



PERÚ

Ministerio
de Energía y Minas

Instituto Geológico, Minero
y Metalúrgico - INGEMMET

ISSN 1560-9928

INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica
N° 63



Peligros Geológicos por Procesos Glaciales, Cordillera Blanca - Río Santa

**Lima, Perú
2016**



INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica
N° 63

Peligros Geológicos por Procesos Glaciales, Cordillera Blanca - Río Santa

**Dirección de Geología Ambiental
y Riesgo Geológico**

Equipo de Investigación:

**Patricio Valderrama Murillo
Carolina Silva Espejo
Sharon Dueñas Bravo
Gael Araujo Huamán**

Lima, Perú
2016

INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica
N° 63

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2016-16464
ISSN 1560-9928

Razón Social: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)
Domicilio: Av. Canadá N° 1470, San Borja, Lima, Perú
Primera Edición, INGENMET 2016
Se terminó de imprimir el 24 de noviembre del año 2016 en los talleres de INGENMET

© **INGEMMET**

Derechos Reservados. Prohibida su reproducción

Presidente del Consejo Directivo: Oscar Bernuy Verand.

Secretario General: Ricardo Flores Herrera.

Comité Editor: Lionel Fidel Smoll, Yorri Carrasco Pinares, Agapito Sánchez Fernández

Dirección encargada del estudio

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico: Lionel Fidel Smoll

Unidad encargada de edición

Unidad de Relaciones Institucionales: Yorri Carrasco Pinares.

Revisión Técnica: Ricardo Aniya Kohatsu, Mirian Mamani Huisa, Agapito Sánchez Fernández.

Corrección gramatical y de estilo: María del Carmen La Torre Cuadros.

Diagramación: Hendrick Lazarte Vera.

Portada: Laguna glaciar de Llaca (Huaraz), se aprecia los sistemas de morrenas laterales afectadas por movimientos en masa. Al fondo se ve los picos y la lengua glaciar del Nevado Cojup que está cubierta por materiales de caídas de detritos de material morrénico.

Referencia bibliográfica

Valderrama, P.; Silva, C.; Dueñas, S. & Araujo, G. (2016) - Peligros geológicos por procesos glaciales, Cordillera Blanca - Río Santa. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 63, 149 p., 11 mapas.

Publicación disponible en libre acceso en la página web (www.ingemmet.gob.pe). La utilización, traducción y creación de obras derivadas de la presente publicación están autorizadas, a condición de que se cite la fuente original ya sea contenida en medio impreso o digital (GEOCATMIN - <http://geocatmin.ingemmet.gob.pe>).

Los términos empleados en esta publicación y la presentación de los datos que en ella aparecen son de exclusiva responsabilidad del equipo de investigación.

CONTENIDO

RESUMEN	5
CAPITULO I:	
INTRODUCCIÓN.....	7
CAPITULO II:	
MARCO GEOGRÁFICO, CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO	11
CAPITULO III:	
CONTEXTO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO	19
CAPITULO IV:	
PRINCIPALES EVENTOS DE MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CORDILLERA BLANCA.....	39
CAPITULO V:	
MOVIMIENTO EN MASAS EN EL FLANCO OESTE DE LA CORDILLERA BLANCA	55
CAPITULO VI:	
SIMULACIÓN NUMÉRICA DE ALUVIONES	105
CAPITULO VII:	
CONCLUSIONES	121
RECOMENDACIONES	123
BIBLIOGRAFÍA	125
ANEXO:	
INVESTIGACIONES Y PUBLICACIONES CIENTÍFICAS DERIVADAS DE ESTE TRABAJO.....	129

RESUMEN

La Cordillera Blanca, ubicada en los Andes de Perú, representa la acumulación de glaciares tropicales más grande del planeta. A sus pies se desarrollan ciudades con poblaciones superiores a los 100 mil habitantes, que son el eje económico, social y productivo del Callejón de Huaylas; Huaraz, capital de la región Ancash y principal ciudad de la cuenca del río Santa y las ciudades de Recuay, Carhuaz, Yungay y Caraz dependen directamente del recurso hídrico que representan los glaciares de la Cordillera Blanca.

Los desniveles de alturas van desde los 2800 msnm en el piso de valle del río Santa a más de 6670 msnm, con variaciones climáticas que van desde climas muy templados y lluviosos estacionalmente, favorables para el cultivo de frutas, maíz y otros, hasta climas gélidos glaciales que favorecen la acumulación de hielo permanente y la afluencia de turistas de aventura extrema.

Geológicamente la Cordillera Blanca está conformada principalmente por el batolito granítico-tonalítico, aflorando hacia el este y oeste rocas sedimentarias del Jurásico y Cretáceo y rocas volcánicas del Paleógeno y Neógeno. Los depósitos cuaternarios abarcan grandes extensiones, estando conformados por los depósitos glaciales, fluvio-glaciales, morrénicos aluviales y coluviales. Es impresionante la formación de paisajes glaciales, constituyendo un atractivo turístico.

El nevado Huascarán se corona como el pico más alto de los andes peruanos, y se encuentra en la Cordillera Blanca. En 1970, un gran terremoto con epicentro en el mar de Chimbote produjo el desprendimiento de más de 5 millones de metros cúbicos de rocas y hielo, lo que originó una gran avalancha-aluvión que hizo desaparecer las ciudades de Yungay y Ranrahirca. Este evento marcó un hito en el manejo de las emergencias en el Perú.

Luego de tres años de trabajo de campo, esta investigación presenta un detallado estudio del área glaciar y periglacial de la cuenca del río Santa, con un inventario de movimientos en masa activos, potencialmente activos y su relación estadística con cada población importante, y incluyendo modelamientos de aluviones (flujos de detritos) que proponen mapas de alturas de flujo para las principales ciudades emplazadas en los abanicos de quebradas a lo largo del valle del río Santa.

El principal objetivo de este boletín es poner a disposición de las autoridades y población un documento técnico científico que muestre los peligros geológicos por movimientos en masas de orígenes glaciares a los que están expuestas las ciudades y obras de infraestructura del Callejón de Huaylas y que estos sirvan como una herramienta de ordenamiento territorial y planificación en caso de emergencias.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La alta recurrencia de eventos desastrosos en la Cordillera Blanca que aunados al cambio climático global y la existencia de gran cantidad de ciudades en su área de influencias, hacen necesario la realización de estudios que permitan conocer las características de los peligros geológicos y sus consecuencias, con el fin de prevenir, minimizar o solucionar los daños que pudieran ocasionar los mismos. Es importante realizar un inventario y una evaluación de los peligros geológicos, así como determinar escenarios de futuros desastres para conocer que zonas se encuentran en mayor peligro y dar las recomendaciones pertinentes.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), continuando el Programa "Riesgos Geológicos del Territorio", programó para el período 2007-2009 la realización del estudio denominado "Peligros Geológicos por procesos glaciares Cordillera Blanca-Río Santa, como parte del Proyecto denominado "Estudio de Peligros Geológicos por Procesos Glaciares" (GA-15), con la finalidad de evaluar en su ámbito territorial la distribución de los peligros geológicos y geohidrológicos, que afectan su entorno y perjudican a la población, la infraestructura, los servicios, etc., y que muchas veces se desencadenan en desastres.

La presente memoria es el resultado de los trabajos de gabinete y campo realizados por profesionales de la DGAR, que se pone a consideración tanto de la comunidad científica, profesionales, técnicos de la región, involucrados en temas de prevención de desastres, autoridades del gobierno regional, gobierno central, municipalidades locales y comunidad en general.

Así mismo, se espera que este trabajo como otros en su género que viene efectuando la institución, aporte conocimiento adicional sobre el medio físico (geomorfología y substrato rocoso) y los peligros naturales (inventario de peligros, simulaciones numéricas de peligros). La información geológica que contiene este documento se considera básica como instrumento de gestión de riesgos, necesaria para la planificación del ordenamiento territorial y uso de suelo en la

región, y útil para proponer políticas, programas y acciones de prevención o mitigación de los peligros naturales analizados, así como, de otros derivados del proceso de ocupación humana.

OBJETIVOS

Considerando los aspectos que representan, la historia, la frecuencia y recurrencia de eventos desastrosos en el área, el ámbito y la complejidad geodinámica del territorio de la zona estudiada, así como, los alcances de los trabajos de naturaleza científico-técnica que viene desarrollando INGEMMET, se tienen los siguientes objetivos:

- Conocer la presencia de movimientos en masas en áreas glaciares de la Cordillera Blanca y cómo interactúan con el relieve.
- Realizar una descripción detallada de los peligros geológicos y movimientos en masas de las áreas glaciares y periglaciares, considerando su influencia en la disponibilidad de recurso hídrico para las ciudades localizadas en el Callejón de Huaylas.
- Continuar la cartografía e inventario sistemático de peligros geológicos y geohidrológicos y conocer la geodinámica del territorio nacional.
- Generar información técnico-científica de calidad, que sea tomada en cuenta como instrumento de política de prevención de desastres, que sirva en la Gestión de Riesgo Local con participación de las poblaciones involucradas.

ANTECEDENTES

La Cordillera Blanca, localizada en la región Ancash en la zona central y occidental del país, por sus características geológicas, sismotectónicas y climáticas, posee un alto índice de ocurrencia de eventos desastrosos (movimientos en masa detonados por sismos y lluvias). Cercano a ella se ubican importantes poblaciones como la ciudad de Huaraz, que es la capital de la región Ancash, Caraz, la cual sirve como centro de operaciones para la Central Hidroeléctrica del Cañón del

Pato, Yungay, Carhuaz y Recuay y muchos pequeños poblados asentados en sus alrededores.

Las estadísticas sobre desastres a nivel nacional muestran la mayor cantidad de "aluviones" ocurridos, en esta región del país. En la Cordillera Blanca son recordados los eventos aluviónicos del siglo pasado con gran incidencia en la población, los ocurridos el 13 de diciembre de 1941 (4000 muertes en la ciudad de Huaraz), el del 17 de enero de 1945 en Chavín de Huántar (400 muertos), el de Ranrahirca en 1962 (3000 muertos), y el del 31 de mayo de 1970 en particular, que causaron muchas muertes en muchas provincias (se estimó en 69 mil los muertos y más de 140 mil heridos), la destrucción de más de dos mil viviendas correspondieron a Yungay (Evans et al, 2009) sepultadas por la avalancha de rocas y flujo de detritos. En Huaraz, las viviendas se convirtieron en una trampa mortal para 10 mil de sus habitantes (Zavala et al, 2009). Además, a los pies de la Cordillera Blanca resalta la presencia de una falla neotectónica que significa un potencial foco de sismos en la zona.

Muchos trabajos de evaluación de peligros en forma puntual han sido efectuados en la zona y se cuenta con información bibliográfica de estudios realizados por el Cuerpo de Ingenieros de Minas, el ex Servicio de Geología y Minería, boletines de la Sociedad Geológica del Perú, Sociedad Geográfica, etc., con reportes de ocurrencias de eventos desastrosos desde los años 1940 a la fecha, así como, informes técnicos e inspecciones de campo más recientes, efectuadas por la Dirección de Geotecnia y DGAR en las dos últimas décadas. Las principales evaluaciones describen ocurrencias de movimientos en masa tipo deslizamientos, aluviones, huaycos en los sectores de: Huaraz, Yungay, Ranrahirca, Caraz, Quebrada Honda, etc., destacando los trabajos e informes técnicos de: Silgado, E, 1951, Spann J., 1947; Heim A. 1949 y 1974; Indacochea, A. 1947; Fernández, J. 1953; Cossio, A., 1963; Ortiz & Gonzalez, 1972; Galdos, J., 1974; Perez, G., 1974; Sotomayor, C. 1976, etc. Estos trabajos han sido considerados en la cronología de eventos desastrosos ocurridos en la zona.

Cabe resaltar, además, que estudios recientes efectuados por instituciones públicas y privadas, en la identificación de áreas de peligro y vulnerabilidades, como es el caso del Programa "Ciudades Sostenibles" del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), han permitido en el ámbito regional las evaluaciones en las ciudades de Huaraz, Yungay, Caraz, Ranrahirca, Recuay-Ticapampa-Catac. Estos estudios, en

algunos casos, han originado la aprobación de ordenanzas municipales, sin embargo, no se muestran avances significativos en una determinación adecuada de las medidas de prevención, debido a la falta de sensibilización de la población a la ocurrencia de desastres (Zavala, et. al., 2009).

METODOLOGÍA

La metodología empleada para el presente trabajo se basa en los trabajos recientes sobre análisis o evaluación de peligros geológicos, en el cual fueron necesarios la integración de etapas de trabajo de gabinete y campo.

El procedimiento en general se puede resumir en las siguientes etapas:

GABINETE I

- Recopilación de información cartográfica (mapas topográficos digitales del IGN a escala 1:100 000, 1: 50 000 y 1: 25 000, fotografías aéreas e imágenes satelitales), bibliográfica sobre aspectos geodinámicos (peligros geológicos históricos y recientes), hidrometeorológica, geológica, sísmica, hidrogeológica, cobertura vegetal y uso de suelo e infraestructura.
- Preparación del mapa base utilizando cartas topográficas del IGN. Preparación del Modelo digital de terreno (MDT), con apoyo de Sistemas de Información Geográfica (SIG), y elaboración del mapa de pendientes.
- Interpretación de fotografías aéreas, imágenes de satélite impresas y digitales de alta resolución SPOT 5 proporcionadas por el Proyecto FORDECL, así como, cartas topográficas para la elaboración del mapa geomorfológico.
- Análisis de los mapas geológicos existentes para la elaboración de mapas litológicos y de inventarios de movimientos en masas.

CAMPO

- Cartografiado geomorfológico-geodinámico e inventario de peligros geológicos (procesos activos y antiguos): movimientos en masa y geohidrológicos a escala 1: 25 000.
- Evaluación geodinámica de centros poblados, obras de infraestructura (no lineales) vulnerables a los peligros geológicos e identificación de zonas críticas.
- Caracterización y chequeo de unidades litológicas y unidades geomorfológicas en campo.

GABINETE II

- Elaboración de la base de datos de peligros geológicos y geohidrológicos y composición de los mapas de inventario de ocurrencias con ayuda del GIS.
- Digitalización y composición de mapas temáticos finales de factores: geomorfología, litología, pendientes, cobertura vegetal y uso de suelo.
- Organización de datos meteorológicos y de caudales para la elaboración de los hidrogramas de caudal líquido que sirvieron para las simulaciones numéricas de flujos de detritos y la creación de escenarios.
- Validación de las simulaciones numéricas sobre la base de imágenes de satélite SPOT 5.
- Elaboración de cuadros, figuras, selección de fotografías ilustrativas y redacción de memoria descriptiva del informe final.

ALCANCE Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El alcance principal de este estudio es el conocimiento geológico aplicado a la identificación de los peligros geológicos (movimientos en masa) y geohidrológicos (inundaciones y erosión fluvial) y la evaluación, análisis y generación de escenarios sobre la base de simulaciones de flujos de detritos de origen glaciar (aluviones) que son métodos donde es importante la experiencia del evaluador con ayuda de los SIG, para generar información adecuada del medio físico básico y muy útil para la prevención de desastres como ordenamiento territorial.

Entre las limitaciones, a pesar de la gran cantidad de información bibliográfica existente, se pueden mencionar:

- La falta multitemporal de fotografías aéreas en la zona: se contó solo con fotos de vuelo alto en muchos casos de los años 1962, 1963, así como, de vuelos bajos más recientes (1970, 1972 y 1980), en gran parte del Callejón de Huaylas y algunos sectores del Callejón de Conchucos. En las imágenes satelitales a escala 1:50 000, en muchos casos, se pudo diferenciar procesos de movimientos en masa (deslizamientos y avalanchas de rocas) con longitudes mayores a 250 m, procesos de erosión de laderas y flujos de detritos.

- La información hidrometeorológica no fue completa, pero sí se pudo generar un hidrograma tipo para la generación de escenarios aluviónicos.
- La escala de los mapas topográficos y la equidistancia de curvas de nivel no fueron los adecuados para generar un modelo de elevación digital que permita un análisis exhaustivo.

PARTICIPACIÓN

En el presente estudio participaron los siguientes profesionales de la Dirección Geología Ambiental y Riesgo Geológico:

GEOMORFOLOGÍA, GEODINÁMICA, CARTOGRAFÍA E INVENTARIO DE PELIGROS

Msc. Patricio Valderrama M.	Jefe de Proyecto
Ing. Carolina Silva E.	Geólogo Asistente
Ing. Sharon Dueñas B.	Geólogo Asistente
Bach. Gael Araujo H.	Geólogo Asistente

TRABAJOS DE CAMPO E INVENTARIO

Msc. Patricio Valderrama M.	Jefe de Proyecto
Ing. Sharon Dueñas B.	Geólogo Asistente

SIMULACIONES NUMÉRICAS Y GENERACIÓN DE ESCENARIOS

Msc. Patricio Valderrama M.	Jefe de Proyecto
-----------------------------	------------------

DIGITALIZACIÓN, COMPOSICIÓN DE PLANOS Y GIS

Ing. Carolina Silva E.	Geólogo Asistente
Bach. Gael Araujo H.	Geólogo Asistente

REVISIÓN

El texto del informe y los mapas temáticos fueron revisados por:

Ing. Lionel Fidel S.	Director de Geología Ambiental
Ing. Bilberto Zavala C.	Investigador principal del INGEMMET

Especial agradecimiento al Ing. Marco Zapata Luyo, al Ing. Nelson Santillán Portillo y al Ing. Jesús Gómez de la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del

Agua, por su invaluable apoyo durante las etapas de campo en la Cordillera Blanca. De igual manera a Carolina Silva y Sharon Dueñas por su ayuda durante los trabajos de campo y digitalización de mapas. Al Ing. Ricardo Aniya y Dra Miriam

Mamani por sus valiosas sugerencias para el mejoramiento de este boletín. Un agradecimiento especial para el Sr. Jaime Llosa y al equipo de EKODES Consultores por el apoyo con las imágenes de satélite y logística en la ciudad de Huaraz.

CAPÍTULO II

MARCO GEOGRÁFICO, CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO

MARCO GEOGRÁFICO

Ubicación de los glaciares en la Cordillera Blanca

Los glaciares en la cuenca del río Santa están ubicados en la Cordillera Occidental en el departamento de Ancash, con dirección SE - NO. Comprende desde la Laguna de Conococha, muy cerca de los límites con la región Lima (centro de Perú), lugar donde se origina el río Santa, hasta la cuenca del río Tablachaca en el límite con la región La Libertad (norte de Perú). Estos glaciares conforman el núcleo de la Cordillera Blanca, siendo parte del Callejón de Huaylas.

Sus límites están comprendidos entre las siguientes coordenadas:

- 8° 8' - 10° 0' Latitud sur.
- 77° 09' - 77° 53' Longitud oeste.

Durante los últimos años y debido al retroceso de los niveles de los glaciares, el límite altitudinal mínimo para los glaciares en la Cordillera Blanca es 4500 msnm, llegando a alturas superiores de 6768 msnm que corresponden al pico sur nevado Huascarán.

Accesibilidad

Dada la gran extensión de la Cordillera Blanca (más de 200 km. de largo), el acceso a la zona glaciar es obligatoriamente

desde los poblados y ciudades cercanos al río Santa, los cuales son unidas en su mayoría por la vía asfaltada que recorre de sur a norte el Callejón de Huaylas.

El sistema de transporte por carretera es el de mayor importancia en la región, conformado por tres tramos (mapa 1), tomando como polo de desarrollo la capital de la región Ancash, la ciudad de Huaraz:

- Carretera asfaltada Lima - Pativilca - Recuay - Huaraz, con prolongación hasta Carhuaz - Yungay y Caraz;
- Carretera afirmada Casma - Yaután - Huaraz;
- Carretera afirmada Chimbote - Chuquicara - Huallanca - Caraz.

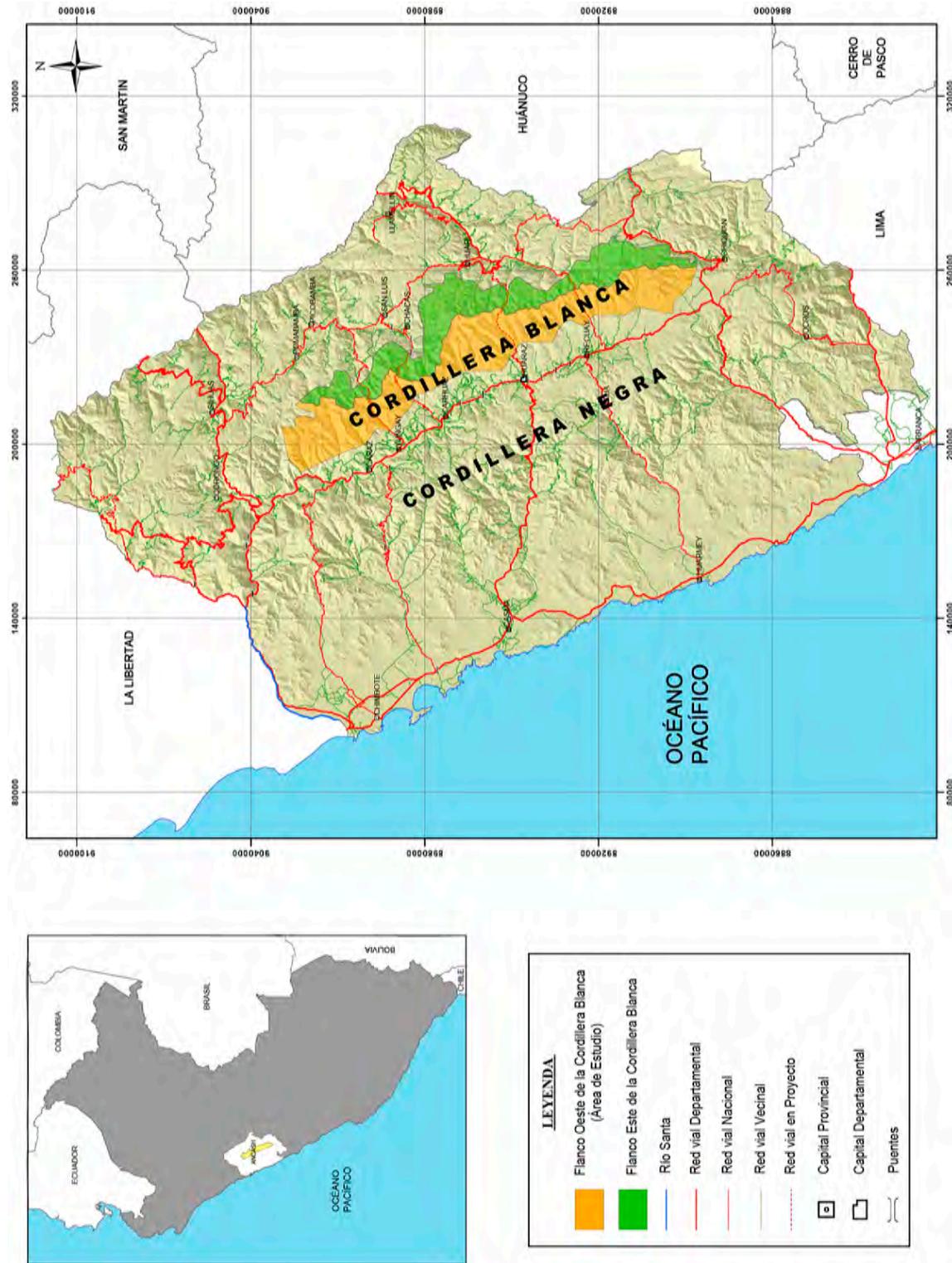
Además, se tiene varias carreteras transversales secundarias como la ruta Carhuaz - Chacas vía La Punta Olímpica o la ruta Yungay - San Luis vía Yanama. A estas rutas se suman las trochas carrozables de acceso a los principales valles glaciares.

Población

La población situada en las diferentes ciudades del flanco oeste de la Cordillera Blanca, ha estado desarrollándose más en áreas urbanas que en rurales, según los últimos censos realizados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2007), en la cuenca del río Santa hay aproximadamente 270,000 habitantes con un crecimiento anual de 0.8 %, siendo Huaraz

Cuadro 1
Población en el flanco oeste de la Cordillera Blanca

Provincias	Superficie (km ²)	Población	Crec. Prom. anual (%)	Densidad (Hab./km ²)
Huaraz	2493.33	147 463	1.4	59.14
Carhuaz	803.95	43 902	0.7	54.6
Recuay	2304.19	19 102	0.0	8.3
Yungay	1361.48	54 963	0.6	40.4
Caraz	2292.78	23 841	0.6	96.7



Mapa 1 Sistemas de carreteras y vías de acceso al Callejón de Huaylas y los glaciares de la Cordillera Blanca.

la ciudad con mayor número de habitantes en la cuenca, con un estimado de 147 463 habitantes con un crecimiento anual de 1.4%. (INEI, 2007).

Crecimiento Poblacional

La tasa anual promedio de crecimiento poblacional en Ancash en el periodo inter-censal 1981-1993 fue de 1.1 %, valor menor a los registrados en los periodos 1972-1981 y 1961-1972 que

fue de 1.4 % y 2.1 %, respectivamente. El cuadro 2 muestra el incremento de la población entre el año 1972 y 2007.

En las provincias situadas en el flanco oeste de la Cordillera Blanca, en el año 2004 se estimó 344 363 personas, con respecto al censo de 1993 se incrementó en 81 340 personas; es decir un 30.93 %.

Cuadro 2
Región Ancash: Crecimiento poblacional según provincias

Censo					
Años	1972	1981	1993	2005	2007
Población	761 441	862 380	983 546	1039 415	1063 459
Crecimiento		1.40%	1,10%	0.98%	

Cuadro 3
Provincias del flanco oeste de la Cordillera Blanca

Provincias	Pobl. Censo 1993	Población estimada año 2004	Pobl. Censo 2007
Huaraz	121 028	150 129	147 463
Yungay	50 188	611 98	54 963
Carhuaz	39 721	47 680	43 902
Huaylas	39 195	64 805	53 729
Recuay	12 891	20 551	19 102
TOTAL	26 3023	344 363	319 159

MARCO CLIMÁTICO

La Cordillera Blanca, por tener una morfología variada, posee diversos tipos de clima que van desde un clima cálido agradable hasta un clima de frío severo. En este marco, se desarrolla cada tipo de clima según las altitudes a las que se encuentran. Según Dávila, 1989, los climas en la Cordillera Blanca de acuerdo a su ubicación ecológica corresponden a:

Clima semiárido y templado

Este patrón climático se localiza entre los 2000 y 3200 msnm. En este sector las lluvias son abundantes, con un promedio de

precipitación de 380 mm anuales, aumentando este promedio con la altitud.

La temperatura promedio fluctúa entre 16 °C y 12 °C con una humedad relativa de 67 %. Ecológicamente corresponde a la formación estepa espinosa montano bajo, con vegetación natural representada por gigantones, candelabros, tunas, tara, molle, sauce, carrizo, higuierillas, agaves, retamas, alisos, nogales, capulí y gramíneas como el kikuyo. Entre los principales cultivos se puede citar al trigo, maíz, papa, arveja, lenteja, frutales diversos y pastos escasos que son aprovechados por el ganado vacuno y ovino.

Clima subhúmedo y frío

Comprendido entre las cotas 3200 a 3800 msnm. Se registra una precipitación promedio de 645 mm anuales, con un marcado aumento cuando se interna al norte del Callejón de Huaylas donde el promedio anual de precipitación llega a ser de 774.2 mm. Tiene una temperatura promedio anual de 11.0 °C, oscilando sus valores mínimos entre 1.9 °C y 2.6 °C de promedio anual a nivel de la localidad de Huaraz. En los niveles altitudinales medio y superior la ocurrencia de heladas es intensa. Tiene una humedad relativa de 65 % a 67 %.

Ecológicamente corresponde a las formaciones estepa montana y bosque húmedo montano. La vegetación natural está conformada por el agave, molle, retama y gramíneas. La actividad forestal es regular con eucaliptos, y en la mayoría de las quebradas se observa cierta vegetación de especies herbáceas arbustivas y arbóreas. En el nivel superior aparecen las praderas naturales de gramíneas forrajeras (pajonales). Entre los principales cultivos se puede citar: papa, trigo, cebada, maíz, arveja, haba y olluco.

Clima muy húmedo y frígido

Está comprendido entre las cotas 3800 a 4800 m. La lluvia se hace más intensa en los meses de noviembre a marzo; se estima un promedio de 900 mm a 800 mm de precipitación al año. Las temperaturas son bajas y su promedio anual está alrededor de los 6.6 °C, llegando en las noches a temperaturas

de congelación. Tiene una humedad relativa promedio anual de 68 %.

Ecológicamente se puede considerar como la formación páramo muy húmedo subalpino cuya vegetación está constituida casi exclusivamente por gramíneas de tipo forrajero que le da mayor valor económico a este sector. Además, en forma diseminada, especies arbustivas y/o arbóreas. Bosques aislados (principalmente de queñuales) en las laderas de la Cordillera Blanca, junto a las lagunas y nacientes de quebrada entre los 3800 a 4600 msnm.

