

INFORME TÉCNICO

Expedición científica

Coropuna 2018



Contenido

I. INTRODUCCIÓN	5
II. GENERALIDADES.....	7
2.1 Antecedentes.....	7
2.2 Justificación	9
2.3 Objetivos	9
2.4 Ubicación.....	10
2.5 Acceso	10
III. ASPECTOS FÍSICOS	13
3.1 Hidrografía e hidrología.....	13
3.2 Glaciología	13
3.3 Ecosistemas	20
IV. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	25
4.1 Glaciología	25
4.2 Geodesia: Altitud en la cumbre del volcán	27
4.3 Carbono negro	31
4.4 Caracterización climática	32
4.5 Ecosistemas	34
V. RESULTADOS	39
5.1 Altitud en la cumbre del volcán Coropuna	39
5.2 Glaciológico	39
5.3 Carbono negro	44
5.4 Caracterización climática durante la expedición	45
5.5 Ecosistemas	45
5.6 Peligros de origen glacial	47
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
VII. BIBLIOGRAFIA	53
VIII. ANEXOS	

Cieza de León, prestigioso cronista, afirmó –allá por los años 1550– refiriéndose al Coropuna: “el demonio” que conversa “más libremente” de lo usual. “Por alguna razón secreta hacia Dios, se dice que los demonios caminan libremente en ese lugar, que los indios se aterrorizan cuando los ven. También escuché que esos demonios han aparecido a los cristianos en forma de indios.”

“...De alguna forma los indios dijeron que en la cima del Coropuna siempre había un agradable paraíso caliente conteniendo bonitas flores, ricas frutas, loros de brillante plumaje, papagayos y hasta monos, esas criaturas de climas calientes. El alma de los que mueren paran a descansar en este atractivo lugar en su vuelo al más allá.”

...El gran explorador Antonio Raimondi, en 1865, encontró que los nativos “exiliados del mundo civilizado, aún preservaban sus costumbres primitivas... cargando ídolos de barro hacia las faldas del gran nevado Coropuna, donde los ofrecían como sacrificio.” Aparentemente la montaña aún inspira miedo en el corazón de todos los que viven cerca de allí.

Hiram Bingham
Inca Land
Explorations in the Highlands of Perú



Personal integrante de la Expedición Coropuna 2018

Responsable:

Ing. Oscar Vilca Gómez

Especialistas:

Ing. Alexander Santiago Martel

Ing. Harrison Jara Infantes

Ing. Helder Mallqui Meza

Bach. Ricardo Durán Mamani

Bach. Wilmer Sanchez Rodriguez

Apoyo:

Sr. William Puma Choque

Sr. Teodulfo Bernal

Sr. Francisco Ostos Ramos

Sr. Américo Gonsales Caldiña

Sr. Hector Oropeza Chinchay

Sr. Justiniano Santiago Cabello

Sr. Romaldo Santiago Cabello

Sr. Victor Hugo Gonzales

Sr. Nelson Morales Moreno

Sr. Federico Huane Torres

Sr. Pablo Huane Fabian

Coordinador: Ing. Victor Bustinza Urviola

I. INTRODUCCIÓN

El Coropuna es el volcán con glaciares tropicales más alto del mundo. Está ubicado en la región Arequipa, al sur del Perú, posee 43.15 de los 50.05 km² de superficie glaciar que registró la cordillera Ampato –a la que pertenece– en el análisis con imágenes satelitales al 2016; es decir, representa el 86.2 por ciento de la superficie glaciar de dicha cordillera. Este conglomerado de glaciares cumple, a su vez, un rol preponderante en la regulación hídrica de las cuencas más importantes de la región: las cuencas de Ocoña y Camaná.

Los glaciares del volcán Coropuna se encuentran en un proceso de retroceso constante, siguiendo la tendencia observada en las 18 cordilleras glaciares que tiene el Perú. Los análisis realizados desde 1955 hasta el 2016, evidencian una pérdida de 39.97 km² de superficie, lo que significa una reducción del 48.09 por ciento en 61 años.

Este trabajo es importante porque estudia la dinámica de los glaciares ubicados sobre el volcán Coropuna, identificando los glaciares cubiertos además de los agentes causantes del proceso acelerado del retroceso. Estos elementos cobran relativa importancia debido a que en un contexto de cambio climático actúan como geoindicadores sensibles a las variaciones de la temperatura.

Los resultados de este estudio servirán como insumo para plantear acciones de prevención frente a los riesgos asociados a los glaciares y a la disponibilidad del recurso hídrico para el desarrollo social y económico de los habitantes asentados en las inmediaciones del volcán.

La ***Expedición Científica Coropuna 2018***, realizada del 28 de junio al 5 de julio, es producto de un trabajo conjunto y coordinado con las tres direcciones de línea del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) y su Oficina Desconcentrada Macro Región Sur.

Este informe técnico, fue elaborado por el equipo de profesionales que participó en las actividades de campo en el volcán Coropuna, quienes sobrellevaron días difíciles, marcados por las condiciones adversas del tiempo.

II. GENERALIDADES

2.1 Antecedentes

- **Históricos**

La primera ascensión a la cumbre del volcán Coropuna fue efectuada por Hiram Bingham en el año 1911 [Bingham, 1922], por el sector oeste. La primera expedición peruana a la cumbre oeste se realizó en octubre de 1973 y estuvo conformada por los montañistas nacionales Pablo Masías Núñez del Prado, José Zegarra Hidalgo, Adrián Puma Pampa y Ubaldo Sucasaire Sihuacollo [Masías, 1999]. También figura en los registros la ascensión de Alberto Parodi Isolabella en el año 1953, pero a la cumbre sureste [Masías et al, 1999].

El explorador norteamericano Hiram Bingham ascendió al nevado Coropuna el 15 de octubre de 1911. En la cima dejó la carpa “Mummery”, un frasco con un grabado de bronce del Appalachian Mountain Club, en el cual selló la bandera de Yale, un mapa contemporáneo del Perú y dos breves mensajes sobre el ascenso [Bingham, 1922].

Textualmente, el capítulo II de la publicación hecha por Bingham concluye así: “solo semanas después de la ascensión de Bingham, los primeros días de noviembre el Topógrafo Jefe Hendriksen completó su levantamiento topográfico y encontró la latitud del Coropuna 15°31' Sur y la longitud 72°42'40" Oeste de Greenwich. Computó su altura de 21,703 pies sobre el nivel del mar (6,615 m.s.n.m.). El resultado comparativo de las lecturas de nuestro barómetro de mercurio, tomado en la cima, con las lecturas simultáneas tomadas en Arequipa dieron prácticamente las mismas cifras. Había menos de 60 pies (18 m) de diferencia entre los dos. Aunque el Coropuna probó ser 1,300 pies (396 m) más bajo que el estimado de Bandelier, y 1,000 pies (304 m) más bajo que el pico más alto de Sud América, aun éste es 1,000 pies más alto que la más alta montaña en Norte América. ¡Mientras que nosotros estuvimos contentos de ser los primeros en llegar a la cima, todos estuvimos de acuerdo de no hacerlo nunca más!”

- **Técnico-científicos**

- El equipo Byrd Polar Research Center/OSU realizó perforaciones en agosto de 2003, obteniendo dos núcleos de hielo, uno de 34.2 m de longitud, extraído en la cumbre glaciar sur (6,450 m.s.n.m.) y otro, de 146.3 m, obtenido en el cráter (6,310 m.s.n.m.).
- Silverio (2004) y Peduzzi, et al. (2010) ensayaron técnicas *ráster* para evaluar cambios en el área y el volumen de los glaciares empleando sistemas de información geográfica y sensores remotos.
- Racovitenau, et al. (2007) emplearon modelos digitales del terreno deducidos de la topografía de 1955 y una imagen del satélite ASTER, registrada en 2001, para evaluar los cambios observados en el volumen del sistema glaciar.
- La Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos de Huaraz (UGRH - ANA), conjuntamente con el programa de investigación Geografía Física de Alta Montaña (GFAM) y la ONG Guías de Espeleología y Montaña (GEM), realizó dos campañas de monitoreo el 2007 y 2008,

recogiendo datos útiles para estimar la ELAm. Además, realiza el monitoreo glaciológico del glaciar Tuailqui desde el año 2007 en el sector sur del volcán y del glaciar Cavalca desde el año 2014 en el sector noreste, trabajos realizados en cooperación conjunta con AEDES.

- Forget, et al. (2008). Coropuna; Bromley, et al. (2009); Bromley, et al. (2011a); Úbeda (2011); Úbeda, et al. (2012) y Úbeda (2013), han elaborado cartografías geomorfológicas de las morrenas del nevado Coropuna, que permiten reconstruir los límites alcanzados en el pasado por los avances glaciares.
- Bromley, et al. (2011b); Úbeda (2011); Campos (2012) y García (2013) reconstruyeron las altitudes de las *snowlines* y ELAs, en los tres últimos casos empleando el método AABR, el mismo que se ha propuesto para el proyecto CRYOPERU.
- Kuentz, et al. (2007) y Kuentz, et al. (2011) realizaron una caracterización biogeográfica basada en el registro polínico superficial de las vertientes de los edificios volcánicos; y Herreros, et al. (2009), analizó el registro paleoambiental en la estratigrafía de un testigo de hielo extraído de la vertiente norte.
- Bromley, et al. (2009); Bromley, et al. (2011a); y Úbeda, et al. (2012), obtuvieron un amplio registro de dataciones absolutas de los últimos avances máximos de los glaciares.
- Herreros; Moreno; Taupin; Ginot; Patris; De Angelis; Ledru; Delachaux; Schotterer (2009), realizaron el análisis de los núcleos de hielo obtenidos por el Byrd Polar Research Center/OSU en el 2003, en el artículo titulado “Registros ambientales del hielo glaciar templado en Nevado Silla Coropuna, sur del Perú”.
- Úbeda (2011) y Úbeda (2013), obtuvo dataciones absolutas de ^{36}Cl de las coladas de lava de aspecto más reciente cuyas cronologías (6, 2 y 0.7 ka) sugieren que el Coropuna es un volcán activo.
- Silverio (2012) y Jaquet (2012) publicaron un artículo titulado “Cartografía multitemporal y de múltiples fuentes de la cubierta glacial del nevado Coropuna (Arequipa, Perú), entre 1955 y 2003”.
- El Observatorio Vulcanológico (OVI) del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), conjuntamente con el GFAM y la ONG GEM, mantienen una red constituida por 25 sensores de temperatura del aire, suelo y humedad relativa del aire, en los sectores NE (desde 2007) y SE (desde 2008) del complejo volcánico.
- Con fecha 28 de noviembre de 2016, un equipo de especialistas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), instalaron la tercera estación meteorológica automática del proyecto CRYOPERU en el nevado Coropuna (Arequipa).
- Ramos (2018) realizó una tesis de posgrado con el tema “Evolución de la cobertura glacial del nevado Coropuna y su relación con el entorno climático”. Entre las conclusiones más relevantes establece el rango de precipitación anual de 214 mm a 736 mm, además encuentra tendencia al incremento en los extremos de la temperatura desde finales de los

años 80 y, finalmente, menciona una pérdida del 20 por ciento de superficie glaciaria a través de un análisis desde 1987 hasta 2015.

2.2 Justificación

El INAIGEM, como máxima autoridad de investigación en glaciares, tiene la necesidad y la obligación de contar con información certera sobre las condiciones físicas de los mismos.

En agosto del 2017, se realizó con éxito la primera expedición científica peruana a la cumbre del nevado Huascarán, hecho que marcó un hito en la investigación glaciológica nacional.

A la fecha, no se cuenta con información sobre la dinámica y comportamiento de las masas de hielo en las cumbres glaciares, aspecto relevante en los tiempos actuales, cuando el cambio climático y el calentamiento global son motivo de discusión en la comunidad científica, por los impactos que puede tener sobre los glaciares que se encuentran en la zona tropical, como es el caso de los glaciares peruanos.

Específicamente se requiere contar con información de base de los glaciares con características especiales, como los que se encuentran en el volcán Coropuna, por lo que el INAIGEM tiene previsto desarrollar investigaciones tanto en los glaciares como en los ecosistemas circundantes a los glaciares del mencionado volcán.

2.3 Objetivos

Objetivo General

Evaluar y cuantificar los glaciares del volcán Coropuna, para la identificación y estudio de los peligros asociados al retroceso glaciario.

Objetivos Específicos

- Determinar el porcentaje de retroceso de la superficie glaciaria en el ámbito del volcán Coropuna.
- Determinar las características geodésicas en la cumbre del volcán Coropuna mediante el uso de GPS diferencial.
- Determinar espesores de hielo mediante métodos directos de observación y técnicas de georadar GPR.
- Identificar glaciares cubiertos mediante la aplicación de fotogrametría a través del uso de drones en el glaciar Niño Orjo.
- Estimar la concentración de carbono negro efectivo mediante la metodología de absorción de luz.
- Caracterizar el comportamiento de las variables climáticas durante la Expedición Científica Coropuna 2018.
- Determinar las zonas de interés para el estudio de ecosistemas en el ámbito del volcán Coropuna.

2.4 Ubicación

El volcán Coropuna forma parte de la cordillera Ampato, se ubica en la vertiente occidental de los Andes peruanos, entre las coordenadas geográficas de 15°33' de latitud sur y 72°38' de longitud oeste.

Políticamente se ubica en los distritos de Andaray y Salamanca, pertenecientes a la provincia de Condesuyos, así como en los distritos de Pampacolca y Viraco en la provincia de Castilla. Ver anexo: **Mapa 1**.

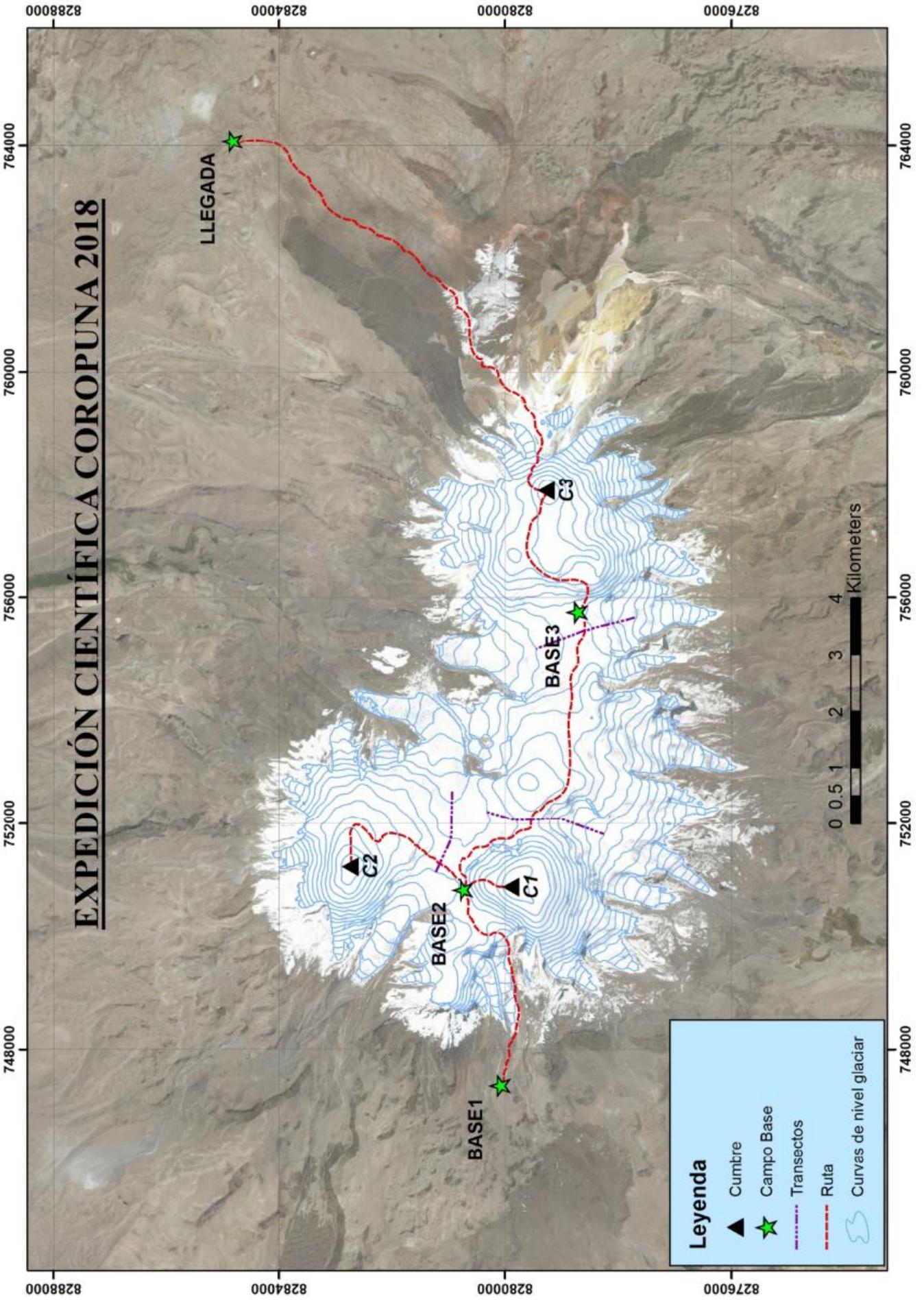
Hidrográficamente, el Coropuna vierte sus aguas a las cuencas de Ocoña y Camaná (Ver anexo: **Mapa 2**) de la vertiente del Océano Pacífico.

