del 50% llegando hasta el 25% en el Campo 1.



Análisis de la humedad relativa a diferentes altitudes en el nevado Huascarán: día 10 de agosto del 2017 desde las 8:30 h a 11:10 h

Con respecto a la velocidad del viento, se puede observar que las mayores velocidades se registran en la cumbre del nevado, evidentemente, debido a la exposición a los demás elementos climáticos. Las condiciones de viento durante la duración de los trabajos en la cumbre fueron buenas; no se registraron vientos extremos como suele suceder en este territorio. Los vientos más fuertes fueron de 4.2 m/s (15 km/h). El Campo 2 presenta altas velocidades de viento, esto se debe a la morfología del nevado Huascarán. El Campo 2 se encuentra ubicado entre las cumbres norte y sur del glaciar, hecho que contribuye a canalizar los vientos hacia esta zona de paso. En la parte baja del glaciar las velocidades predominantes son bajas. La incidencia de los vientos afecta la acción de la radiación solar sobre el incremento de las temperaturas en el glaciar.



*Análisis de la velocidad de viento predominante a diferentes altitudes en el nevado Huascarán: día 10 de agosto del 2017 desde las 8:30 h a 11:10 h*

Las estaciones localizadas en el Frente Glaciar y el Campo 1 son las que tienen mayor tiempo de registro: un total de 67 horas de registro en el Frente Glaciar y 63 horas en el Campo 1. Los siguientes gráficos muestran la evolución de la temperatura y humedad relativa en estas dos zonas del nevado Huascarán.

TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA HORARIA ESTACION FRENTE GLACIAR (4998 msnm)



TEMPERATURA (°C) Y HUMEDAD RELATIVA (%) HORARIA ESTACION CAMPO UNO (5300 msnm)



En el Frente Glaciar puede observarse el comportamiento cíclico de la temperatura alcanzando sus valores máximos entre las 11 h y 12 h diariamente, con valores de alrededor de 8.5 °C. La temperatura mínima se alcanza alrededor de las 6 h con valores de aproximadamente -6 °C. Un comportamiento cíclico similar se observa en las temperaturas del Campo 1; sin embargo, el día 10 de agosto la temperatura máxima no superó los 5 °C registrando valores de este orden hasta las 16 h. Las temperaturas mínimas se dan alrededor de las 5 h con temperaturas que alcanzan los -8 °C.

El comportamiento de la humedad relativa se muestra inverso a la evolución de la temperatura. Cuando la temperatura es baja, los valores de humedad relativa se incrementan llegando hasta el 100%. Cuando se alcanza la temperatura máxima los valores de humedad relativa disminuyen notoriamente.

Es importante anotar que, a diferencia de lo que ocurre en el sur del Perú, donde a altitudes de 4000 msnm se tienen temperaturas del orden de -15 °C, en los glaciares del norte del Perú, como el Huascarán a más de 6000 msnm, se tienen temperaturas de -8 °C. Esto demuestra la marcada influencia de la latitud sobre el comportamiento de las variables meteorológicas en zonas glaciares.

## PRESENCIA DEL CARBONO NEGRO EN CAPAS SUPERFICIALES DEL NEVADO HUASCARÁN

### Metodología

El Carbono Negro es un tipo de aerosol que se emite directamente a la atmósfera en forma de partículas finas (PM2.5), tiene una fuerte capacidad para absorber la luz solar y se produce durante la combustión incompleta de combustibles fósiles, los biocombustibles y la biomasa. El Carbono Negro influye directamente sobre los glaciares al reducir la reflectividad (albedo), lo que implica mayor cantidad de energía absorbida y transferida en forma de calor a la nieve y hielo, de esta manera, acelera el proceso de derretimiento (fusión) de los glaciares. Las partículas de Carbono Negro pueden depositarse sobre los glaciares de dos maneras: en seco (directamente como partículas finas) o en húmedo (dentro de gotas de agua o copos de nieve).