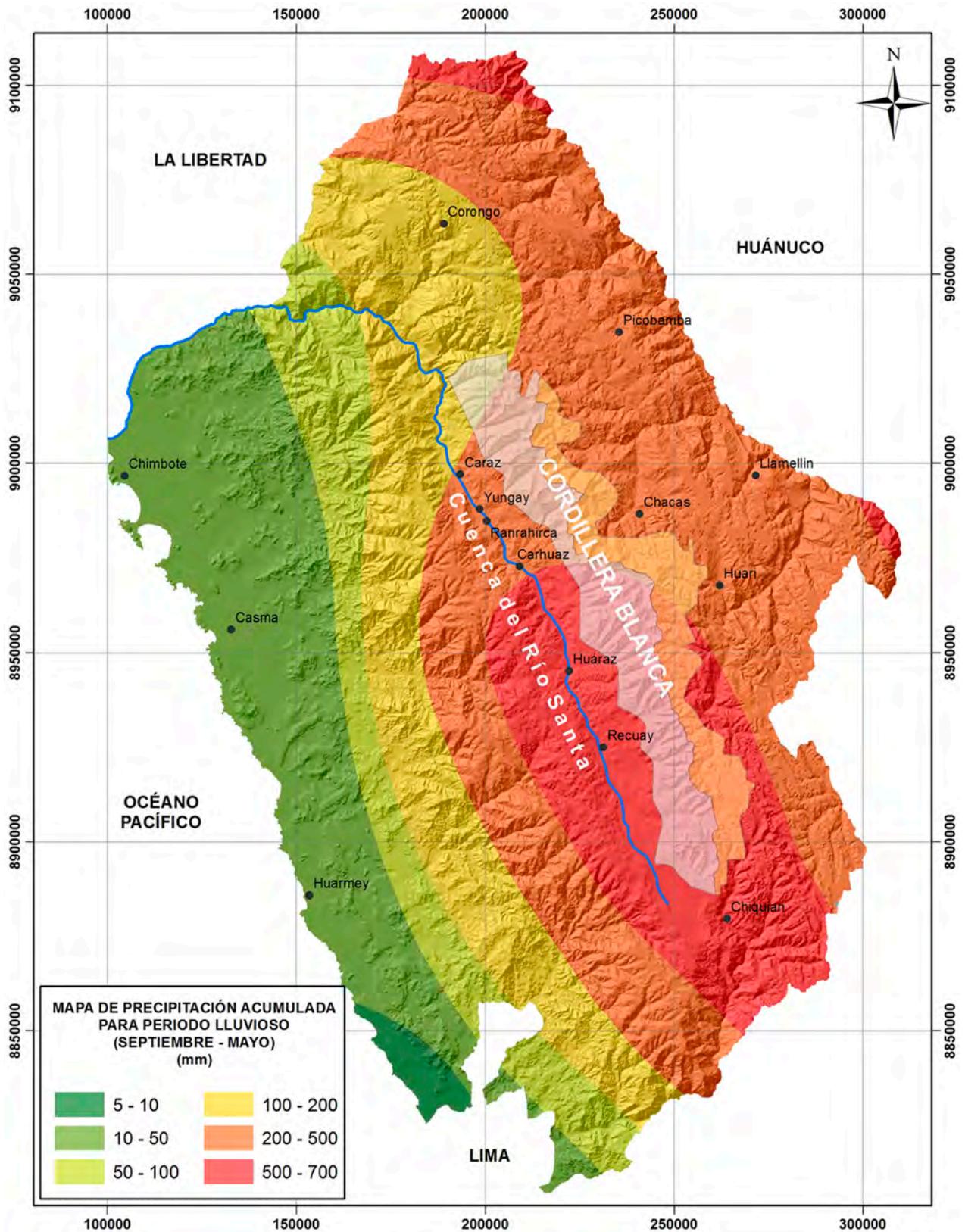
Clima pluvial y gélido

Esta área se extiende sobre los 4800 m de altitud ubicada mayormente a lo largo de la Cordillera Blanca. Se asume que el promedio de precipitación está alrededor de los 1000 mm anuales y que gran proporción de esta precipitación cae en estado sólido (granizo, nieve y neviza), con temperaturas de congelación casi permanentes entre los 7 °C y -18 °C. Ecológicamente está comprendido en la formación tundra pluvial alpino, donde se desarrollan especies vegetales hemcriptofíticas almohadilladas o arrosadas, entremezcladas con algunas gramíneas de desarrollo muy reducido.

De los datos del cuadro 4 se puede ubicar a la Cordillera Blanca el contexto de precipitaciones pluviales en la región Ancash (mapa 2).

Cuadro 4
Características climáticas en la Cordillera Blanca

Características climatológicas	Allitud msnm	Precipitación pluvial (promedio Anual mm.)	Temperatura Promedio anual (°C)	Humedad relativa (%)
1. Clima semiárido y templado	2000 - 3200	380	16 - 12	67
1. Clima subhúmedo y frío	3200 - 3800	645 - 774.2	11	65 - 67
2.- Clima muy húmedo y frígido	3800 - 4800	800 - 900	6.6	68
3.- Clima pluvial y gélido	Más de 4800	1000	7 y -18	-



Mapa 2 Precipitaciones acumuladas en periodo lluvioso para la región Ancash. Fuente: SENAMHI

MARCO HIDROLÓGICO

El ámbito hidrológico está comprendido por los afluentes que bajan del flanco oeste de la Cordillera Blanca, hasta llegar al río Santa que es el principal colector de la cuenca.

El río Santa nace en la parte sur de la Cordillera Blanca, en el nevado Tuco, con el nombre de quebrada Tuco, siguiendo una dirección norte-sur a sur-oeste. Ingresa en la laguna de Aguashcocha, cuya escorrentía, después de recorrer por la pampa de Lampas, llega a la laguna de Conococha. Al salir de esta laguna, las aguas toman el nombre de río Santa y sigue

una dirección sur-sureste a norte-noroeste, formando el valle que se ha denominado "Callejón de Huaylas".

Al norte de la ciudad de Caraz, el río forma el "Cañón del Pato" para luego formar un gran arco hasta la confluencia con el río Tablachaca continua hacia el oeste y luego desde la quebrada El Silencio hasta Tanguche, toma un rumbo suroeste y luego sur-suroeste hasta desembocar en el Pacífico, al norte de la ciudad de Chimbote. Las características principales del río Santa se describen en el cuadro 5 y el cuadro 6 donde se muestra los ríos pertenecientes a la red de drenaje del flanco oeste de la Cordillera Blanca (mapa 3).

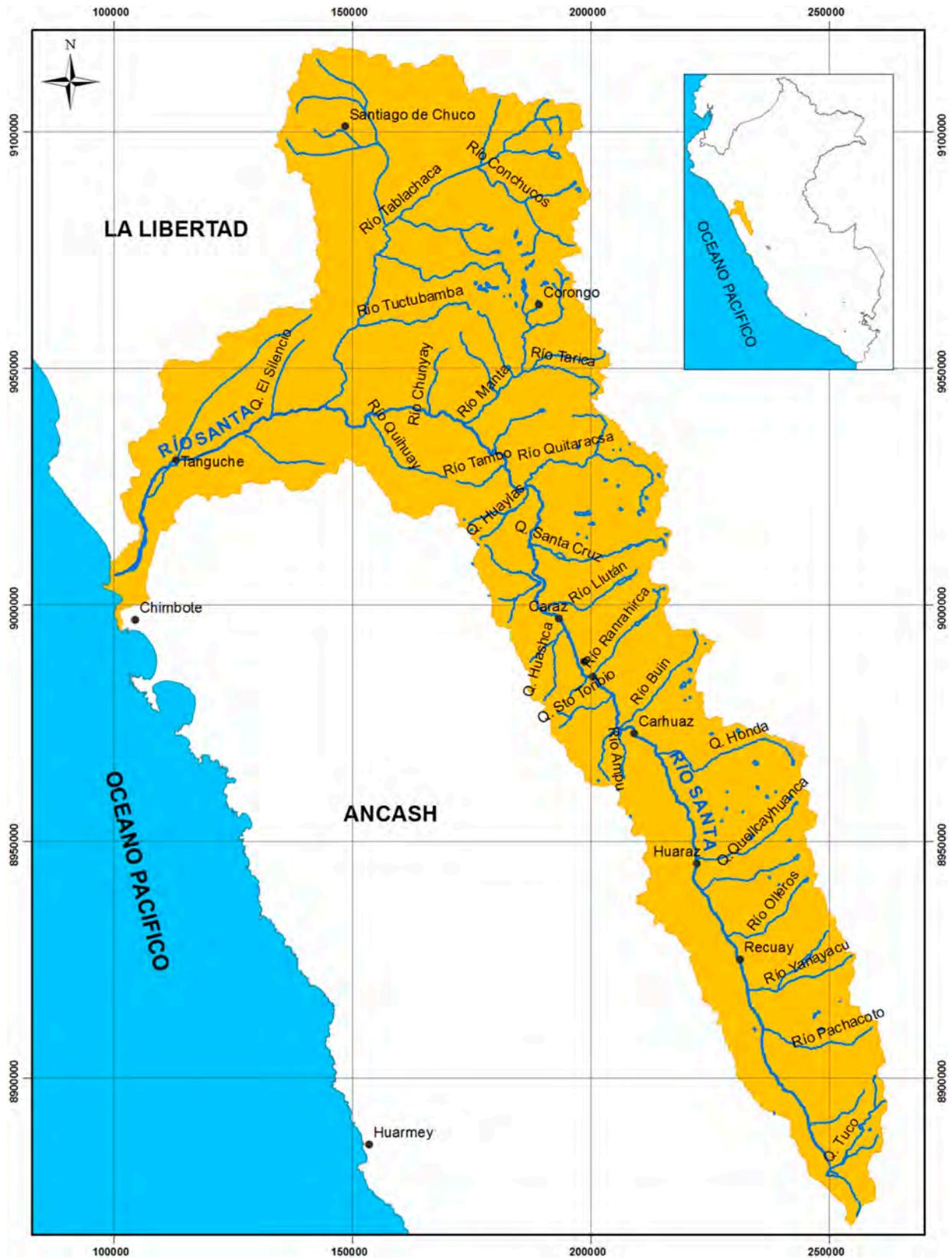
Cuadro 5
Principales datos de la cuenca del río Santa

Área	(km ²)	12 200
Longitud	(km)	320
Caudal medio anual	(m ³ /s)	158.2
Pendiente promedio	(%)	1.4

Cuadro 6
Principales ríos en el flanco oeste de la Cordillera Blanca

Río	Longitud (km)	Pendiente (%)	Área (km ²)
Pachacoto	28	4.2	200
Querococha	24	4.0	283
Olleros	23	6.0	72
Quillcay	28	6.0	251
Chancos	30	5.0	285
Chucchun	15	12.3	-
Ranrahirca	25	7.4	178
Lullán	24	9.0	153
Colcas (Qda. Yuracmayo)	32	7.8	235
Los Cedros	22	12.5	108
Quitaracsa	40	8.0	380
Manta	40	8.3	843

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 3 Cuenca hidrográfica del río Santa. Fuente: ANA.

Las principales características hidrológicas de las afluentes del río Santa se muestran en el cuadro 7.

Los ríos pertenecientes a estas cuencas se caracterizan por

presentar avenidas máximas en los meses de diciembre a mayo, donde se acentúa el periodo lluvioso, disminuyendo su caudal en el periodo de estiaje comprendido entre los meses de junio a noviembre.

Cuadro 7
Características hidrológicas de las principales cuencas del río Santa

Estación	Caudal medio m ³ /s	Área de cuenca km ²	Área sin nevados km ²	Área de nevados km ²	Longitud km	Pendiente (%)	Nº de Glaciares
Pachacoto	4.27	201.50	179.00	22.50	28	4.2	
Querococha	1.72	62.70	58.60	4.10	24	4.0	
Olleros	4.76	174.30	149.2	25.10	23	6.0	
Quillcay	7.08	249.50	199.60	49.90	28	6.0	40
Chancos	8.24	209.90	140.5	69.50	30	5.0	
Chucchun					15	12.3	
Ranrahirca		178			25	7.4	
Llullan		3197			24	9	
Colcas (Qda, Yuracmayo)	5.74	234.30	188.4	45.90	32	7.8	
Cedros	3.46	114.50	91.45	23.05	22	12.5	34
Quitaracsa	11.03	384.90	351.8	33.32	40	8.0	40
Manta	7.84	561.30	558.15	3.15	40	8.3	23
Tablachaca		3197			91	3.7	
Parón	1.85	53.30	24.30	29.00			
Llanganuco	2.99	84.00	46.50	37.50			22

Glaciares y lagunas

Los glaciares existentes en la Cordillera Blanca están constituidos por acumulaciones de hielo permanente (todo el año) y un porcentaje importante de nieve estacional que se suma en las épocas de mayor precipitación pluvial. Se encuentran distribuidos altitudinalmente, en su mayoría, por encima de los 5000 msnm y son la principal fuente de recurso hídrico del Callejón de Huaylas.

Las lagunas, originadas por los deshielos de los glaciares, ubicadas en la parte alta de casi todas las cuencas glaciares son las que representan la mayor fuente de almacenamiento

de agua para las grandes ciudades del Callejón de Huaylas (Recuay, Huaraz, Caraz, Yungay, y Carhuaz) y para sus pequeños poblados anexos a estas. Además, las aguas provenientes de las lagunas de origen glaciar son una fuente energética invaluable para el centro de Perú ya que gracias a las aguas del río Santa funciona la Central Hidroeléctrica del Cañón del Pato que, además, usa una laguna natural como fuente de recarga permanente de las turbinas (laguna de Parón–Caraz). De igual manera, pequeños generadores hidroeléctricos abastecen de este recurso a pequeños poblados, centros mineros, etc.

CAPÍTULO III

CONTEXTO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

CONTEXTO GEOLÓGICO

El mapa litológico-estructural de la Cordillera Blanca ha sido elaborado sobre la base de los estudios del levantamiento de la Carta Geológica Nacional a escala 1:100 000, realizados por la Dirección de Geología Regional, cuya información se encuentra en 8 boletines de INGEMMET (Cobbing et al, 1973 y 1996; Myers, 1980; Sanchez, 1995; Wilson & Garayar, 1996; 1998), que abarcaron los cuadrángulos de Corongo, Carhuaz, Huarí, Huaraz y Recuay. Asimismo, se interpretaron imágenes satelitales LANDSAT y SPOT 5, fotografías aéreas y se realizaron las verificaciones de campo respectivas.

En la litología, se evaluó el tipo de material presente (roca o suelo), y sus características físico-mecánicas los cuales definen su grado de susceptibilidad a los movimientos en masa (Medina, 1991).

En el aspecto estructural, se considera a los sistemas de discontinuidades presentes en la roca, como planos de debilidad (estratificación, diaclasas o esquistosidad), estructuras tectónicas (pliegues, fallas), en los cuales se ha presentado desplazamiento relativo de masas (Kaiser & Simmons, 1990). Su influencia en la susceptibilidad a los movimientos en masa está gobernada por el rumbo, buzamiento (en relación al talud o inclinación de laderas), apertura, espaciamiento y continuidad, grado de actividad (fallas activas, etc.), entre otros. (Suárez, B., 1998).

Para la delimitación de las diferentes unidades litológicas se tomó como patrón los tipos de roca predominantes que se agruparon por el grado de homogeneidad de sus propiedades geotécnicas (rocas y suelo), el grado de fracturamiento, de meteorización y de resistencia a la erosión, en función a su mayor o menor propensión a producir movimientos en masa, independientemente de su edad.

De acuerdo a lo antes mencionado, los principales grupos de suelo y rocas se han clasificado en dos grandes unidades: El substrato rocoso y el depósito inconsolidado (ver mapa 4).

Substrato rocoso

El substrato rocoso lo comprende principalmente el batolito de la Cordillera Blanca y, en menos grado, formaciones de rocas volcánicas y sedimentarias aflorantes al norte de la cuenca del río Santa.

El batolito de la Cordillera Blanca está constituido predominantemente de tres principales tipos de litología: leucogranodiorita a biotita, muscovita y feldespato-K, monzogranito rosado con biotita y hornblenda y una tonalita a granodiorita a hornblenda y biotita, con pegmatitas concentradas en las áreas marginales. El batolito de la Cordillera Blanca está fuertemente foliado hacia la falla (Cobbing et al., 1981).

Las principales estructuras internas del batolito son: una foliación bastante general y un juego bien desarrollado de diaclasas. El sistema de diaclasas dentro del batolito consiste en un grupo de rumbo NO-SE y otro de rumbo aproximado NE-SO; ambos sistemas son verticales. Además, hay un tercer juego de diaclasas subhorizontales. Muchas de ellas muestran evidencias de movimiento o asociación con estrías de fallamiento.

Este batolito se caracteriza por tener una de las fallas geológicas neotectónicas más importantes de la zona. Su extensión es de aproximadamente 200 km., iniciándose posiblemente al sur de la laguna Conococha se extiende hasta el nevado Rosco. Las edades obtenidas para el batolito según dataciones K/Ar corresponden al Mio-Plioceno, variando entre los 16 a 2.7 MA (Stewart et al., 1974).

Los afloramientos de rocas volcánicas se encuentran en la parte norte de la cuenca del río Santa. Están básicamente conformados por tobas de coloración clara; conforman algunas secuencias del Grupo Calipuy (Paleógeno y Neógeno) y afloran en el cuadrángulo de Carhuaz en los alrededores de la ciudad de Caraz. Por sus características son susceptibles a la ocurrencia de caída de rocas.

Los afloramientos de rocas sedimentarias se agrupan cercanos a los poblados de Carhuaz y Yungay y al sur de la Cordillera Blanca (sectores de Recuay, Catac), en los cuales se tiene agrupaciones rocosas de areniscas, calizas y varias secciones de depósitos evaporíticos (yesos, sales, etc.) mayormente de edad Cretácica.

Formación Chicama: representado por una ancha faja de lutitas grises oscuras a negras, pizarras y areniscas, se encuentra concordante a la Formación Oyón.

Formación Oyón: perteneciente al Cretáceo inferior, constituido de limolitas, lutitas gris oscuras intercalados con areniscas pardo amarillenta y grises, y niveles de carbón.

Grupo Goyllarisquizga: perteneciente al Cretáceo inferior, el grupo se divide en cinco formaciones:

- Formación Chimú: litológicamente formada por bancos macizos de areniscas cuarzosas marrones con intercalaciones lutáceas, areniscas y lutitas con mantos de carbón y andracita.
- Formación Santa: sobreyace a la Formación Chimú e infrayace a la Formación Carhuaz, ambos contactos son concordantes, está representada por lutitas gris oscuras con nódulos calcáreos y algunas capaz de caliza arenosa olítica, tanto la lutita como la caliza son ferruginosas.
- Formación Carhuaz: infrayace concordante a la Formación Farrat, litológicamente consiste de areniscas en capas delgadas, con abundantes intercalaciones de lutitas negras o grises en la parte baja de la formación e intercalaciones de conglomerado en la parte superior de la formación.
- Formación Farrat: yace discordantemente encima de la Formación Carhuaz y subyace discordante a la Formación Pariahuanca. Areniscas cuarzosas blanquesinas en capas delgadas a medianas, con algunas intercalaciones de lutitas rojas.

Formación Pariahuanca: fue considerada por BENAVIDES (1956) de edad Aptiano a Albiano inferior son unidades calcáreas del Cretáceo inferior, infrayace en relación concordante a la Formación Chulec.

Formación Pariatambo: descansa concordante sobre la Formación Chulec, tiene una edad comprendida en el Albiano medio, constituida por margas marrón oscuras con frecuentes intercalaciones de calizas en estratos delgados con limoarcillitas calcáreas gris oscuras.

Formación Chulec: de acuerdo a BENAVIDES (1956) la fauna encontrada en la Formación Chulec es del Albiano medio, litológicamente la formación consiste en una mezcla de calizas y margas, la Formación Chulec es registrada conjuntamente con la Formación Pariatambo porque su representación en planos geológicos no es posible por su reducido grosor.

Grupo Calipuy: es de edad Cenozoica, extendiéndose desde el Eoceno hasta el Mioceno, descansa en discordancia angular sobre formaciones mesozoicas. Litológicamente son rocas piroclásticas de composición andesítica, lavas andesíticas e ignimbritas dacíticas. Está representado a su vez por tres miembros.

- Formación Calipuy superior: constituido por tobas soldadas.
- Formación Calipuy medio: teóricamente esta secuencia se depositó en un ambiente lacustre de extensión reducida en el área de Recuay.
- Formación Calipuy inferior: constituido por flujos y tobas de flujos de ceniza y lapilli, tobas, aglomerados y conglomerado basal, representativo por sus coloraciones rojizas bien estratificadas donde alternan piroclastitas dacíticas-riolíticas.

Formación Yungay: (Edad Mioceno – Plioceno), litológicamente consiste de tobas dacíticas blancas o gris claro, friable y pobremente estratificados. La Formación Yungay yace sobre una superficie de erosión irregular en rocas sedimentarias del Cretáceo, rocas plutónicas de la Cordillera Blanca y rocas del Grupo Calipuy.

Depósitos No - consolidados

Esta unidad agrupa a los depósitos poco o nada coherentes, de extensión y grosor variables, constituidos por una litología heterogénea depositados desde el Pleistoceno, hasta la actualidad, agrupados en función a su origen.

De acuerdo a su origen se clasifican en: fluviales y aluviales; glaciales, glacio-fluviales, coluvio-deluviales, los cuales se desarrollarán a continuación.

Depósitos fluviales y aluviales

Los depósitos fluviales constituyen los materiales ubicados en el cauce o lecho de los ríos y/o quebradas, terrazas bajas inundables y llanura de inundación. Están constituidos por cantos y gravas subredondeadas en matriz arenosa o limosa,

mezcla de lentes arenosos y areno-limosos; son depósitos inconsolidados a poco consolidados hasta sueltos, fácilmente removibles y su permeabilidad es alta.

Los depósitos aluviales los conforman las extensas llanuras aluviales y terrazas (altas y medias) a diferentes niveles sobre los valles principales y tributarios mayores; así como, al pie de las lagunas. Sus depósitos van desde no consolidados a semi-consolidados, estos últimos por estar erosionados por los cauces actuales. Estos depósitos generalmente corresponden a una mezcla heterogénea de gravas y arenas, redondeadas a subredondeadas en las llanuras y gravas subangulosas a subredondeadas.

Depósitos glacio-fluviales

Están conformados por materiales de morrenas que han sido retransportados por acción fluvial o por gravedad. Están compuestos por materiales heterogéneos de gravas subredondeadas en matriz areno-limosa, de potencia y permeabilidad variable, medianamente compactos. Se encuentran ocupando las laderas de montañas de zonas glaciares rellenando los valles glaciares y frentes de montaña generalmente en forma de talud de detritos. Son susceptibles a erosión de laderas, derrumbes, avalanchas de detritos, deslizamientos por la acción de las aguas superficiales y de infiltración.

Depósitos glaciares

Se caracterizan por presentar acumulaciones de morrenas, las que están compuestas por material heterogéneo producto de la actividad glacial pleistocénica y de glaciaciones recientes. Sus sedimentos son sueltos, conformados por partículas de diferentes tamaños sin estratificación, ni clasificación. Están compuestos por arcillas, grava y bloques angulosos a subangulosos, envueltos en una matriz arenosa y limoarcillosa, son poco compactos, forman crestas y lomadas alargadas. Se encuentran distribuidos en zonas de frente glacial a lo largo de la Cordillera Blanca. Los depósitos morrénicos presentes en la Cordillera Blanca son de edad holocena ($\pm 10\ 000$ años).

El estudio de los depósitos morrénicos ha tomado gran importancia, dado que estos depósitos han sido los principales detonantes de los últimos grandes flujos de detritos de origen glacial (aluviones). Claros ejemplos fueron los flujos de detritos de la Qda. Aobamba 1998 (Urubamba, Cusco), Qda. Cojup 1941, 2003, 2008 (Huaraz, Ancash) Qda. Ulta 1943 (Carhuaz, Ancash), etc.

Depósitos coluvio-deluviales

Agrupar los depósitos de pie de monte de diferente origen (gravitacional y fluvio-gravitacional), que se acumulan en vertientes o márgenes de los valles como también en laderas superiores que, en muchos casos, son resultado de una mezcla de ambos.

A los depósitos coluviales o de caída se les reconoce por su geometría y son producto de deslizamientos, derrumbes y movimientos complejos. Están conformados por material, generalmente grueso, de naturaleza homogénea, heterométricos y mezclados con materiales finos como arena, limo y arcilla, como matriz en menor proporción.

Los depósitos deluviales están referidos a acumulaciones pequeñas a moderadas de depósitos de vertiente; su origen está asociado generalmente a flujos no canalizados y también a movimientos complejos (derrumbe-flujos o deslizamiento-flujo).

SISMOTECTÓNICA

La sismotectónica del Perú se caracteriza por la colisión y subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, lo que ha dado origen a la fosa peruano-chilena, a la Cordillera de los Andes, a los principales sistemas de fallas activas y a la ocurrencia continua de un gran número de sismos de diversas magnitudes. Estas características geomorfológicas, geológicas y geofísicas permiten considerar al Perú como uno de los países de mayor riesgo sísmico en América Latina (Zavala et al, 2009).

Según diversos estudios de neotectónica a nivel nacional, como los realizados por Sébrier et al., 1982, el Mapa Neotectónico Nacional elaborado por Leureyro et al., 1991 entre otros han permitido identificar la presencia de un número importante de fallas activas en nuestro territorio, las cuales significan un foco latente para la generación de sismos.

El origen y evolución de la Cordillera Blanca están muy ligados a procesos tectónicos. Durante el levantamiento de los Andes, un sistema de fallas muy profundas favoreció la salida de material magmático-intrusivo generando un gran batolito. Debido a su gran tamaño y a los procesos de erosión y levantamiento andino, este batolito alcanza alturas que sobrepasan los 6000 msnm lo que generó el ambiente propicio para la formación y acumulación de glaciares, que tiempo después excavaron grandes valles glaciares, circos glaciares formaron morrenas y lagunas, naciendo así la Cordillera Blanca.

El borde oeste del batolito está limitado por la falla de la Cordillera Blanca, la cual tiene una dirección entre N140 - N150, con buzamientos entre 55° y 75° hacia el suroeste. Presenta movimientos principalmente normales a ligeramente sinestrales. El sistema de fallas tiene una longitud de 190 km y cada una de las fallas que lo conforman no tiene más de 8 km y se puede apreciar saltos verticales de 1 hasta 50 m (fotografía 1).

Según estudios (Farber et al., 2005) la falla de la Cordillera Blanca tuvo varias reactivacionesⁱ en los últimos 50 mil años. Aún no se realizan estudios que puedan determinar la relación exacta entre estas reactivaciones y la formación de los grandes depósitos aluviales al borde del río Santa, considerando que con cada sismo generado por la falla de la Cordillera Blanca se debió desencadenar un gran aluvión de origen glaciar.



Fotografía 1A Salto de la falla de la Cordillera Blanca de más de 30 metros en la zona de Cojup – Huaraz

ⁱ como reactivaciones se entiende a movimientos totales o parciales que son generados por sismos localizados generalmente muy superficiales y por lo tanto de una intensidad considerable.



Fotografía 1B Turistas rumbo a la laguna de Shurup - Huaraz. El camino corta el salto de la falla de la Cordillera Blanca que en esa zona tiene 4 metros de altura.

CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

En este contexto se analizará los principales rasgos geomorfológicos en el flanco oeste de la Cordillera Blanca, desde las altas cumbres glaciares hasta llegar al río Santa. Se han diferenciado las siguientes unidades (ver mapa 5)

Abanicos proluviales y aluvionales

Son depósitos de flujos de detritos canalizados, acumulados en forma de abanicos ubicados en la parte final o desembocadura de una quebrada, valle glaciar o curso fluvial (generalmente de régimen torrencioso, estacional o excepcional) al río principal, el río Santa.

Puede mostrar evidencias de cierre (represamiento) de valle total o parcial y/o desvíos de cursos fluviales, controlando la morfología actual del valle del río Santa. Debido a que su origen está dado por eventos individuales de diferente magnitud, mostrando áreas de depósito de regular extensión, altura variable, así como, ligera pendiente hacia el valle, se confunden en algunos casos con terrazas aluviales.

Por su origen, están asociados a eventos no regulares, posiblemente, ligado a eventos climáticos excepcionales como

ocurrencias de ciclos del Fenómeno de El Niño o movimientos en masa detonados por lluvias excepcionales de gran intensidad en el valle del río Santa.

En estas geoformas se emplazan las ciudades más importantes de la cuenca del río Santa como Huaraz que se emplaza sobre un abanico aluvial de una área aproximada de 3.74 km² y una altura promedio de 3060 msnm; el distrito de Marcará ubicado sobre un abanico aluvial de 1.74 km² de área y una altura promedio de 2730 msnm; Carhuaz, en un abanico de 4.29 km² y altura promedio de 2680 msnm; las ciudades de Yungay (la antigua) y Ranrahirca ubicadas sobre abanicos de una área aproximada de 11.5 km² y la ciudad de Caraz (imagen 1) en un abanico de 14.5 km² de área aproximada.

Depósitos coluviales/deluviales

En esta unidad se agrupan los depósitos de naturaleza coluvial (producto de la meteorización mayormente física, resultantes principalmente de la acción transportadora de la gravedad), y son susceptibles a producir caídas de rocas, caídas de detritos (fotografía 2), avalanchas de rocas al detonarse un sismo de magnitud local mayor a IV, precipitaciones pluviales extremas, etc. Esta unidad está presente, en su mayoría, en los valles glaciares.