2.5 Acceso

Desde la ciudad de Arequipa, con dirección a Lima por la carretera Panamericana (es decir desde el sur hacia el norte), a la altura del kilómetro 847 hay un desvío hacia la ruta Majes, Camaná y Aplao. Desde este último lugar, dependiendo a qué sector se desea llegar, se puede seguir por la ruta que va por Chuquibamba, Pampacolca o Viraco (**Mapa 1**). Para la presente actividad, el equipo realizó el viaje por la ruta Viraco y Chuquibamba.

Se consideró un plan preliminar de desplazamiento sobre el volcán Coropuna siempre y cuando las condiciones en suma fueran las óptimas, se adjunta el bosquejo (**Imagen 1**),

EXPEDICIÓN CIENTÍFICA COROPUNA 2018



III. ASPECTOS FÍSICOS

3.1 Hidrografía e hidrología

La escorrentía que desciende del Coropuna alimenta a la cuenca hidrográfica de Ocoña mediante diversos afluentes hacia el río Arma y al río Ocoña, y a la cuenca Camaná, mediante diversos afluentes que se concentran en los ríos Grande y Capiza. La unión de ambos da origen al río Majes que aguas abajo cambia de nombre a río Camaná. El agua de las cuencas Ocoña y Camaná finalmente desemboca en el Océano Pacífico. Ver **Mapa 2**.

Para la delimitación de las “cuencas glaciares” se usó como criterio el aporte efectivo de agua proveniente de la fusión de los glaciares al régimen hidrológico de los ríos, en particular en los meses secos (junio – noviembre) (**Figura 1**). Así se obtuvo que la cuenca Ocoña tiene a las cuencas glaciares De Chorrillos, Collpa Huayco, Medio Bajo Chichas 1, Medio Bajo Chichas 2, Medio Bajo Chichas 3 y Alto Churunga, mientras que la cuenca Camaná tiene a las cuencas glaciares Huarío, Capiza y Llajlajo.

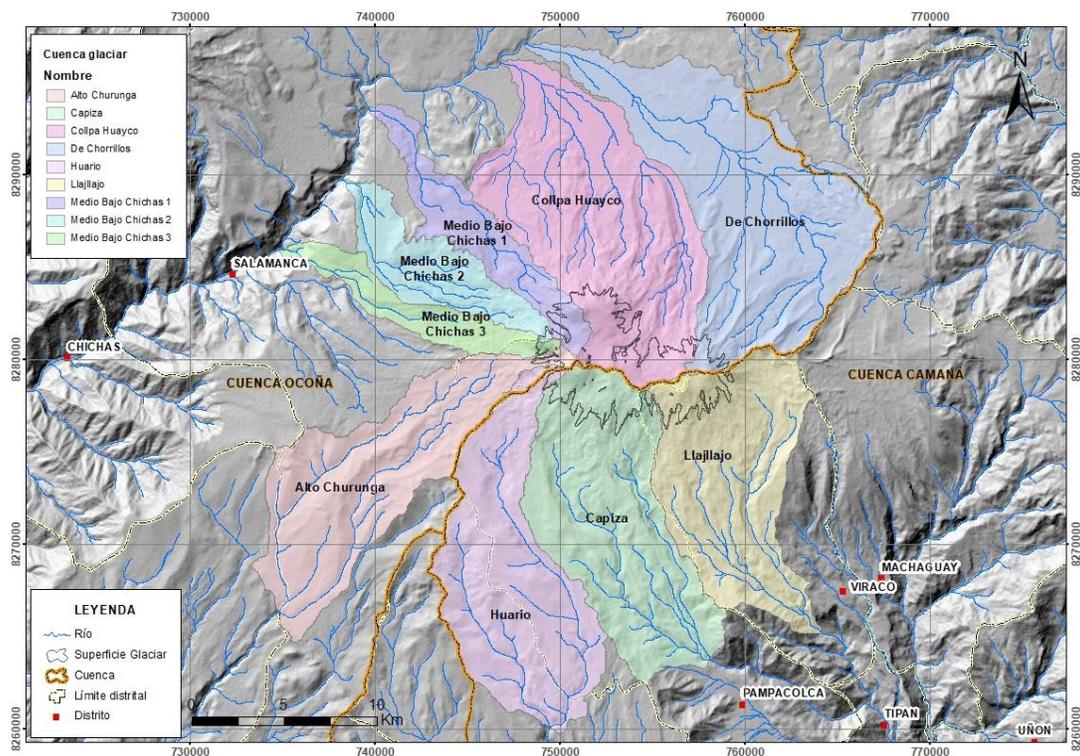


Figura 1. Cuencas glaciares en el ámbito del volcán Coropuna. Fuente: Elaboración propia, DEM Alos Palsar

3.2 Glaciología

Tipología

Según su morfología, los glaciares del volcán Coropuna (Ver **Foto 1**) se clasifican como glaciares de montaña, considerando la evacuación de los flujos de hielo desde las zonas de acumulación mediante lenguas glaciares de longitudes reducidas en comparación con toda la superficie del

nevado. Su zona de acumulación está definida por la complejidad de las cinco cumbres existentes. Topográficamente se emplaza desde la cota 5,200 hasta los 6,447 m.s.n.m. (obtenido según análisis de curvas de nivel a escala en 1/25,000 conseguidas del DEM (siglas en inglés de Modelo Digital de Elevación) Alos Palsar de 12.5 x 12.5 m). Ver **Figura 2**.

Los glaciares identificados en el volcán Coropuna se muestra en la **Tabla 1**

Tabla 1: Glaciares en el volcán Coropuna

	Nombre	Área Km ²	Cuenca	Cuenca Glaciar	Distrito	Provincia	Dpto
1	Queñuaranra	0.67	Ocoña	De Chorrillos	Salamanca	Condesuyos	Arequipa
2	Torriva	2.46	Ocoña	De Chorrillos - Collpa Huayco	Salamanca	Condesuyos	Arequipa
3	Cavalca	5.36	Ocoña	Collpa Huayco	Salamanca	Condesuyos	Arequipa
4	Maukallaqta	7.04	Ocoña	Collpa Huayco	Salamanca	Condesuyos	Arequipa
5	Casula	1.60	Ocoña	Collpa Huayco	Salamanca	Condesuyos	Arequipa
6	Torconi	0.61	Ocoña	Collpa Huayco	Salamanca	Condesuyos	Arequipa
7	Atusire	1.14	Ocoña	Atusire	Salamanca	Condesuyos	Arequipa
8	Escalera	4.21	Ocoña	Med Bajo Chichas 1 y 2	Salamanca	Condesuyos	Arequipa
9	Niño Orjo	2.27	Ocoña	Med Bajo Chichas 3 - Alto Churunga	Andaray	Condesuyos	Arequipa
10	Rumi Cruz	1.46	Ocoña	Huario – Capiza	Pampacolca	Castilla	Arequipa
11	Tuailqui	5.78	Camaná	Capiza	Pampacolca	Castilla	Arequipa
12	Jentane	3.30	Camaná	Capiza	Pampacolca	Castilla	Arequipa
13	Angostura	3.91	Camaná	Llajllajo	Viraco	Castilla	Arequipa
14	Negrohuaycco	3.25	Camaná	Llajllajo	Viraco	Castilla	Arequipa
15	Jungro Grande	0.10	Camaná	Llajllajo	Viraco	Castilla	Arequipa
	Total	43.15					

Fuente: Elaboración propia



Foto 01: Vista aérea del volcán Coropuna. Se aprecia con claridad las zonas de ablación y acumulación.
(Foto tomada el 23/11/2016)



Foto 02: Glaciares cubiertos existentes en los diferentes frentes glaciares, en contacto con pequeños cuerpos de agua, indicadores del proceso de fusión.

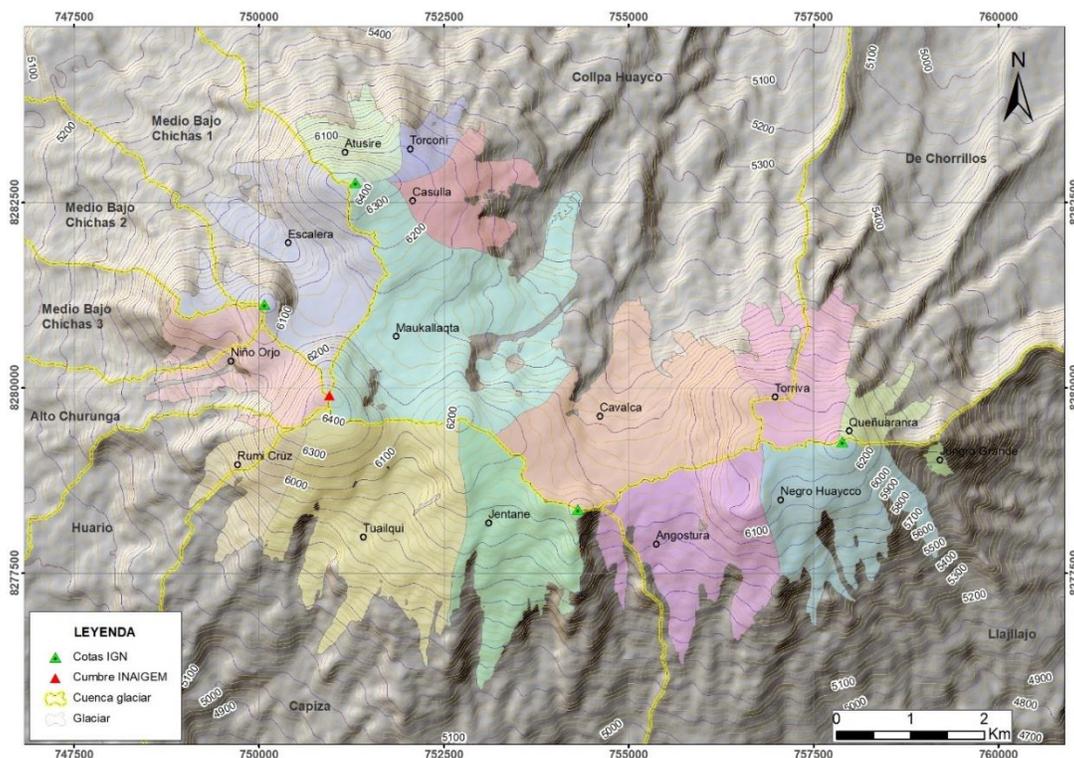


Figura 2. Glaciares en el ámbito del volcán Coropuna. Fuente: Elaboración propia

Según el **tipo de cobertura**, el Coropuna tiene la característica especial de contar con dos tipos: *descubiertos* (blancos o limpios) y *cubiertos*, ubicados principalmente en los frentes del sector sur, oeste y noroeste.

Según el **tipo de frente**, el Coropuna tiene glaciares de montaña, dado que los frentes terminales están posados sobre depósitos morrénicos y cenizas.

Según su **temperatura**, el Coropuna cuenta con glaciares politermales y temperados. Los primeros debido a que las zonas por sobre los 6,000 m.s.n.m., están expuestas a temperaturas por debajo de 0°C, (-24°C mínima registrada en la cumbre durante la expedición); la condición de los frentes glaciares es temperada, dado que se observa la presencia de agua en contacto con el hielo. Ver **Foto 2**.

Los glaciares del volcán Coropuna poseen una línea de equilibrio ELA promedio que fluctúa entre los 5,700 m y 6,000 m (**Figura 3**), dependiendo de la estación y la zona en relación a la exposición solar (análisis de imágenes satelitales desde 1987 hasta el 2016). La zona de acumulación se sitúa de forma predominante sobre los 6,000 m y la zona de ablación por debajo de la cota 5,800 m.

En la **Figura 3** se muestra que las mayores zonas de acumulación están distribuidas principalmente hacia la cuenca Ocoña, en la cuenca Collpa Huayco y en el glaciar Maukallaqta con 4.58 km²; mientras que en la cuenca Camaná la mayor zona de acumulación se encuentra en el glaciar Tualqui, en la cuenca Capiza, con 1.87 km². En contraste, las mayores superficies de ablación se encuentran en la cuenca Camaná, siendo el glaciar Tualqui el que cuenta con la mayor superficie (2.19 km²). El

glaciar Jentane cuenta con el frente de menor altitud (5,200 m.s.n.m.), ubicado en el sector sur del volcán, en la cabecera de la cuenca glaciar Capiza.

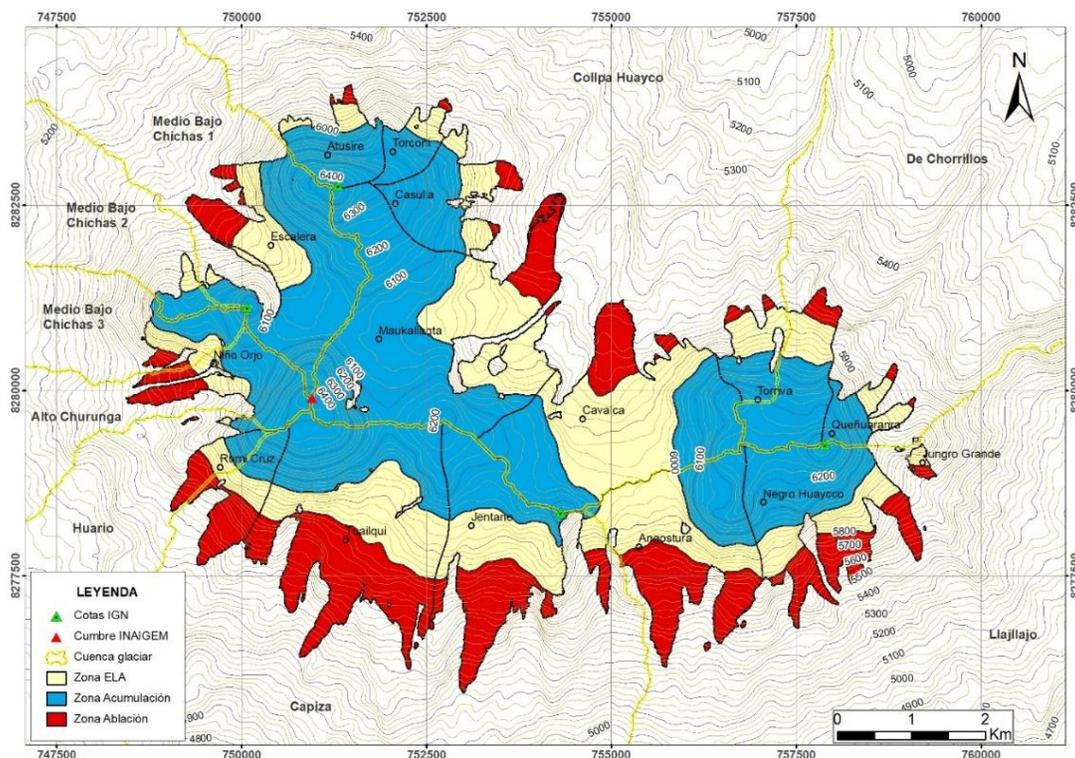


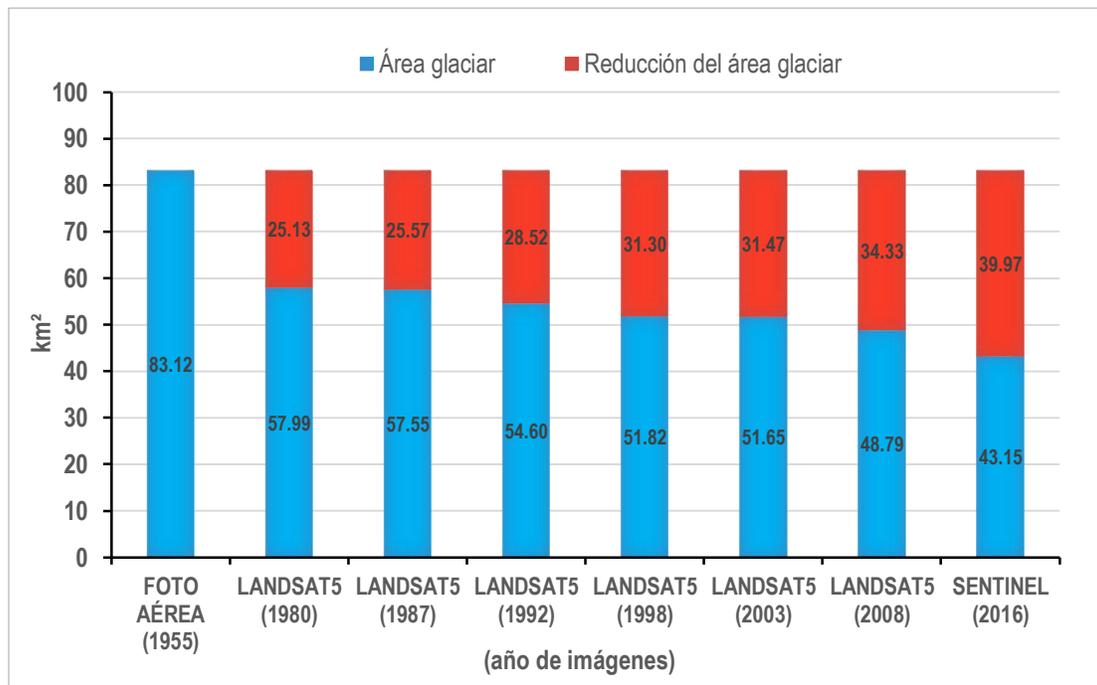
Figura 3. Zona de acumulación, ablación y ELA en los glaciares del volcán Coropuna. Fuente: Elaboración propia

Variación espacio temporal de la cobertura glaciar

La superficie glaciar en el volcán Coropuna ha sido evaluada desde el año 1955, con fotografías aéreas del Servicio Aerofotográfico Nacional (SAN), imágenes de los satélites LandSat (años 1980, 1987, 1992, 1998, 2003, 2008) y Séntinel (2016); en algunos casos se realizó la delimitación de forma manual, aunque mayormente se analizó a través del método del Índice Normalizado de Diferenciación de Nieve (NDSI). **Tabla 2, Gráfica 1.**

Tabla 2. Retroceso glaciar en el volcán Coropuna

Año	Área (km ²)	Pérdida área (km ²)	Pérdida (%)
1955	83.13		
1980	57.99	25.13	30.24
1987	57.55	25.57	30.77
1992	54.60	28.52	34.32
1998	51.82	31.30	37.66
2003	51.65	31.47	37.87
2008	48.79	34.33	41.31
2016	43.15	39.97	48.09



Gráfica 1: Retroceso glaciar en el volcán Coropuna

Los glaciares del volcán Coropuna se encuentran en proceso de retroceso permanente. Desde 1955 hasta 2016 se evidencia una pérdida de 39.97 km² de superficie, lo que significa una reducción del 48.09 por ciento en 61 años (Figura 4), equivalente a una pérdida de superficie glaciar a una tasa de 0.65 km²/año.