La metodología desarrollada fue:

Recolección de cinco muestras en puntos durante el ascenso a la cumbre sur del nevado Huascarán. Estas muestras, representan la nieve superficial (reciente) que cayó durante la estación húmeda del año 2017. Para la obtención de las muestras se consideró un área relativamente plana que no estuviera dentro de las rutas de escalada, zonas de avalanchas o áreas con bastante pendiente. Se recolectó aproximadamente 2 kg de nieve superficial en cada punto; para ello, se utilizaron guantes de látex y bolsas con cierre hermético con el fin de preservar las muestras.

El siguiente procedimiento fue fundir y filtrar las muestras; para ello, se utilizaron filtros de cuarzo de 0.7 micras de porosidad, los mismos que se introdujeron en un empaque sellado y se conectaron a una jeringa de 60 ml de capacidad. De manera lenta y haciendo movimientos circulares se empujó la muestra líquida por el filtro. Esta acción se realizó cinco veces para un total 600 ml de agua filtrada para cada muestra. De esta manera, se obtuvo cinco filtros con el Carbono Negro presente en la nieve del nevado Huascarán. En gabinete, los filtros se analizaron mediante el Método de Absorción de Luz de Calefacción (LAHM, por sus siglas en inglés); para ello, se utilizó un instrumento experimental diseñado por el Dr. Carl Schmitt del National Center for Atmospheric Research (NCAR) y del American Climber Science Program de los EE.UU.



Toma de muestras de nieve y procedimiento de fusión y filtrado de muestras



Filtros con Carbono Negro obtenidos a partir del filtrado de las muestras líquidas

## Resultados

A continuación se detallan los resultados de las muestras de Carbono Negro obtenidos, determinados mediante el Método de Absorción de Luz de Calefacción para los filtros, obtenidos a partir del proceso de fusión y filtrado de la nieve del nevado Huascarán:

Cantidad de Carbono Negro en diferentes altitudes del nevado Huascarán

CODIGO	CANTIDAD FILTRADA	CARBONO NEGRO	FECHA	REFERENCIA	ALTITUD
001-H	600 ML	0.169 ng/g	10/08/17	CUMBRE	6757 msnm
002-H	600 ML	9.501 ng/g	10/08/17	ENTRE CUMBRE Y CAMPO 2	6251 msnm
003-H	600 ML	33.142 ng/g	10/08/17	CAMPO 2	6000 msnm
004-H	600 ML	4.649 ng/g	11/08/17	CAMPO1	5300 msnm
005-H	600 ML	64.567 ng/g	11/08/17	FRENTE GLACIAR	4998 msnm

\*ng/g: nano-gramo de Carbono Negro por gramo de nieve.

Los resultados muestran que a mayor altitud el Carbono Negro es menor, siendo mínima su presencia en la cumbre (0.169 ng/g); y máxima en la zona baja del glaciar, en contacto con la morrena glaciar (64.567 ng/g). De manera particular, en el Campo 1, la concentración se reduce ostensiblemente; se trata de una zona con menor exposición a los vientos, hecho que puede influir en la baja concentración determinada. Comparativamente es interesante mencionar que, en el glaciar Yanapaccha en julio de 2016, se obtuvieron concentraciones entre 198.58 ng/g (zona de acumulación) y 356.13 ng/g (zona de ablación). Además, en agosto del año 2016, en el glaciar Shallap (cercano a Huaraz), se obtuvieron concentraciones entre 363.05 ng/g (zona de acumulación) y 750.84 ng/g (zona de ablación), valores muy superiores a los registrados en el Huascarán.

## IDENTIFICACIÓN DE BIOINDICADORES DE CAMBIO CLIMÁTICO

### Metodología para Identificación de Microorganismos

Para la identificación de microorganismos presentes en el Huascarán se colectaron cinco muestras de nieve superficial a 20 cm de profundidad en gradiente altitudinal, desde la base del glaciar hasta la cima, colectando datos de temperatura y humedad de cada punto donde se colectaron las muestras. El procesamiento de las muestras del Huascarán para el estudio biológico obedecerá al siguiente protocolo para su análisis:

- a) Se replicará en laboratorio las condiciones de temperatura, presión, humedad y luz de cada una de las muestras extraídas en función de los datos colectados.
- b) Se realizará la búsqueda e identificación de los organismos que pudieran estar presentes en las muestras extraídas (polen, bacterias, hongos, virus, etc.).
- c) De encontrar organismos se cultivarán y serán sometidos a análisis moleculares (ADN).
- d) De encontrar polen se identificarán las especies de las que proviene el polen y se analizará su procedencia en base al análisis de cobertura vegetal cercana al glaciar, tomando especial consideración a la cara oeste (de donde se extrajeron las muestras) por que en estos meses el viento va en dirección Oeste (incrementa la posibilidad de encontrar polen o rastros de otro tipo de organismos).
- e) Se someterán todas las muestras a análisis moleculares (búsqueda de fragmentos de ADN-Virus), esto independiente de encontrarse organismos o no en las muestras, para saber si en algún momento existieron o no organismos.
- f) Las muestras disueltas se someterán a análisis de pH, metales disueltos, OD.
- g) Se clasificarán y analizarán las partículas de polvo presentes en cada muestra (guarda relación con los nutrientes que pudieran necesitar los organismos presentes, también en un análisis de contaminación, dado que el viento pudiera estar arrastrando otro tipo de partículas).
- h) Las muestras de nieve superficial se procesarán en laboratorios de biología molecular. La investigación demorará en promedio dos meses para obtener resultados y conclusiones que permitan realizar una serie de publicaciones en revistas indizadas relacionadas a los temas de investigación biológica y cambio climático.

Como parte de la expedición se hicieron también observaciones directas de la presencia de macroorganismos en el frente glaciar y zona de contacto con la roca.

## Presencia de Macroorganismos en el Nevado Huascarán

Habitualmente se tiene la percepción de que las zonas remotas frías, como las áreas glaciares de la Cordillera Blanca y sus áreas emblemáticas como el nevado Huascarán, son lugares libres de contaminación próximas a la última frontera donde no ha llegado el efecto de la actividad antrópica o formas de vida considerables.

Sin embargo, las condiciones propias de estos lugares favorecen su deposición por efecto del comportamiento atmosférico, gradiente térmico y fraccionamiento entre la fase gaseosa y la condensada; además de los componentes atmosféricos como el material particulado atmosférico, gotas de lluvia, cristales de nieve, núcleos de condensación, aerosoles que incluyen polvo, cenizas, cristales de sales, esporas y microorganismos. Esto nos permite abordar estudios de diversos componentes en glaciares, entre ellos, los cúmulos de partículas depositadas en la superficie glaciar, que por acción térmica, acelera su profundización y van conformando cavidades con sustratos denominados “crioconitas”, espacios propicios para la supervivencia de organismos invertebrados.



*Agujeros cilíndricos en la superficie glaciar denominados “crioconitas”. Diámetro 2 cm y profundidad 3 cm en promedio*



*Organismos invertebrados extremófilos, útiles indicadores de la calidad ambiental de agua y sedimento. Glaciar Shallap 4700 msnm*

Las áreas glaciares de la Cordillera Blanca muestran la presencia y desarrollo de procesos reproductivos ornitológicos, un potencial indicador de la adaptabilidad de las especies a condiciones extremas y/o de cambio climático.



*Muestra de la adaptabilidad de especies en procesos reproductivos, un nido en la zona de ablación 5135 msnm. Glaciar Queullaraju, Cordillera Blanca, agosto de 2017*

En la base del glaciar se encontraron individuos de la familia *Culicidae* (Diptera: Nematocera); esta incluye cerca de 3507 especies en el mundo, con una parte importante de ellas como insectos vectores de diferentes patógenos (arbovirus, protozoos, nemátodos), que producen variadas enfermedades de importancia en salud pública y veterinaria. Estas especies utilizan una diversidad de ambientes de cría desde cuerpos de agua en el suelo, lagunas, lagos, desbordes de ríos, plantas que poseen estructuras que almacenan agua o fitotelmata, así como recipientes artificiales antropogénicos.