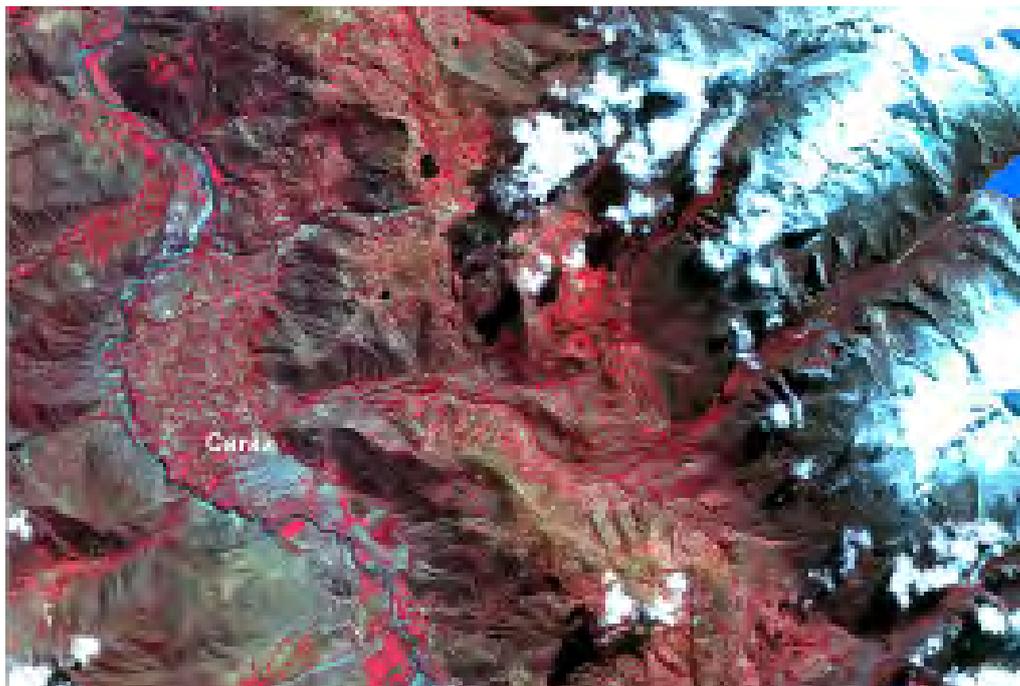


Imagen 1 Imagen Satelital Spot 5 de la ciudad de Caraz, emplazada en un gran abanico aluvial.



Fotografía 2 Caída de detritos originados por gravedad en depósitos morrénicos, laguna Llaca (Huaraz)

Quebradas

Esta unidad se encuentra al pie de la Cordillera Blanca, principalmente, como parte de los depósitos fluvioglaciares. Se caracteriza por su forma en "V" (fotografía 3), la que fue originada por la acción erosiva de las precipitaciones pluviales. No tienen gran extensión (menor a 300 metros) y por ellas discurren flujos de detritos de baja potencia (fotografía 4) que se generan en época de lluvias.

Planicie aluvial o terraza alta/fondo de valle fluvial

Estos son terrenos ubicados por encima del cauce y llanura de inundación fluvial, de escasa pendiente, de ancho variable, limitados por la altura de los valles. Se consideran también fondos de valle que presentan terrazas fluviales o fluvioglaciares de poca altitud con pendiente muy suave. En estas zonas son muy comunes la erosión fluvial y el socavamiento de taludes que generan derrumbes, deslizamientos y otros.



Fotografía 3 Clásica forma en V de una quebrada en material fluvioglacial, parte alta sector Olleros.



Fotografía 4 Quebrada en material fluvioglacial que transporta pequeños flujos de detritos estacionales, norte de Recuay.

Esta unidad se encuentra principalmente en las orillas del río Santa (imagen 2) y los grandes ríos que descienden de la Cordillera Blanca (Quilcay - Huaraz, Ranrahirca, Buin – Shilla, Chucchu - Carhuaz).

Valles glaciales

Los valles glaciales de la Cordillera Blanca tienen la típica forma en “U”, originado por la acción erosiva de los



Imagen 2 Vista satelital Spot 3D del sector de Anta, nótese las llanuras de inundación y las terrazas fluviales dejadas por el río Santa. En una de ellas se ubica el Aeropuerto de Anta, único aeropuerto en el Callejón de Huaylas.

glaciares. Las pendientes de las laderas varían de un lugar a otro, encontrándose laderas significativamente empinadas (fotografía 5) en donde se desarrollan los diversos movimientos en masa.

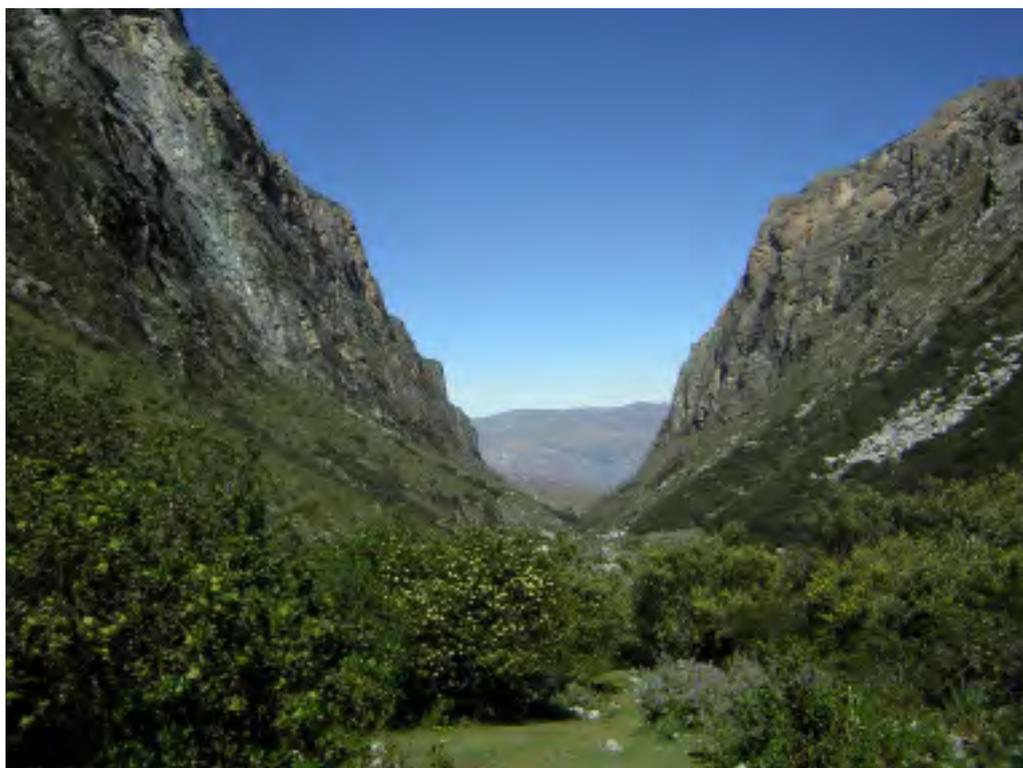
Los valles glaciares que se encuentran en la Cordillera Blanca presentan pendientes que van desde suaves (3 grados) en el sur, aumentando gradualmente hacia el norte; condicionado principalmente por la litología de la zona.

Al sur de la Cordillera Blanca se tiene la predominancia de rocas sedimentarias (Grupo Goyllarisquiza) y rocas volcánicas (Grupo Calipuy) los cuales no ofrecen mucha resistencia a la erosión, motivo por el cual los valles glaciares son de laderas mas suaves; mientras que en el centro y norte de la Cordillera Blanca predomina el batolito de la Cordillera Blanca (granito-granodiorita) que ofrece alta resistencia a la erosión, motivo por el cual se tiene grandes “paredes verticales” con alturas de hasta mil metros (fotografía 6).

- **Valles glaciales colgados o interrumpidos**

Los valles glaciares colgados (fotografía 7), se originan por la acción del desarrollo de dos lenguas glaciales al mismo tiempo, en la que una genera un grado de erosión en el suelo (excavación) menor a la principal, por lo que una vez retirado el hielo, ésta queda topográficamente por encima de la otra debido a una menor erosión.

En la Cordillera Blanca se tiene varios tipos de valles glaciares colgados, algunos con menos de 100 metros de largo como los presentes en la parte alta de la quebrada Cojup (Huaraz) y aquellos que tienen más de 200 metros de largo e inclusive con varias quebradas pequeñas que desembocan en ellos, como es el caso de la quebrada Uquian (Olleros). Además, se tiene los grandes valles glaciares colgados que albergan lagunas glaciares como la quebrada Ruripaccha (imagen 3), en el sector de Quebrada Honda (Marcara).



Fotografía 5 Vista desde el interior del valle glacial Cojup (Huaraz), se muestra la forma característica en "U" por la erosión de los glaciares.



Fotografía 6 Paredes verticales del valle glacial con más de mil metros de altura, valle glacial de Llanganuco, Yungay.



Fotografía 7 Valle glacial colgado (lado izquierdo), en la zona sur de la Cordillera Blanca.

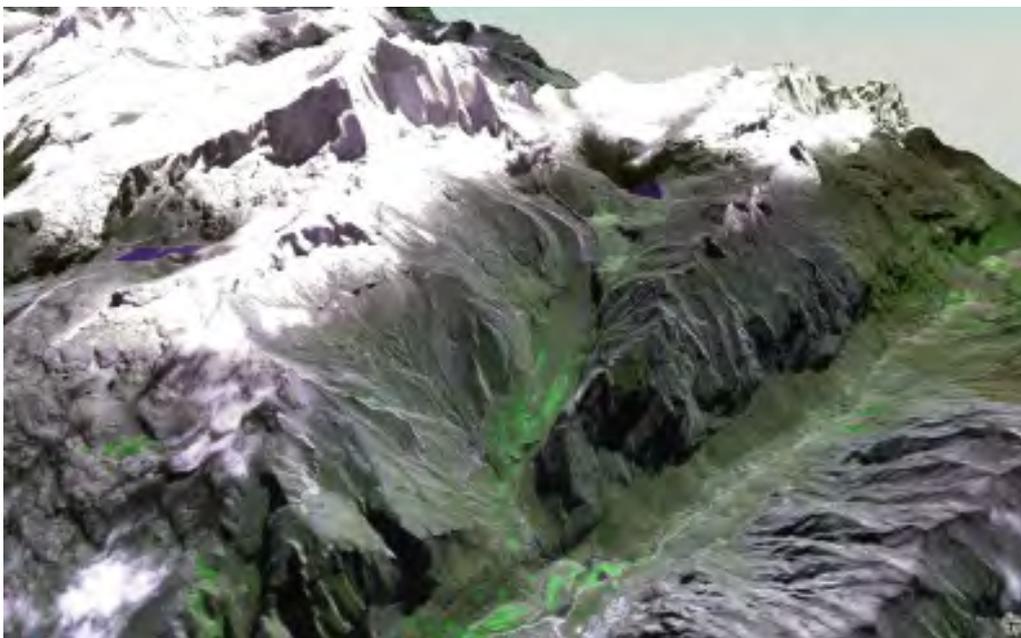


Imagen 3 Imagen de Satélite 3D de la quebrada Ruripaccha (Marcará) donde se aprecia sistemas morrenicos y lagunas dentro del valle glacial colgado.

Lagunas

Debido al retroceso de los frentes glaciares, se han originado numerosas lagunas que están ubicadas al pie de los nevados. Sus diques, naturales en su mayoría, son de material morrénico y en otros casos de material rocoso. El número total de lagunas existentes en la Cordillera Blanca es de 834 (ANA, 2010).

Las lagunas de la Cordillera Blanca son la principal fuente de almacenamiento de recurso hídrico para el Callejón de Huaylas.

Las lagunas en la cuenca del río Quilcay, por ejemplo, sirven para proporcionar agua potable a los casi cien mil habitantes de la ciudad de Huaraz, las lagunas de Llanganuco (Chinancocha y Orgoncocha) (fotografía 8) y la laguna de Querococha en Catac (fotografía 9) son uno de los principales atractivos turísticos de Yungay, mientras que la laguna de Parón (Caraz) sirve como fuente hídrica para las turbinas de generación eléctrica de la central hidroeléctrica del Cañón del Pato.



Fotografía 8 Vista panorámica de las lagunas Llanganuco (Yungay), se observa dos abanicos proluviales situados en medio de las lagunas.



Fotografía 9 Laguna Querococha (Catac), en la parte sur de la Cordillera Blanca.

Morrenas

Las morrenas o depósitos morrénicos son la expresión geomorfológica de depositación glaciar en forma de lomadas alargadas y acolinadas. Estos depósitos se encuentran acumulados en las laderas superiores de los valles glaciares, márgenes de valles glaciares o bordeando algunas lagunas de origen glaciar. Por su naturaleza están propensos a flujos y avalanchas de detritos, deslizamientos, colapsos por erosión del pie y movimientos complejos.



Fotografía 10 Morrena de fondo de valle a la entrada del valle glaciar Cojup (Huaraz), del otro extremo se muestra la falla de la Cordillera Blanca.

Las morrenas se clasifican de acuerdo al grado de pendiente en el que se sitúan.

- **Morrenas de Fondo de valle**

Se sitúan al pie de las montañas de la Cordillera Blanca (fotografía 10) al borde de la zona periglacial, en la desembocadura de los valles glaciares. Se presentan de formas alargadas cuyas crestas son ligeramente redondeadas.

Con varias decenas de metros de altura estas morrenas se pueden encontrar en la zona de contacto entre el batolito de la Cordillera Blanca y los depósitos fluvio-glaciares (imagen 4), como en la zona de Cojup - Quilcayhuanca (Huaraz), Huichiccocha, (Recuay), río Buin (Carhuaz) y otras más.

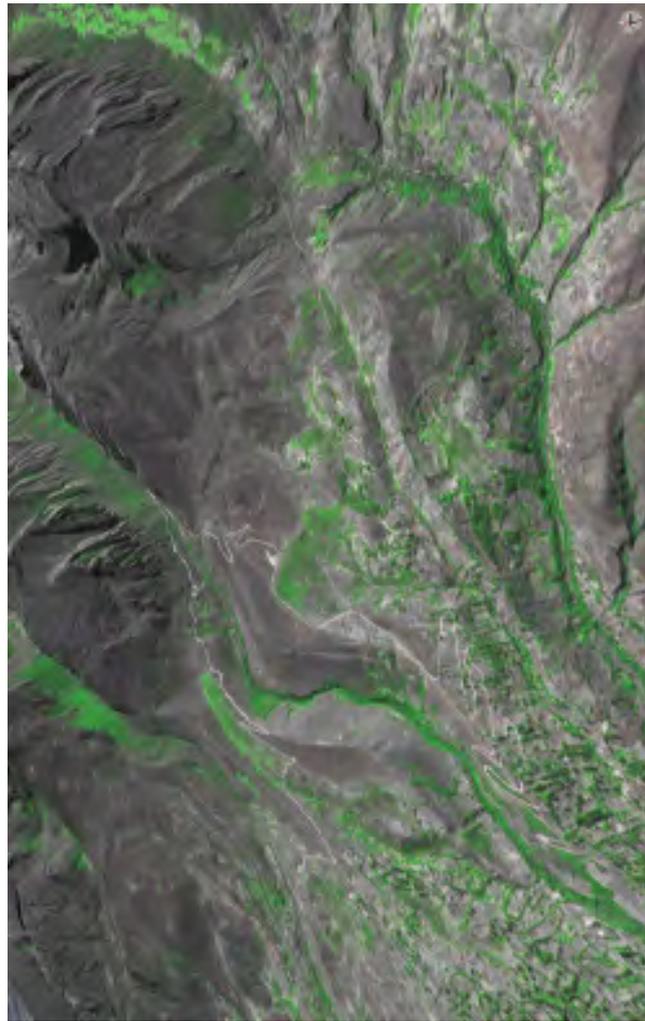


Imagen 4 Morrenas de valle del sector Cojup - Quilcayhuanca (Huaraz) desde una imagen satelital SPOT 3D

- **Morrenas de fondo de valle glaciar**

Se sitúan al pie de los circos glaciares, muchas de estas morrenas albergan a lagunas de origen glaciar (fotografía 11) las cuales son formadas por los deshielos de los

nevados. Las altitudes en donde se encuentran están por encima de los 5000 msnm.

Con varios cientos de metros de altura (fotografías 12 y 13), estas morrenas fueron las principales causas del desborde



Fotografía 11 Morrena frontal de la laguna Palcacocha, en el valle glaciar Cojup (Huaraz).



Fotografía 12 Morrena de fondo de valle glaciar de gran altura que represa a la laguna de Parón (Caraz), al fondo se observa al nevado Pisco.



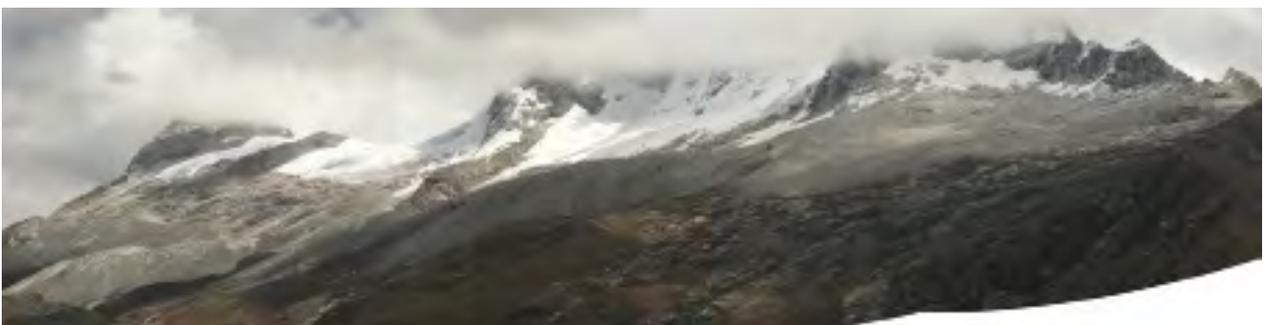
Fotografía 13 Morrenas de fondo de valle glaciar, a espaldas del nevado Huascarán (Yungay), producto de la confluencia de dos lenguas glaciares.

de lagunas glaciares en el pasado. En la actualidad, la mayoría de ellas cuenta con diques artificiales que regulan el nivel de las aguas de las lagunas.

- **Morrenas colgadas**

Estas geoformas se presentan hacia las paredes altas de los valles glaciares (fotografía 14), cerca de las cumbres,

generalmente se agrupan en sistemas de depósitos morrénicos colgados. Algunas de estas morrenas son receptáculos de neolagunas (imagen 5) que se forman por los deshielos de los nevados y son las más propensas a desencadenar desembalses que podrían ocasionar daño a los poblados que se encuentran en las desembocaduras de los valles glaciares.



Fotografía 14 Morrenas colgadas del nevado Huandoy hacia el valle glaciar de Llanganuco (Yungay).



Imagen 5 Morrenas colgadas en la cuenca Cojup (Huaraz). Se observa la formación de lagunas tomando como diques naturales a estas morrenas (Google Earth, 2016).

Glaciares

Los glaciares quedan ubicados por encima de los 4500 msnm; están comprendidos por numerosos nevados, el más alto es el nevado Huascarán (6768 msnm en su pico sur) (fotografía 15). En la Cordillera Blanca, los glaciares están distribuidos a lo largo de 180 kilómetros de longitud, desde el nevado Tuco en el sur, hasta el nevado Champara al norte. Los ríos originados en los valles del flanco oeste de la Cordillera Blanca drenan hacia la cuenca del río Santa.

Los circos glaciares (imagen 6) están sujetos a las variaciones climatológicas regionales. La acumulación glacial consiste en el ingreso de precipitaciones sólidas (nieve, granizo, escarcha) durante el periodo lluvioso del año y la "ablación", que es la fusión de la nieve y el hielo, que en los glaciares tropicales

sucede durante todo el año, son los fenómenos que dominan la vida del glaciar.

Por su naturaleza están asociadas a avalanchas o aludes, derrumbes y caída de rocas, avalanchas de rocas y detritos y movimientos complejos. Particularmente, se asocian al origen de flujos de detritos de origen glacial (aluviones), generados por desbordes de lagunas originados por aludes o avalanchas de nieve.

Colinas y lomadas

Están representadas por elevaciones de relieve bajo con alturas entre 50 y 300 metros desde el nivel de base local, con pendientes mayores a 7°. Por su naturaleza, se pueden subdividir según su litología y grado de erosión.



Fotografía 15 Vista de los glaciares del nevado Huascarán (Yungay).

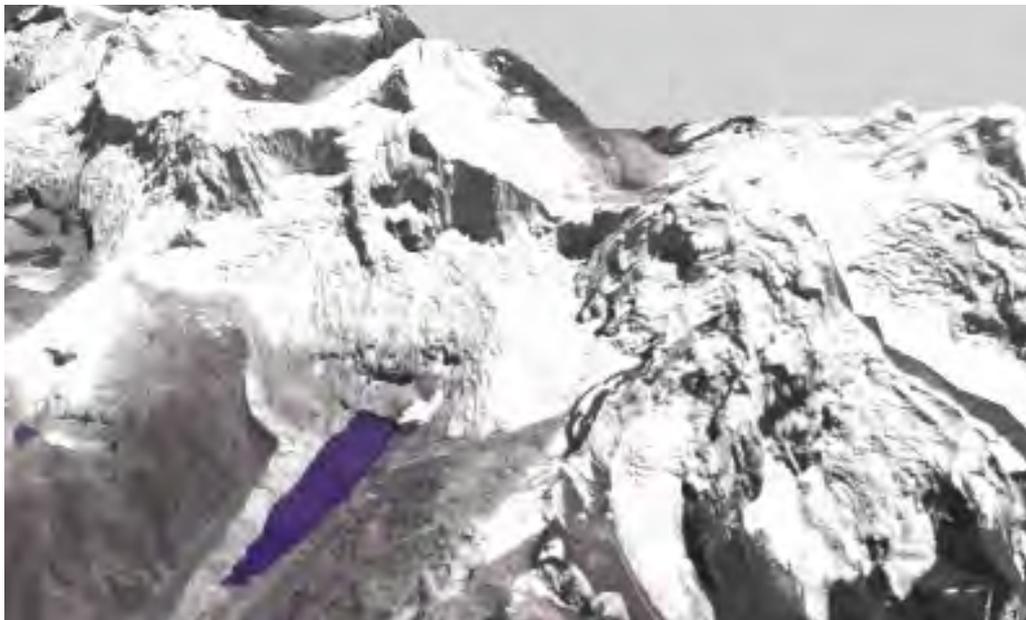


Imagen 6 Circo glaciar del nevado Cojup y la laguna Palcacocha (Huaraz).

- **Colinas o lomadas en rocas sedimentarias**

Están localizadas entre el norte de la ciudad de Huaraz y el sur de la ciudad de Caraz (imagen 7). Esta unidad se caracteriza por desarrollar pendientes moderadas (entre 7 y 12°), generalmente, cubiertas de vegetación. Es susceptible a la erosión pluvial, por lo que se presentan cárcavas y pequeñas quebradas que se activan en las épocas de lluvias. Principalmente están compuestas por areniscas con intercalaciones de lutitas y limolitas y por calizas.

- **Colinas o lomadas en rocas volcánicas**

Están localizadas al sur de Marcará, este de Carhuaz y alrededores de Yungay y Caraz. Presentan una pendiente mayor que las colinas de rocas sedimentarias (entre 12 a 18°) y son susceptibles a erosión pluvial, deslizamientos originados por infiltración de agua y pequeños derrumbes. Litológicamente están compuestas por tobas, material piroclástico y aglomerados (imagen 8).

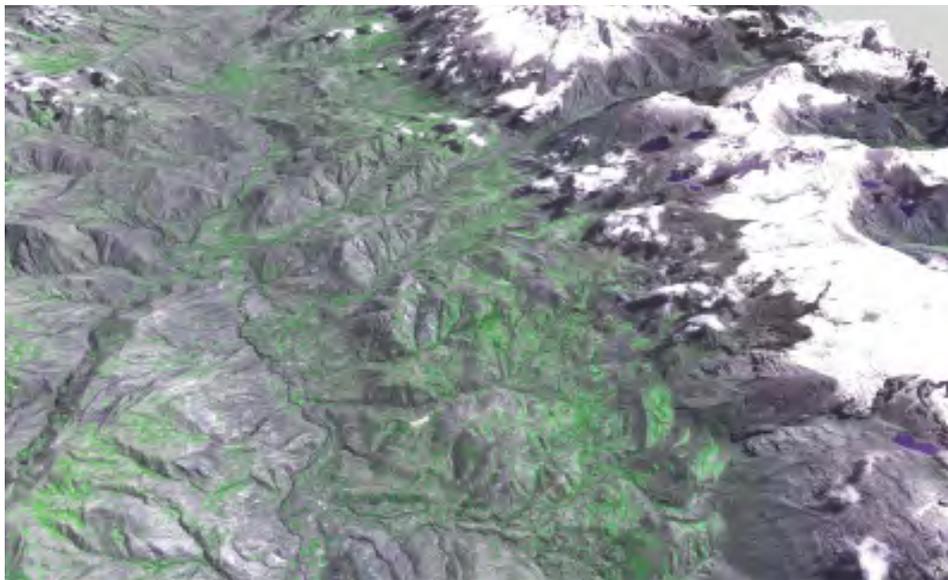


Imagen 7 Colinas de rocas sedimentarias en la zona intermedia entre el río Santa y la Cordillera Blanca (Carhuaz).

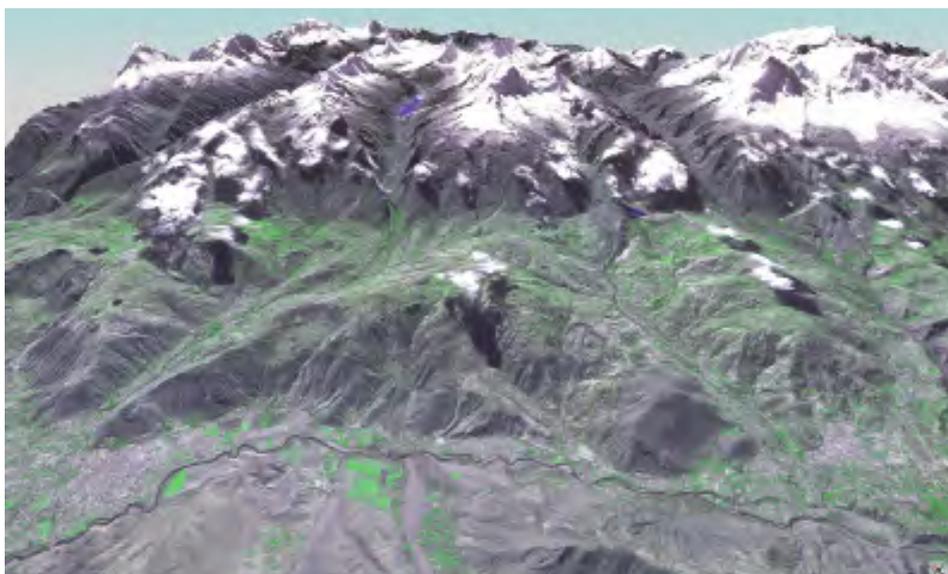


Imagen 8 Colinas de rocas volcánicas (entre Caraz y Yungay).

- **Colinas o lomadas en depósitos fluvioglaciares**

Esta es la unidad más extensa en la zona. Se encuentra ocupando toda la cuenca media, entre las orillas del río Santa hasta los límites con el batolito de la Cordillera Blanca. Es la principal área de expansión urbana de las

principales ciudades, además de ser la mayor zona de agricultura y ganadería. Es muy amplia (más de 4 km de largo) en los sectores de Catac, Recuay y Huaraz (imagen 9 y fotografía 16), se va acortando hasta llegar a menos de un kilómetro en el sector de Caraz.

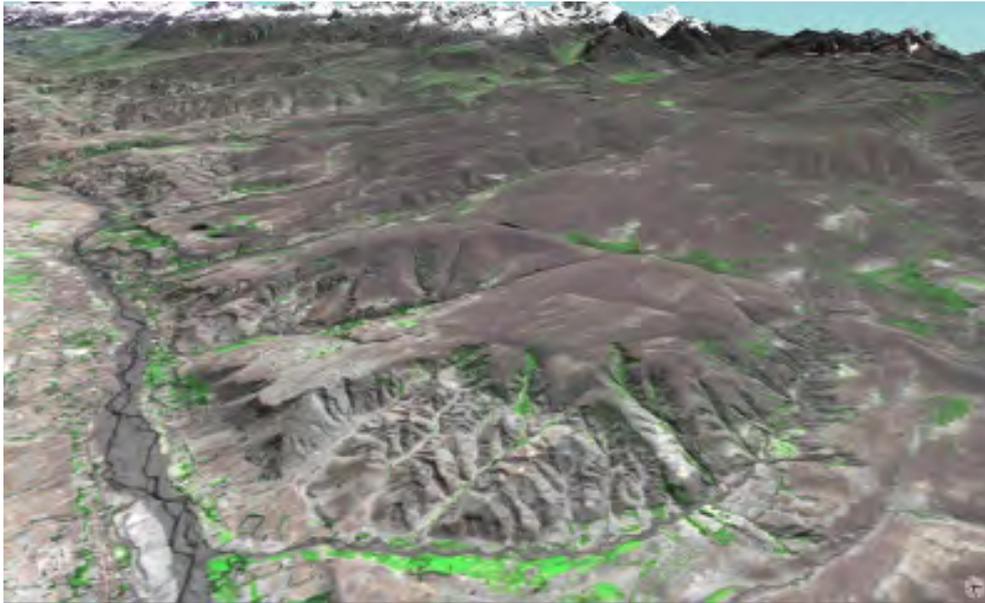


Imagen 9 Vista satelital SPOT 3D de los depósitos fluvioglaciares al sur de la Cordillera Blanca (Olleros)



Fotografía 16 Depósitos fluvioglaciares en el sector de Ticapampa al norte de Recuay

Montañas

- **Montañas de pendiente abrupta en rocas intrusivas**

Esta subunidad ubicada directamente en el batolito de la Cordillera Blanca, con más de 200 kilómetros de largo y 5 kilómetros de ancho, es una de las unidades

geomorfológicas más dominantes en el área (imagen 10). Está caracterizada por pendientes muy fuertes y se ubica por encima de los 4000 msnm (fotografía 17). En esta subunidad se encuentra el pico montañoso más alto del Perú (nevado Huascarán 6768 msnm), generalmente tiene cobertura glaciaria permanente.