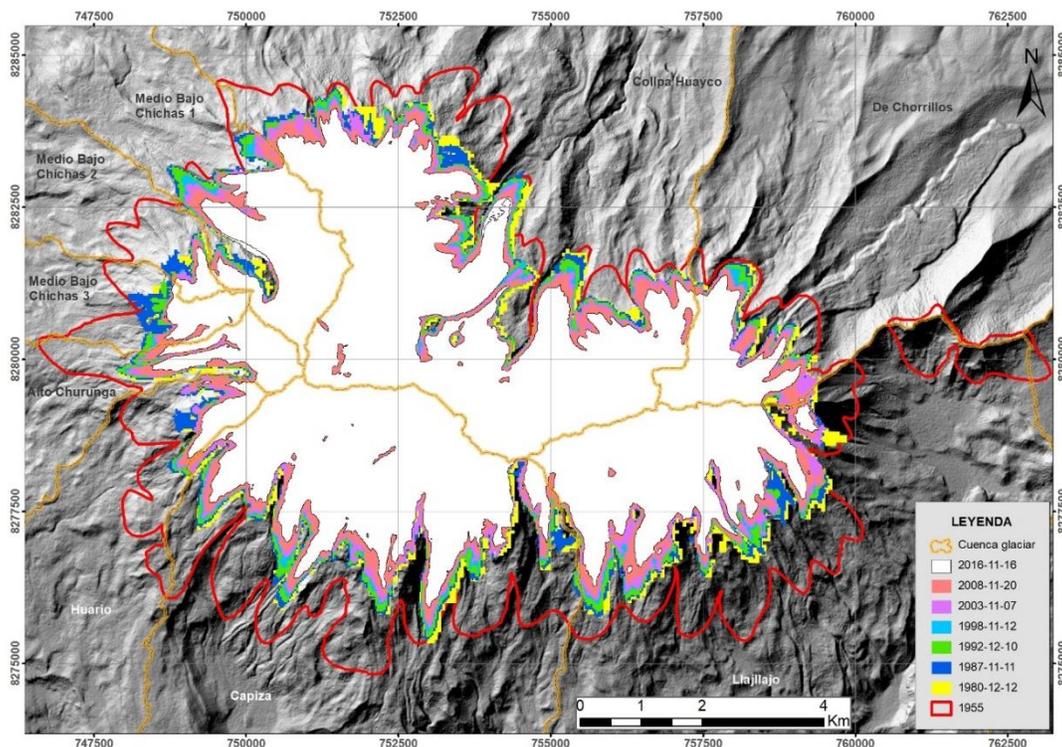


Figura 4. Retroceso glaciar en el volcán Coropuna

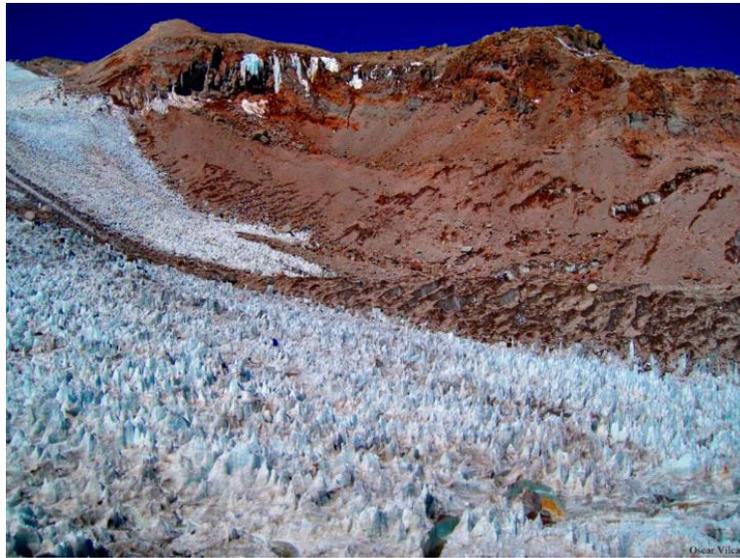


Foto 03: Glaciares cubiertos en áreas significativas. Frente del glaciar Tuailqui sector sur del volcán Coropuna



Foto 04: Glaciares cubiertos, muchos se encuentran bajo importantes cantidades de morrena y escombros, este aspecto los hace poco identificables con imágenes satelitales.



Foto 05: Formación de penitentes sobre el glaciar como consecuencia del acelerado proceso de fusión del hielo mediante sublimación y condiciones de humedad relativa muy baja, asociado al incremento de la temperatura y a la cobertura de material detrítico sobre la superficie.

Existe una significativa complejidad en la dinámica de los frentes glaciares que se encuentran en el volcán Coropuna debido a la presencia considerable de glaciares cubiertos. Estos glaciares, que en algunos casos fueron delimitados como parte de los inventarios, años después desaparecían completamente para, luego de algunos años, volver a visualizarse en las imágenes satelitales, causando una falsa identificación y delimitación. Esta dinámica es una característica propia de los glaciares del Coropuna.

Características morfológicas

Indudablemente, la presencia de glaciares cubiertos y penitentes (**Ver Fotos 3, 4 y 5**) es la particularidad morfológica de los glaciares ubicados en el volcán Coropuna. Están asociados principalmente a las características del entorno, como es: el suelo volcánico, las condiciones particulares del clima (seco) y la sobreexposición al sol de los glaciares en sus diferentes frentes debido a la escasa nubosidad en la época seca. Los frentes glaciares en algunos casos están cubiertos con importantes cantidades de material particulado.

Todos estos aspectos deben tenerse en cuenta para la delimitación de la superficie glaciar. Además, existe presencia de agrietamientos importantes sobre los glaciares, mostrando perfiles estratigráficos que ofrecen una idea clara de la formación, así como de la estimación de los espesores respecto a la roca base, los cuales serán analizados con mayor detalle más adelante.

3.3 Ecosistemas

Los ecosistemas que predominan en el ámbito de estudio son:

Bofedales

El bofedal, llamado también “oconal” o “turbera” (del quechua *oqo* que significa mojado), constituye un ecosistema hidromórfico distribuido en el ámbito del nevado Coropuna en pequeños parches, cercanos a cuerpos de agua, ubicado a partir de los 4,000 m.s.n.m. Este humedal altoandino se encuentra principalmente en el fondo de los valles fluvio-glaciares de las microcuencas Collpa Huayco y De Chorrillos del distrito de Salamanca, provincia Condesuyos; y en la microcuenca Llacllajo del distrito de Viraco, provincia Castilla.

Este ecosistema se alimenta del agua proveniente del deshielo del circo glaciar de las quebradas, del afloramiento de agua subterránea y de la precipitación pluvial. Se caracteriza por una vegetación densa y compacta siempre verde, de porte almohadillado o en cojín. Suele presentar dominancia de *Distichia muscoides* “champa” (pero no es concluyente), también *Plantago* rígida “champa estrella” y otras especies. También se han observado especies de flora silvestre indicadoras del sobrepastoreo como “Cóndor Cebolla” (*Werneria nubigena*), “Garbancillo” (*Astragalus* sp.), “Acpul” (*Aciachne pulvinata*) y “Acelguilla” (*Rumex acetosella*). Ver **Foto 6**.

La **Tabla 3** muestra la superficie de los principales bofedales en el ámbito del volcán glaciar Coropuna:

Tabla 3. Principales bofedales identificados

Provincia	Distrito	Microcuenca	Bofedal	Área (ha)
Condesuyos	Salamanca	Collpa Huayco	Maucallacta	1,078.6
		De Chorrillos		
Castilla	Viraco	Llacllajo	Cara Cara	24.5
			Muysiniga	2.6
			Baños	24.8

Matorral de puna seca

Entre los niveles altitudinales de 3,500 a 3,900 m del volcán glaciar Coropuna existen mejores condiciones de humedad y temperatura. Las condiciones de humedad alta son propicias para el desarrollo de una mayor diversidad de especies arbustivas, entre las que se ha podido observar *Lupinus sp.* (“chocho”) (Ver **Foto 7**), *Baccharis sp.* (“tayanco”) y *Parastrephya lepidopylla* (“tola”). Este ecosistema andino ocupa áreas extensas de conformación semidensa (20 a 40 por ciento de cobertura), se encuentra en lugares planos o casi planos y con suelo principalmente arenoso. La fisonomía corresponde a un matorral o arbustal de alturas que va desde 0.3 a 1.5 metros. Se encuentra principalmente en las microcuencas Alto Capiza, Llacllajo, Jollpa y Tapaza de la provincia de Castilla.

Pajonal de puna seca

Es el ecosistema altoandino más extenso dentro del ámbito del volcán glaciar Coropuna. Presenta vegetación herbácea que puede ocupar terrenos planos u ondulados o colinas de pendiente suave a moderada, suelos principalmente de textura areno-limosa con bajo contenido de materia orgánica, cobertura inferior al 35 por ciento, cuya altura máxima generalmente no supera el 1.5 m. Se encuentra constituido generalmente por céspedes dominados por gramíneas de porte bajo, y pajonales dominados por gramíneas amacolladas robustas, xeromórficas, a menudo con hojas rígidas, duras y punzantes; hay presencia variable de arbustos resinosos que se intercalan con vegetación saxícola en los afloramientos rocosos (está típicamente asociado a los arbustos) y canllares (formaciones de *Margyricarpus sp.*). En el trabajo de campo se ha podido observar principalmente apiáceas y gramíneas de los géneros *Azorella* y *Stipa* (yaretas e ichu). Ver **Foto 8**.

Zona periglaciar

Ecosistema altoandino generalmente ubicado por encima de los 4,500 metros. Sus suelos son crioturbados y descubiertos con abundantes quebradillas (producto del deshielo), con presencia en determinadas áreas de vegetación crioturbada y dinámica, frecuentemente sucesional. La vegetación, baja y dispersa, generalmente no supera los 30 o 40 cm y está representada por escasas gramíneas, asteráceas, líquenes, plantas almohadilladas, entre otras. Ver **Foto 9**.



Foto 06: Bofedal Maucallacta



Foto 07: Lupinus sp. (Chocho) en la microcuenca Llacllajo.



Foto 08: Pajonal típico con vegetación del género Calamagrostis y Stipa.



Foto 09: Área periglacial de la microcuenca Medio Bajo Chichas.



Nevado Sara Sara

Nevado Solimana

Cumbre del volcán Coropuna

IV. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

4.1 Glaciología

GPR (*Ground-penetrating radar*)

El Radio-Eco Sondaje (RES) es un método geofísico que permite determinar el espesor de hielo y en algunos casos, las capas de nieve/hielo de un glaciar [Rivera, 2001]. Es un sistema que utiliza un pulso electromagnético corto, pero de gran amplitud que es emitido por una antena transmisora. Este pulso, que se desplaza en profundidad a lo largo del glaciar, es reflejado por el lecho rocoso y los diferentes obstáculos que existen en el cuerpo de hielo. Finalmente, la señal de retorno es registrada por un receptor, por algún medio digital y posteriormente es almacenada en un computador portátil donde es procesada. En la **Figura 5** se observa la ruta de ascenso y el tramo donde se puso a prueba la medición GPR. Ver **Foto 10**.

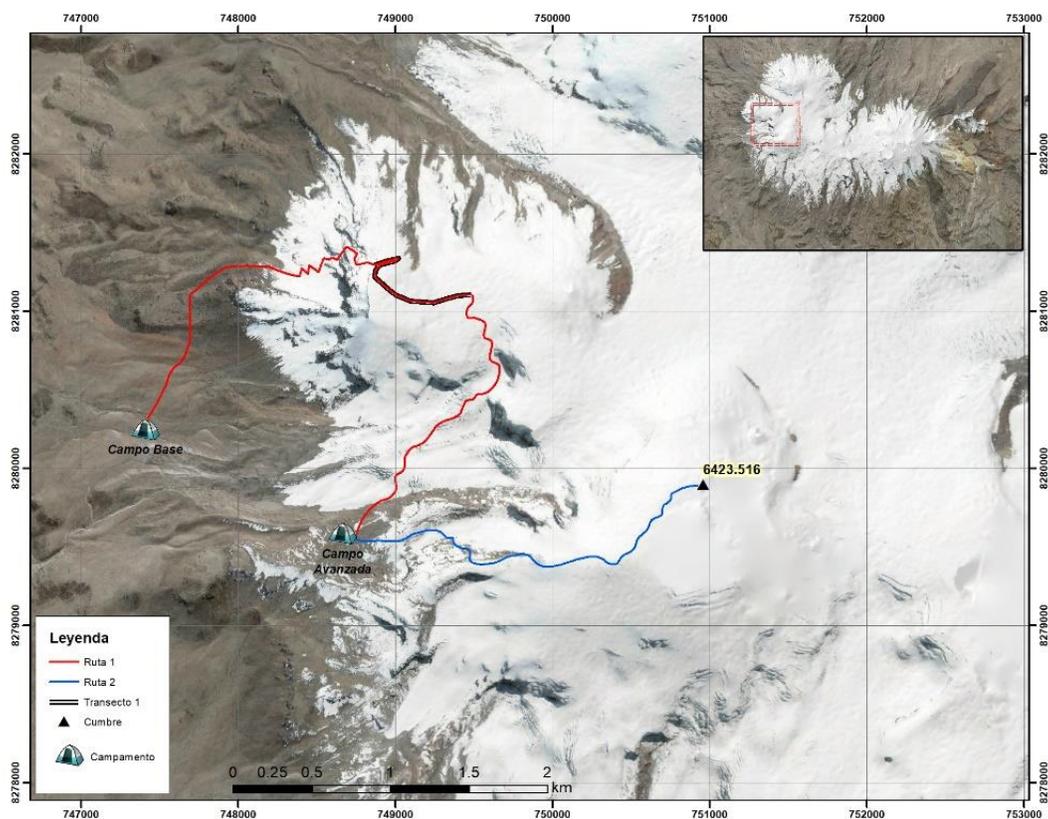


Figura 5. Ruta de ascenso y transecto de medición del espesor de hielo sobre el glaciar

Aplicación de fotogrametría en la identificación de glaciares cubiertos

La geomática es un aliado estratégico dentro del campo de la glaciología. Ayuda a la obtención de parámetros como la extensión espacial, topografía de superficie y de fondo, variación de volumen de masa, velocidad superficial de los flujos glaciares, albedo, temperatura superficial y otros parámetros que pueden ser evaluados a lo largo del tiempo (análisis multitemporal).



Foto 10: Medición de espesor de hielo mediante radar.



Foto 11: Uso del dron en la actividad de fotogrametría para la identificación de glaciares cubiertos.

Para este estudio se realizó el barrido, a través de un dron, de las morrenas y del frente terminal del glaciar Niño Orqo (**Foto 11**), ubicado en el sector oeste del volcán Coropuna. Allí se identificaron características particulares de los glaciares cubiertos, hecho que merece un especial análisis dado que es determinante en la cuantificación de la reserva hídrica en el ámbito del volcán, la cual por su complejidad no es visible y no se toma en cuenta en los inventarios de glaciares. Esta primera experiencia sirve para analizar la aplicación del uso de drones para la identificación, evaluación y monitoreo temporal de los glaciares cubiertos en el volcán Coropuna.

El plan de vuelo (**Figura 6**) se realizó desde la parte superior hacia el valle, con la finalidad de evitar accidentes que ocasionasen daños al equipo, lográndose cubrir un total de 63.73 hectáreas.