La cordillera andina posee las localidades de mayor altitud y por ende los registros de mosquitos a mayor elevación, tanto para mosquitos en fitotelmata, así como para especies que utilizan otro tipo de criaderos. Estas especies, pueden ser indicadoras importantes para el monitoreo y conservación de la vegetación y de las áreas protegidas andinas de alta montaña. Por desarrollarse en las plantas epífitas adosadas a las ramas y troncos de los árboles de estas zonas húmedas y nubladas, estas especies, han sufrido una disminución drástica en su abundancia que podría indicar daños inminentes en el ecosistema de montaña, incluso en aquellos puntos de mayor altitud.



*Mosquito extremófilo en el frente glaciar del nevado Huascarán*



*Especie de arácnido que habita entre las rocas y el glaciar*



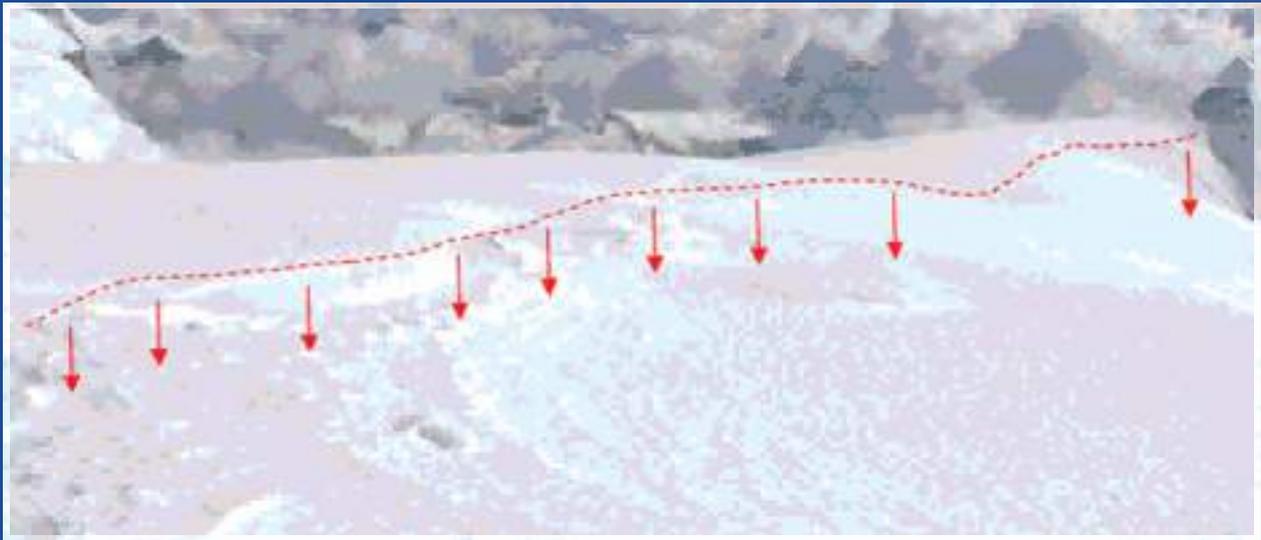
*Especie colonizadora en la zona rocosa adyacente al glaciar (*Calamagrostis* sp.)*

El registro de la especie *Calamagrostis glacialis* y especies de arácnidos predadores de mosquitos de la familia *Culicidae*, refuerza la evidencia de la colonización progresiva de especies hacia las alturas, sin dejar de ser evidente el deterioro de los ecosistemas de montaña y los cambios de estos en un escenario de cambio climático.

## OTROS ASPECTOS OBSERVADOS

### Agrietamiento Potencial en la Cumbre del Huascarán

Se observaron trazas de potenciales grietas transversales en la cumbre del nevado Huascarán con un leve desplazamiento de aproximadamente 5 cm, ubicado al lado este y con dirección norte-sur. Es necesaria la observación a través de imágenes satelitales y de sitio para evaluar el grado de evolución de este posible agrietamiento. Adicionalmente, estos estudios darían inicio a la investigación sobre la dinámica y evolución del glaciar en particular para estudios de riesgo de avalanchas.