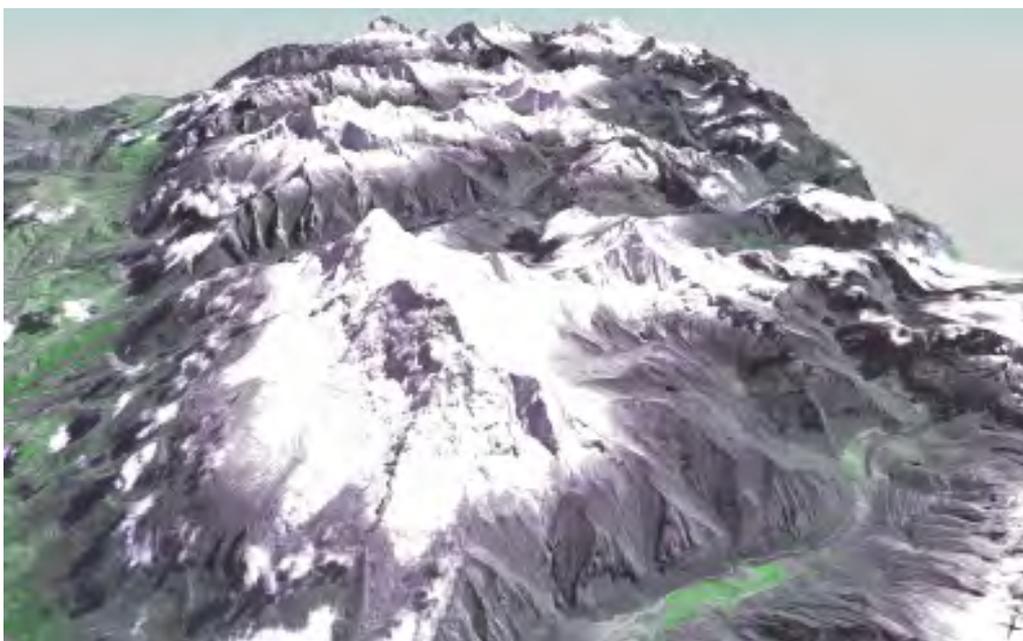
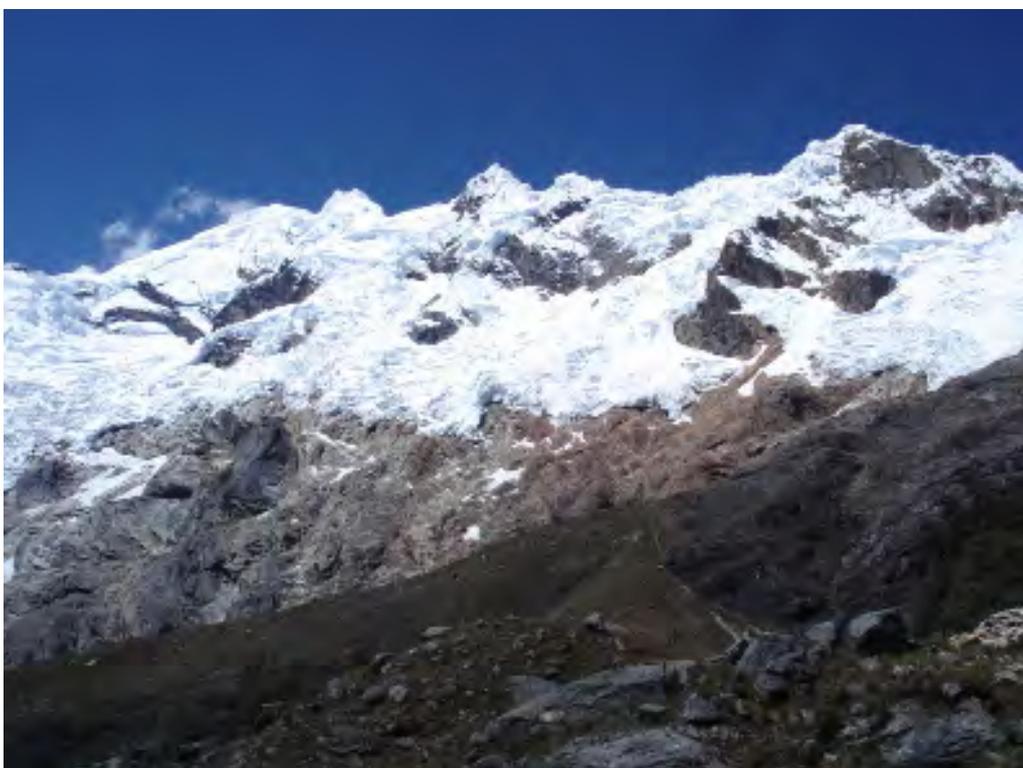


Imagen 10 Vista panorámica en una imagen satelital 3D del sector norte de la Cordillera Blanca, se aprecia la fuerte pendiente en las rocas intrusivas y lo dominante de estas en el paisaje.

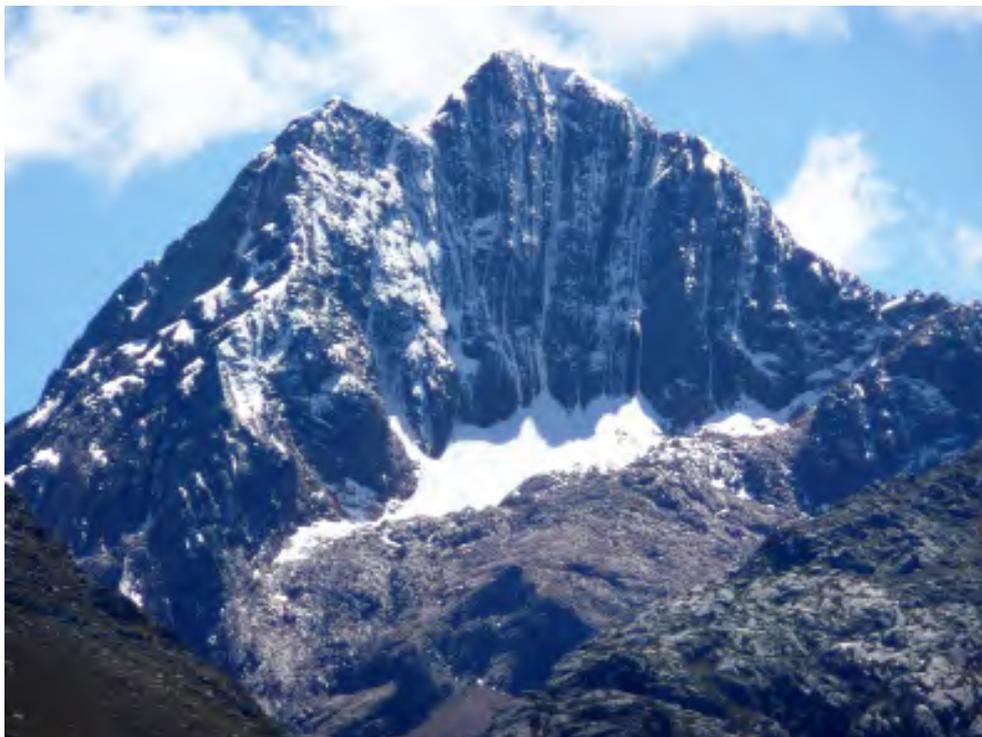


Fotografía 17 Vista de campo de la unidad de montañas con pendiente abrupta de rocas intrusivas.

- **Montañas de pendiente abrupta en rocas sedimentarias**

Es la continuación al sur del batolito de la Cordillera Blanca. Se caracteriza por picos montañosos (generalmente

cubierto de glaciares) muy pronunciados y culminaciones puntiagudas (fotografía 18 e imagen 11). Se pueden ubicar generalmente al sureste de la localidad de Catac.



Fotografía 18 Montañas de abrupta pendiente en rocas sedimentarias de la Fm. Chicama, valle de Rurec (Olleros).

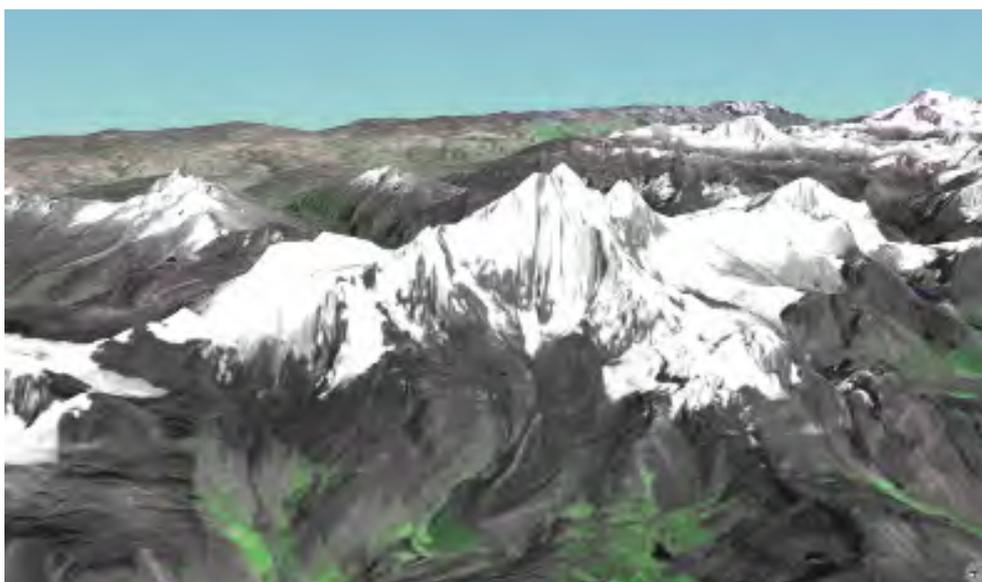


Imagen 11 Vista panorámica satelital SPOT 3D en imagen satelital de los picos generados por las montañas de rocas sedimentarias de la Fm. Chicama.

CAPÍTULO IV

PRINCIPALES EVENTOS DE MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CORDILLERA BLANCA

El término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991).

Los glaciares de la Cordillera Blanca son los principales activadores de los numerosos movimientos en masa registrados en su flanco oeste, así como de los grandes aluviones registrados en el año de 1962 y 1970, con origen en el nevado del Huascarán.

Los movimientos en masa constituyen los procesos geológicos que involucran la remoción de masas rocosas (fracturadas y/o meteorizadas), depósitos inconsolidados (suelos de diferente origen) o ambos, por efecto de la gravedad. Su ocurrencia está estrechamente ligada a factores detonantes como lluvias (de gran intensidad o gran duración), sismicidad asociada tanto a la subducción, como a fallas activas existentes en la región, especialmente la gran falla de la Cordillera Blanca, así como modificaciones de los taludes naturales hechas por el hombre al construir diferentes obras de infraestructura. Como factores condicionantes o intrínsecos destacan la litología (calidad de la roca y permeabilidad en algunas formaciones geológicas), pendiente de los terrenos, morfología y falta de cobertura vegetal.

La identificación y cartografiado de los movimientos en masa se basa en la clasificación sobre deslizamientos y, en general, de movimientos en masa descrita por Varnes (1978 y 1984), y Hungr et al (2001), diferenciándose en el mapeo geodinámico los procesos activos y antiguos (algunos reactivados), por ser de importancia.

Para el cartografiado de los diversos tipos de movimientos en masa se contó con la ayuda de mapas del IGN a escala 1:25 000, fotografías aéreas del año 1948 e imágenes satelitales Spot 5, a escala 1:25 000.

CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA

Para la clasificación de los movimientos en masa, se tomará en cuenta las definiciones de los trabajos realizados en el Proyecto

Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, editado el año 2007 (PMA: GCA, 2007).

Caídas

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978).

Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, caída de detritos o avalancha de rocas y detritos.

- Caída de rocas y detritos:

Es la separación, caída, rodamiento y rebote de fragmentos de roca o suelo (fotografía 19). En el caso de caída de rocas, puede tratarse de un solo fragmento de un grupo de ellos, pero en este último caso existe poca interacción dinámica entre las partículas individuales. En el caso de la caída de suelo es todo lo contrario, hay mayor interacción entre los cuerpos detríticos. El tamaño del volumen es variable, desde pequeños centímetros hasta considerables dimensiones.

- Avalancha de rocas y detritos:

Las avalanchas de rocas son flujos de gran longitud extremadamente rápidos, de roca fracturada, proveniente de un gran deslizamiento o caída de roca (fotografía 20). Sus depósitos están usualmente cubiertos por bloques grandes, aun cuando se pueden encontrar bajo la superficie del depósito material fino derivado parcialmente de roca fragmentada e incorporada en la trayectoria.

Las caídas de rocas y detritos son quizás una de las de mayor predominancia en casi todos los valles glaciares del flanco oeste de la Cordillera Blanca ya que ocupan aproximadamente el 17.51 %.



Fotografía 19 Caída de detritos en la quebrada Uruashraju, al sur de la Cordillera Blanca, en el distrito de Olleros.



Fotografía 20 Avalancha de rocas y detritos en el valle glaciar Shallap – Huaraz

Flujos

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un

fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

- Flujo de detritos:

Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce

con pendiente pronunciada (fotografías 21 y 22). Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos.



Fotografía 21 Morrena afectada por flujo de detritos, al NE de la ciudad de Recuay.



Fotografía 22 Flujo de detritos ubicado a la entrada del valle glaciar Cojup, al este de la ciudad de Huaraz

Los flujos de detritos se muestran en un porcentaje significativo, 19.22 % del total de movimientos en masa cartografiados.

Deslizamientos

Es un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de rotura, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante.

- Deslizamiento rotacional:

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado (fotografía 23) y una contra pendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe

principal. Estos deslizamientos se muestran en menor cuantía respecto a los anteriores, con un porcentaje de 5.48 %.

Formas de erosión

En este grupo se incluyen las áreas que poseen cárcavas (imagen 12) las cuales son originadas por el continuo socavamiento sobre el terreno debido al flujo incontrolado del agua que escurre ladera abajo (agua de escorrentía).

En el flanco oeste de la Cordillera Blanca, las cárcavas son numerosas representando un 22.46 % del total de movimientos en masa y se acentúan más en el valle glacial de Pariac y la quebrada Tururo.

En el capítulo V se detallarán los movimientos en masa por cuencas, tomando como áreas principales, las ciudades que serían afectadas en el transcurso de la época de lluvias.



Fotografía 23 Deslizamiento rotacional en la parte alta de Marcará, cerca del ingreso a la zona de Quebrada Honda.

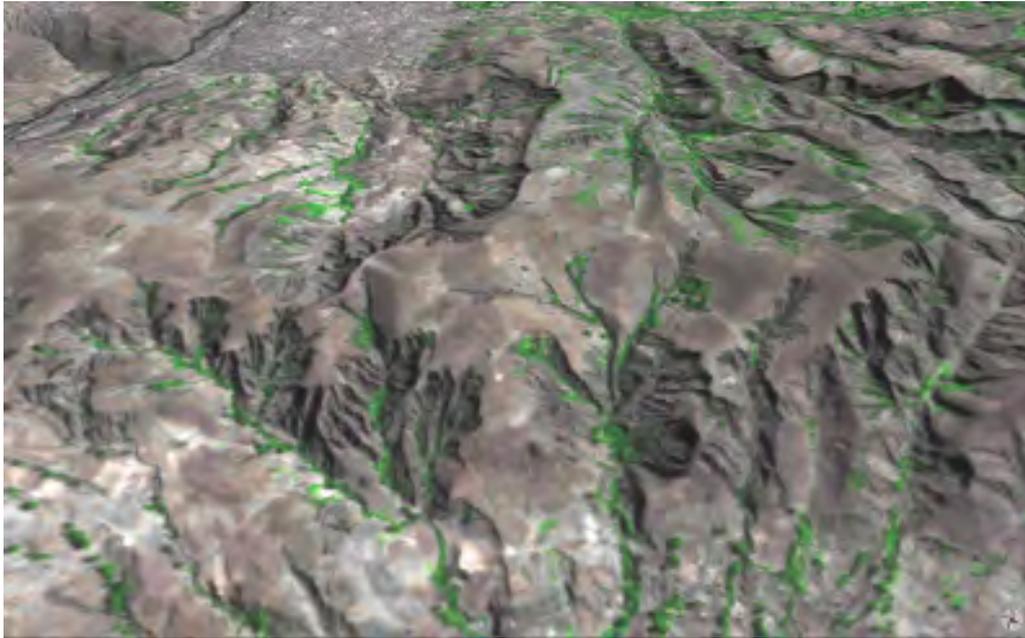


Imagen 12 Vista satelital 3D de las cárcavas del sector Pariac - Huaraz.

EVENTOS HISTÓRICOS

El Callejón de Huaylas ha sido escenario de numerosos desastres por movimientos en masa que conllevaron a la destrucción de poblados enteros y la pérdida de vidas humanas en más de una ocasión. La mayoría de estos desastres tuvo un origen glaciar o asociado a depósitos glaciares.

En primer lugar, se describirá el aluvión de 1941 que afectó la ciudad de Huaraz para luego describir los aluviones originados en el nevado Huascarán (1962 y 1970). Finalmente, se tratarán dos eventos recientes: el aluvión del 2003 en la laguna

Palcacocha (Huaraz) y el aluvión de la laguna 513 en el año 2010 (Carhuaz) que nos recordó que la Cordillera Blanca sigue significando un peligro para las ciudades cercanas y la región.

El aluvión de Huaraz de 1941

Este es el último movimiento en masa de grandes dimensiones de origen glaciar que sufrió la ciudad de Huaraz, y vale la pena detenerse para relatar brevemente lo acontecido ese día.

Uno de los pocos documentos históricos que detallan este evento es el libro "El Aluvión de Huaraz" escrito por Reynaldo

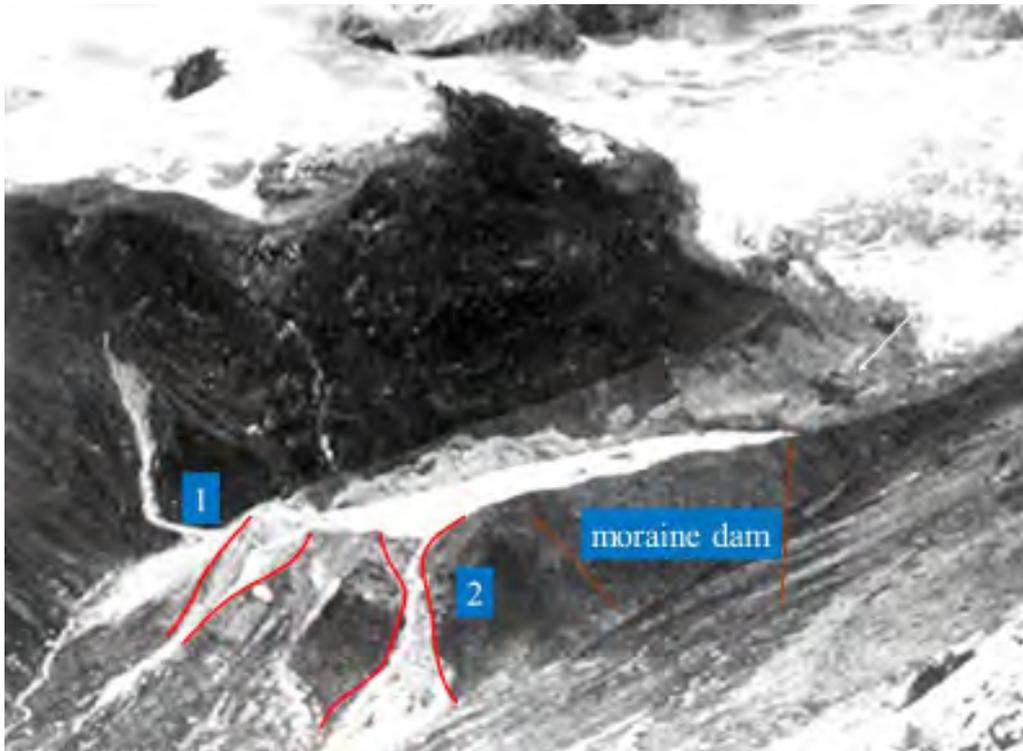
Coral Miranda en 1962 en el cual relata: "... A las 5:58 a.m. de la mañana un bloque de dimensiones desconocidas cayó del Nevado Cojup hacia la laguna Palcacocha (Pacoshacocha, en esos tiempos), el cual produjo la rotura de la morrena frontal que formaba un dique natural, liberando aproximadamente 4 millones de m³ de agua, lodo y rocas, el cual se precipitó violentamente por la quebrada Cojup...". La fotografías 24 y 25

muestran el estado de la laguna Palcacocha, se aprecia como las aguas rebosan por la parte superior del dique morrénico.

Haciendo una comparación mediante imágenes de satélite y un modelo de elevación digital con la fotografía 25 tomada por Kinzl en 1939, se aprecia como la rotura del dique morrénico desaguó casi la totalidad de la laguna (imagen 13).



Fotografía 24 Vista tomada en 1939 (H. Kinzl, 1939) de la laguna Palcacocha. Nótese la gran masa glaciara sobre y en contacto con la laguna y la fuerte erosión de las morrenas laterales.



Fotografía 25 Vista de las morrenas que represaban la laguna Palcacocha (1939) antes de la ruptura de 1941. Nótese las zonas marcadas con números (1 y 2) son zonas que muestran fuerte erosión por rebalses de la laguna. El sector 2, finalmente fue el que cedió y liberó toda el agua de la laguna provocando el aluvión. (Fotografía tomada de Zapata et al 2002).

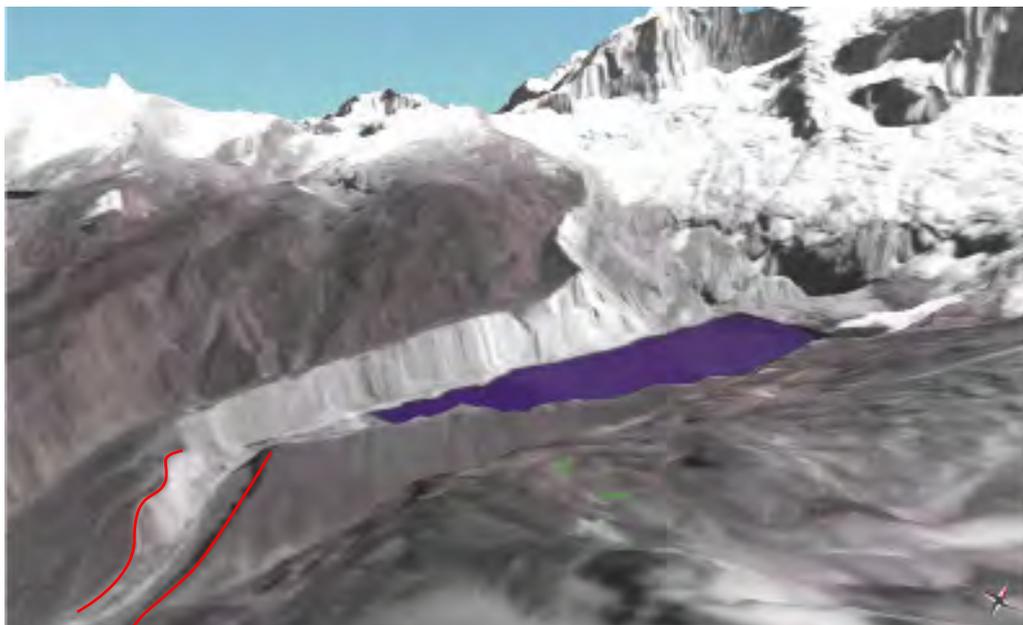


Imagen 13 Reconstrucción digital 3D de las actuales morrenas de la laguna Palcacocha basados en una imagen SPOT 5. Se intentó dar el mismo ángulo de imagen que la fotografía 25 para poder ver por donde falló el dique de la morrena frontal, causa del desembalse.

En la quebrada Cojup, a solo 13 km de la ciudad de Huaraz se encontraba la laguna de Jircacocha (Acorhcocha o Chichillacocha) (fotografía 26), cuyo origen fue un cierre de valle originado por una gran avalancha de rocas proveniente del flanco derecho del valle glaciar. El flujo aluviónico entró en la laguna Jircacocha, lo que aumentó su nivel de tal manera que destruyó su dique natural e incrementó más aun el volumen y la velocidad del flujo de detritos (o aluvión) debido al gran cambio de pendiente (fotografía 27) que se encuentra a continuación

de aquel dique natural. Este nuevo flujo se dirigió aguas abajo, entrando al río Quillcay, y arrasando el 45 % de la ciudad de Huaraz, destruyendo el centro de la ciudad, viviendas, clubes, bancos, etc. (Fotografía 28).

Según Coral Miranda el saldo de este trágico evento aún no está claro, y propone la cifra de 4 mil víctimas, pero según él detalla, existirían versiones periodísticas que inclusive duplicarían esta cifra.



Fotografía 26 Depósitos lacustres correspondientes a la antigua laguna Jircaycocha, en la zona inferior derecha se aprecia parte del dique natural roto por el aluvión de 1941.



Fotografía 27 Fotografía aérea (SAN) de toma oblicua, tomada en 1948 que muestra los rastros del aluvión de 1941 a lo largo de la quebrada Cojup.



Fotografía 28 Fotografía Aérea (SAN) de toma oblicua, que muestra la zona afectada por el aluvión de 1941. Según referencias de la época, el 45 % de la ciudad fue completamente destruida.

En la actualidad, de ocurrir un evento similar, los daños serían mucho mayores, ya que el flujo destruiría todo el centro de la ciudad, debido al enorme crecimiento poblacional de la ciudad de Huaraz (imagen 14)

Investigaciones recientes basadas en fotografías previas al aluvión de 1941 demuestran que el dique de la morrena frontal-izquierda se encontraba muy débil, resultado de la fuerte erosión de flujos de detritos producto de rebalses parciales de las aguas de la laguna, posiblemente por caídas de bloques de hielo o material morrénico dentro de la laguna.

Otro factor desencadenante pudo haber sido la naturaleza misma de las morrenas de la laguna Palcacocha, debido a que la morrena lateral izquierda está compuesta principalmente por material lutáceo y pizarroso, que es más susceptible a la erosión (Silva et al., 2010).

Aluviones de 1962 y 1970 en Ranrahirca y Yungay

El aluvión de 1962, que afectó el poblado de Ranrahirca, se podría considerar como el primer gran aluvión de la era moderna en la Cordillera Blanca, debido a que es el primer evento de este tipo (grandes volúmenes y grandes velocidades) documentado científicamente en la zona. Este evento no tuvo un detonante externo (sismo, explosión, etc.) por lo que se considera que el desprendimiento de los bloques de hielos fue natural.

El 10 de enero de 1962, a las 6:02 p.m., un desprendimiento de hielo y roca (roca granítica) de la sección SO del pico norte

del nevado Huascarán (6655 msnm) originó un gran aluvión, alimentado incluso por las nieves y hielos del glaciar 511 que se encontraba 2 km más debajo de la zona de rotura. Al derretirse la nieve y mezclarse con las rocas y morrenas formó una gran masa aluviónica que continuó su rápido descenso por el cauce del río Ranrahirca llegando finalmente hasta su confluencia con el río Santa (fotografía 29). Continuando aguas abajo (con dirección norte) llegó hasta el poblado de Caraz donde no causó daño alguno. A su paso, rumbo al río Santa, enterró completamente la pequeña ciudad de Ranrahirca (fotografía 30), y varios pueblos menores anexos a ésta.

El terremoto ocurrido el 31 de mayo de 1970 (magnitud 7.9 Mw) frente a las costas de Chimbote en la región Ancash, ha sido sin lugar a dudas, uno de los terremotos históricos más destructivos del hemisferio occidental; es considerado como el de más alto rango entre los desastres mundiales. Dentro de un área de 65 000 km², se calculó una pérdida de más de cuarenta mil vidas, treinta mil heridos (Ericksen & Plafker, 1978), 186 000 edificaciones, en estado inhabitable lo que significa el 80 % de todas las estructuras del área.