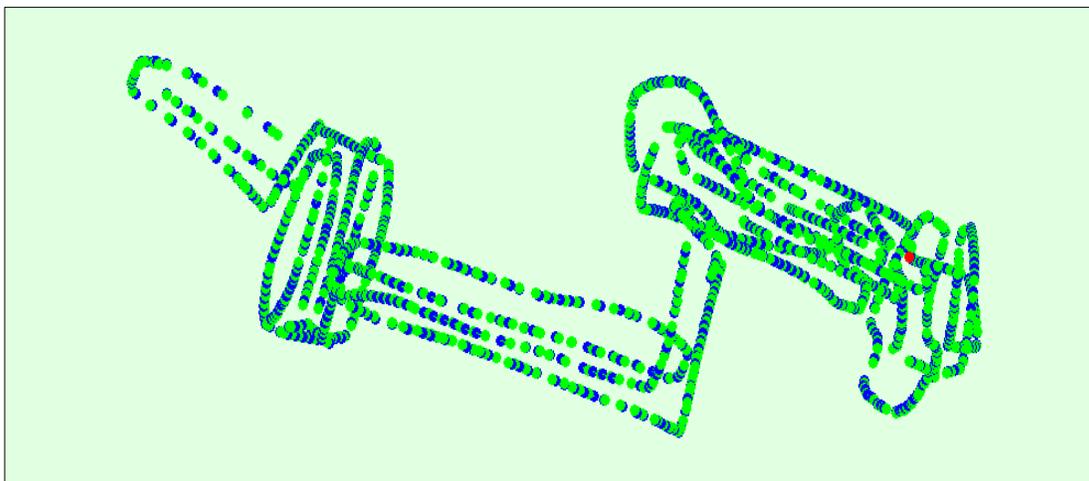


Figura 6. Plan de vuelo del dron: Glaciar cubierto Niño Orqo

Además, se obtuvo un mosaico de fotografías aéreas (**Mapa 3**) mediante vuelos realizados en octubre del 2016, material puesto a disposición por el Centro de Operaciones de Emergencias Regional de Arequipa.

4.2 Geodesia: Altitud en la cumbre del volcán

Mediante técnicas geomáticas se realizó un análisis previo del ámbito y de la estimación de las altitudes probables, a partir de información cartográfica oficial del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y de los DEM de libre acceso como los Alos Palsar (Fecha de adquisición: 25/02/2011), que ofrece una aproximación del lugar donde se ubica la altitud máxima en el volcán Coropuna, y que arrojó un valor de 6,447 m en la cumbre situada en el sector oeste (**Figura 7**); igualmente, se identificaron los puntos geodésicos más cercanos que servirían como base para el posicionamiento de la antena DGPS. Están ubicados en las localidades de Viraco, Machaguay y Andagua. Viraco es el punto geodésico más cercano.

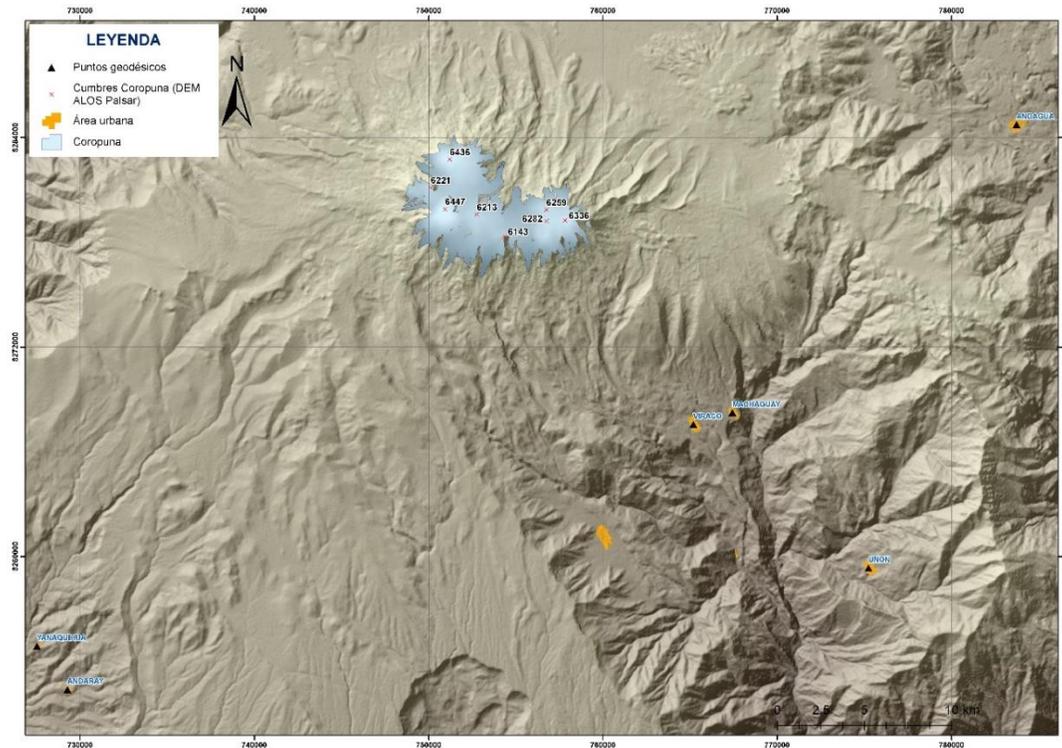


Figura 7. Análisis de las cotas en las cumbres del volcán Coropuna y de los puntos geodésicos más cercanos establecidos por el IGN

El cálculo de la elevación del volcán Coropuna se realizó mediante el uso de un equipo satelital de navegación global de alta precisión conocido como DGPS (Sistema de Posicionamiento Global Diferencial). El método empleado en el cálculo de las coordenadas de la cumbre del nevado Coropuna fue el Estático Relativo, según lo detallado por la Norma Técnica Geodésica: “Especificaciones Técnicas para el Posicionamiento Estático Relativo con Receptores del Sistema Satelital de Navegación Global del IGN”. Este trabajo tuvo como objetivo la localización de un punto geodésico de orden “C” en la cumbre más alta del volcán Coropuna.

Se tomó como referencia el punto geodésico de orden “B”, determinado por el IGN con código VCO1 (**Anexo A**), localizado en la ciudad de Viraco, específicamente en el tanque elevado de la I.E. Sagrado Corazón de Jesús. La ficha geodésica para este punto se adquirió del IGN. Para el cálculo de la elevación de la cumbre del volcán Coropuna se empleó el equipo satelital de navegación global marca TOPCON GR5 en modo estático. La precisión que alcanzó el equipo se muestra en la **Tabla 4**:

Tabla 4. Precisión en los registros

Posición	Precisión
Horizontal (x e y)	3.0 mm + 0.1 ppm
Vertical (z)	3.5 mm + 0.4 ppm

Las antenas funcionaron en tiempo paralelo el día 2 de julio de 2018, el BM Base ubicado en Viraco se instaló a las 08:43 hrs y se mantuvo encendido hasta las 12:50 hrs, mientras que la antena ubicada en la cumbre del Coropuna se encendió a las 10:55 hrs hasta las 12:25 hrs, totalizándose 01:30 hrs

de registro continuo. La distancia horizontal desde el punto ubicado en la localidad de Viraco hasta el punto de interés ubicado en la cumbre del volcán Coropuna es de 19.23 km.

En la estación Base ubicada en Viraco se utilizó un trípode con base nivelante y se posicionó la antena a 1.420 m. En la cumbre, la antena GPS se posicionó sobre la superficie del manto glaciar considerando el desfase de 0.240 m.

La ubicación de la antena en la cumbre obedece a criterios estrictamente topográficos (**Imagen 2**), que requieren situarla en la zona con mayor elevación debido a que la cumbre es un manto de nivel casi uniforme. Con ese fin se optó por caminar en un radio de 20 m, ubicándose a tres personas en línea recta, mientras el responsable observaba que hubiera un cambio significativo en la altura de la persona ubicada en el centro y una ligera disminución en los dos extremos. Este ejercicio se repitió en pleno movimiento hasta identificar un lugar de mayor altitud (**Imagen 3**). Los registros capturados fueron sometidos al posproceso mediante el software Management Tools.



Imagen 2. Esquema de ubicación del punto de mayor altitud en el terreno



Imagen 3. Registro de posicionamiento satelital en la cumbre del volcán Coropuna

El posproceso permite determinar las coordenadas UTM y geográficas en el sistema WGS84. La elevación se calcula 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 Estado Unidos en el año 2008, un modelo establecido para la transformación de alturas).

El Instituto Geográfico Nacional ha establecido ciertas consideraciones para la localización de puntos geodésicos de orden “C” que se describen a continuación.

- **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 requieren precisión a un nivel máximo de 10.00 mm. Para la captura de datos de todos los puntos geodésicos de orden “C” se utiliza el método estático relativo. Estos se obtienen con apoyo de por lo menos un punto geodésico, ya sea de orden “A” u orden “B” a nivel nacional, que estén separados equidistantemente a una distancia no mayor de 100 km del punto geodésico que se quiere establecer, considerando un tiempo continuo de observación no menor a 900 registros o épocas (de coincidencia con la base), 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 un rastreo permanente no menor de cuatro satélites.

- **Precisión: horizontal hasta 10.00 mm y vertical hasta 15.00 mm.**

Los resultados obtenidos después del posproceso se muestran en la **Tabla 5**:

Tabla 5. Coordenadas y elevación de los puntos de interés

Punto	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)
Base Viraco	8,267,288.803	765,485.612	3,193.719
Cumbre Coropuna	8,279,899.363	750,959.058	6,423.516

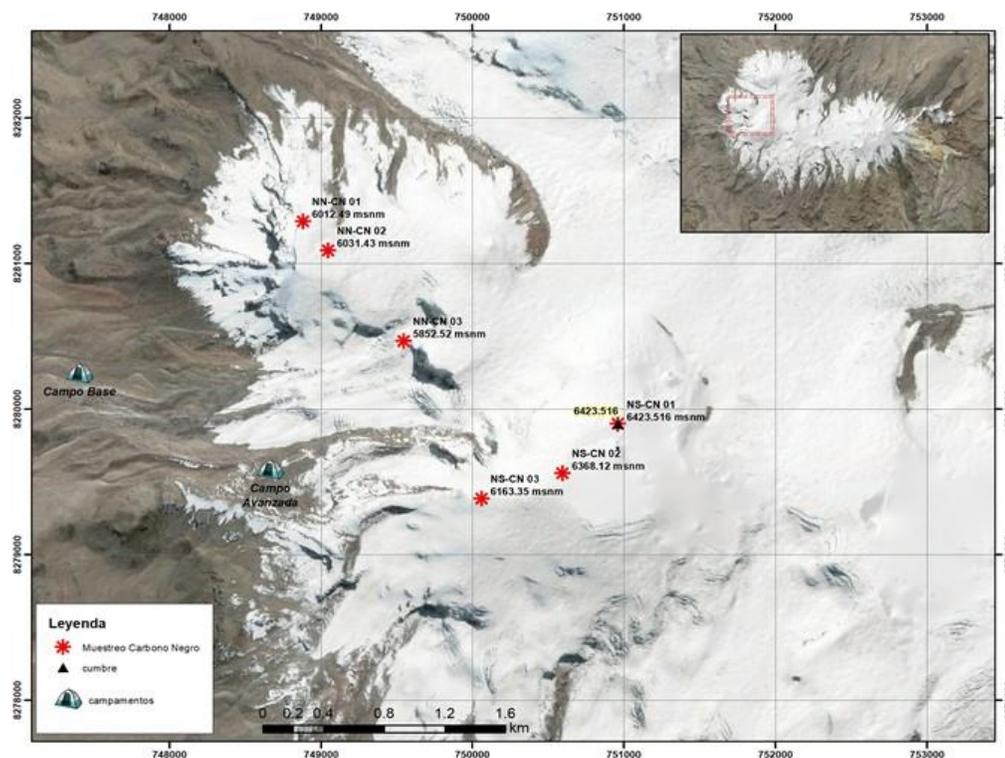
4.3 Carbón negro

En la **Tabla 6** se detalla los lugares donde se recolectaron las muestras:

Tabla 6. Puntos de muestreo de carbón negro en el volcán Coropuna

Id	Puntos de muestreo	Este	Norte	Altitud
1	Nahuinda (NN)-CN 01	748,883	8,281,292	6,012
2	Nahuinda (NN)-CN 02	749,048	8,281,090	6,031
3	Nahuinda (NN)-CN 03	749,548	8,280,470	5,853
4	Santiago (NS)-CN 01	750,959	8,279,899	6,423
5	Santiago (NS)-CN 01	750,596	8,279,561	6,368
6	Santiago (NS)-CN 01	750,062	8,279,386	6,163

Esas muestras se recolectaron en diferentes puntos sobre los glaciares del volcán Coropuna (**Foto 12**), tratando de que fueran representativas de la zona de acumulación (cumbres), la línea de equilibrio (ELA) y la zona de ablación. Para una mayor comprensión se detallan las coordenadas y la altitud así como un mapa de los puntos de muestreo. Ver **Figura 8**.

**Figura 8.** Ubicación de puntos de muestreo de carbón negro

La recolección de las muestras se cumplió con estricto cuidado para no alterar el registro, en el siguiente orden: en primer lugar se eligieron las zonas accesibles y representativas dentro de la superficie del glaciar. Estas zonas debían estar libres de contaminantes artificiales o naturales, sin presencia de detritos ni alteradas por el paso de los integrantes del equipo. Posteriormente, la persona encargada del muestreo se colocó guantes esterilizados y con ayuda de un piolet extrajo 1 kg aproximadamente de nieve superficial, embolsándose la muestra hasta en tres empaques. Concluido el recojo de la muestra de nieve se procedió al etiquetado, anotándose además las coordenadas y altitud del punto con ayuda de un GPS navegador.

Con las muestras de carbono negro se espera obtener valores de:

- a. Concentración de carbono negro efectivo (CNe)
- b. Simulación del albedo de la nieve mediante SNICAR
- c. Estimación de la cantidad de nieve absorbida por el carbono negro efectivo
- d. Estimación de la cantidad de nieve fundida por el carbono negro efectivo

4.4 Caracterización climática

En la región Arequipa, la disposición de las cadenas montañosas condiciona la distribución climática. La vertiente occidental es muy árida, por el efecto barrera de los Andes, que impide la circulación de masas de aire húmedo provenientes del Atlántico, y por la influencia del Anticiclón del Pacífico Sur, que inhibe la distribución de la humedad.

Durante la actividad de campo se realizó el registro puntual de variables climáticas mediante el uso de sensores Kestrel (**Foto 13**), obteniéndose importantes registros que indicaron la particularidad en la dinámica atmosférica sobre el volcán (ver **Anexo B**).

Las precipitaciones varían según su ubicación altitudinal, siendo muy escasas en la costa, incrementándose paulatinamente a mayor altitud. Así, en las regiones montañosas, como la zona de investigación, la precipitación anual está próxima a 420 mm. El régimen anual de la precipitación responde a la dinámica de los factores atmosféricos, con valores elevados producidos en los meses de verano con un promedio de 170 mm; por el contrario, en los meses de invierno las precipitaciones son muy escasas o simplemente no se dan. En los meses que comprenden el otoño y la primavera las precipitaciones son transicionales entre cada estación (lluviosa y seca). En las regiones próximas a los 4,300 m.s.n.m. el promedio anual de la temperatura es de 6°C, la máxima media es de 14°C y la mínima de -3°C.



Foto 12: Recolección de muestras de nieve para el análisis de carbón negro.



Foto 13: Instrumentos de recolección de registros meteorológicos.

4.5 Ecosistemas

Se realizó el análisis físico-químico de los parámetros de campo (pH, CE, OD, TDS y Q) para determinarse la calidad del agua de las principales fuentes de agua en el entorno del volcán glaciar Coropuna. Para esta actividad se utilizó un equipo multiparamétrico HANNA 9829 y un correntómetro OTT MS Pro.

Escorrentía del glaciar Niño Orqo - Coropuna

La medición de los parámetros físico-químicos de la escorrentía producida por la fusión del glaciar Niño Orqo encontró (**Tabla 7**) que el agua presenta un pH ligeramente alcalino y, en base a la CE y TDS, son aguas de clasificación muy blandas con bajas concentraciones de iones de calcio (Ca²⁺) o magnesio (Mg²⁺) disueltos.

Tabla 7. Parámetros de campo medidos en el cauce directo de un glaciar

Punto de muestreo	Coordenadas UTM			Parámetros medidos					
	Este	Norte	Altura	OD (mg/l)	CE (μS/cm)	pH (Unid.)	TDS (ppm)	Temp. (°C)	Q (l/s)
Coropuna	747,387	8,280,345	5,257	6.17	33	8.05	17	2.82	2.0

Bofedal Maucallacta

Este bofedal es el más extenso encontrado en el sistema Coropuna, con 1,078 ha (**Foto 14**). En la coordenada UTM WGS 84 Z18 Sur 749672 m-E y 8293019 m-N a una altitud de 4,417 m.s.n.m. existe un afloramiento que constituye la principal fuente de agua de este bofedal.