*Sector norte en la cumbre: Resalta la zona del agrietamiento potencial*

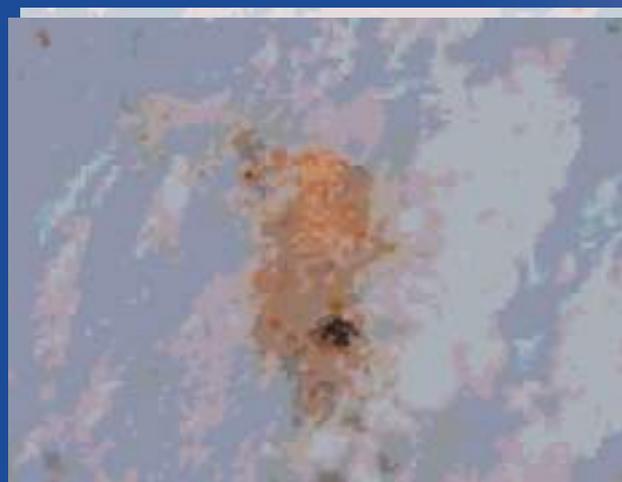


*Sector sur en la cumbre: Resalta la faja del agrietamiento potencial*

## PRESENCIA DE RESIDUOS SÓLIDOS

El nevado Huascarán es una zona de gran afluencia de montañistas durante los meses de junio a agosto, periodo en el que andinistas de todo el mundo escalan sus cumbres. A lo largo de la ruta y en especial en la zona glaciar, se evidencia la presencia de residuos sólidos compuestos por plásticos y envolturas, restos de comida y excretas humanas.

Este problema es más notorio en el Campo 2, donde los turistas y operadores turísticos, a fin de aminorar su carga, disponen inadecuadamente de sus residuos en el glaciar. El impacto visible es la fusión que estos generan en la superficie del glaciar.



*Presencia de restos de comida en el Campo 2*



*Presencia de excretas humanas y plásticos en el Campo 2*

## CONCLUSIONES

- El ascenso al nevado Huascarán, realizado del 6 al 12 de agosto del año 2017, marca un hito en la investigación glaciológica en el Perú. Tras siete días de ascenso, el equipo científico hizo cumbre el día 10 de agosto y permaneció en ella desde 8:04 h hasta las 11:59 h. Las diferentes acciones realizadas demandaron resistencia física del personal que permaneció en la cumbre del glaciar desarrollando los diversos trabajos de toma de datos y excavación del pozo de acumulación, durante un periodo largo por debajo de  $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$  en promedio.
- La altura de la cumbre sur del nevado Huascarán es de 6757 m, con respecto al modelo geoidal EGM2008. Constituye un punto inicial de referencia para los futuros trabajos de monitoreo.
- El equipo satelital de navegación global o GPS Diferencial, empleado en el cálculo de la altura del Huascarán, ha demostrado robustez e idoneidad para este tipo de trabajo en alta montaña, teniendo antecedentes de su empleo en estos trabajos a nivel mundial.
- En el pozo de acumulación se observó una capa de nieve compacta y congelada de 20 cm en la cumbre del Huascarán con una deposición de nieve homogénea granular de 1.60 m.
- La mayor gradiente térmica se registra en el Frente Glaciar con más de  $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- La gradiente de temperaturas se incrementa a medida que se llega al mediodía; se infiere que existe en la parte baja del glaciar una mayor influencia de la radiación solar en el incremento de la temperatura, debido a la menor incidencia de vientos y a la existencia de Carbono Negro.
- Los vientos fuertes deben predominar en la cumbre del Huascarán; sin embargo, se tuvieron condiciones de viento moderados favorables para el desarrollo de los trabajos en la cumbre.
- Los picos máximos de temperatura en la parte baja del glaciar (Frente Glaciar y Campo 1) se registran entre las 11.00 h y 12.00 h, con valores de hasta  $13.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Las temperaturas mínimas, entre las 5.00 y 6.00 h, arrojan valores de hasta  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Los valores de humedad relativa disminuyen conforme las temperaturas se incrementan y viceversa, fenómeno observado en el Frente Glaciar y el Campo 1, en la parte baja del glaciar.
- La menor cantidad de Carbono Negro en la nieve de la cumbre sur del nevado Huascarán favorece la reflectividad (albedo), lo que implica menor energía solar absorbida y por ende menor fusión. Caso contrario sucede en parte baja del glaciar donde se observan las mayores concentraciones de Carbono Negro.
- La abundante acumulación de nieve durante la estación húmeda del año 2017 favoreció la presencia de nieve relativamente limpia en el nevado Huascarán; sin embargo, por debajo de los 6000 msnm la cantidad de Carbono Negro aumenta.
- Se puede evidenciar que existe una importante biodiversidad en las zonas glaciares de la Cordillera Blanca que incluye la existencia de aves, insectos, arácnidos y especies vegetales colonizadoras.
- Las especies que habitan el Frente Glaciar, en particular los mosquitos observados, pueden ser un bioindicador de cambio climático a ser investigado.
- Existen indicios de la formación de posibles grietas en la cumbre del nevado Huascarán.
- Se han observado focos de contaminación producida por la actividad de alta montaña, sobre todo, en las zonas de los campamentos (Campos 1 y 2), por residuos sólidos como: restos de alimentos, plásticos, envases y por la disposición inadecuada de excretas.