El principal fenómeno asociado a este terremoto fue el gran aluvión originado en el pico norte del nevado Huascarán con características similares al de 1962, pero con un volumen considerablemente mayor. Como en el evento de 1962, la avalancha de 1970 fue originada por un desprendimiento de roca y hielo de la cara oeste del pico norte del nevado

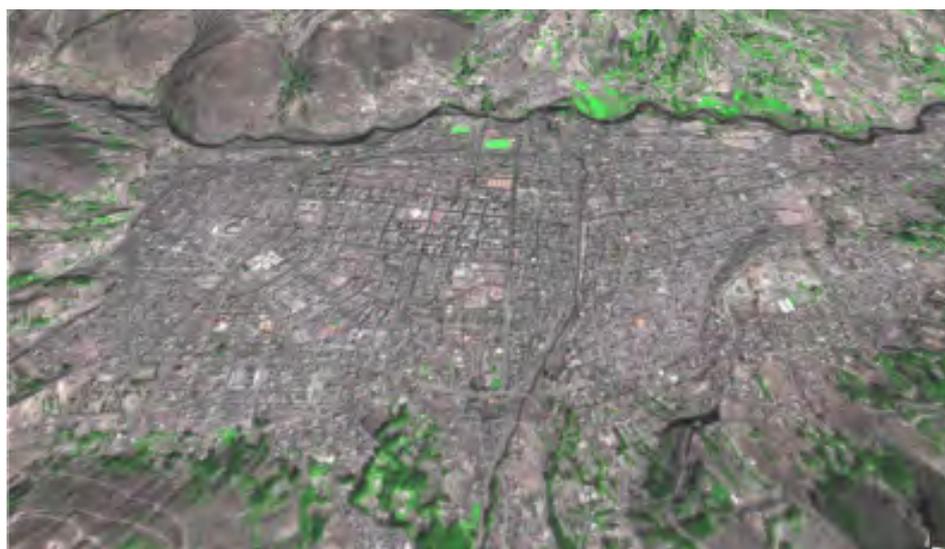


Imagen 14 Vista de la ciudad de Huaraz con una imagen SPOT 5 3D, con la misma inclinación que la fotografía 28, se puede ver el gran crecimiento urbano y como afectaría un aluvión a la actual ciudad de Huaraz.



Fotografía 29 Vista aérea de la confluencia de los ríos Ranrahirca y Santa y el depósito dejado por el aluvión de 1962. En ese sector se ubicaba el poblado de Ranrahirca el cual fue arrasado completamente. (Fotografía: Servicio Aerofotográfico Nacional, Perú)



Fotografía 30 Así quedó el poblado de Ranrahirca después del aluvión de 1962

Huascarán. Comparando fotografías del pico con modelos de elevación digital del terreno, se puede determinar que la altura de la caída estuvo entre los 5600 a 6400 msnm. Además, se puede considerar un ancho del bloque desprendido de 350 m.

Ghiglino (1970) estima un volumen de caída inicial de 14 Mm^3 , que se compone de 5 Mm^3 de roca y 9 Mm^3 de hielo, mientras que, Lliboutry (1975) estima una caída inicial de $7 - 8 \text{ Mm}^3$ de roca y 1 Mm^3 de hielo, con un volumen total de $8 - 9 \text{ Mm}^3$, por otro lado, Plafker and Ericksen (1978) estiman un volumen total

de 50 Mm^3 lo cual, a la vista de las últimas investigaciones, es demasiado, ya que, mediante simulaciones digitales del movimiento se calculó un volumen máximo de 5.5 Mm^3 (Evans et al, 2009).

El aluvión tuvo un recorrido por la cuenca del río Shacsha a una velocidad de 280 km/h (Evans et. al., 2009) con una distancia de 14 kilómetros lineales hasta llegar a la ciudad de Yungay. La velocidad adquirió mayor energía, lo suficiente como para subir los 230 m de la cresta del cerro Aira, el cual sirvió como una

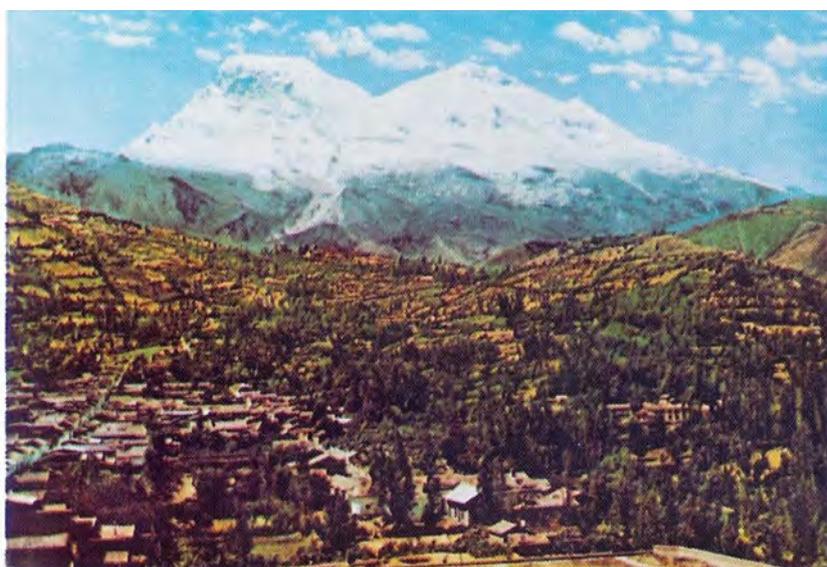


Fig. 1. Yungay, View looking east from Cemetery Hill showing village as it existed before May 31, 1970 earthquake and debris avalanche.

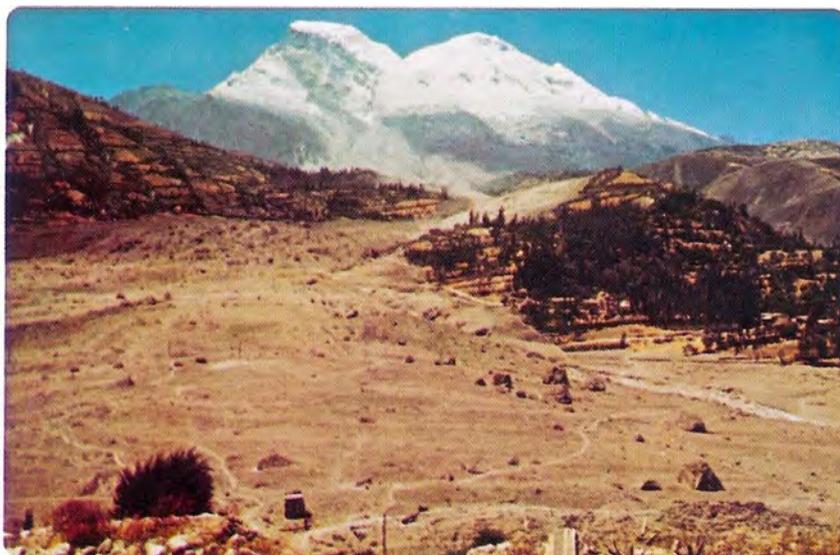


Fig. 2. Yungay, Same view as in Figure 1 except photograph was taken after Huascarán debris avalanche.

Fotografía 31 Extracto de la publicación de Ericksen & Plafker, 1978 donde se muestra una comparación entre el paisaje pre y post aluvión de 1970.

que está ubicado sobre una colina y la copa de las palmeras de la Plaza de Armas. El resto del flujo tuvo una trayectoria más directa (continuando en línea recta por el río Ranrahirca) que sepultó al poblado de Ranrahirca, hasta llegar al río Santa (fotografía 32). Una vez en el valle del río Santa, el flujo continuó su viaje hacia el norte atravesando el cañón del Pato y dañando la central hidroeléctrica ubicada en la zona, para finalmente continuar su recorrido por más de 180 km hasta al océano Pacífico. (Ames & Francou, 1995).

El aluvión del 2003 en la laguna Palcacocha, Huaraz

El 19 de marzo de 2003, un derrumbe de material morrénico en la laguna Palcacocha (fotografía 33) provocó grandes oleajes

que superaron ampliamente las alturas de las presas y un dique morrénico natural de la laguna, ocasionó un flujo de detritos de magnitud media a baja.

A consecuencia de este flujo de detritos, los niveles de turbidez del agua de la quebrada Cojup aumentaron (concentración de sólidos en suspensión y caudal) y la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Huaraz (manejada por EPS Chavín) que capta parcialmente las aguas de esta quebrada para dar el suministro de agua potable para la ciudad de Huaraz, se vio afectada; lo que generó la paralización del servicio de agua potable en la ciudad de Huaraz por casi una semana.

Después de este evento, las presas auxiliares y principales quedaron muy dañadas (fotografía 34), por lo que no ofrecen



Fotografía 32 Fotografía aérea del depósito del aluvión de 1970 que destruyó los pueblos de Yungay y Ranrahirca. Se puede apreciar el Run-Up en la otra orilla del río Santa. (Fotografía: Servicio Aerofotográfico Nacional, Perú).



Fotografía 33 Zona de arranque del deslizamiento – avalancha del 2003, nótese la infiltración de aguas en la parte superior de la escarpa, posiblemente este fue el origen del fenómeno.



Fotografía 34 Estado de los diques artificiales de regulación de caudal después del evento del 2003, los bloques de hielo fueron traídos por las olas de tsunami en el lago. (Fotografía INRENA, 2003).

actualmente ninguna garantía para la ciudad de Huaraz ante un evento similar.

Hay que resaltar que este flujo fue el primero que superó las barreras de contención (diques artificiales), además no tuvo un origen glaciar propiamente dicho, ya que, un derrumbe fue el detonante de las olas y del posterior flujo de detritos (fotografías 35 y 36). Esto nos demuestra que la regresión glaciar, asociada al cambio climático, no disminuye las posibilidades de un aluvión, por el contrario, ante estos cambios se presentan nuevos tipos de peligros geológicos asociados a procesos glaciares.

Aluvión del 2010 en la laguna 513, Carhuaz

El 1ro de abril de 2010 se produjo una avalancha de hielo y rocas en la parte alta de la cuenca del sistema de glaciares del nevado Hualcán cuyas aguas de deshielo abastecen de ese recurso a una de las principales ciudades del Callejón de Huaylas, la ciudad de Carhuaz.

El desprendimiento de hielo y roca ocurrió en la cima oeste del nevado Hualcán (5500 msnm) e impactó sobre la laguna glaciar denominada 513 situada al pie del mismo a una altura de 4428 msnm, lo que ocasionó un oleaje violento en la laguna, un GLOF y un posterior flujo de detritos (aluvión) que afectó levemente varios poblados (Valderrama et al, 2010). Afortunadamente, este evento no cobró víctimas ni afectó directamente a la ciudad de Carhuaz.

A las 7:40 horas del 11 de abril de 2010, la avalancha de rocas y hielo proveniente del nevado Hualcán (fotografía 37), cae pendiente abajo en un recorrido de aproximadamente 1.5 km arrasando con seracs y remanentes glaciares incrementando su volumen hasta llegar a un precipicio rocoso y precipitarse en caída libre de una altura de 190 m sobre la laguna glaciar 513. Al caer ese bloque dentro de la laguna genera olas que según las inspecciones de campo llegaron a tener una altura máxima de seis metros las cuales quedaron registradas en los flancos de las morrenas que represan la laguna.



Fotografía 35 Vista panorámica hacia el este de la laguna de Palcacocha al día siguiente del aluvión del 2003. Nótese los grandes bloques de hielo que flotan en la laguna, que fueron arrancadas por la avalancha ocurrida por encima de la lengua glaciar. (Fotografía: INRENA, 2003).

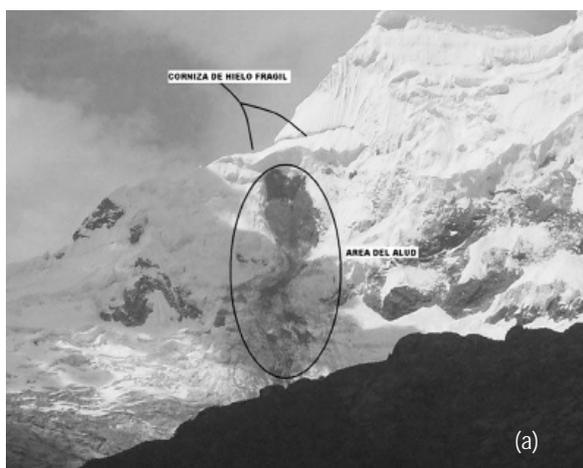


Fotografía 36 Vista panorámica de la laguna de Palcacocha desde su morrena lateral derecha. Al igual que en la fotografía anterior, se aprecia bloques de hielo flotando producto de la avalancha. (Fotografía: INRENA, 2003).

Evidencias fotográficas y de campo, confirmadas por testimonios de pobladores, nos permiten asegurar que no fue solo una avalancha la que afectó la laguna 513. En la fotografía 37 (a) tomada minutos después del evento, se revela la zona de la avalancha de roca y nieve, mientras que en la fotografía 37 (b), tomada al día siguiente del hecho, se aprecia claramente que un segmento superior (aún visible en la fotografía 37a) no está, por lo que se deduce que fueron dos los impactos de hielo

y roca en la laguna 513.

Afortunadamente, el flujo perdió fuerza en su recorrido y no causó ningún daño a la ciudad de Carhuaz, pero esto fue un recordatorio que la actividad aluviónica en los glaciares y lagunas de la Cordillera Blanca no cesó y, por el contrario, se tiene que continuar con las labores de prevención. Más detalles sobre este evento en anexos.



Fotografía 37 (a) Fotografía tomada por el Equipo de Rescate de Carhuaz horas después de la primera caída. Nótese la gran masa de hielo que queda suspendida en la parte superior a la escarpa de rotura. (b) Fotografía al día siguiente del evento durante la inspección de campo, se aprecia que la mitad de la masa de hielo de la fotografía (a) ha caído.

CAPÍTULO V

MOVIMIENTOS EN MASA EN EL FLANCO OESTE DE LA CORDILLERA BLANCA

El cartografiado de los movimientos en masa en el flanco oeste de la Cordillera Blanca se realizó de manera detallada en cada valle glaciar, partiendo desde el valle glaciar Santa Cruz hasta el valle glaciar de Querococha (mapa 4)

La descripción de la geodinámica que se desarrolla en los valles glaciares se realizó tomando como sitios de referencia los poblados que podrían ser afectados frente a un posible peligro de origen geológico, sean deslizamientos, aluviones, entre otros.

El total de movimientos en masa cartografiados en las cuencas glaciares correspondientes al río Santa son 1631. El cuadro 8 presenta el total de movimientos en masa de la Cordillera Blanca.

MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR CASHAPAMPA – SANTA CRUZ

El sector está ubicado al este del poblado de Cashapampa y

está conformado por el valle glaciar Santa Cruz y el valle glaciar colgado de Paccharuri. El valle glaciar Santa Cruz (conocido como quebrada Santa Cruz) consta de dos importantes lagunas (Ichiccocha y Jatuncocha) ambas represadas por depósitos de avalanchas de detritos provenientes de los nevados Abasraju y Artesonraju (imagen 15) (mapa 6).

En la parte final de las quebradas Santa Cruz y Paccharuri, en el área periglacial, se presentan depósitos morrénicos de alturas superiores a los 20 metros que albergan a las lagunas de Taullicocha y Arhueycocha (imagen 16) en la quebrada Santa Cruz, y a algunas lagunas menores en la quebrada Arteson (pequeño valle glaciar colgado al final de Santa Cruz). Además, en los flancos del valle glaciar se aprecia depósitos morrénicos colgados que albergan pequeñas masas de agua que con el transcurso del tiempo se convertirán en lagunas.

A lo largo de las quebradas se presentan depósitos de avalanchas de rocas, caída de detritos, flujos de detritos,

Cuadro 8
Estadística general del inventario de movimientos en masa en la Cordillera Blanca



Fuente: Elaboración propia.

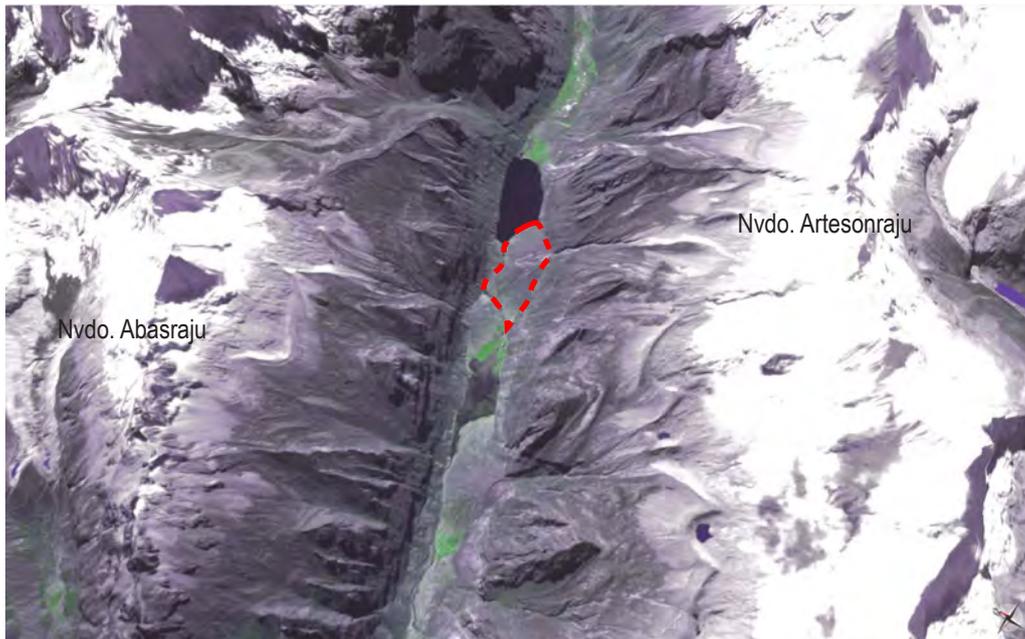


Imagen 15 Imagen satelital 3D Spot 5 de la quebrada Santa Cruz, nótese en líneas rojas punteadas uno de los depósitos provenientes del nevado Artesonraju que represó y dividió la laguna en dos.

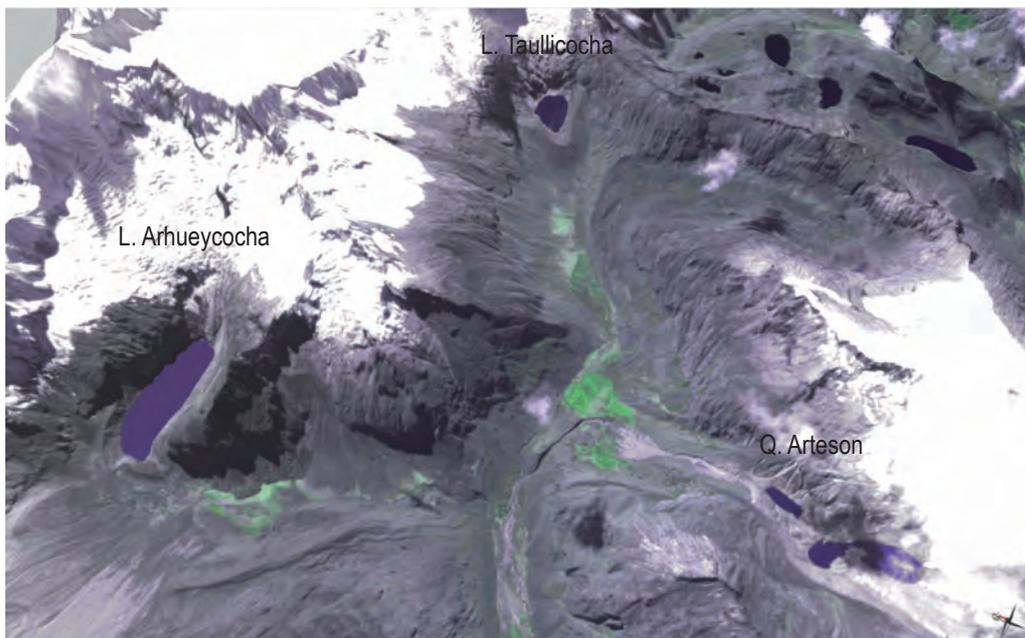


Imagen 16 Vista satelital SPOT 3D de las lagunas Arhueycocha y Taullicocho junto con la quebrada Arteson.

deslizamientos y represamientos antiguos (imagen 17) originados por los mismos según la siguiente estadística: flujos de detritos (39 %), caída de detritos (32 %), caída de rocas (27 %) (27 %). Asimismo, se tiene la presencia de deslizamientos rotacionales (2 %) ver cuadro 9.

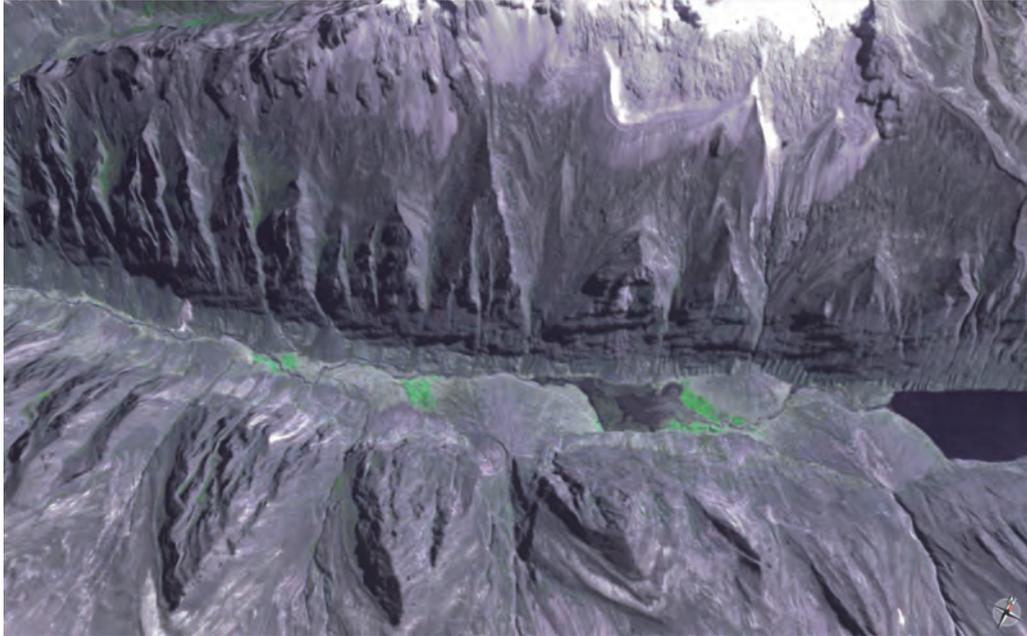
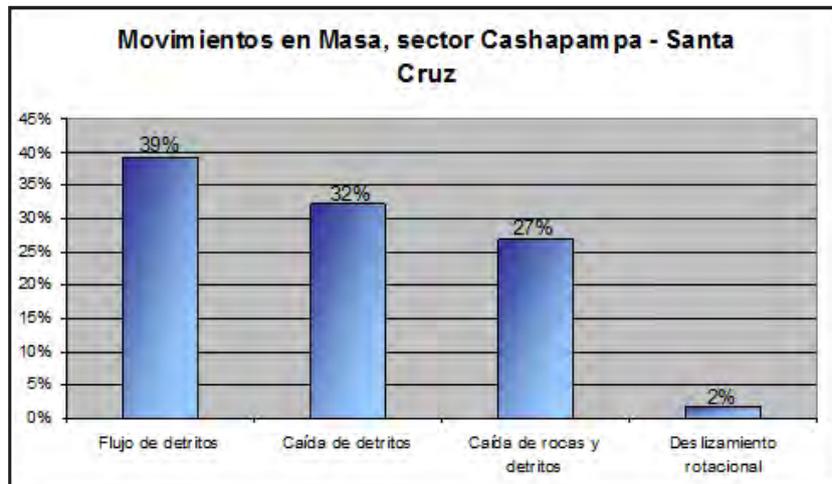


Imagen 17 Se puede apreciar los numerosos depósitos de movimientos en masas a lo largo de la quebrada Santa Cruz, además de los cambios de pendientes por represamientos.

Cuadro 9
Movimientos en masa en el sector Cashapampa – Santa Cruz; se observa que los flujos de detritos predomina en esta área, seguido en gran importancia por la caída de detritos



MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR CARAZ

Ubicado al este y en las inmediaciones de la ciudad de Caraz. Este sector está compuesto por los valles glaciares de Huancotepampa y Parón y las quebradas de origen fluvio-glacial de Caballococha, río Parón y río Liullán (mapa 6)

El valle glaciar de Huancotepampa (conocido localmente como quebrada Huancotepampa) consta de un sistema completo de depósitos morrénicos bien desarrollados (dos morrenas laterales y una frontal) y depósitos de movimientos en masa de volúmenes menores (imagen 18). Las aguas de esta quebrada,

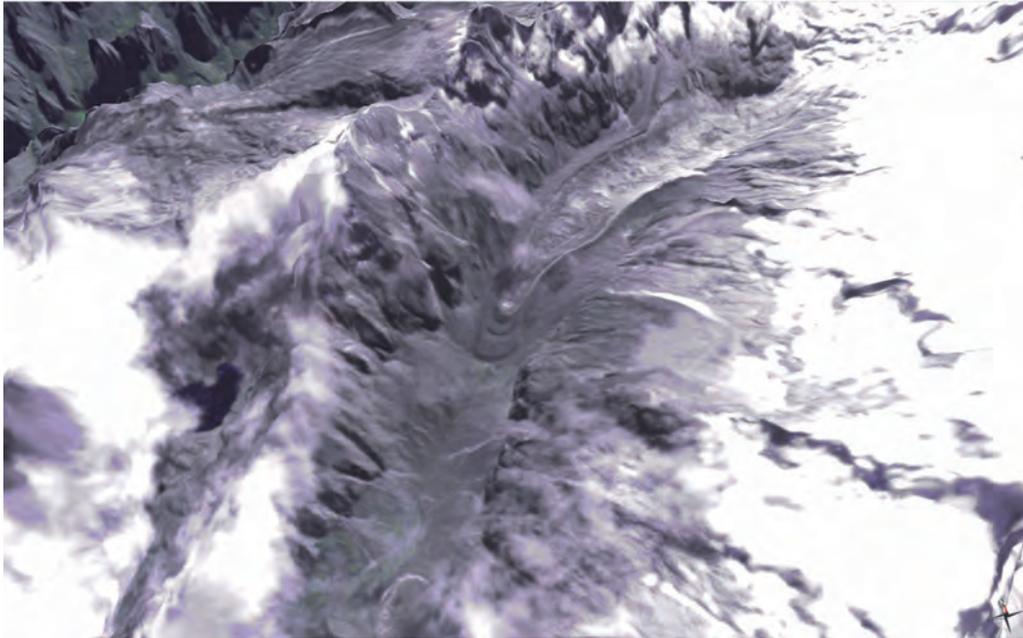


Imagen 18 Vista 3D de la quebrada Huancotepampa, nótese los depósitos morrénicos en el fondo y los depósitos de movimientos en masa de las laderas.

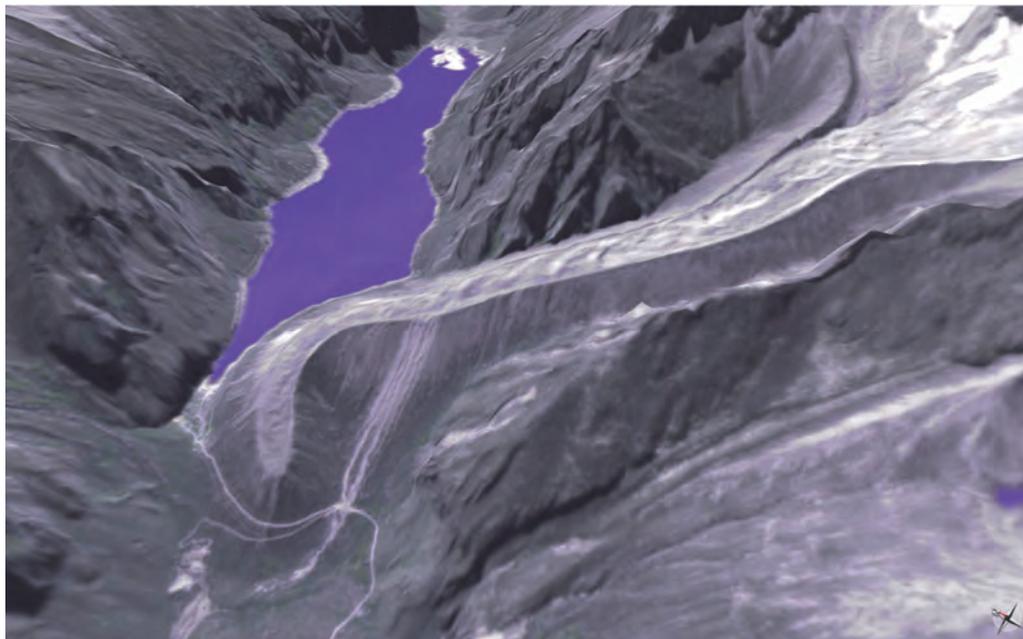


Imagen 19 Vista 3D del depósito morrénico que represa la laguna Parón.

al juntarse con las aguas del río Parón, forman el río Liullán, que abastece a la ciudad de Caraz.