El agua que fluye de este manantial es ligeramente alcalina, con concentraciones de iones de calcio (Ca²⁺) o magnesio (Mg²⁺) disueltos que la definen como aguas muy blandas y blandas según se muestra en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Parámetros de campo medidos en el bofedal Maucallacta

Punto de muestreo	Coordenadas UTM			Parámetros medidos					
	Este	Norte	Altura	OD (mg/l)	CE (μS/cm)	pH (Unid.)	TDS (ppm)	Temp. (°C)	Q (l/s)
Bofedal Maucallacta	749,473	8,293,075	4,417	6.20	112	8.13	78	11.2	168.1

Sistema bofedal Cara Cara, Muysiniga y quebrada Negrohuaycco

Los bofedales estudiados (**Tabla 9**) en Cara Cara tienen una extensión de 24.5 ha (**Foto 15**) y en Muysiniga de 2.6 ha. La quebrada Negrohuaycco es el punto de concentración de varios puntos de afloramiento de agua provenientes del glaciar Coropuna. La importancia de estos ecosistemas radica en su alto grado de vulnerabilidad, debido a su poca extensión y por encontrarse deteriorados por efecto directo del sobrepastoreo. Al mismo tiempo se constituyen en la principal fuente de agua de los sectores de Viraco, Machahuay y el Molino, que comprenden aproximadamente 2,000 ha de terrenos agrícolas. Esto hace que sean áreas importantes de estudio, siendo imperativa la recuperación y conservación de estos ecosistemas. Las mediciones se hicieron a la salida de los

bofedales y en la quebrada Negrohuaycco, así como en el sector denominado Yacutinku, donde se juntan las aguas que proceden de estos ecosistemas. En este sector se captan las aguas y se conducen a las áreas agrícolas a través del canal Aguas Grande.

Tabla 9: Parámetros de campo medidos en Cara Cara, Negrohuaycco, Muysiniga y Yacutinku

Punto de muestreo	Coordenadas UTM			Parámetros medidos					
	Este	Norte	Altura	OD (mg/l)	CE (μS/cm)	pH (Unid.)	TDS (ppm)	Temp. (°C)	Q (l/s)
Bofedal Cara Cara	760,296	8,273,911	4,358	5.63	390	7.63	195	12.16	142.4
Quebrada Negrohuaycco	759,250	8,272,059	4,166	5.85	248	7.83	124	12.40	42.33
Bofedal Muysiniga	759,084	8,272,000	4,170	5.99	185	7.58	92	11.08	61.09
Yacutinku	760,603	8,270,182	3,785	6.92	289	7.79	145	9.20	437.6

Los pH de las fuentes de agua registradas son ligeramente alcalinos. Las aguas del bofedal Cara Cara respecto a las concentraciones de iones de calcio (Ca²⁺) o magnesio (Mg²⁺) disueltos son ligeramente duras; en la quebrada Negrohuaycco, bofedal Muysiniga y en el sector Yacutinku las aguas son blandas.

Bofedal Baños

Este bofedal tiene una extensión de 24.8 ha y las aguas que produce son conducidas por el canal Huayto. Las aguas procedentes de este bofedal se utilizan en los sectores Costuro y Atunhuasi. Son aguas ligeramente alcalinas y de dureza blanda. Ver **Tabla 10**.

Tabla 10. Parámetros de campo medidos en el canal Huayto

Punto de muestreo	Coordenadas UTM			Parámetros medidos					
	Este	Norte	Altura	OD (mg/l)	CE (μS/cm)	pH (Unid.)	TDS (ppm)	Temp. (°C)	Q (l/s)
Canal Huayto	758,851	8,270,431	3,917	6.60	297	7.93	149	9.49	148.0



Foto 14: Medición de parámetros de campo en el bofedal Maucallacta.

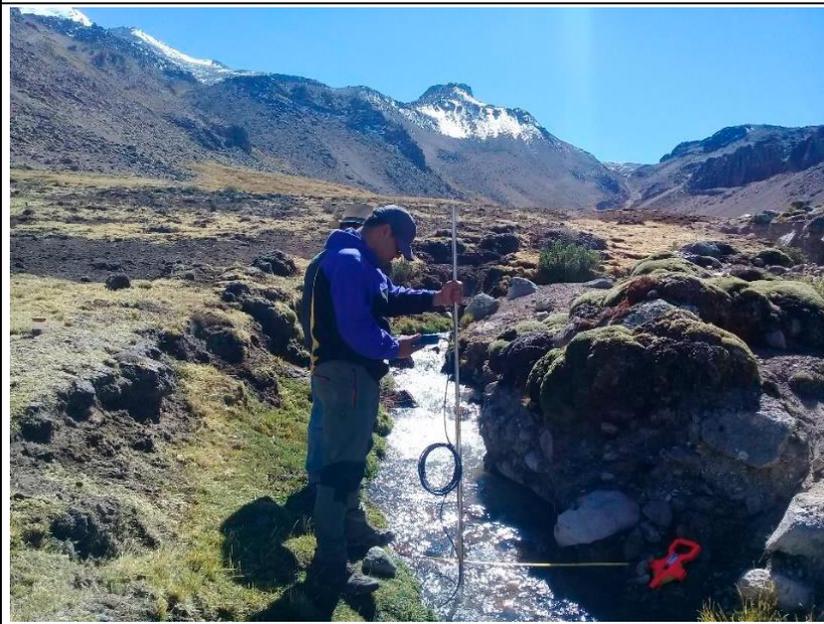
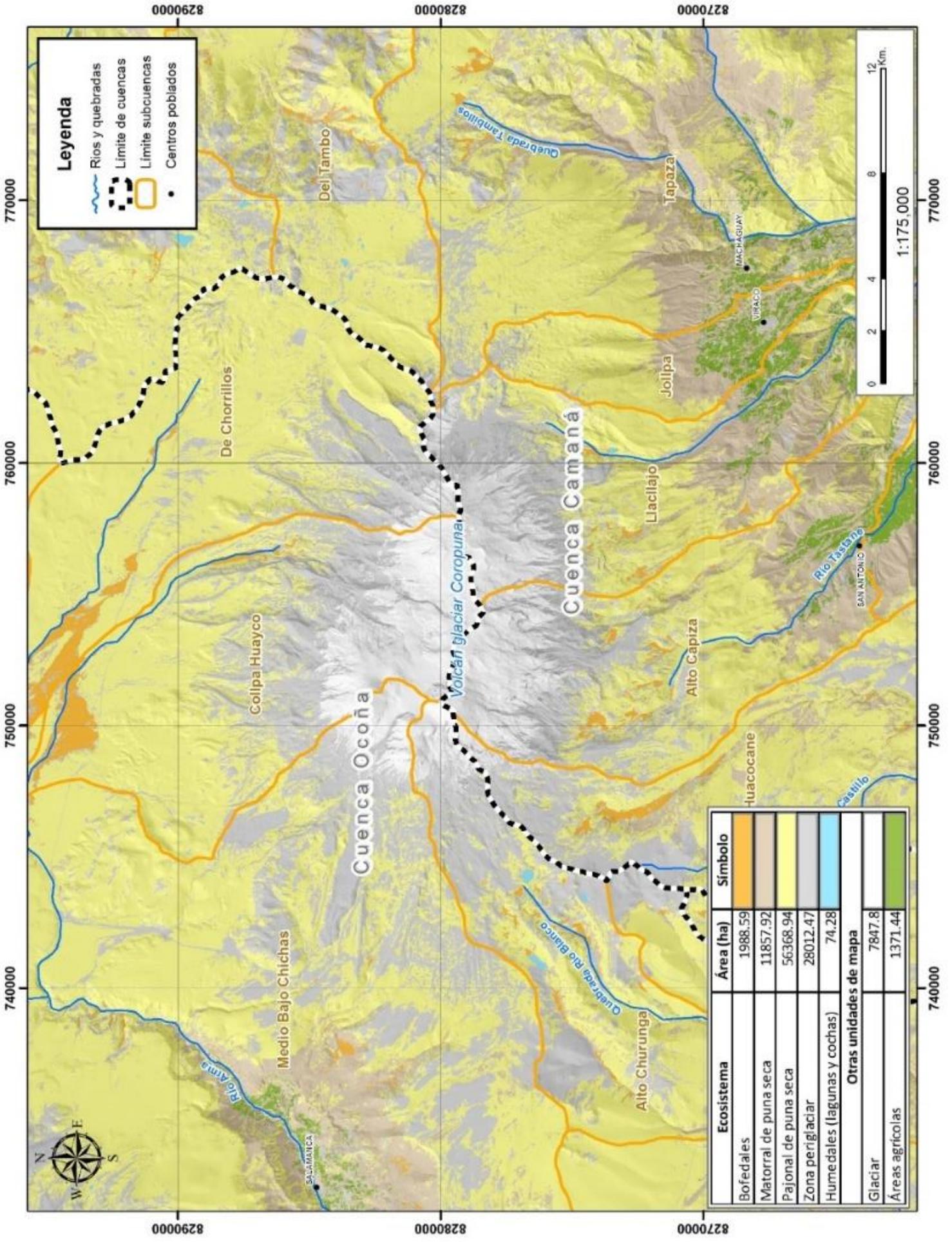


Foto 15: Aforo a la salida del bofedal Cara Cara.

Figura 9. Distribución de ecosistemas en el ámbito del volcán Coropuna.



Leyenda

- Ríos y quebradas
- Límite de cuencas
- Límite subcuencas
- Centros poblados



Ecosistema	Área (ha)	Símbolo
Bofedales	1988.59	[Orange]
Matorral de puna seca	11857.92	[Light Brown]
Pajonal de puna seca	56368.94	[Yellow]
Zona periglacial	28012.47	[Light Blue]
Humedales (lagunas y cochas)	74.28	[Light Blue]
Otras unidades de mapa		
Glaciar	7847.8	[White]
Áreas agrícolas	1371.44	[Green]



Cuenca Ocoña

Cuenca Camaná

Volcán glaciar Coropuna

De Chorrillos

Collpa Huayco

Medio Bajo Chichas

Alto Churunga

Alto Capiza

Huacocane

Jolpa

Japaza

Del Tambo

Quebrada Tumbilios

Quebrada río blanco

Río Tastane

Río Arma

MACHAGUAY

VIRACO

SAN ANTONIO

SALAMANCA

770000

760000

750000

740000

8290000

8280000

8270000

8290000

8280000

8270000

770000

760000

750000

740000

V. RESULTADOS

5.1 Altitud en la cumbre del volcán Coropuna

Las coordenadas de ubicación y altitud máxima en el volcán Coropuna están calculadas de acuerdo a los siguientes parámetros:

Proyección : UTM South Zone 18 – 78W a 72W
Datum : WGS84
Geoide : EGM2008 Perú
Huso Horario : SA Pacific Standard Time

Del posproceso se obtuvieron los siguientes resultados:

Coordenada Norte (m) : 8,279,899.363
Coordenada Sur (m) : 750,959.058
Elevación (m) : 6,423.516
Latitud : 15°32'45.90036" S
Longitud : 72°39'36.62978" W
Altura Elipsoidal (m) : 6,464.977

5.2 Glaciológico

GPR (Ground Penetration Radar/Radar de penetración de suelo)

Se realizaron ensayos para la medición del espesor de hielo mediante la aplicación de radar GPR en un tramo de aproximadamente 1,062 m, entre los nevados Nahuinda y Niño Orqo.

Las condiciones de abundante nieve fresca y seca, así como deficiencias en el sistema del radar impidieron la obtención de resultados. Sin embargo, quedan identificadas las diferentes rutas posibles para un próximo estudio.

Glaciares cubiertos

Se identificaron glaciares cubiertos en un área total de 5.30 km² como se observa en la **Figura 10**. Los detalles se muestran en la **Tabla 10**:

Tabla 10. Glaciares cubiertos identificados

N°	Cuenca	Cuenca Glaciar	Área m ²
1	Ocoña	Alto Churunga	157,347.19
2	Ocoña	Alto Churunga	214,583.34
3	Camaná	Capiza	143,220.51
4	Camaná	Capiza	179,201.84
5	Camaná	Capiza	292,459.63
6	Camaná	Capiza	97,400.56
7	Camaná	Capiza	163,324.57

N°	Cuenca	Cuenca Glaciar	Área m ²
8	Camaná	Capiza	217,037.85
9	Camaná	Capiza	543,667.95
10	Camaná	Capiza	42,159.34
11	Camaná	Capiza	142,046.07
12	Camaná	Capiza	126,772.55
13	Camaná	Capiza	49,377.27
14	Camaná	Capiza	64,980.37
15	Ocoña	Collpa Huayco	193,141.09
16	Ocoña	Collpa Huayco	146,050.25
17	Ocoña	Collpa Huayco	425,946.77
18	Ocoña	Collpa Huayco	78,067.88
19	Ocoña	Collpa Huayco	100,124.08
20	Ocoña	Collpa Huayco	169,505.61
21	Ocoña	De Chorrillos	71,405.70
22	Ocoña	Huario	262,751.19
23	Ocoña	Huario	122,793.13
24	Ocoña	Huario	182,108.12
25	Camaná	Llajllajo	18,030.76
26	Camaná	Llajllajo	22,522.04
27	Camaná	Llajllajo	115,468.12
28	Camaná	Llajllajo	254,816.86
29	Camaná	Llajllajo	48,353.67
30	Camaná	Llajllajo	106,781.16
31	Camaná	Llajllajo	132,981.97
32	Camaná	Llajllajo	20,665.15
33	Ocoña	Medio Bajo Chichas 1	66,132.36
34	Ocoña	Medio Bajo Chichas 1	105,977.49
35	Ocoña	Medio Bajo Chichas 2	130,555.15
36	Ocoña	Medio Bajo Chichas 3	71,320.37
37	Ocoña	Medio Bajo Chichas 3	26,820.39
			5'305,898.37

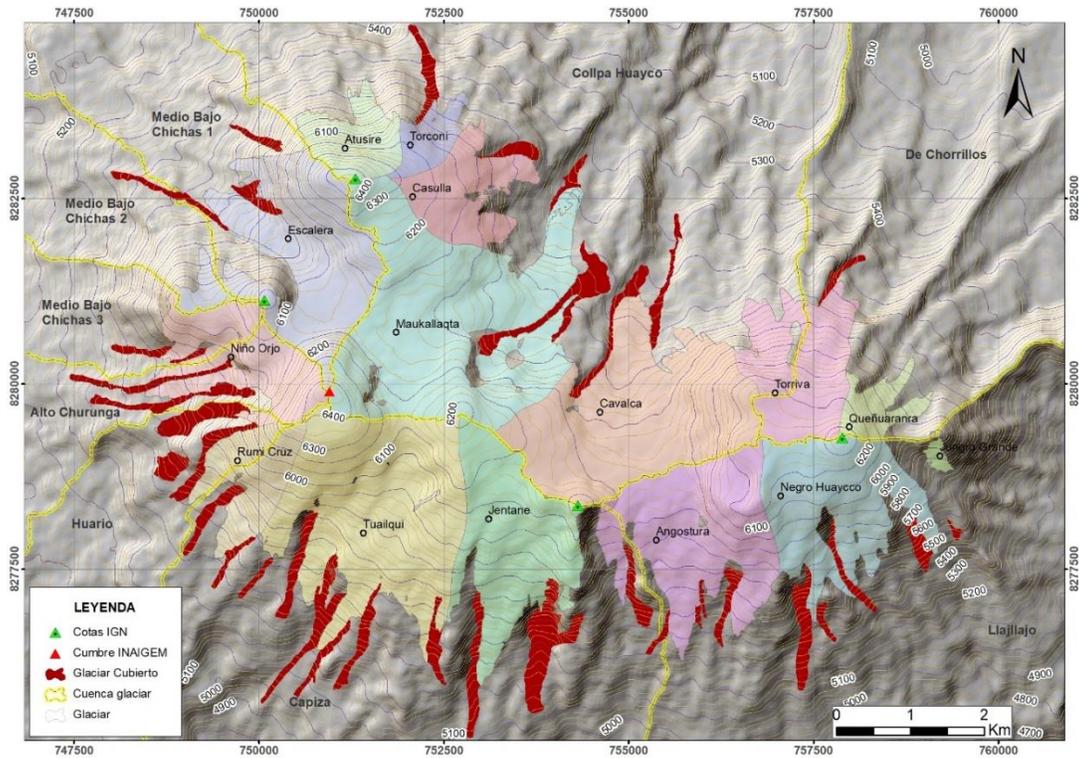


Figura 10. Identificación de glaciares cubiertos en el ámbito del volcán Coropuna.