## RECOMENDACIONES

- Mejorar la preparación y experiencia en montañismo del personal participante en las expediciones de alta montaña, por la necesidad de resistir condiciones extremas de temperatura y presión atmosférica, además de la resistencia física propia del desplazamiento.
- Monitorear y observar dos lenguas glaciares ubicadas en la cara oeste del nevado Huascarán. La primera, ubicada en las inmediaciones del Campo 1 (glaciar Raimondi); y la segunda ubicada al sur. Los monitoreos deben realizarse a través de la observación directa y técnicas de teledetección.
- Realizar un seguimiento con imágenes de satélite y de sitio sobre la probable formación de grietas en la cumbre sur del Huascarán.
- Instalar una estación climatológica permanente en el Campo 2, que facilitará el monitoreo permanente de las condiciones climáticas.
- Concientizar a la población respecto a las fuentes de Carbono Negro, como los incendios forestales, quemas de residuos agrícolas, quema de pastos, y uso de biomasa (madera y bosta) para la cocción de alimentos que aceleran la fusión de los glaciares.
- Realizar campañas de revisión mecánica del parque automotor, ya que los autos que usan diésel son la fuente principal de Carbono Negro.
- Realizar una modelización de la dispersión de los contaminantes atmosféricos en el departamento de Ancash, para evaluar la influencia de los vientos en el transporte de Carbono Negro hasta los glaciares.
- Coordinar con SERNANP la toma de acciones para controlar la actividad de alta montaña de modo que se eviten o minimicen los impactos negativos de esta actividad en el nevado Huascarán y de otras cumbres del país.
- Gestionar con el IGN la verificación de los resultados obtenidos y el desarrollo de una metodología adecuada para trabajos altimétricos aplicables a zonas de alta montaña y glaciares.
- Coordinar con el IGN la implementación de Bench Marks (BMs) en ámbitos de montaña que permitan contar con referencias geodésicas de precisión para dar sustento técnico a las investigaciones en alta montaña.
- En el flanco occidental del Huascarán existen cuatro lenguas glaciares con potencial para el desarrollo de investigaciones glaciológicas. El sistema glaciar Huascarán constituye un laboratorio natural para el desarrollo de investigaciones glaciológicas diversas que serán desarrolladas por el INAIGEM.
- El INAIGEM retornará al Huascarán en el 2018 para continuar los estudios iniciados y complementar las metodologías empleadas, como la profundización del pozo de acumulación y la instalación de equipo con mayor permanencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Borchers, P. (1933). In the Cordillera Blanca; the 1932 D. & Oe. A.-V. Expedition. *The Alpine Journal*, 45(246), 34-44.
- Borchers, P. (1935). Huascarán. En Philipp Borchers et al., *Die Weisse Kordillere*, (76-96). Berlín: Verlag August Scherl GmbH.
- Borchers, P., Hoerlin, H. y Schneider, E. (1933). Die Forschungsreise de D.u.Ö.A.-V. in die Cordillera Blanca (Peru). *Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins*, 64, 1-28.
- Bullock Workman, F. (1910). The altitude of Mount Huascarán. *The Geographical Journal*, 35(4), 458-459.
- Enock, C. R. (1904). El "Huascarán": apuntes sobre su última ascensión. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima*, 15 (año 14, tri. 2), 173-178.