El valle glaciar de Parón (conocido localmente como quebrada Parón) alberga a la laguna glaciar más grande de la Cordillera Blanca, la laguna Parón, que tiene 3118 metros de largo y 780

metros en su punto más ancho, con un volumen aproximado de 200 millones de m³. La laguna Parón está represada por un inmenso depósito morrénico proveniente del nevado Hualcán, que tiene más de 500 metros de alto (imagen 19 y fotografía 38).



Fotografía 38 Vista desde el suelo del depósito morrénico

En el circo glaciar de la quebrada Parón, se tiene grandes depósitos morrénicos (fotografía 39) que represan algunas lagunas secundarias (laguna Artesoncocha) y varias en proceso de formación (imagen 20). En los flancos de la quebrada Parón

se tiene potentes depósitos de morrenas colgadas (fotografía 40) que al igual que en la quebrada Santa Cruz albergan lagunas en formación.



Fotografía 39 Depósitos morrénicos en la parte periglacial de la quebrada Parón

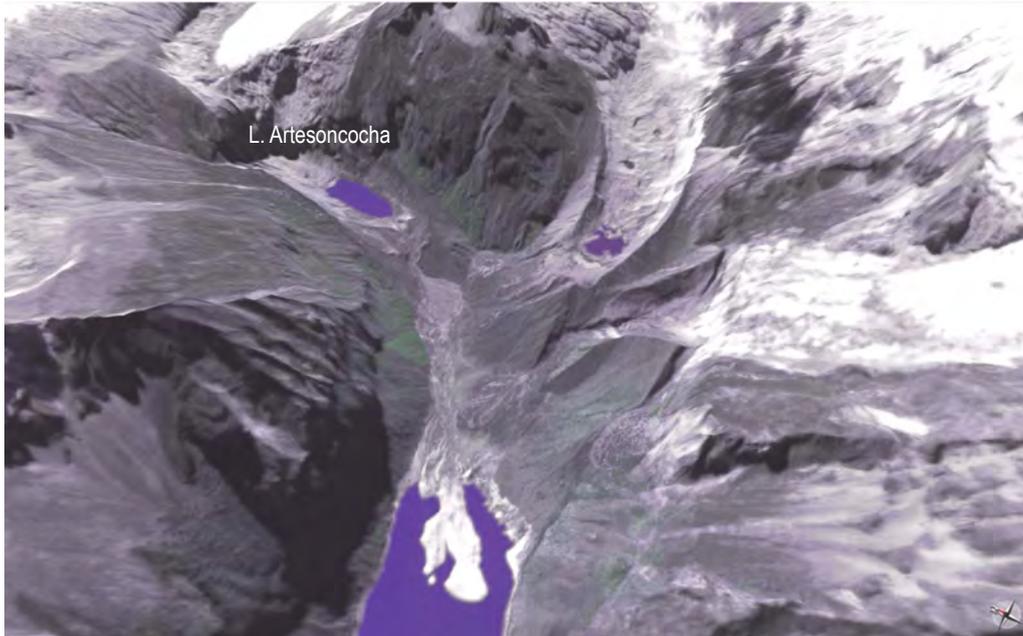
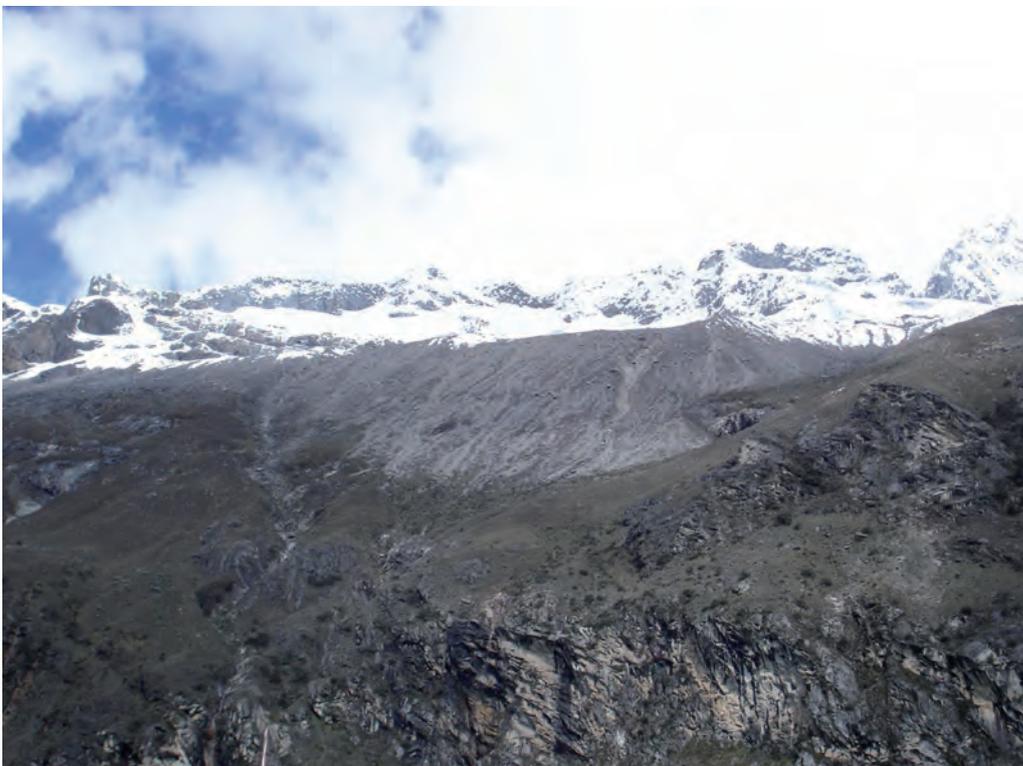


Imagen 20 Vista satelital 3D del circo glaciar de la quebrada Parón, nótese los depósitos morrénicos que al cerrar el valle formaron las lagunas.



Fotografía 40 Depósitos morrénicos colgados en los flancos del valle glaciar de la quebrada Parón.

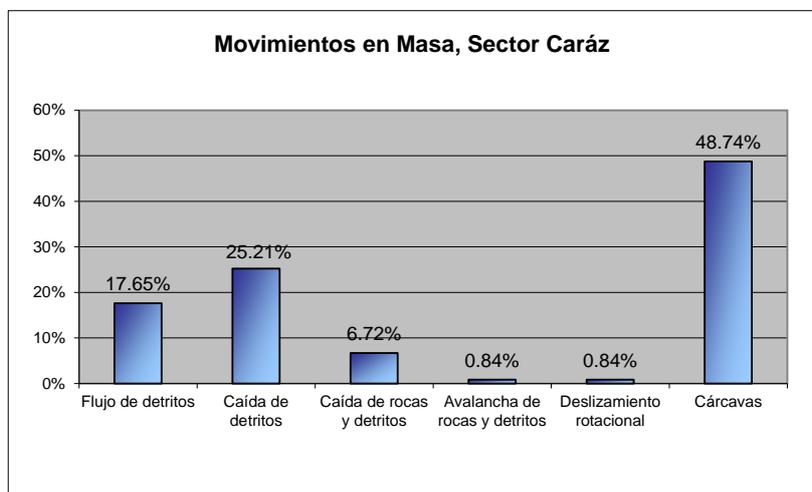
A lo largo del valle glaciar de Parón, se presentan depósitos de avalanchas de rocas, caída de rocas, caída de detritos y flujos de detritos, los cuales cambian la pendiente de la quebrada (imagen 21). En las quebradas fluvio-glaciares de los ríos Parón y Liullán, se tiene la predominancia de cárcavas, algunos depósitos de flujos de detritos antiguos y deslizamientos antiguos, actualmente ya estabilizados, pero susceptibles a reactivaciones locales.

Porcentualmente, los movimientos en masa en el sector Caraz se presentan de la siguiente manera: 48.74 % cárcavas, 25.21 % caída de detritos, 17.65 % flujos de detritos, 6.72 % de caída de rocas y detritos, 0.84 % de avalanchas de rocas y detritos y 0.84 % en deslizamientos rotacionales, ver cuadro 10.



Imagen 21 Vista panorámica del valle glaciar de Parón, donde se aprecian los depósitos de movimientos en masa que cambian la pendiente de la quebrada.

Cuadro 10:
Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Caraz. Se aprecia la clara predominancia de las cárcavas seguido de las caídas de detritos



MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR YUNGAY

Este sector, ubicado desde el noreste de la ciudad de Yungay hasta el este del poblado de Ranrahirca, es el que históricamente ha sido más afectado por movimientos en masa de origen glaciar (ver Capítulo IV).

En este sector, de norte a sur, se encuentra la quebrada Rajururi, el valle glaciar de Llanganuco y las quebradas de origen glaciar de Armapampa y Huarayoc; las cuales forman el río Ranrahirca (mapa 7).

La quebrada Rajururi (imagen 22) presenta pequeños

depósitos de flujos de detritos antiguos, sin embargo a finales de febrero de 2011, fue protagonista de una gran avalancha de nieve proveniente del nevado Huandoy, que nos recuerda la importancia de obras de seguridad en todos los sectores, sin importar su tamaño o ubicación.

Al inicio de la quebrada Rajururi, en el contacto con el intrusivo de la Cordillera Blanca, se tienen los primeros depósitos morrénicos de fondo de valle (ver Capítulo III – Geomorfología) (fotografía 41 e imagen 23) los cuales se hacen más comunes hacia el sur. Además, se presentan algunos depósitos de flujos de detritos originados en los planos de la falla de la Cordillera Blanca.

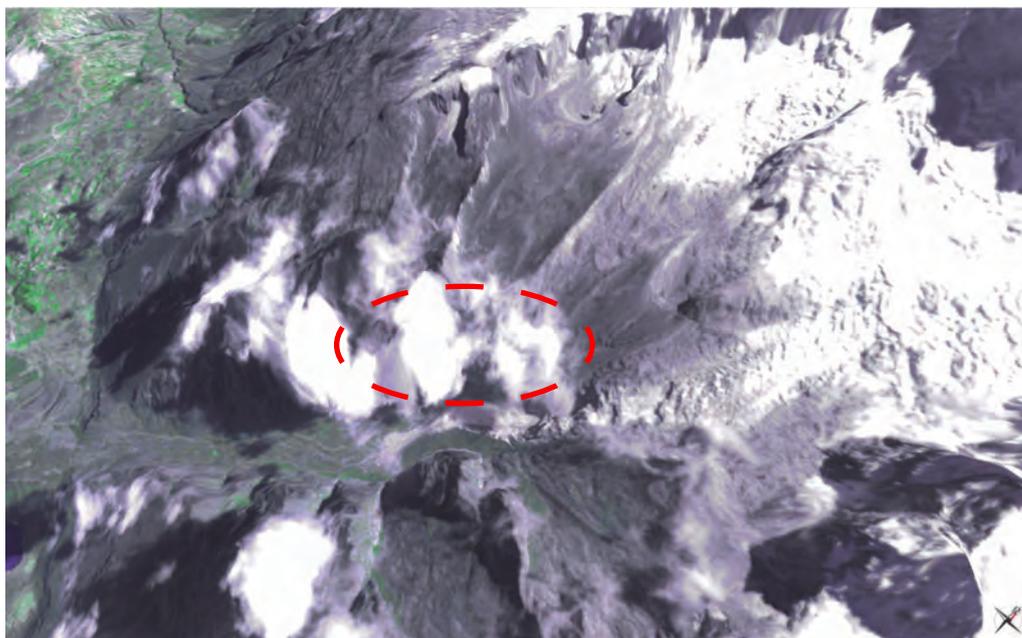


Imagen 22 Vista satelital 3D de la quebrada Rajururi, en líneas punteadas se resalta la zona que es afectada constantemente por avalanchas de nieve.



Fotografía 41 Pequeña laguna estacional repesada por los grandes depósitos morrénicos de fondo de valle al inicio de la quebrada Rajururi.



Imagen 23 Imagen satelital 3D que muestra la misma zona que la fotografía 41; se aprecia la laguna y los largos depósitos morrénicos resaltados con líneas rojas.

El valle glaciar de Llanganuco (conocido localmente como quebrada Llanganuco) es uno de los más espectaculares de la Cordillera Blanca y el más explotado desde el punto de vista turístico. Está compuesto por el propio valle glaciar,

con paredes verticales de granito (fotografía 42) de más de mil metros de alto, y dos valles secundarios en sus nacientes (quebradas Demanda y Ancush), que dan origen a la quebrada Llanganuco.



Fotografía 42 Paredes verticales de granito, que limitan el valle glaciar de Llanganuco.

En la quebrada Llanganuco se tiene dos imponentes lagunas represadas por movimientos en masa (fotografía 43) originados tanto en el nevado Huandoy, como en el nevado Huascarán, Chinancocha y Orgoncocha. En las nacientes de la quebrada Demanda, se tiene también algunas lagunas secundarias, entre

las que destaca la laguna 69 muy visitada por turistas de alta montaña. A lo largo del valle glaciar, se tiene la presencia de grandes depósitos de movimientos en masa: flujos de detritos, avalanchas de rocas, caídas de detritos y zonas de erosión glaciar (similares a las cárcavas).



Fotografía 43 Vista panorámica de las lagunas Llanganuco: Chinancocha (al fondo) y Orgoncocha (adelante). Nótese cómo ambas lagunas son represadas por movimientos en masas provenientes del nevado Huandoy (Der.) y nevado Huascarán (Izq.)

En los alrededores de la quebrada Demanda, se tiene imponentes depósitos morrénicos que represan lagunas menores, mientras que en la quebrada Ancush se encuentra una de las mejores muestras de sistemas morrénicos con lengua glaciar y glaciar de roca, proveniente del flanco noreste del nevado Huascarán (fotografía 44). A lo largo del valle glaciar Llanganuco, se tiene grandes depósitos de morrenas colgadas (fotografía 45), que representan un gran peligro para la seguridad física en las lagunas de fondo de valle.

Las quebradas de Armapampa y Huarayoc (fotografía 46), a lo largo del tiempo han variado en su cauce, ya que, morfológicamente, se ubican dentro de los depósitos de los aluviones de 1962 y 1970 provenientes del nevado Huascarán. En esta misma zona, se aprecia grandes depósitos morrénicos de fondo de valle. En las laderas del cauce del río Ranrahirca y la ciudad de Yungay, se encuentran cárcavas que en época de lluvias transportan pequeños flujos de detritos.



Fotografía 44 Vista de la quebrada Ancush con su sistema morrénico, lengua glaciar y glaciar de roca



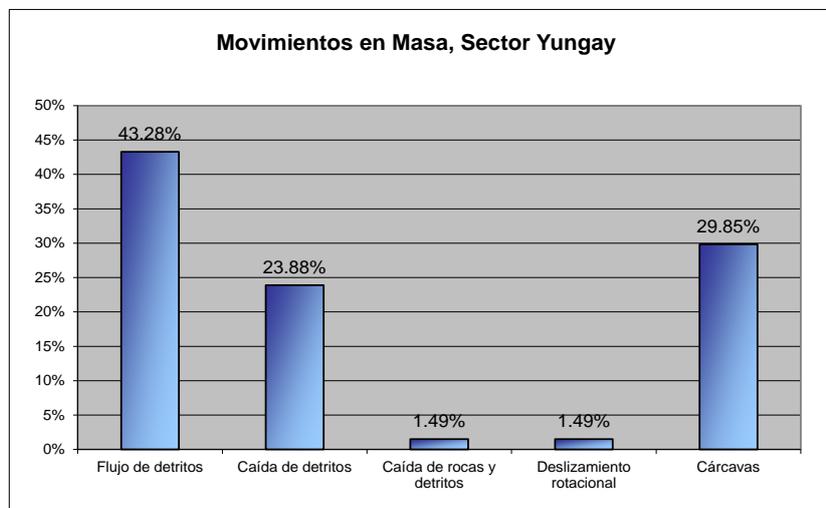
Fotografía 45 Grandes depósitos morrénicos colgados del nevado Huandoy, al no estar consolidados representan un peligro considerable para la estabilidad de las lagunas Llanganuco, por el riesgo de avalanchas de detritos y flujos de detritos.



Fotografía 46 Vista del nevado Huascarán donde se aprecia en líneas rojas entrecortadas la ubicación de las quebradas Armapampa y Huarayoc.

Porcentualmente, los movimientos en masa en el sector Yungay se presentan de la siguiente manera: flujos de detritos 43.28 %, cárcavas 29.85 %, caída de detritos 23.88 %, caída de rocas y detritos 1.49 % y deslizamientos 1.49 % (cuadro 11).

Cuadro 11:
Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Yungay. Se aprecia la clara predominancia de los flujos de detritos seguido de las caídas de detritos



MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR TINCO

El sector Tinco está localizado al noreste del poblado de Tinco. En este sector, se encuentra el valle glaciar Ulta, los valles fluvio-glaciares de Catay y Pungaruri y el valle fluvial del río Buin.

La quebrada de origen glaciar de Pungaruri (conocida localmente como quebrada Pungaruri) presenta un alto grado de erosión por cárcavas, además de grandes depósitos antiguos de avalanchas de rocas, posiblemente originados por la mala calidad del suelo. Además, debido al alto grado de erosión, se tiene la presencia de depósitos de flujos de detritos en el fondo de la quebrada (mapa 8).

El valle glaciar de Ulta (quebrada Ulta) presenta grandes depósitos de movimientos en masa, lo que lo hace el principal depósito de avalancha-flujo proveniente del nevado Huascarán (imagen 24) que en el pasado represó por cientos de metros la quebrada, lo que generó una laguna que debió haber tenido más de 2 kilómetros de largo. De este evento, ahora solo nos quedan los depósitos lacustres de esa laguna, que le da a la

quebrada Ulta un amplio piso completamente plano (fotografía 47). Además, se tiene otros depósitos de avalanchas de rocas, flujos de detritos, caídas de detritos, de rocas u otros.

En la parte inicial del valle glaciar, se tiene unos amplios depósitos de morrenas de fondo de valle (imagen 25 y fotografía 48) de varios cientos de metros de extensión. En el flanco sur del nevado Huascarán, sobre la quebrada Ulta se tiene depósitos morrénicos colgados, de igual manera al frente se tiene a la laguna Huallacocha, que está en un valle glaciar colgado, represada por depósitos morrénicos.

Al sur de la quebrada Ulta se encuentra la quebrada de origen glaciar Catay, cuya principal característica es que en sus cabeceras alberga dos lagunas, la laguna Auquicocha cuyo vaso se encuentra en roca, y la laguna Checquiacochoa que se encuentra por encima de Auquicocha represada por un dique de morrenas (imagen 26). Debido a que Auquicocha está emplazada sobre roca no representa un peligro directamente, sin embargo la de Checquiacochoa por estar sobre morrenas y encima de la primera, (sus aguas caerían sobre la laguna Auquicocha y esta se desbordaría).

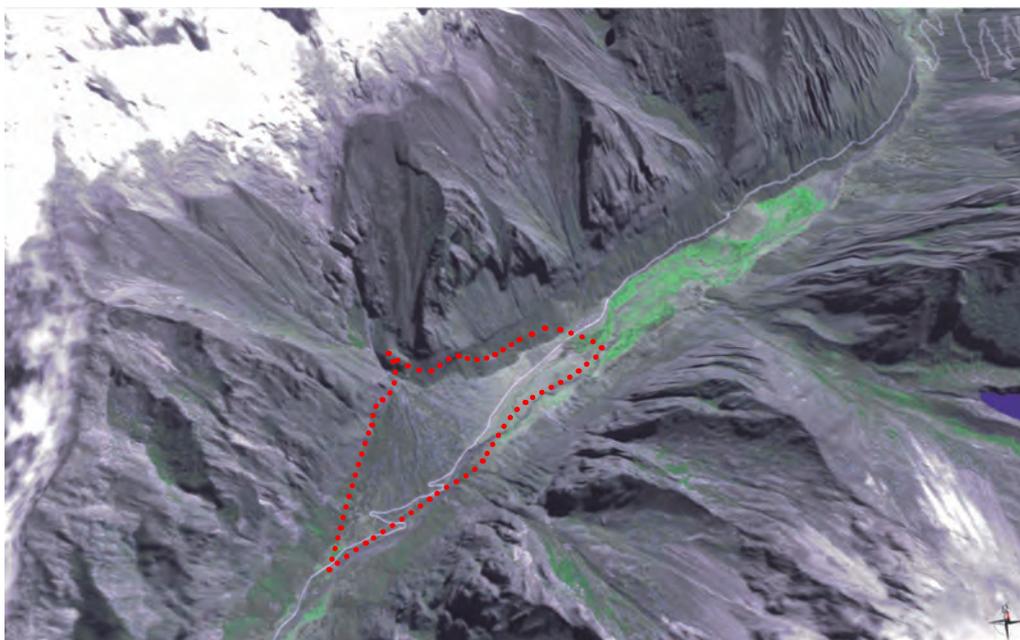


Imagen 24 Depósito de una avalancha proveniente del nevado Huascarán que represó el valle glaciar de Ulta; nótese lo largo del depósito lacustre remanente, aguas arriba.



Fotografía 47 Depósito lacustre en el piso del valle glaciar de Ulta de fondo plano y curso divagante

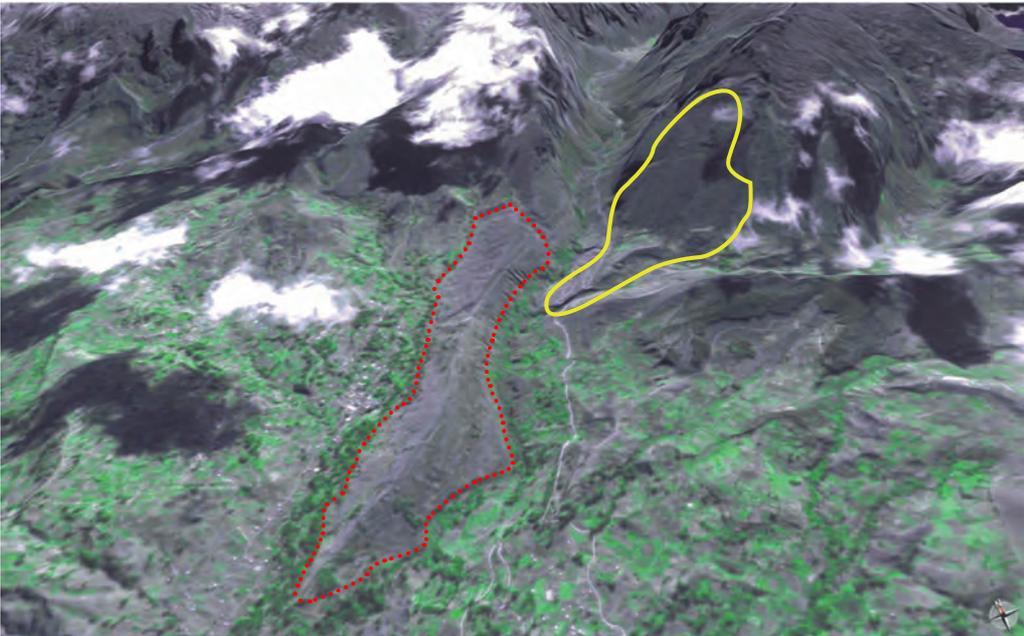


Imagen 25 En líneas rojas punteadas se delimitan los depósitos morrénicos del fondo del valle en la parte inicial de la quebrada Ulta. En líneas amarillas se delimitan algunos depósitos morrénicos colgados.



Fotografía 48 Vista de los depósitos morrénicos del fondo del valle; nótese la gran altura que tienen.

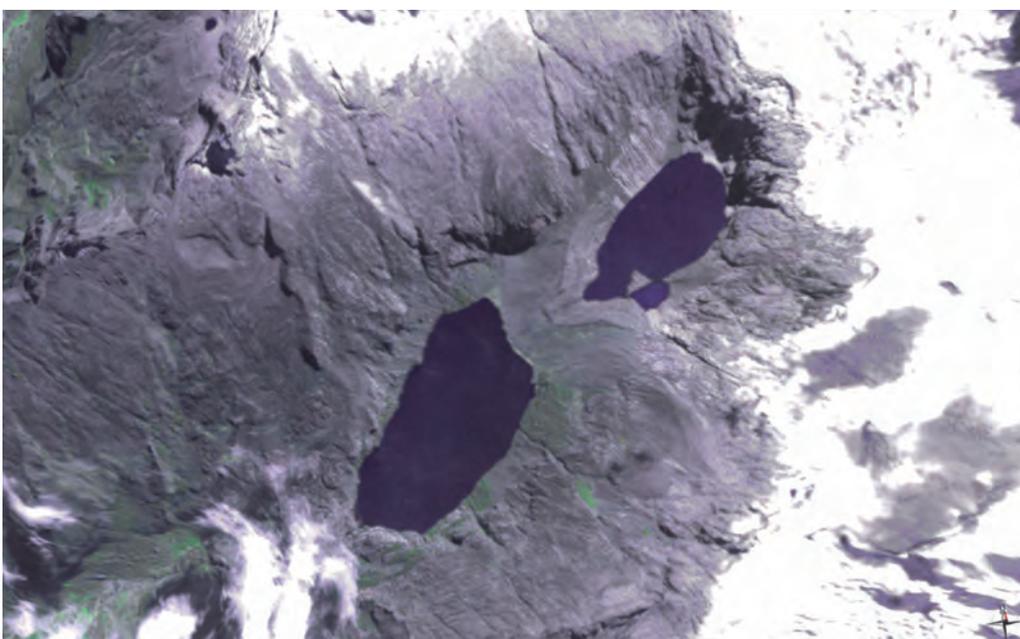


Imagen 26 Vista satelital de las lagunas Aquicocha y Checquiacochoa; nótese la erosión de la presa de morrenas de la laguna superior.

A lo largo de la quebrada Catay, se aprecia algunos depósitos de avalanchas de rocas, flujos de detritos, algunas cárcavas, deslizamientos (fotografía 49) y depósitos morrénicos de fondo de valle en la parte inicial.

El valle fluvial del río Buin está dominado principalmente por cárcavas (imagen 27), pequeños depósitos de flujos de detritos y, en su confluencia con el río Santa se aprecia un gran depósito aluvial, creado por un gran aluvión con origen probablemente en la quebrada Uta o quebrada Catay.



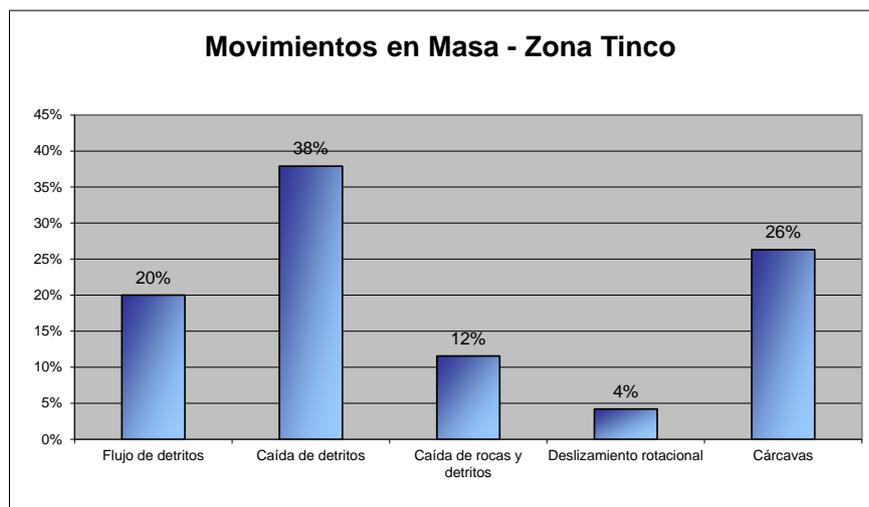
Fotografía 49 Deslizamiento antiguo con reactivación en la parte baja de los depósitos morrénicos de fondo de valle en la quebrada Catay



Imagen 27 Vista satelital 3D del valle del río Buin y la quebrada Pungaruri; se puede apreciar la presencia de cárcavas en las laderas.

Porcentualmente, los movimientos en masa en el sector Tingo se presentan de la siguiente manera: 38 % caída de detritos, 26 % cárcavas, 20 % flujos de detritos, 12 % caída de rocas y detritos y 4 % deslizamientos (ver cuadro 12).

Cuadro 12
Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Tingo. Se aprecia la clara predominancia de caídas de detritos seguido de flujos de detritos.



MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR CARHUAZ

Está localizado al noreste de la ciudad de Carhuaz, comprende el valle glaciar de Hualcán, la quebrada de origen glaciar de Upaccoto y el valle fluvial del río Chucchun (mapa 8).

El valle glaciar de Hualcán (conocido localmente como quebrada Hualcán) no está completamente desarrollado (no tiene la característica forma de U), pero se considera un

valle glaciar por la abundancia de depósitos morrénicos en su interior (además de depósitos de movimientos en masa) los cuales muestran las numerosas etapas de avance y retroceso que tuvieron la(s) lengua(s) del nevado Hualcán (fotografía 50). En la parte más alta alberga a las lagunas Coccha y 513. La laguna 513 (imagen 28 y foto 51) es de importancia ya que en abril de 2010 cayó un bloque de hielo y roca sobre ella provocando su desembalse, afortunadamente, el aluvión no llegó a la ciudad de Carhuaz (ver anexos).