Dinámica glaciar

Se estableció el glaciar Niño Orqo como zona piloto de observación de glaciares cubiertos para futuros estudios empleando drones (Figura 11), así mismo se codificaron las zonas de interés que se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Codificación de zonas identificadas como glaciar cubierto

Glaciar cubierto	
Código	Área m ²
GC - 1	103,433.35
GC - 3	37,692.54
GC - 4	51,678.46
GC - 5	111,944.72
GC - 6	26,820.39
Total	331,569.48

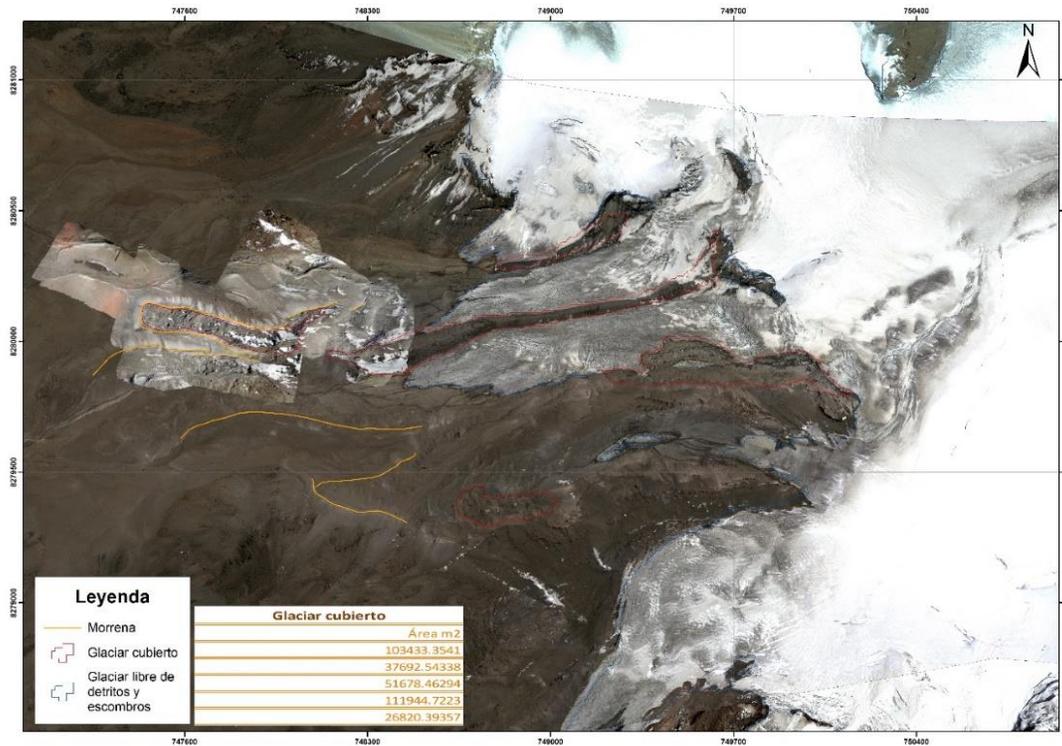


Figura 11. Zonas de observación de la dinámica en el glaciar cubierto Niño Orqo.

De los glaciares identificados, el GC-4 y el GC-5 fueron validados con el levantamiento fotogramétrico mediante dron; se aprecia el proceso de reptación en la zona GC-4. Ver **Figura 11**.

En el sector del GC-5 notoriamente se aprecian la formación de una laguna supraglaciar y las paredes del glaciar cubierto. Ver **Figura 12**.

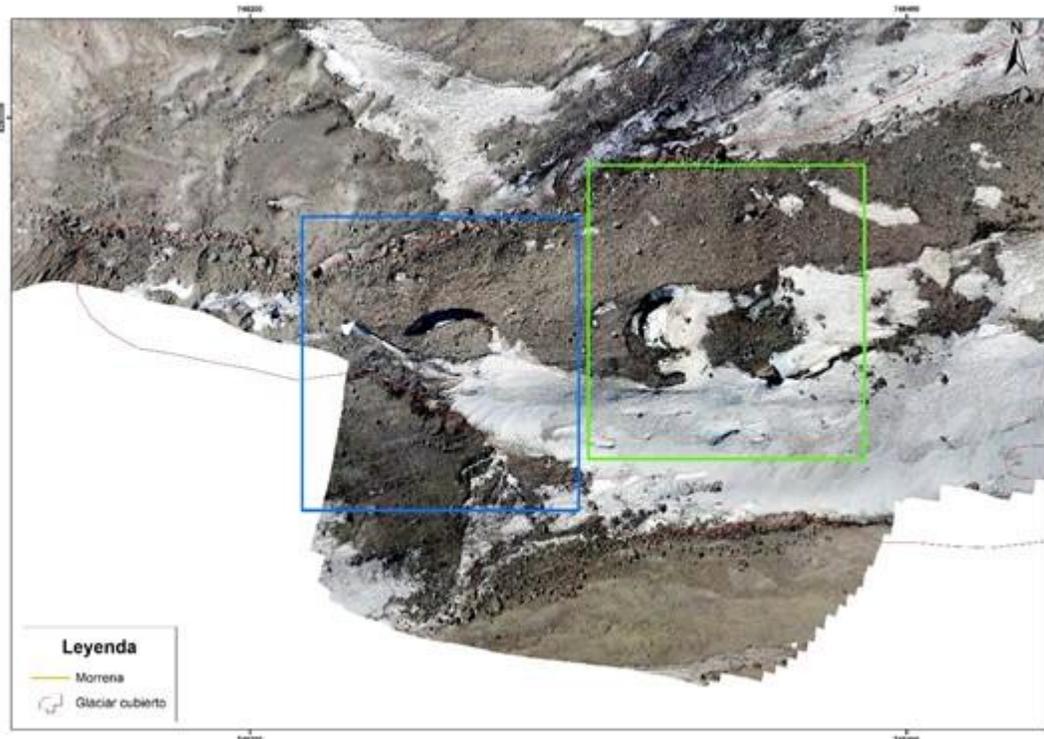


Figura 12. Proceso de formación de cuerpos de agua identificados para el monitoreo

Siguiendo los criterios del análisis de la imagen obtenida por el dron, se realizó la identificación de otros tres glaciares cubiertos, los cuales se codificaron con GC-1, y fueron corroborados en el proceso de inspección que se realizó in situ.

Con el vuelo del dron se obtuvieron dos productos: la ortofografía, con una resolución espacial de 0.043×0.043 metros (**Figura 13**) y un modelo digital de superficie (DSM) de resolución espacial de 0.175×0.175 (**Figura 14**). Esta información servirá para el análisis e interpretación de la dinámica de los glaciares cubiertos en el ámbito de estudio, como información base para futuros estudios.

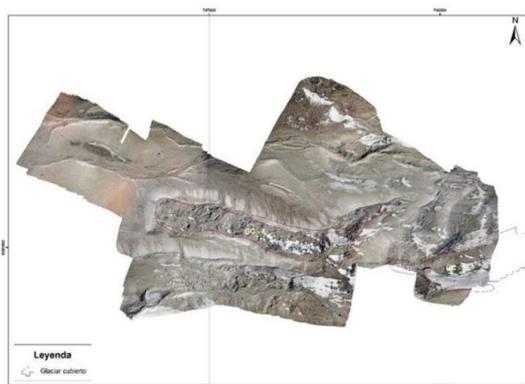


Figura 13. Ortofotografía del glaciar cubierto ubicado en el frente del glaciar Niño Orqo

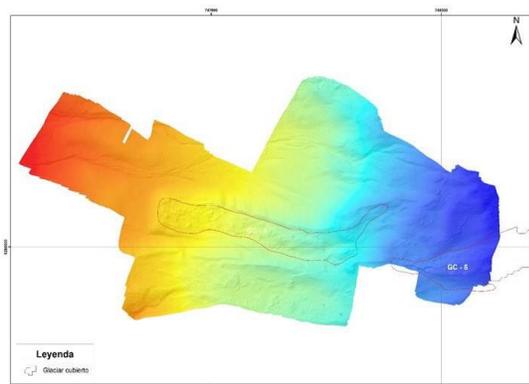


Figura 14. Modelo digital de superficie – DSM Glaciar cubierto, glaciar Niño Orqo

5.3 Carbono negro

- **Concentración de carbono negro efectivo**

Tabla 12. Concentración de carbono negro efectivo en el volcán glaciar Coropuna

Id	Puntos de muestreo	Carbono negro (ng/g)	Altitud
1	NEVADO NAHUINDA (NN)-CN 01	131.81	6012
2	NEVADO NAHUINDA (NN)-CN 02	34.07	6031
3	NEVADO NAHUINDA (NN)-CN 03	91.91	5853
4	NEVADO SANTIAGO (NS)-CN 01	92.16	6423
5	NEVADO SANTIAGO (NS)-CN 02	90.19	6368
6	NEVADO SANTIAGO (NS)-CN 03	103.63	6163

Tabla 13. Albedo de la nieve en el volcán glaciar Coropuna

Id	Puntos de muestreo	Carbono negro (ng/g)	Albedo	Altitud
1	NEVADO NAHUINDA (NN)-CN 01	131.81	0.66092849	6012
2	NEVADO NAHUINDA (NN)-CN 02	34.07	0.69170213	6031
3	NEVADO NAHUINDA (NN)-CN 03	91.91	0.67163825	5853
4	NEVADO SANTIAGO (NS)-CN 01	92.16	0.67156225	6423
5	NEVADO SANTIAGO (NS)-CN 02	90.19	0.67213976	6368
6	NEVADO SANTIAGO (NS)-CN 03	103.63	0.66830772	6163

Nota: La simulación SNICAR considera un albedo de **0.71069688** para la nieve libre de carbono negro.

Tabla 14. Diferencia del albedo de la nieve según la concentración de carbono negro efectivo

Id	Puntos de muestreo	Albedo sin CN	Albedo con CN	Diferencia
1	NEVADO NAHUINDA (NN)-CN 01	0.71069688	0.66092849	0.04976839
2	NEVADO NAHUINDA (NN)-CN 02	0.71069688	0.69170213	0.01899475
3	NEVADO NAHUINDA (NN)-CN 03	0.71069688	0.67163825	0.03905863
4	NEVADO SANTIAGO (NS)-CN 01	0.71069688	0.67156225	0.03913463
5	NEVADO SANTIAGO (NS)-CN 02	0.71069688	0.67213976	0.03855712
6	NEVADO SANTIAGO (NS)-CN 03	0.71069688	0.66830772	0.04238916

- **Estimación de la cantidad de nieve absorbida por el carbono negro**

Tabla 15. Cantidad de energía absorbida por el carbono negro efectivo

Id	Puntos de muestreo	Radiación solar (J/m ²)	Energía absorbida por el CN (J/m ²)	Altitud
1	NEVADO NAHUINDA (NN)-CN 01	487757929.00	24274926.84	6012
2	NEVADO NAHUINDA (NN)-CN 02	487757929.00	9264839.92	6031
3	NEVADO NAHUINDA (NN)-CN 03	487757929.00	19051156.48	5853
4	NEVADO SANTIAGO (NS)-CN 01	487757929.00	19088226.08	6423
5	NEVADO SANTIAGO (NS)-CN 02	487757929.00	18806541.00	6368
6	NEVADO SANTIAGO (NS)-CN 03	487757929.00	20675648.90	6163

▪ **Estimación de la cantidad de nieve fundida por el carbono negro**

Tabla 16. Cantidad de nieve fundida a causa del carbono negro efectivo

Id	Puntos de muestreo	Carbono negro (ng g ⁻¹)	Nieve fundida por el CN (Kg/m ²)	Nieve fundida por el CN (mm w. e.)	Altitud
1	NEVADO NAHUINDA (NN)-CN 01	131.81	72.25	144.50	6012
2	NEVADO NAHUINDA (NN)-CN 02	34.07	27.57	55.14	6031
3	NEVADO NAHUINDA (NN)-CN 03	91.91	56.70	113.40	5853
4	NEVADO SANTIAGO (NS)-CN 01	92.16	56.81	113.62	6423
5	NEVADO SANTIAGO (NS)-CN 02	90.19	55.97	111.94	6368
6	NEVADO SANTIAGO (NS)-CN 03	103.63	61.53	123.06	6163

5.4 Caracterización climática durante la expedición

Durante los estudios en el volcán Coropuna se registraron valores extremos en la temperatura, detallados en el **Anexo D** y resumidos a continuación:

Sensor en el campamento base situado a 5,100 m.s.n.m.

Temperatura mínima	: -13.2°C
Humedad relativa promedio	: 52%
Ráfagas de viento	: 12.8 m/s

Sensor ubicado en la cumbre del volcán a 6,423 m.s.n.m.

Temperatura mínima	: -24.5°C
Humedad relativa promedio	: 62.5%
Ráfagas de viento	: 19.2 m/s

Para realizar estos registros meteorológicos, el personal tuvo que sortear condiciones climáticas extremas que hicieron muy compleja su tarea.

5.5 Ecosistemas

Se identificaron y caracterizaron los ecosistemas que brindan servicios de suministro y regulación hídrica en el ámbito del volcán glaciario Coropuna (**Tabla 17**), estos ecosistemas fueron determinados a través del análisis de las imágenes del satélite Sentinel 2 y corroborados con inspecciones de campo, obteniéndose las siguientes superficies:

Tabla 17. Ecosistemas identificados en el ámbito del volcán Coropuna

Ecosistema	Área (ha)
Bofedales	1,988.59
Matorral de puna seca	11,857.92
Pajonal de puna seca	56,368.94
Zona periglaciario	28,012.47

Ecosistema	Área (ha)
Humedales (lagunas y cochas)	74.28
Otras unidades de mapa	
Glaciar	7,847.8
Áreas agrícolas	13,71.44

Se tomaron muestras en 7 puntos, descritos en la **Tabla 18** y observables en la **Figura 15**.

Tabla 18. Resultado de muestras de calidad de agua

Punto de muestreo	Coordenadas UTM			Parámetros medidos					
	Este	Norte	Altura	OD (mg/l)	CE (μS/cm)	pH (Unid.)	TDS (ppm)	Temp. (°C)	Q (l/s)
Coropuna	747,387	8,280,345	5,257	6.17	33	8.05	17	2.82	2.0
Bofedal Maucallacta	749,473	8,293,075	4,417	6.20	112	8.13	78	11.2	168.1
Bofedal CaraCara	760,296	8,273,911	4,358	5.63	390	7.63	195	12.16	142.4
Quebrada Negrohuaycco	759,250	8,272,059	4,166	5.85	248	7.83	124	12.40	42.33
Bofedal Muysiniga	759,084	8,272,000	4,170	5.99	185	7.58	92	11.08	61.09
Yacutinku	760,603	8,270,182	3,785	6.92	289	7.79	145	9.20	437.6
Canal Huayto	758,851	8,270,431	3,917	6.60	297	7.93	149	9.49	148.0

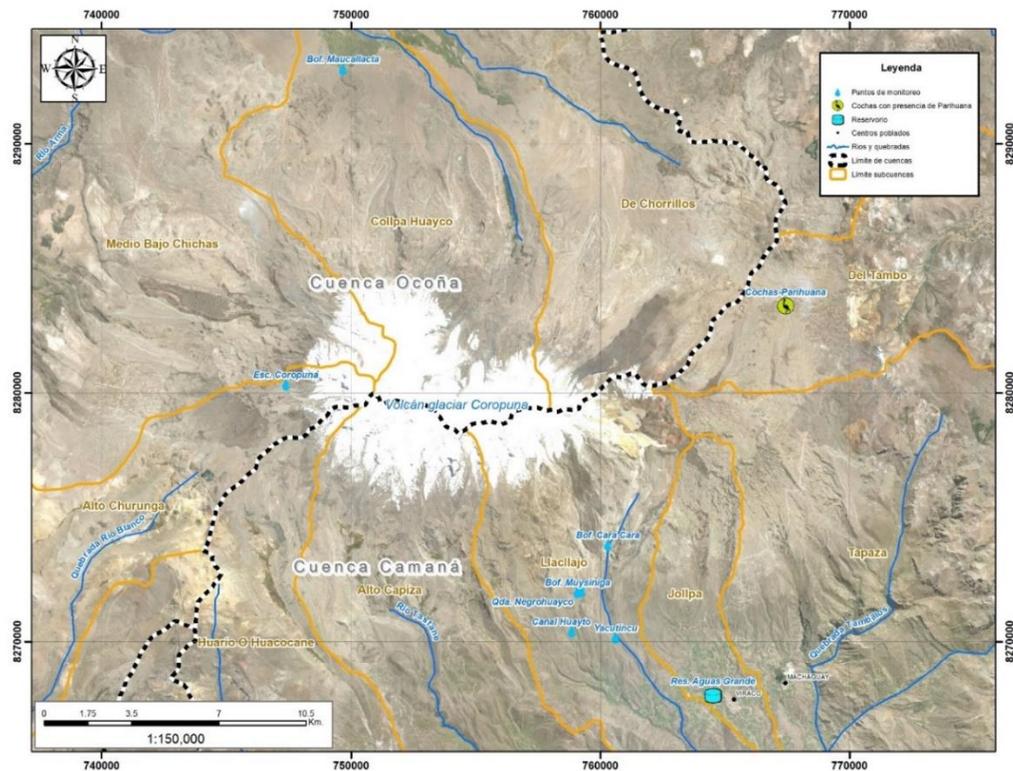


Figura 15. Ubicación de los puntos de muestreo de calidad de agua

5.5.1 Problemas asociados a los ecosistemas y glaciares en el área circundante al Volcán Coropuna

Los sistemas productivos y los medios de vida de la población de Viraco están en función de los bofedales de Cara Cara, Muysiniga y Baños. Si estos bofedales dejaran de funcionar o no prestaran los servicios ecosistémicos que brindan hoy, como el suministro de agua al distrito de Viraco, los medios de vida de la población se verían muy afectados. Sin embargo, pese a conocer su importancia, estos han sido sobreexplotados, deteriorados y degradados, con prácticas como las denominadas “sangrías”, que son drenajes, a modo de espina de pescado, ejecutadas con el fin de extraer más agua del bofedal.

El comportamiento del bofedal, ilustrativamente es como una esponja, que almacena agua y luego la regula poco a poco; lo que se ha hecho es exprimir la esponja, con el propósito de disponer de mayor caudal de agua. Estas prácticas, claro está, han permitido obtener más agua en el momento de la construcción de las “sangrías”, pero a un costo demasiado alto, porque el bofedal, al menos el de Cara Cara, se encuentra muy deteriorado y consecuentemente la generación del agua está disminuyendo drásticamente, como lo admitieron los directivos de la Comisión de Usuarios del agua de riego del distrito de Viraco.