- Enock, C. R. (1905). Ascent of Huascarán [ponencia leída el 9 de enero de 1905 en el Royal Geographical Society], *The Geographical Journal*, 25(6), 627-628.
- Enock, C. R. (1907). *The Andes and the Amazon: Life and travel in Peru*. Londres: T. Fisher Unwin. [Nota: Capítulo XVI, págs. 171-183, sobre el primer intento de escalar el Nevado Huascarán].
- Ghilini, R. (1982). *Vagabond du vide (L'Aventure vecue)*. París: Flammarion.
- Ghilini, R. (1984). *Vagabundo del vacío: ala delta desde el Huascarán*. Barcelona: Editorial Juventud.
- Jaeger, N. (1979). *Carnets de solitude: 60 jours seul 6700 metros d'altitude*. París: Denoël.
- Jaeger, N. (1982). *Solitudine. 60 giorni solo a 6700 metri*. Milano: Dall'Oglio.
- Morales Armao, C. (4 de agosto de 1953a). Épica lucha contra la gigantesca mole. *El Comercio*, p. 1.
- Morales Armao, C. (4 de agosto de 1953b). Hoy esperan llegar a la cumbre sur del Huascarán. / Vistas del avance de los andinistas a las cumbres del Huascarán. *El Comercio*, p. 11.
- Morales Armao, C. (5 de agosto de 1953). Por primera vez flameó solo el pendón nacional en el Huascarán. *El Comercio*, p. 11.
- Morales Armao, C. (8 de agosto de 1953). Flamea la bandera peruana en la cima del "Huascarán". *El Comercio*, p. 11.
- Morales Armao, C. (9 de agosto de 1953a). Paso a paso, la proeza de seis peruanos. *El Comercio*, p. 9.
- Morales Armao, C. (9 de agosto de 1953c). El coloso de los Andes cayó vencido. *El Comercio*, suplemento dominical, pp. 1-12.
- Morales Armao, C. (1978-1979). Ski extreme en la Cordillera Blanca [28-06-78]. *Revista Peruana de Andinismo y Glaciología*, (13), 20-21.
- Morales Armao, C. (1979). *Huascarán climbing guide: The highest tropical mountain in the world*. Lima: Ediciones Turismo Andino.
- Morales Armao, C. (1988-1992). En paracaídas a la cima del Huascarán [21-06-88]. *Revista Peruana de Andinismo y Glaciología*, (16), 63.
- Peck, A. (1909a). The first ascent of Mount Huascarán. *Harper's Monthly Magazine*, 118(704), 173-187.
- Peck, A. (1909b). The conquest of Huascarán. *Bulletin of the American Geographical Society*, 41(6), 355-365.
- Peck, A. (1911). *A search for the apex of America: High mountain climbing in Peru and Bolivia including the conquest of Huascarán, with some observations on the country and people below*. Nueva York: Dodd, Mead and Company.
- Société Générale d'Études et de Travaux Topographiques. (1911). Détermination de l'altitude du Mont Huascarán (Andes du Pérou) exécutée en 1909 sur la demande de madame F. Bullock-Workman, par la Société Générale d'Études et de Travaux Topographiques. Compte rendu de la mission. París: Maison Andriveau-Goujon, Henry Barrière, editeur.
- Thompson, L., Mosley-Thompson, E., Davis, M., et al. (1995). Late Glacial Stage and Holocene tropical ice core records from Huascarán, Peru. *Science*, 269(5220), 46-50.
- Thompson, L., Henderson, K. A. y Lin, P. (1999). Recording of El Niño in ice core  $\delta^{18}\text{O}$  records from Nevado Huascarán, Peru. *Journal of Geophysical Research*, 104(D24), 31053-31065. doi: 10.1029/1999JD900966
- Walter, D. (1994-1995). ¿Cómo se estableció un record mundial de snowboard en el Huascarán Sur? *Revista Peruana de Andinismo y Glaciología*, (18), 25-34.
- Wise, J. (2004). The highest point in Peru - a short history on the survey of Huascarán. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 98:97-101.



ANUARIO