Fotografía 50 Depósitos morrénicos en el fondo del valle glaciar Hualcán

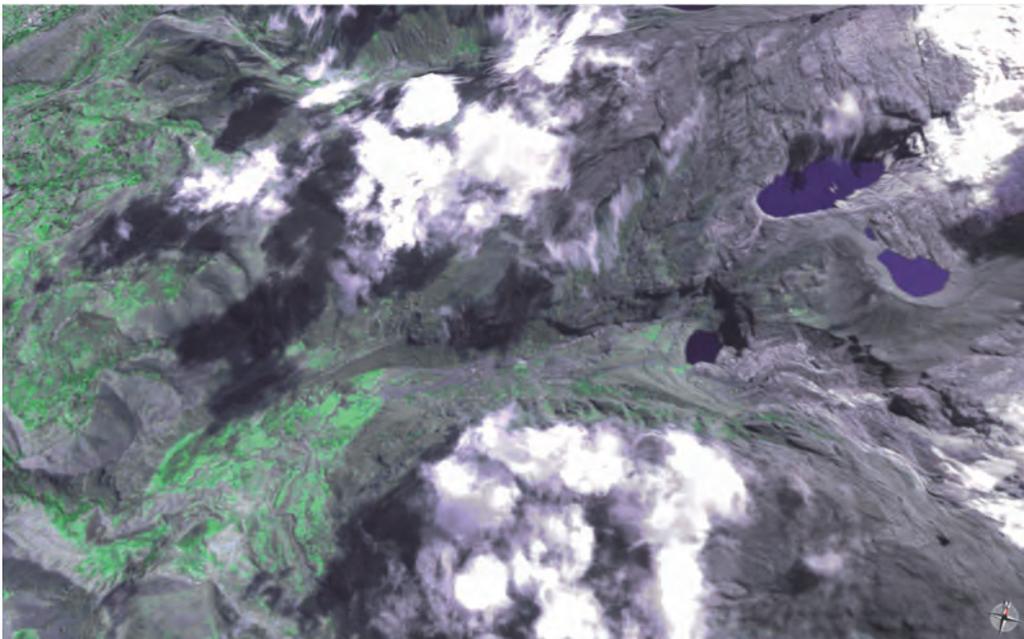


Imagen 28 Vista satelital de las lagunas 513 y Coccha, así como, del valle glaciar Hualcán y los depósitos morrénicos en el fondo

Las confluencias de las aguas de las quebradas Upaccoto y Hualcán forman el río Chucchun, el cual presenta algunos pequeños depósitos de flujos de detritos en sus orillas, y la predominancia de estructuras de erosión como cárcavas. En su confluencia con el río Santa, presenta un gran depósito aluvial (imagen 29), donde claramente se aprecia dos eventos aluviónicos, sobre uno de los cuales se ubica la

ciudad de Carhuaz. Esto nos indica que la ciudad podría verse afectada por un evento aluvial en el futuro.

Porcentualmente, los movimientos en masa en el sector Carhuaz se presentan de la siguiente manera: 75 % cárcavas, 12 % flujos de detritos, 9 % deslizamientos, 2 % caída de rocas y 2 % caída de rocas y detritos, (ver cuadro 13).



Fotografía 51 Vista al nivel del suelo del valle glaciar de Hualcán y el nevado Hualcán.

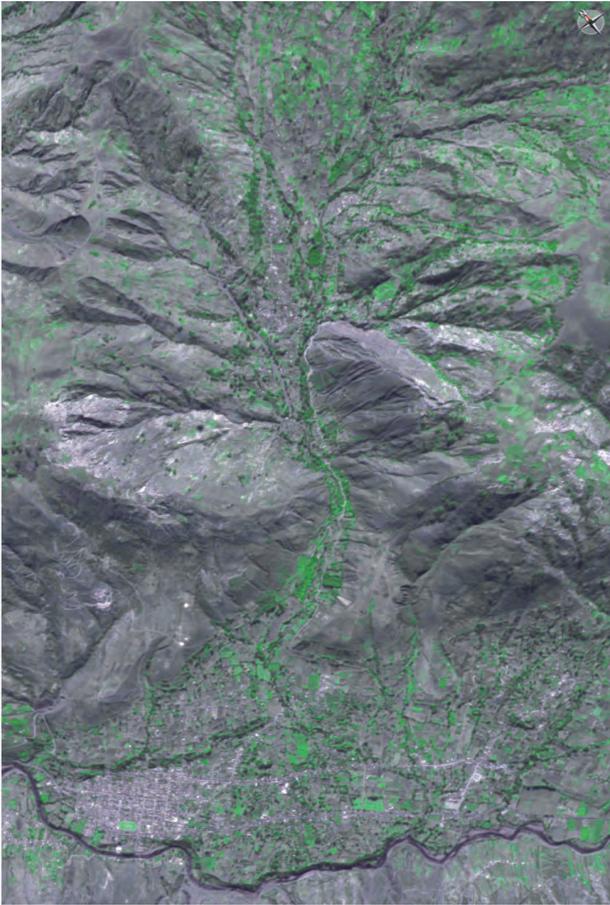
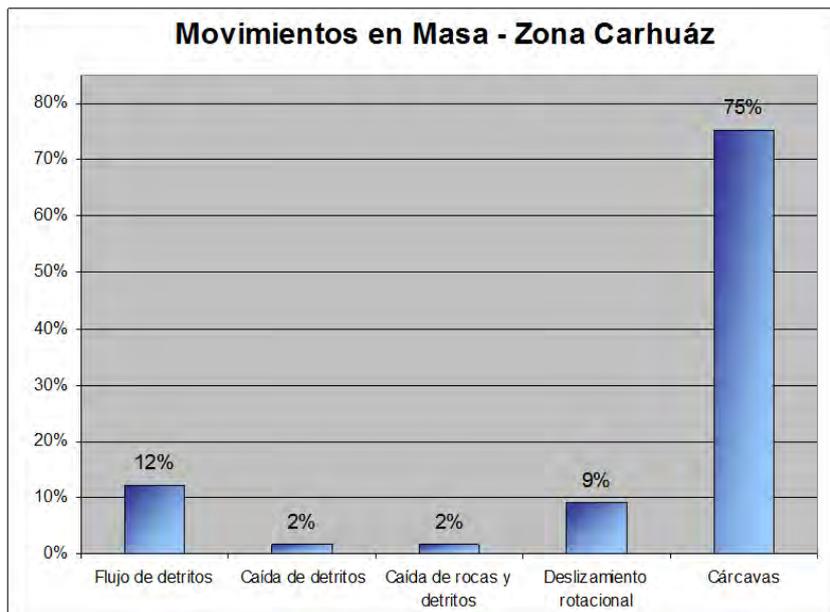


Imagen 29 Vista satelital 3D del valle del río Chucchun, se aprecia el gran depósito aluvial en la confluencia con el río Santa. La ciudad de Carhuaz está ubicada en una zona susceptible a aluviones dada las condiciones de las quebradas cercanas y del valle glaciar de Hualcán.

Cuadro 13
Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Carhuaz. Se aprecia la clara predominancia de las erosiones tipo cárcavas.



MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR MARCARÁ

Este sector, localizado al este del poblado de Marcará, está compuesto por los valles glaciares de quebrada Honda y Akillpo, los valles glaciares colgados de Ruripaccha, Cancuhua y Pacliash, la quebrada glaciar de Legiamayo y los valles fluviales de río Marcará y río Ucucharuri (mapa 9).

El valle glaciar de quebrada Honda es uno de los más

interesantes de toda la Cordillera Blanca, ya que, además de ser el más largo (aproximadamente 24 km) es el único que presenta una curvatura hacia el sur (imagen 30) en su segmento medio.

La quebrada Honda tiene 3 valles glaciares colgados: Ruripaccha, que está muy bien desarrollado y muestra numerosos depósitos morrénicos y la laguna Paccaruri en su parte final (fotografía 52 e imagen 31). Cancuhua muestra



Imagen 30 Vista satelital de Google Earth donde se aprecia el valle glaciar de quebrada Honda y el poblado de Marcará



Fotografía 52 Ingreso al valle glaciar colgado de Ruripaccha, que está 150 metros por encima del nivel del valle glaciar principal (quebrada Honda).

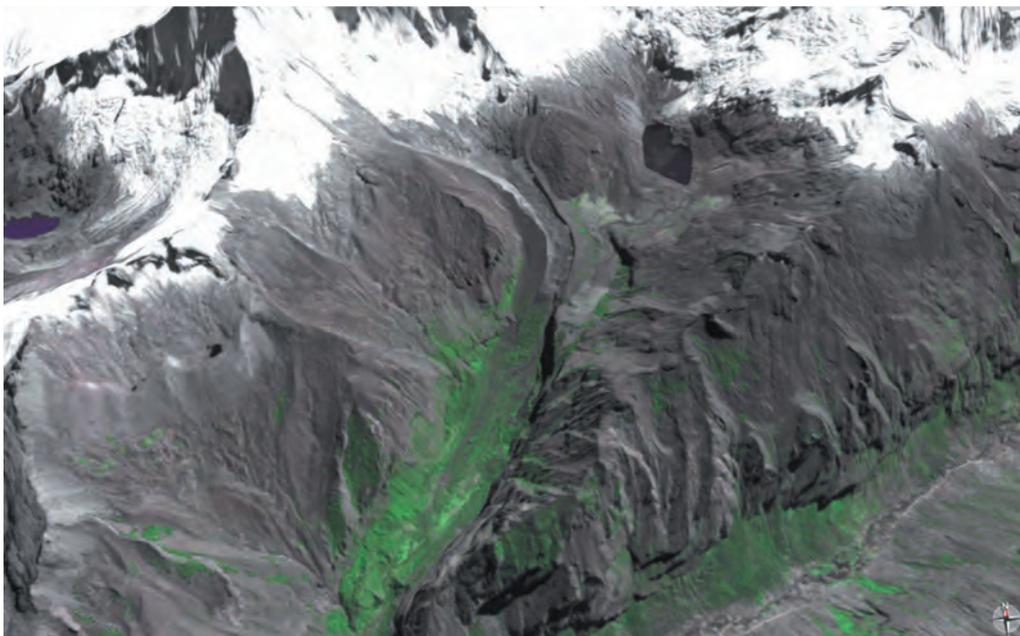


Imagen 31 Vista satelital 3d Spot de Ruripaccha, nótese los depósitos morrénicos en la naciente del valle glaciar principal (quebrada Honda).

un largo cordón morrénico en su flanco derecho y algunos depósitos de movimientos en masas, y Pacliash también muestra largos depósitos morrénicos, además de una laguna (aún sin nombre oficial) represada artificialmente para operaciones de las labores mineras.

El acceso a este valle es restringido, ya que en él se llevan a cabo labores de minería informal, donde tuvimos acceso dos días a la zona.

A lo largo de la quebrada Honda se puede apreciar numerosos depósitos de movimientos en masa de grandes dimensiones (fotografía 53), mientras que, en su cabecera se encuentran depósitos morrénicos represando las lagunas de Pucaranra (1.20 km de largo) y la laguna 362 (menos de 10 metros de largo). Hay que acotar que algunos depósitos de movimientos en masas se encuentran reactivados debido a la construcción de carreteras para camiones, botaderos de desmonte y otros productos de la intensa minería informal que se desarrolla en esta zona.

El valle glaciar de Akillpo (conocido localmente como quebrada Akillpo) es más pequeño que la quebrada Honda. De forma similar, en su cabecera tiene una dirección andina (SE-NO) (imagen 32). Es una quebrada con las paredes muy empinadas y con bastante erosión, por lo que en sus laderas se puede

apreciar depósitos de caída de detritos, flujos de detritos y avalanchas de rocas. En su cabecera, se encuentra un sistema de lagunas glaciares (lagunas Akillpo) represadas por depósitos morrénicos de alta montaña.

La quebrada glaciar de Lejiamayo (río Lejiamayo localmente) también tiene algunos depósitos de deslizamientos en sus laderas, además de un sistema de depósitos morrénicos que represan las lagunas de Legiacocha en su parte superior.

Al inicio de las quebradas y valles glaciares se encuentran grandes depósitos de morrenas del fondo de valle afectados por la actividad de la falla de la Cordillera Blanca. En algunas zonas, se puede apreciar varios saltos de hasta 2 metros de altura cada uno; esto es una muestra clara de la reciente actividad de esta falla.

Los valles fluviales del río Ucucharuri y río Marcará (imagen 33), al estar rellenos por material de origen fluvio-glaciar, presentan en sus laderas fuertes muestras de erosión en forma de cárcavas, depósitos de deslizamientos antiguos y flujos de detritos. En la confluencia del río Marcará al río Santa, se aprecia un gran depósito aluvial de origen fluvio-glaciar, en donde se emplaza el poblado de Marcará. El origen de este evento aún es desconocido.



Fotografía 53 Vista de un segmento de la quebrada Honda; nótese los grandes depósitos de movimientos en masas en las laderas y lo plano del fondo del valle.

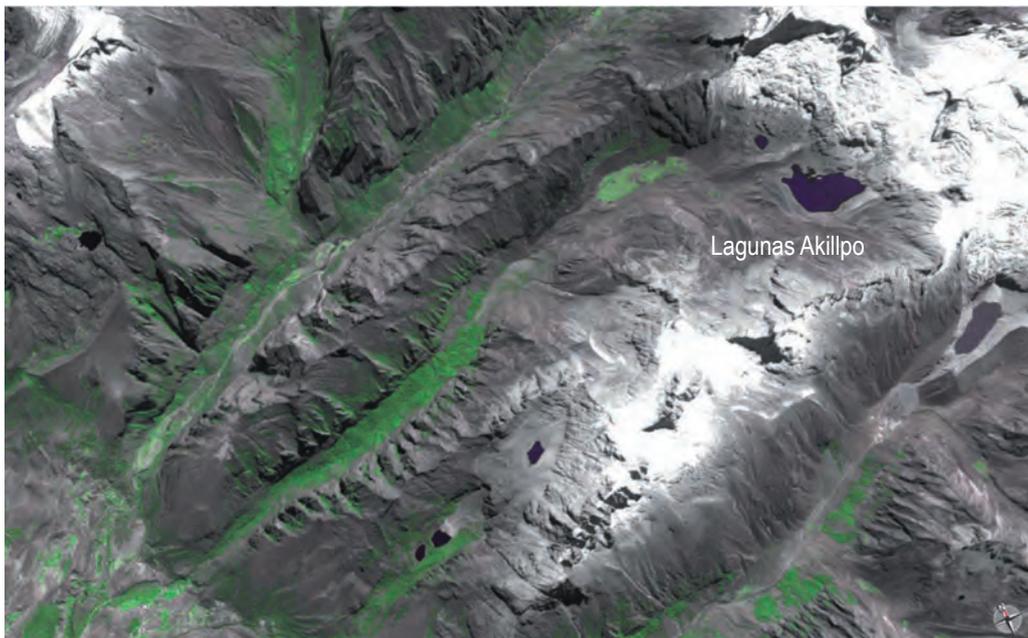


Imagen 32 Vista satelital de la quebrada Akillpo.

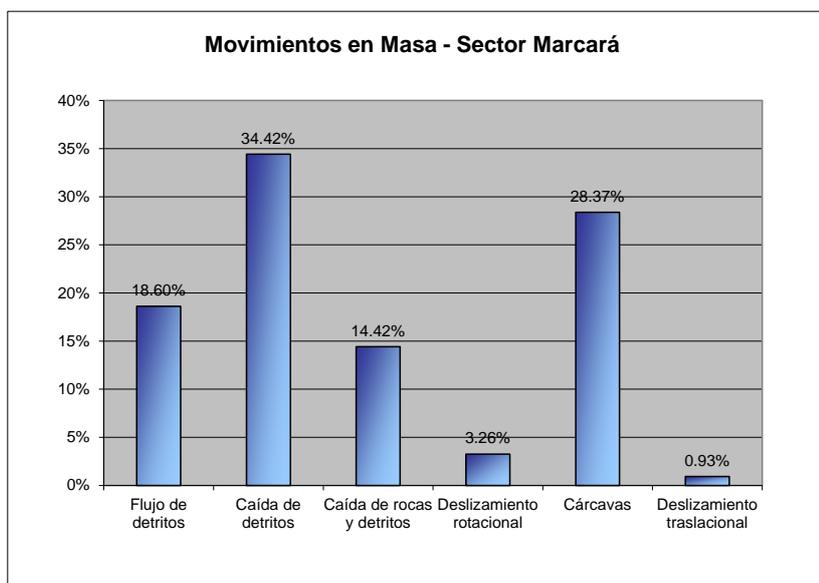


Imagen 33 Vista panorámica de la cuenca fluvial del río Marcará (línea roja); nótese el fuerte grado de erosión por cárcavas que se presenta en las laderas.

La distribución porcentual de los movimientos en masa en el sector de Marcará se presenta de la siguiente forma: 34.42 % caída de detritos, 28.37 % cárcavas, 18.60 % flujos de detritos,

14.42 % caída de rocas y detritos, 3.26 % deslizamientos rotacionales y 0.93 % deslizamientos traslacionales (ver cuadro 14).

Cuadro 14
Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Marcará. Se aprecia el predominio de las caídas y flujos de detritos; estos últimos están relacionados a la erosión en cárcavas



MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR TARICÁ – PALTAY

Este sector, localizado al este de la localidad de Taricá, está conformado por el valle glaciar de Ishinca y el valle fluvial de Paltay (mapa 9).

El valle glaciar de Ishinca (conocido localmente como quebrada Ishinga) tiene numerosos depósitos de movimientos en masa en sus flancos. Destacan en él grandes avalanchas de detritos y rocas, caída de detritos y flujos de detritos. En su cabecera o parte inicial tiene un gran sistema morrénico que represa a la laguna Ishinga; además, en el flanco izquierdo posee tres pequeños valles colgados con depósitos morrénicos bien desarrollados que albergan lagunas en formación. Al igual que otros valles glaciares, la quebrada Ishinga presenta depósitos de morrenas de fondo de valle al inicio (imagen 34).

El valle del río Paltay presenta algunas cárcavas menores, no se tiene evidencia cartográfica de grandes depósitos de aluviones en la zona.

Porcentualmente, los movimientos en masa en el sector Taricá – Paltay se presentan de la siguiente manera: 50 % caída de detritos, 23 % flujos de detritos, 15 % caída de rocas y detritos, 10 % deslizamientos y 2 % cárcavas (ver cuadro 15).

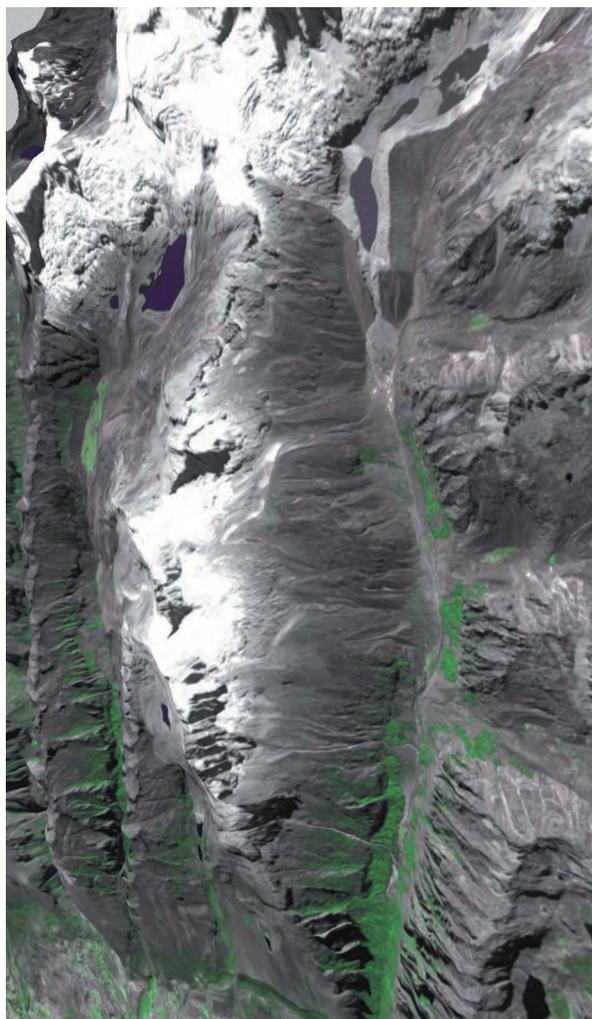
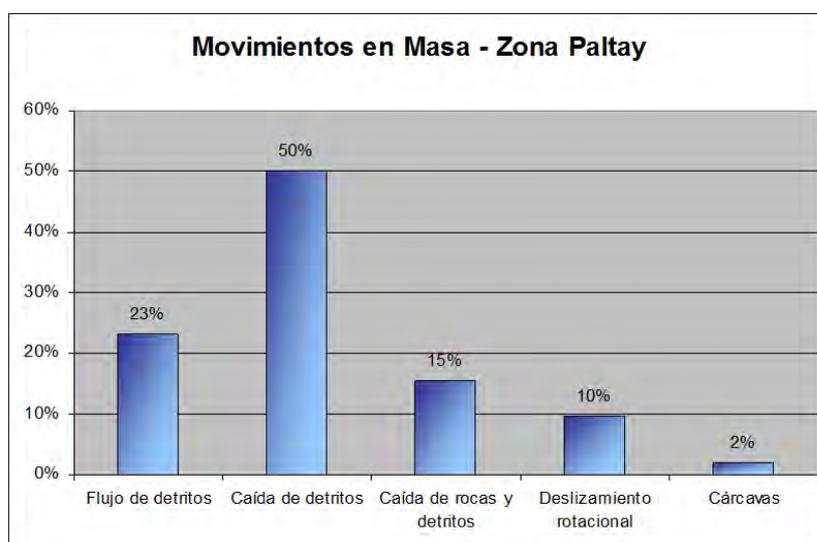


Imagen 34 Vista panorámica 3D de quebrada Ishinga mostrando los depósitos morrénicos colgados y el sistema de lagunas al inicio del valle

Cuadro 15 Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Paltay. Se aprecia la clara predominancia de caídas de detritos seguido de los flujos de detritos



MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR HUARAZ

El sector está comprendido desde el norte de la localidad de Monterrey, pasando por todo el dominio glaciar al este de la ciudad de Huaraz, hasta el poblado de Chinguar, al sur de la quebrada Pariac. Este es uno de los sectores más extensos por lo que se realizó un estudio más detallado (mapa 10).

Está compuesto por cinco valles glaciares (imagen 35): Llaca (el de menor extensión. 4.45 km), Cojup (11.7 km; históricamente, el que más afectó a la ciudad de Huaraz), Quilcayhuanca (10.3 km de largo) y Shallap (5.7 km de largo)

que forman la cuenca del río Quilcay, que es fuente de agua para la ciudad de Huaraz, una quebrada glaciar (Altuac) y dos valles fluvio-glaciares (Quilcay y quebrada Pariac) los cuales se prolongan con los mismos nombres en valles fluviales en su confluencia con el río Santa. Si bien es cierto, la quebrada Pariac no afecta directamente a la ciudad de Huaraz, al estar ubicada inmediatamente al sur y aguas arriba, cualquier evento que afecte las aguas de su río (un represamiento por avalancha, por deslizamiento o un aluvión en la parte glaciar) puede descender hasta el río Santa y afectar directamente a la ciudad de Huaraz, por lo que se considera dentro del mismo sector.

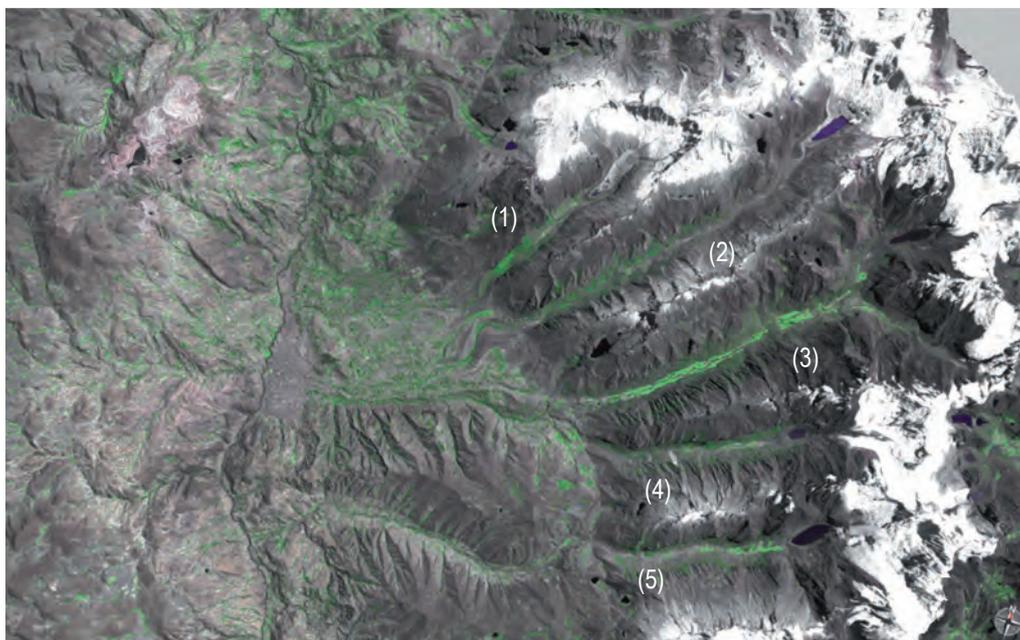


Imagen 35 Vista panorámica de la cuenca Quilcay: 1: Llaca, 2: Cojup, 3: Quilcayhuanca, 4: Shallap y 5: Quebrada Pariac.

El valle glaciar de Llaca, al igual que casi todos los valles glaciares de la Cordillera Blanca, tiene en su nacimiento una laguna glaciar en formación donde es muy frecuente apreciar avalanchas de material glaciar (fotografía 54). Debido a las obras de seguridad en el dique morrénico de la laguna, estas avalanchas no representan peligro alguno.

En los depósitos morrénicos de la laguna Llaca se aprecia depósitos de avalanchas de detritos (fotografía 55), originados posiblemente por la saturación de dicho material durante la temporada de lluvias.

Aguas abajo, en la parte media del valle glaciar de Llaca y hasta

donde pierde su típica forma en U, se encuentran numerosos depósitos de caída de detritos (fotografía 56) y caída de rocas (fotografía 57) con muestras de reactivaciones locales que no representan ningún peligro.

El valle glaciar de Cojup (también llamado quebrada Cojup) es el que históricamente representa el mayor peligro para la seguridad de Huaraz, ya que en este valle, se originaron la mayoría de eventos aluviónicos que afectaron dicha ciudad.

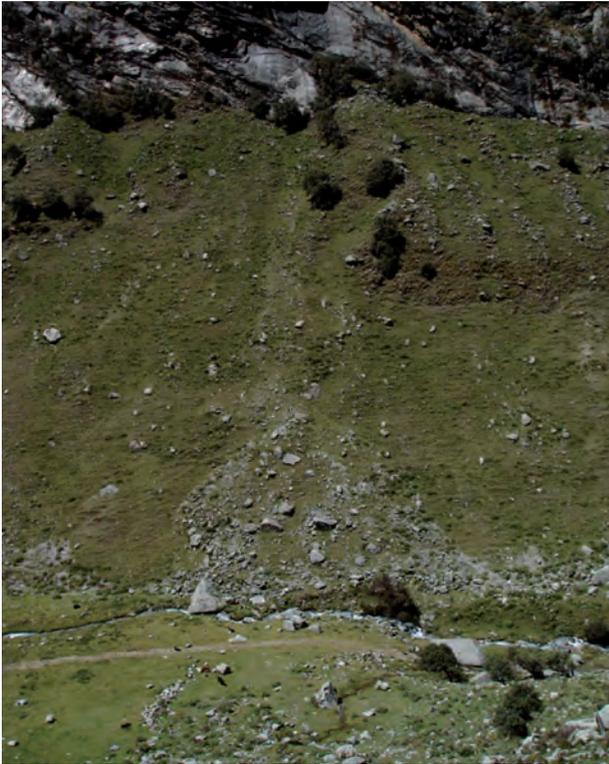
Siendo el que más movimientos en masa activos presenta en la actualidad.



Fotografía 54 Nacientes del valle glaciar de Llaca, se aprecia bloques de hielo glaciar flotando en la laguna debido a las constantes avalanchas de hielo glaciar que ocurren en la zona (Junio 2008).



Fotografía 55 Avalancha de detritos en la morrena de la laguna Llaca (mirando al N), este tipo de eventos ocurren, principalmente, después de fuertes temporadas de lluvias, y en depósitos inconsolidados (Junio 2008).



Fotografía 56 Depósito de caída de detritos en la parte media del valle glaciar de Llaca; nótese los bloques recientes que son evidencia de reactivaciones menores.



Fotografía 57 Depósitos de caída de rocas en el valle glaciar de Llaca.

En las nacientes del valle de Cojup, se encuentra la laguna Palcacocha y sus imponentes morrenas de más de 300 metros de alto (que al romperse originaron el aluvión de 1941). La fotografía 58 muestra el complejo glaciar Cojup, las morrenas Palcacocha y parte del depósito del aluvión de 1941.

Estas grandes morrenas son susceptibles a generar avalanchas de detritos (fotografía 59) y caída de detritos; justamente una avalancha de detritos fue la que generó el aluvión del 2003 en la laguna Palcacocha (Silva, 2009).