Algunas acciones prioritarias para la recuperación del bofedal de Cara Cara, identificadas con los usuarios del agua de riego del distrito de Viraco y de la Comunidad de Unro, son:

- Acequias colectoras de contorno, alrededor del bofedal, en pendiente “0”.
- Diques de piedra y champa en las “sangrías”.
- Clausura temporal del bofedal de Cara Cara.
- Repoblamiento de pastos naturales en el bofedal.

5.6 Peligros de origen glaciar

Otro aspecto, no menos importante desde el punto de vista de peligros de origen glaciar, es el fenómeno conocido como “La Regla” (denominación usada por los lugareños), característica del comportamiento de los glaciares en el ámbito del volcán Coropuna, que se manifiesta con un incremento súbito de los caudales en todos los cauces con glaciares en la cabecera, en particular entre los meses de noviembre y diciembre, precedido por días secos y de intenso calor, conocidos como “veranillos”.

Este fenómeno ha alertado a las poblaciones aguas abajo por su magnitud y por la cantidad de sedimentos que transporta, en especial en la cuenca glaciar Capiza (Pampacolca), tal como quedó evidenciado en uno de los últimos sucesos más destructivos (21 diciembre de 2016), y que se muestra a continuación (**Foto 16, 17, 18 y 19**).



Foto 16. Frente del glaciar cubierto, en proceso de fusión violenta, obsérvese la coloración del agua que discurre en la base.



Foto 17. La magnitud del impacto que ocasionan los caudales provenientes de la fusión glaciar es significativa, nótese en escala la persona ubicada en el centro de la imagen en relación al ancho de cauce erosionado y los bloques de escombros acumulados en los bordes.



Foto 18. Zonas de erosión producto del incremento súbito del caudal.



Foto 19. Bofedal visiblemente afectado por la cantidad de sedimentos y escombros arrastrados por el agua producto de la fusión de los glaciares.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los glaciares del volcán Coropuna se encuentran en un proceso de retroceso acelerado, registrado desde 1955 hasta 2016 (Anexo **Mapa 4**), con una pérdida de 39.97 km² de superficie, lo que significa una reducción del 48.09% en 61 años que se traduce en una pérdida de superficie glaciar a una tasa de 0.65 km²/año.
- La altitud máxima del volcán Coropuna es **6,423.516** m.s.n.m., medición que será de gran utilidad para evaluar las variaciones futuras de la cobertura glaciar en la cumbre, registro que además servirá para ajustar los DEM y actualizar la cartografía en la zona.
- En el volcán Coropuna existe una importante presencia de glaciares cubiertos que abarcan una superficie aproximada de 5.30 km², que representa el 13.26 por ciento del total de glaciares visibles; estos, a su vez, constituyen un peligro para las cuencas receptoras, dado que su respuesta al aumento de temperatura es muy rápida, pudiendo ocasionar incrementos súbitos de los caudales en los cauces de los ríos, arrastrando cantidades importantes de sedimentos y escombros, afectando a los habitantes de los alrededores.
- El ámbito del distrito de Pampacolca cuenta con un porcentaje importante de glaciares, debido al proceso de fusión del hielo el agua drena hacia los valles de producción agrícola de la zona, debido a los antecedentes desbordes del río y de la ubicación de las zonas urbanas, se considera que aquí se constituyen las poblaciones más vulnerables en el entorno del volcán Coropuna en caso se produzca el derretimiento súbito de los glaciares ubicados en la cabecera de cuenca (sea cual fuera el agente que lo produzca: erupción volcánica o fusión acelerada por incremento de la temperatura, por ejemplo el fenómeno de “La regla” en gran escala).
- En base a las muestras de nieve recolectadas en diferentes puntos del volcán glaciar Coropuna, se estimó la concentración de carbono negro efectivo mediante la metodología de absorción de luz por calentamiento (LAHM, por sus siglas en inglés). En general, se encontró que los valores eran ligeramente altos para esa temporada del año, dado que existe abundante cobertura de nieve fresca que incrementa la reflectividad del glaciar; sin embargo, inmersos junto a la nieve se encuentran diferentes tipos de aerosoles naturales y antrópicos, entre ellos, el más perjudicial para el glaciar: el **carbono negro**, ya que tiene una alta capacidad para absorber la luz solar en diferentes longitudes de onda. Los resultados son mayores a lo hallado en el Ártico (10 ng g⁻¹) por Doherty et al., 2010, y menores a los reportados para China (100-900 ng g⁻¹) por Wang et al., 2013, en base a muestreos estacionales.
- La presencia de partículas finas en los filtros, en su mayoría, son de origen natural (detritos y partículas de ceniza volcánica) que reducen el albedo de la nieve de los glaciares sobre el volcán Coropuna; asimismo, es importante considerar la época de muestreo (al final de la estación húmeda), donde existe una abundante cobertura de nieve. Se necesita recolectar muestras durante la estación seca, cuando la quema de residuos agrícolas se intensifica, emitiendo una gran cantidad de carbono negro.
- Se identificaron siete ecosistemas. El predominante es el Pajonal de Puna Seca, seguido de la zona periglacial y del Matorral de Puna Seca. Los bofedales representan un porcentaje mínimo, sin embargo, son los más importante debido al rol que cumplen al filtrar las aguas cargadas de sedimentos que provienen de los glaciares. Al mismo tiempo también cumplen la función de

reservorios naturales, en especial en la época de estiaje. Los bofedales de interés para estudios futuros son: Maucallacta, Cara Cara, Negrohuaycco, Muysiniga y Baños.

- La pérdida de los servicios ecosistémicos para la regulación hídrica en los bofedales de Cara Cara, Muysiniga y Baños es evidente. Los bofedales no están cumpliendo su función de regular el comportamiento hidrológico en su fase de escorrentía por las malas prácticas implementadas, como las sangrías, el sobrepastoreo y los incendios de pastizales.
- Se recomienda continuar con los estudios y monitoreo de los glaciares en el ámbito del volcán Coropuna, poniendo especial énfasis en los riesgos y disponibilidad hídrica de los glaciares cubiertos.
- Se deben realizar mediciones de espesores del glaciar mediante GPR, de al menos un glaciar por cuenca, con la finalidad de determinar los volúmenes aproximados de hielo, lo que servirá como insumo para el modelamiento de flujos para estudiar los peligros y evaluar la disponibilidad hídrica en la zona.
- Se recomienda investigar la efectividad de las prácticas de recuperación de los servicios ecosistémicos para regulación hídrica en el bofedal de Cara Cara. Y establecer el monitoreo periódico de la cantidad y calidad de agua en los bofedales de Cara Cara, Muysiniga y Baños.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Bingham, H. et al. (1922). *Inca Land*. Massachusetts, EEUU: Yale University.
- Doherty, S.J., Warren, S.G., Grenfell, T.C., Clarke, A.D., and Brandt, R.E. (2010), Light absorbing impurities in Artic snow, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 11,647-11,680, doi: 10.5294/acp-10-11647-2010.
- Francou, B. y Pouyaud, B. (2004). Métodos de observación de glaciares en los Andes Tropicales. Mediciones de terreno y procesamiento. Versión 1, Great Ice, IRD, France: 238pp.
- Georges, C. (2004). 20th-Century glacier fluctuations in the Tropical Cordillera Blanca, Peru. *Arct. Antarct. Alp. Res.* 36, 100–107.
- Hidrandina S.A. (1989). Inventario de glaciares del Perú. *Huaraz: CONCYTEC*.
- Huss, M. (2013). Density assumptions for converting geodetic glacier volume change to mass change, *The Cryosphere*, 7, 877–887, doi:10.5194/tc-7-877-2013.
- Kaab, A. (2005). *Remote Sensing of Mountain Glaciers and Permafrost Creep*, *Geographisches*. Zurich: Institut der Universitürich.
- Masías, P. (1999). *En las cumbres de Arequipa*. Arequipa: EDIMAZ.
- Ramos, R. (2018). *Evolución de la cobertura glaciar del nevado Coropuna y su relación con el entorno climático*. Lima: UNALM.
- Silverio, W. y Jaquet, J. (2005). Glacial cover mapping (1987–1996) of the Cordillera Blanca (Peru) using satellite imagery. *Remote Sens. Environ.*, 95, 342–350.
- Úbeda, J. (2010). *El impacto del cambio climático en los glaciares del complejo volcánico nevado Coropuna: Cordillera occidental de los andes centrales* (tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid, España.
- Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B. G., y Bradley, R. S. (2008). Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth-Science Reviews*, 89(3-4), 79-96.
- Wang, X., Doherty, S. J., and Huang, J. (2013), Black carbon and other light-absorbing impurities in snow across Northern China, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 1471-1492, doi: 10.1029/2012JD018291.

VIII. ANEXOS

ANEXO A: FICHA GEODÉSICAS IGN – BASE VIRACO



INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
DIRECCIÓN DE GEODESIA
DESCRIPCIÓN MONOGRÁFICA



CODIGO : VCO1	LOCALIDAD : VIRACO	ESTABLECIDA POR : INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL		
UBICACION : I.E. SAGRADO CORAZÓN DE JESÚS		CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA : DISCO DE BRONCE DE 5 CM. DE DIÁMETRO		
LATITUD (S) WGS-84 15°39'30.624190"		LONGITUD (O) WGS-84 72°31'24.447930"		
NORTE (Y) WGS-84 8267288.735800		ESTE (X) WGS-84 765485.590300		
ALTURA ELIPSOIDAL 3234.3143		ZONA UTM 18 SUR	FACTOR ESCAL	ORDEN B
<p>CROQUIS</p>				
<p>LOCALIZACIÓN : Distrito : VIRACO Provincia : CASTILLA Departamento : AREQUIPA</p> <p>DESCRIPCIÓN : La Estación "VCO1", se encuentra ubicada en la Institución Educativa "Sagrado Corazón de Jesús" del Distrito de Viraco.</p> <p>MARCA DE LA ESTACIÓN: Es un disco de bronce de 5 cm de diámetro, incrustado en el techo del tanque de agua de la Institución Educativa "Sagrado Corazón de Jesús" y lleva grabado la siguiente inscripción: "VCO1-PCDPI-2008".</p> <p>REFERENCIA : Carta Nacional Escala 1/100 000, Hoja 32-q Chuquibamba.</p>				
DESCRITA POR:	REVISADO:	JEFE PROYECTO	FECHA:	
JULCA / PASAPERA	Tte. Ing. J. Romero A.	My. Ing. C. Sierra F.	Octubre 2008	

USUARIO CHACON RODRIGUEZ, ROSSMERY

FECHA 12/06/2018

HORA 14:39:37

ANEXO B: REGISTROS DE VARIABLES METEOROLÓGICAS

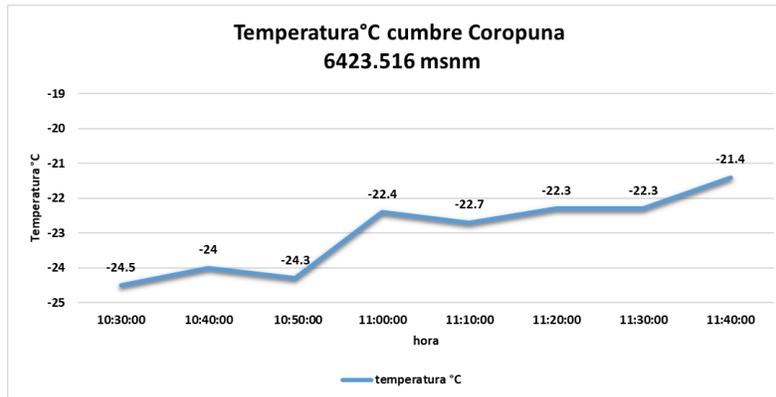


Figura 01. Se representa la temperatura en la cumbre del glaciar, el valor más bajo fue -24.5 °C, registrado al momento de la instalación. Al transcurrir el tiempo los valores se van incrementando llegándose a registrar -21.4 °C, valor máximo registrado momentos antes de realizar el descenso.

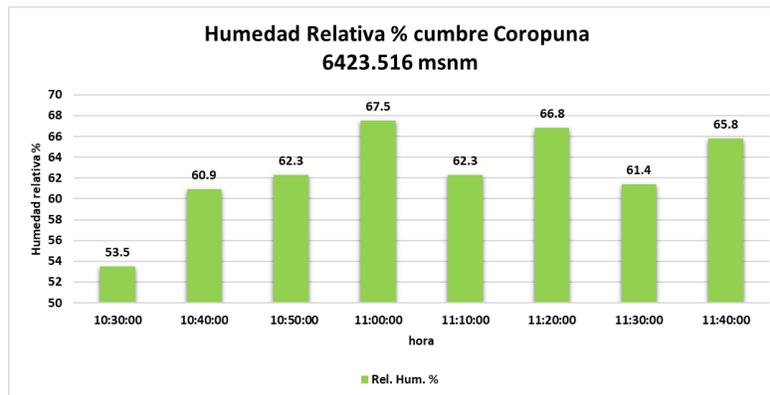


Figura 02. Se representa el comportamiento de la humedad relativa desde el momento que se llega a la cumbre, observándose que no existe mucha variabilidad, los valores que se encuentran son de 60 a 70 por ciento.

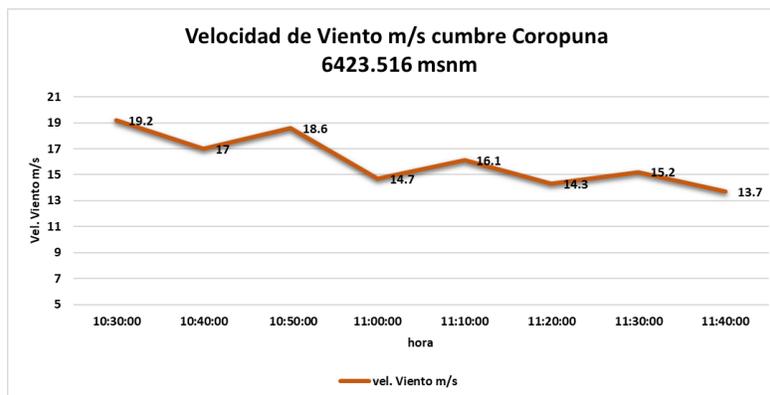


Figura 03. Observamos el comportamiento de la variable viento (intensidad), registrándose un máximo de 19.2 m/s. Según la clasificación de la escala de Beaufort corresponde a temporal (viento duro).

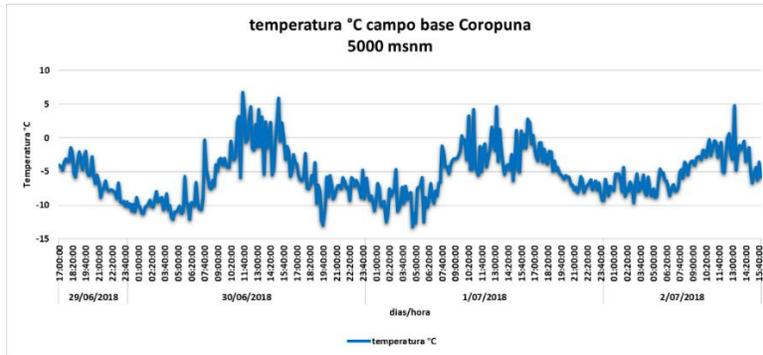


Figura 04. Se observa el comportamiento de la temperatura durante la permanencia en el campamento base, teniendo un comportamiento estable. El valor más alto alcanzado fue de 6.8°C el día 30 de junio a las 11:30 am, y el valor más bajo registrado fue de -13.2° C el día 01 de julio a las 04:40 am.

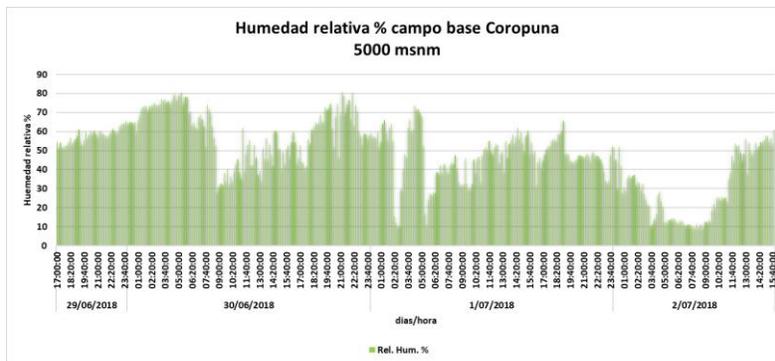


Figura 05. Comportamiento de la humedad relativa. Se observa un comportamiento muy variable: los primeros días se tiene buen contenido de humedad en la atmosfera, llegando alrededor de 80 por ciento, que va disminuyendo con el transcurrir de los días, siendo alrededor del 10 por ciento los valores más bajos.

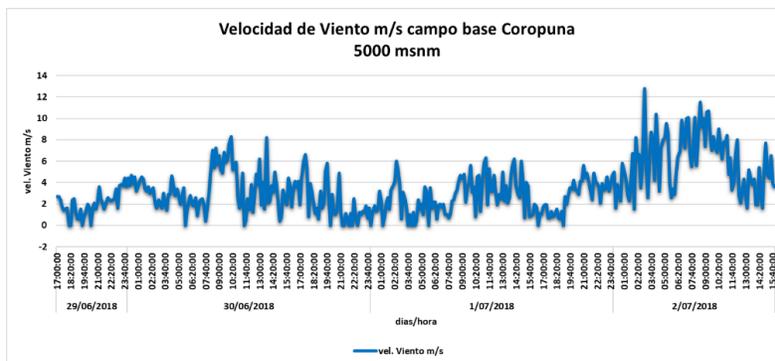
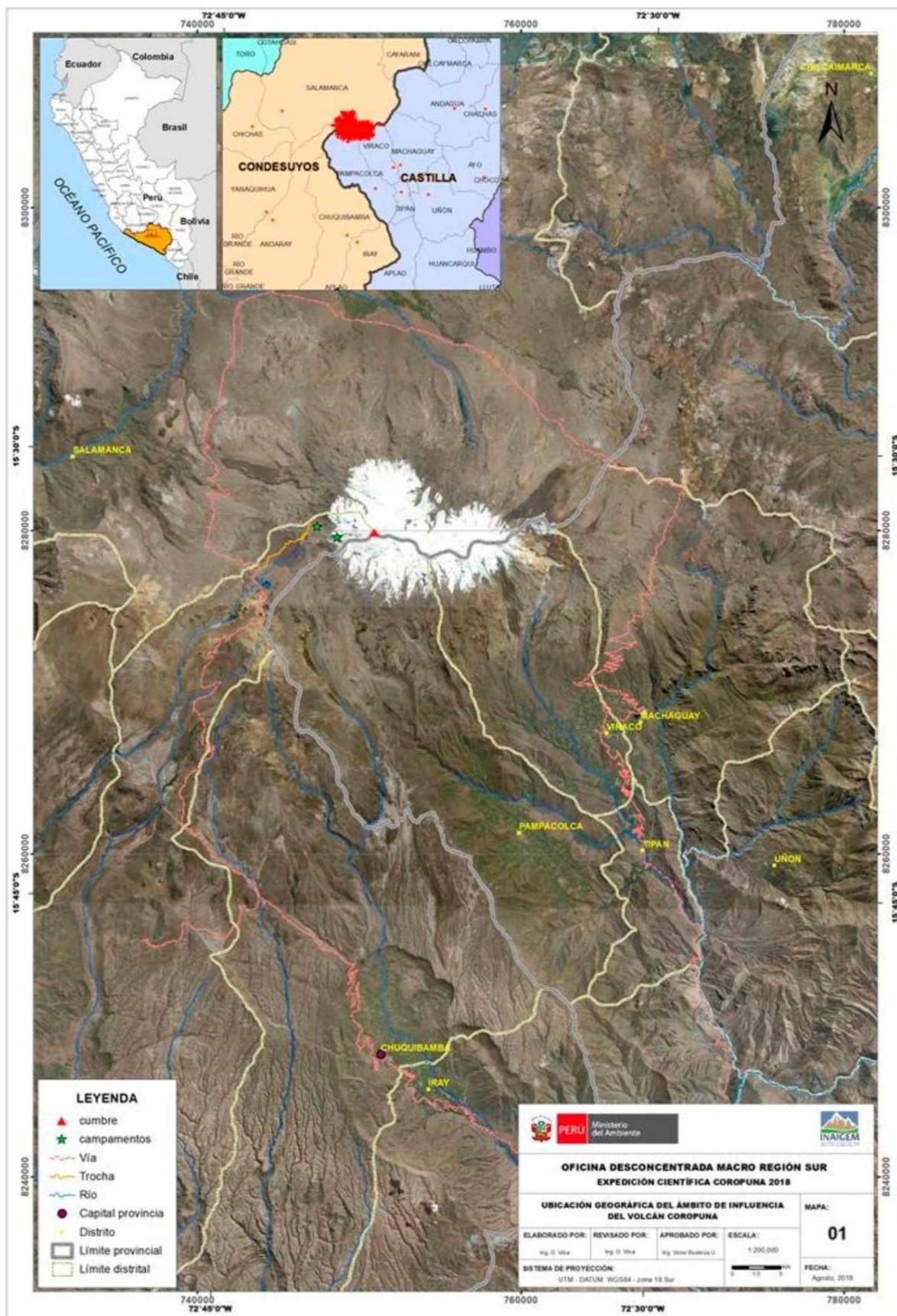
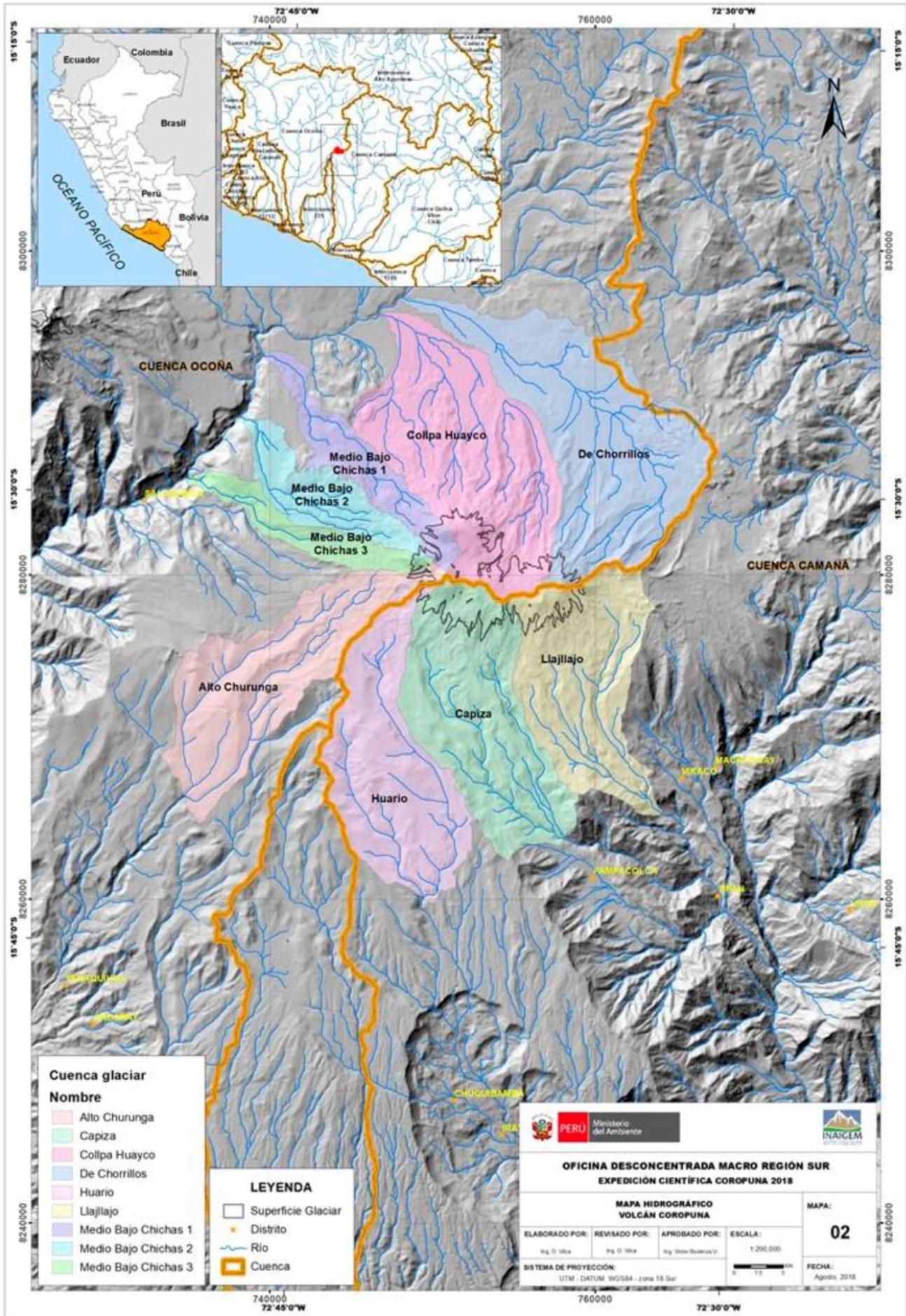
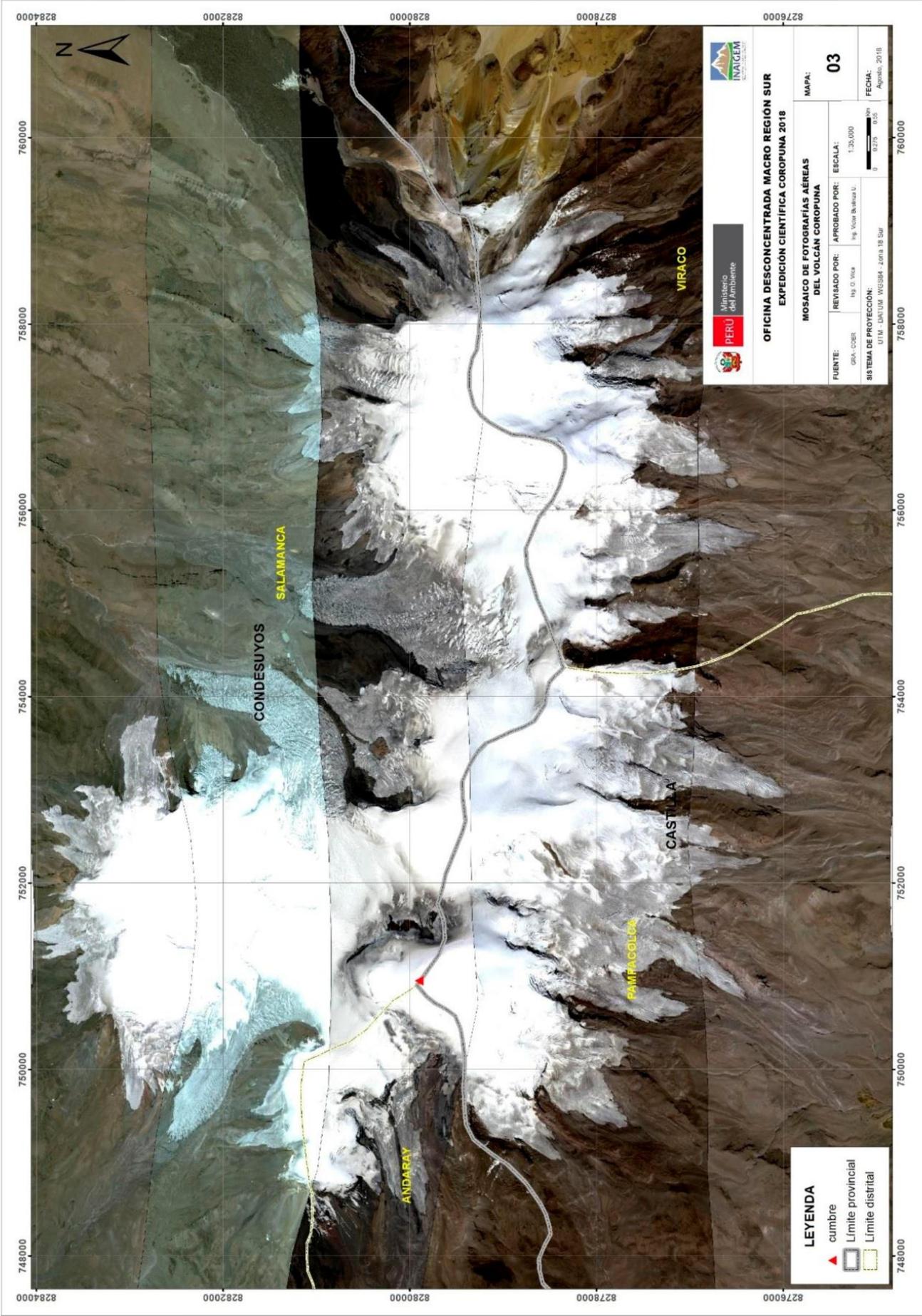


Figura 06. El comportamiento del viento fue muy estable en los primeros días. En el último día dicho comportamiento varió, alcanzando velocidades muy altas. El máximo valor registrado fue de 12.8 m/s el día 02 julio a las 03:00 am, que según la escala de vientos Beaufort corresponde a fresco (brisa fuerte).

IX. MAPAS










PERU Ministerio del Ambiente

OFICINA DESCENTRALIZADA MACRO REGIÓN SUR
EXPEDICIÓN CIENTÍFICA COROPUNA 2018

MOSAICO DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS DEL VOLCÁN COROPUNA

FUENTE: GDA - ODER Ing. O. Vaca Ing. Vicer B. Torres U. MAPA: **03**

REVISADO POR: APROBADO POR: ESCALA: 1:20,000

SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM - DATUM WGS84 - ZONA 18 SUR FECHA: Agosto, 2018

LEYENDA

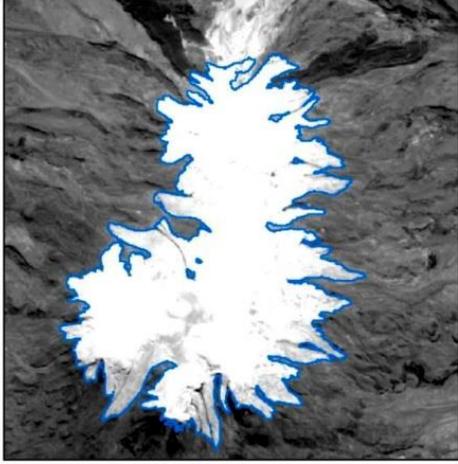
-  cumbre
-  Límite provincial
-  Límite distrital



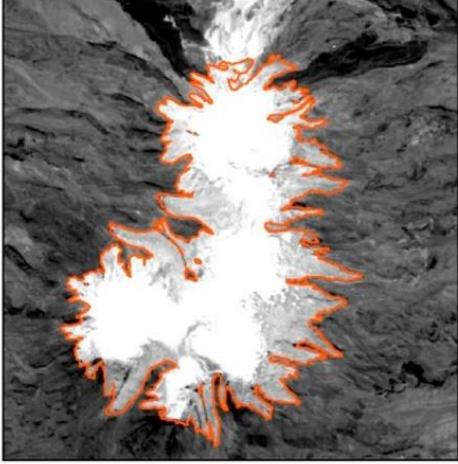
1980



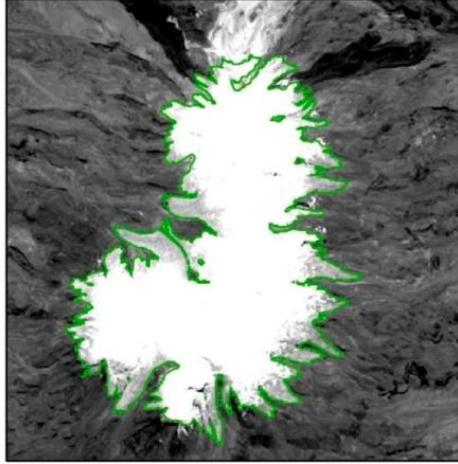
1987



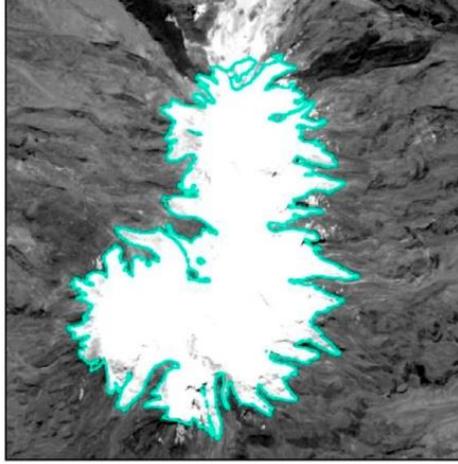
1992



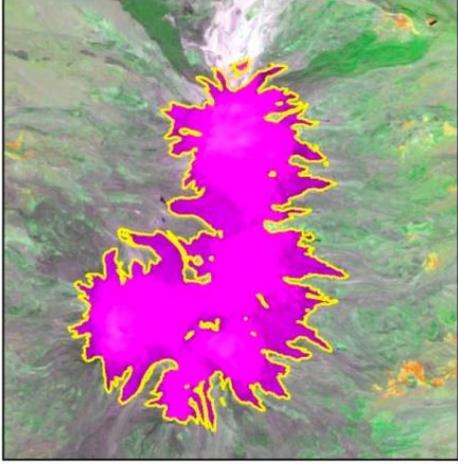
1998



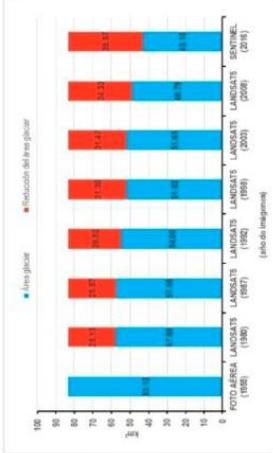
2003



2008



2016





Ministerio del Ambiente



INSTITUTO NACIONAL DE GLACIERES

OFICINA DESCENTRALADA MACRO REGIÓN SUR
EXPEDICIÓN CIENTÍFICA COROPUNA 2018

ANÁLISIS DEL RETROCESO GLACIAR EN EL VOLCÁN COROPUNA		MAPA:
ELABORADO POR: REVISADO POR: APROBADO POR:		04
Ing. O. Wlca	Ing. Víctor Bustos U.	Escala: 1:140,000
SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM - DATUM: WGS84 - Zona 18 Sur		FECHA: Agosto, 2018

Erupción del volcán Sabancaya, vista desde la cumbre mayor del volcán Coropuna.