Pequeños aluviones ocurrieron en los últimos años en el valle glaciar de Cojup, como el del 27 de septiembre de 2008 (fotografía 60), en donde una pequeña laguna en formación se desbordó y generó un aluvión de pequeñas proporciones. Este evento se puede considerar como un aviso para realizar un monitoreo constante y obras de seguridad de las nuevas lagunas que se están formando como resultado del retroceso glaciar.



Fotografía 58 Vista de las morrenas Palcacocha y de la cicatriz que originó el aluvión de 1941



Fotografía 59 Avalancha de detritos ocurrida en la morrena lateral izquierda de la laguna de Palcacocha, que originó el aluvión del 13 de marzo de 2003.



Fotografía 60 Zona de transporte del aluvión del 27 de septiembre de 2008. Una morrena en formación produjo una avalancha que desbordó una pequeña laguna. La flecha roja indica el trayecto del flujo, que tuvo una caída hasta el fondo del valle de más de 500 metros.

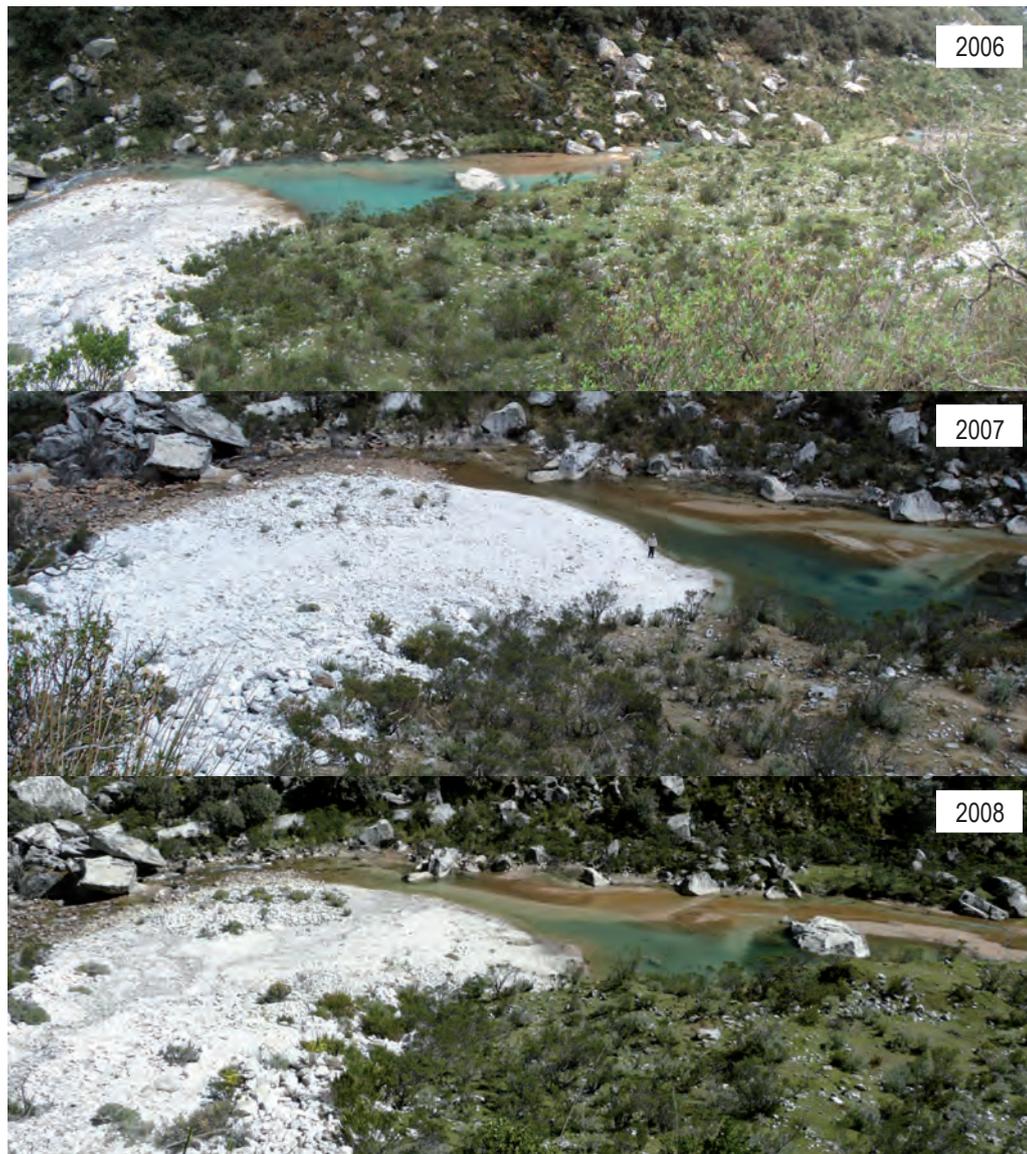
En la parte media del valle glaciar de Cojup se aprecian los restos de la laguna Jircaycocha (fotografía 61), la cual fue completamente desaguada por el aluvión de 1941 originado aguas arriba en la laguna Palcacocha y que se precipitó violentamente hacia la ciudad de Huaraz.

En la parte media-final del valle glaciar de Cojup, se aprecia un represamiento del río Cojup por flujos de detritos provenientes del flanco izquierdo del valle. Este fenómeno es recurrente en los años (fotografía 62) y de ocurrir un evento de mayor volumen, este cerraría el curso del río, lo que generaría una laguna que al desembalsar podría afectar a la ciudad de Huaraz.

El valle glaciar de Quilcayhuanca está caracterizado por presentar grandes depósitos de movimientos en masa antiguos y casi sin reactivaciones, en sus nacientes cuenta con dos lagunas glaciares (Tulpacocha y Cuchillacocha) las cuales cuentan con obras de seguridad en sus diques morrénicos.



Fotografía 61 Vista panorámica de lo que fue la laguna de Jircaycocha, la cual fue desaguada por el aluvión de 1941. La línea muestra el nivel que alcanzaban las aguas de la laguna Jircaycocha.



Fotografía 62 Flujo de detritos que represa las aguas del río Cojup; nótese la evolución temporal del abanico, que anualmente va ganando altura y va estrechando más la zona de desfogue, además de que la laguna posterior al abanico es cada año más grande.

En la parte media del valle, se aprecia un gran depósito de avalancha de rocas (imagen 36) que represó el valle por varios cientos de metros y evidencias de que se generó una laguna aguas arriba del dique.

De igual manera que en los otros valles glaciares, en Quilcayhuanca se encuentran también depósitos de caídas de rocas, avalanchas de rocas y detritos (fotografía 63) y caída de detritos de menores dimensiones y sin reactivaciones recientes.

El valle glaciar de Shallap es el último que aporta a la cuenca

del río Quilcay y el último valle glaciar cuyas aguas llegan a la ciudad de Huaraz. En sus nacientes se encuentra la laguna de Shallap que tiene un dique artificial que regula el nivel de sus aguas.

En las laderas de este valle glaciar, se encuentran numerosos depósitos de caídas de rocas (fotografía 64), caídas de detritos y avalanchas de rocas. En 1941, ocurrió una avalancha de rocas en el flanco izquierdo del valle glaciar de Shallap que no tuvo consecuencia alguna (fotografía 65).

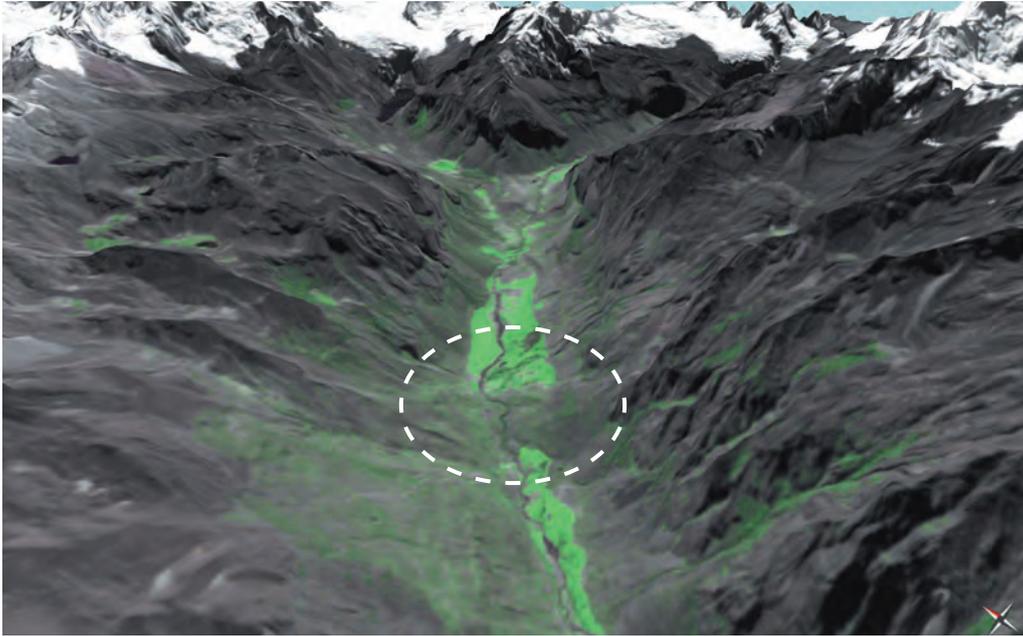


Imagen 36 Gran avalancha de rocas originada en el flanco derecho del valle glaciar de Quilcayhuanca. Esta avalancha produjo el cierre total del cauce del río, llegando a formar una laguna de la cual solo se encuentran sus sedimentos.



Fotografía 63 Depósitos de avalanchas de rocas y detritos en el valle glaciar de Quilcayhuanca.



Fotografía 64 Depósito recientes de caídas de rocas, sobre depósitos antiguos en el valle glaciar de Shallap.



Fotografía 65 Avalancha de rocas ocurrida en 1941 en Shallap, no se asocia al aluvión de la quebrada Cojup, ya que el deslizamiento ocurrió meses antes.

La quebrada Pariac (denominada quebrada Pariac en su parte baja y valle glaciar Rajucolta en sus nacientes) desemboca en el río Santa a 5 km al sur de la ciudad de Huaraz. En sus nacientes se encuentra la laguna glaciar Rajucolta. El 24 de junio de 1883 ocurrió un aluvión originado en la parte alta del valle glaciar Rajucolta; el flujo aluviónico bajó por la quebrada Pariac, este ingresó al río Santa y al viajar aguas abajo afectó a Huaraz en las zonas donde hoy en día se ubican los barrios de Taclan, Villón Bajo y Huaripampa.

En el valle glaciar de Rajucolta, se encuentran los típicos depósitos de caídas de rocas, flujos de detritos, avalanchas de rocas y avalanchas de detritos antiguos (fotografía 66) con algunas zonas de reactivaciones locales.

La zona media y baja de la quebrada Pariac corresponde principalmente a depósitos fluvioglaciares de moderada pendiente, afectados por un alto grado de erosión en cárcavas (imagen 37) y depósitos de flujos de detritos (fotografía 67).

Desde la zona de Linguas hasta Oncos, se presentan grandes extensiones de terrenos fuertemente erosionados tipo Bad Land, caso del cerro Varincagirca en la margen derecha y los cerros Macashca y Quiquish en la margen izquierda de la quebrada Pariac, donde al igual que la zona de Rataquenua en Huaraz sufre constantes flujos de detritos, especialmente en la época de lluvias (noviembre a marzo).

CIUDAD DE HUARAZ

La ciudad de Huaraz históricamente fue afectada por fenómenos geológicos destructivos como el terremoto del 31 de mayo de 1970, el cual destruyó el 90 % de la infraestructura y cobró miles de víctimas. Huaraz también fue seriamente afectada el 12 de diciembre de 1941 por un aluvión con origen en la laguna glaciar de Palcacocha que arrasó el 40 % de la ciudad y recurrentes eventos menores durante las últimas décadas (ver cuadro 16).



Fotografía 66 Parte media del valle glaciar de Rajucolta (quebrada Pariac) con depósitos de caídas de rocas y algunos flujos de detritos antiguos



Imagen 37 Margen derecha de la quebrada Pariac (cerro Varincagirca) se aprecia el grado de erosión por cárcavas en la zona que origina flujos de detritos en la temporada de lluvias.



Fotografía 67 Depósitos de flujos de detritos antiguos en la parte media de la quebrada Pariac.

Cuadro 16
Principales eventos geológicos que afectaron a la ciudad de Huaraz

FECHA	Descripción del Evento
04/03/1702	<u>Inundación en la ciudad de Huaraz</u> : El relato del padre Beltrán menciona hasta varias varas de altura alcanzadas.
06/01/1725	<u>Aluvión en Huaraz</u> : Sismo ocasiona avalanchas de hielo y ruptura de lagunas que destruyeron la ciudad de Huaraz; se derrumbó el templo de los padres Franciscanos "Jesús, María y José". Desaparecieron 1500 habitantes quedando solo 300.
10/02/1869	<u>Aluvión en Huaraz</u> : Entre las 8 y 9 de la noche se precipitó un enorme aluvión por encima de la colina que domina la planicie de los baños de Monterrey. Con una formidable fuerza arrasó lo que encontraba a su paso (baños, fábricas, caseríos, etc.). Murieron 11 personas que se encontraban en los baños termales.
1891	<u>Evento de "El Niño" en la región Ancash</u> : El departamento de Ancash resultó gravemente afectado por flujos de detritos, quedando Huaraz aislada durante 80 días. Chimbote, muy pequeña por entonces, quedó destruido en un 95 %, Samanco resultó también seriamente castigado por las lluvias. Casma quedó en ruinas (Tomado de López Martínez, 1983).
13/12/1941	<u>Aluvión en Huaraz</u> : Ruptura de las lagunas Pacoshacocha (Palcacocha) y Jircacocha, a las 5:58 horas, generó un flujo aluviónico por la quebrada Cojup hacia Huaraz, dejando un saldo de 4000 muertes. Se calculó un volumen de 4000 000 de m ³ de material.
06/11/1952	<u>Ruptura de la laguna Milluacocha</u> : Al fondo de la quebrada Ishinca (Huaraz) se generó un depósito de aproximadamente 30 000 a 50 000 m ³ de material, con escasos daños.
1953	<u>Desborde de la laguna Tullparaju</u> : Se ubicó en la cabecera de la quebrada Quilcayhuanca (Huaraz), a consecuencia de deslizamientos en la morrena lateral hacia la laguna.
31/08/1962	<u>Avalancha proveniente del lado suroeste del nevado Tocllaraju y desborde de la laguna Milluacocha en la quebrada Ishinca (Huaraz)</u> : Destruyó puentes peatonales, camino de herradura y afectó puente Paltay que une la carretera principal Huaraz-Caraz.
04/03/1994	<u>Inundación en Huaraz</u> : Arrasó 12 viviendas en la ribera del río Santa, pese a la prohibición de construir viviendas a no menos de 100 m del río.
18/03/1994	<u>Huayco en el caserío de Pueblo Libre (Restauración, Huaraz)</u> : Destruyó 25 viviendas y afectó 180 hectáreas de cultivo; 125 damnificados.
24/03/1994	<u>Huayco en la comunidad de Pedro Pablo Atusparia, sector Tomapampa (Restauración, Huaraz)</u> : Destruyó 31 viviendas y afectó 77 250 hectáreas de cultivo y nueve muertos; 590 damnificados.
18/04/1994	<u>Huayco en el sector de Hualcor, sector Poncán (Restauración, Huaraz)</u> : Destruyó 41 viviendas y afectó 20 a 30 has de cultivos y 270 damnificados.
19/03/2003	<u>Derrumbe parcial de la parte posterior de la morrena lateral izquierda de la laguna Palcacocha (este de Huaraz)</u> : Provocó el rebalse de la laguna, quedando el 60 % de la población de Huaraz desabastecida de agua potable por 6 días.

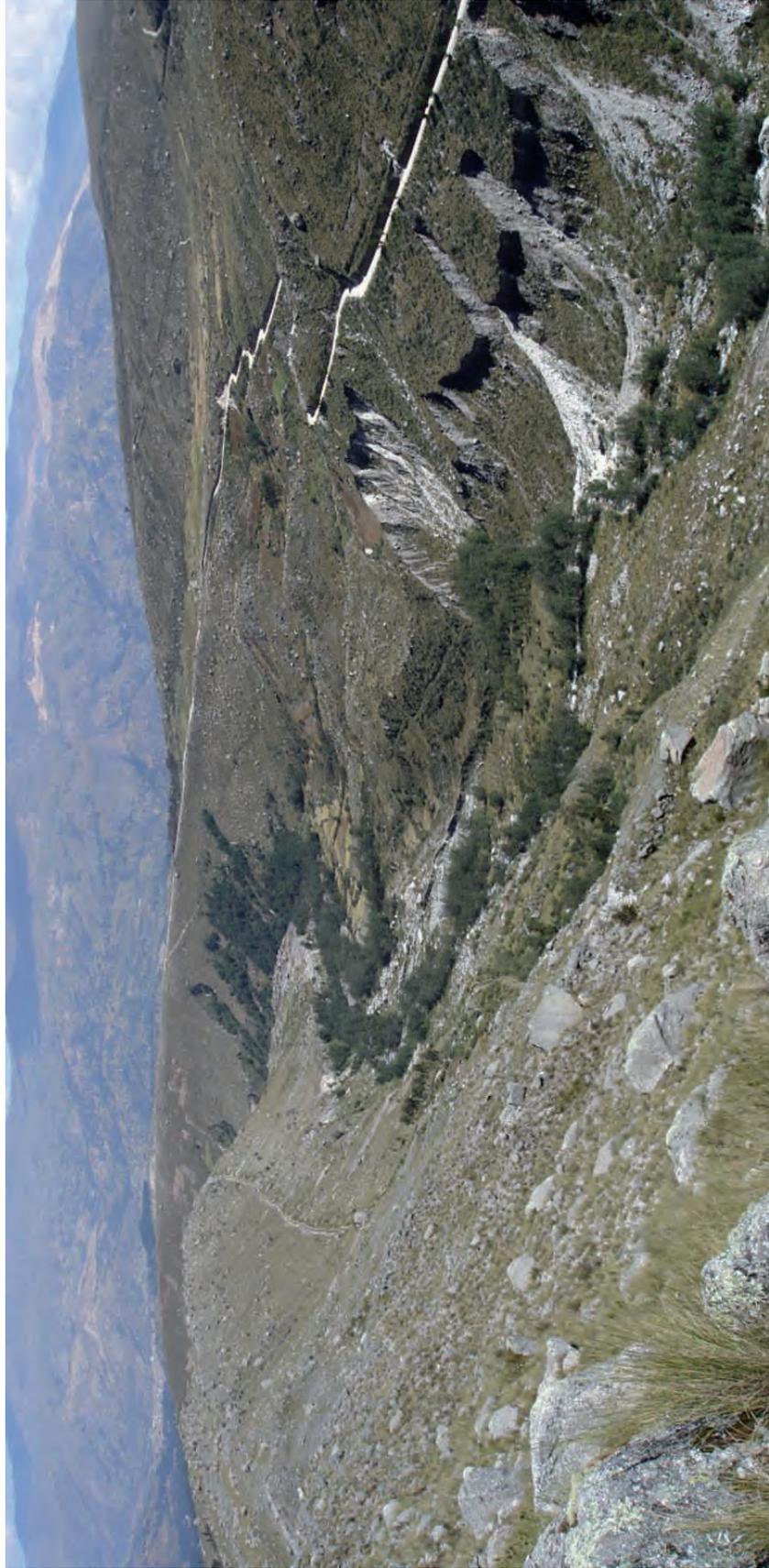
Fuente: Elaboración propia.

La ciudad de Huaraz está emplazada sobre un gran abanico aluvial (fotografía 68), el cual ya se encuentra completamente poblado; esto obliga a los pobladores a buscar nuevas zonas de urbanización, muchas de ellas en zonas de alto riesgo geológico.

La parte este de la ciudad de Huaraz se considera la principal zona de expansión urbana; un sistema de cárcavas afecta los antiguos depósitos morrénicos que se encuentran en las culminaciones de los valles glaciares de Cojup (fotografía 69): Llaca y Quilcayhuanca que son activados principalmente por



Fotografía 68 La ciudad de Huaraz ubicada sobre un abanico aluvial completamente urbanizado.



Fotografía 69 Cárcavas en las morrenas que canalizan al río Cojup al este de Huaraz.

flujos superficiales de agua, asociados mayormente a canales de riego y a la temporada de lluvias.

Las erosiones superficiales más importantes se encuentran en los depósitos fluvio glaciares y al sureste de la ciudad de Huaraz, donde se aprecia grandes escarpas de erosión con forma semicircular y depósitos potentes (fotografía 70), las cuales generaron quebradas y depósitos de flujos de detritos. Estas estructuras se aprecian en la zona del cerro Shullca (parte alta de Nueva Florida).

Al borde este de la ciudad de Huaraz, se encuentran los ríos Llaca, Cojup, Quilcahuanca y Shallap que forman el río Quilcay que atraviesa la ciudad. En este sector, el barrio de Nueva Florida (fotografías 71 y 72) corre mayor peligro de ser afectado por una crecida del río (por un aluvión, un deslizamiento, etc.), de ocurrir un evento similar al aluvión de 1941 esta zona sería la primera y más afectada.

Otra zona de fuerte expansión urbana en las últimas décadas fue el sureste de la ciudad de Huaraz. En los sectores de Rataquenua y Cruzpunta (fotografía 73) se tiene grandes escarpas de erosión, cárcavas y deslizamientos activos, así como, la formación de Bad Lands (imagen 38).



Fotografía 70 Grandes cárcavas y zonas de erosión superficial en grandes escarpas (sureste de la ciudad de Huaraz, sector de cerro Shullca).



Fotografía 71 Confluencia de los ríos Llaca y Cojup, se aprecia como las viviendas están en algunos casos a menos de un metro del cauce del río.



Imagen 38 Vista satelital 3D que muestra la escarpa del deslizamiento y cárcavas de Rataquenua y Cruzpunta y como la población se ubica directamente debajo de la zona de erosión.



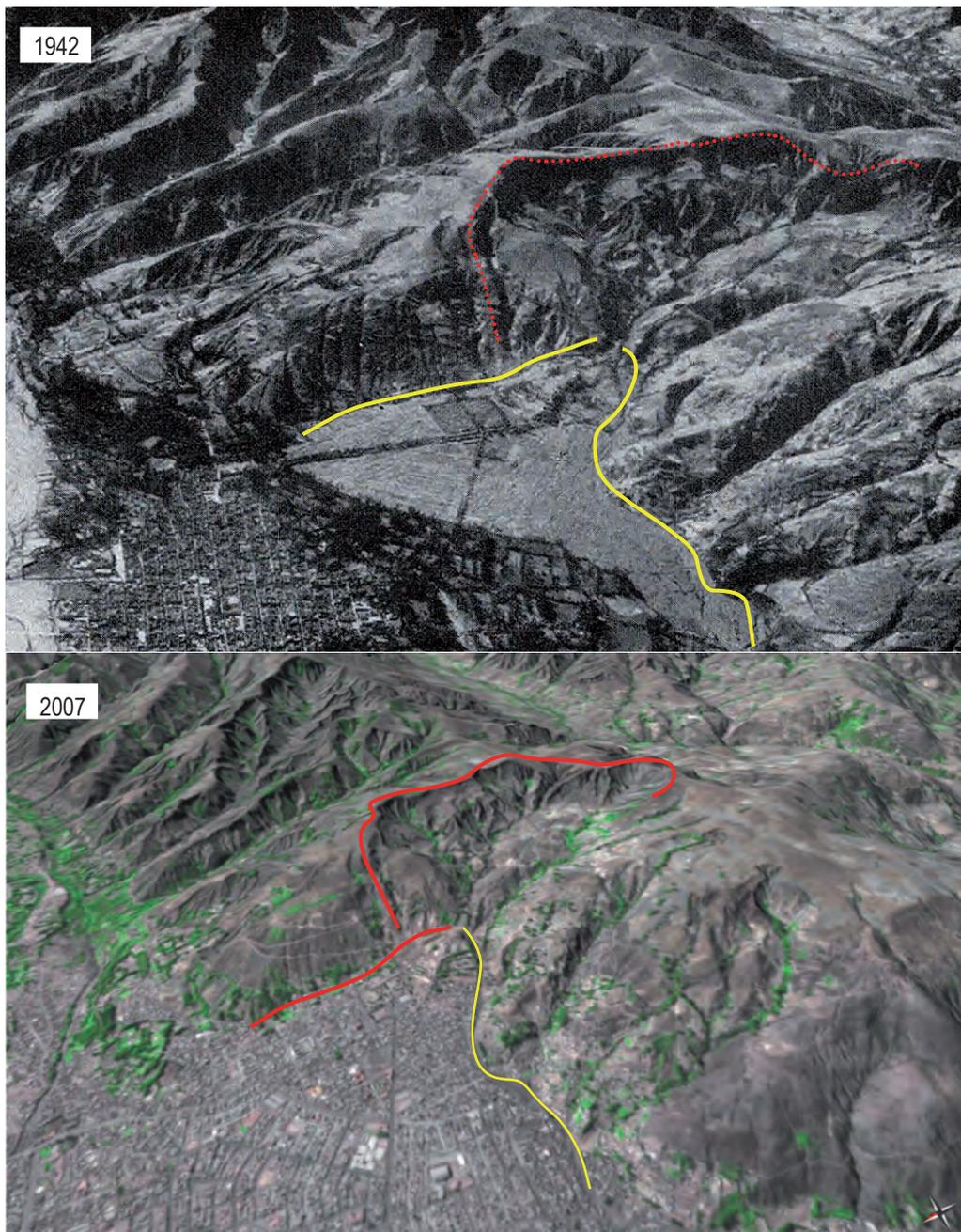
Fotografía 72 Sector de Nueva Florida, que al igual que en la foto 71 las viviendas se encuentran a unos cuantos metros del cauce del río Quilicay.



Fotografía 73 Vista panorámica de la escarpa del deslizamiento de Rataquenua y Cruz Punta, cerca de la esquina superior izquierda de la foto se aprecia la ciudad de Huaraz.

Este sector, en las últimas cuatro décadas, ha sido muy poblado (fotografía 74). Se ha creado sobre los depósitos de antiguos deslizamientos los barrios de Bellavista y El Pedregal, de ocurrir un evento de grandes magnitudes estos barrios se verían seriamente afectados.

La quebrada de río Seco, por la cual, estacionalmente discurren los flujos de detritos originados en Rataquenua y Cruzpunta, también se ha visto afectada por la reducción de su cauce natural, y la urbanización de las zonas ganadas al cauce (fotografía 75), por lo que sufre de una gran colmatación de material (fotografía 76), que pone en riesgo no solo a



Fotografía 74 Comparación con una foto aérea (SAN) de 1942, y una imagen SPOT 5 de 2007, nótese el notable crecimiento de la ciudad de Huaraz sobre el depósito del deslizamiento de Rataquenua y Cruzpunta. Actualmente en la zona se ubican los barrios de La Soledad y El Pedregal. La línea roja señala la escarpa y las líneas amarillas señalan los límites del depósito.



Fotografía 75 Gran urbanización alrededor de la quebrada río Seco señalado con línea entrecortada.



Fotografía 76 Vista al detalle de las viviendas que se encuentran en los cauces de río Seco y los depósitos de flujos de detritos que discurren anualmente por esta quebrada.

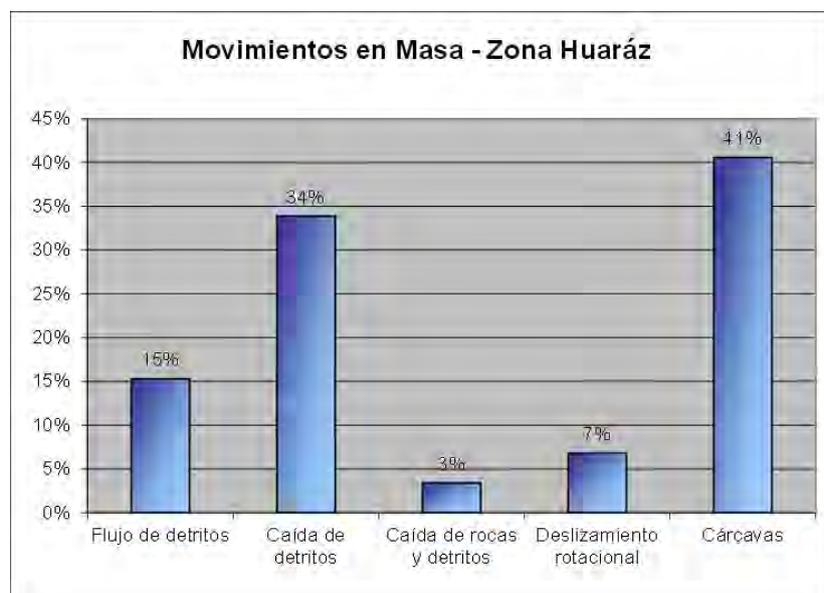
las viviendas ubicadas en sus márgenes, sino también a la estructura del puente que es el que une la ciudad de Huaraz con el sur de la región (fotografía 77).

Porcentualmente, los movimientos en masa en el sector Huaraz se presentan de la siguiente manera: 41 % cárcavas, 34 % caída de detritos, 15 % flujos de detritos, 7 % deslizamientos, 3 % caída de rocas y detritos (ver cuadro 17).



Fotografía 77 El puente que es el nexo de la ciudad de Huaraz con Recuay, Conococha y Lima, se ve muy afectado por los depósitos de flujos de detritos.

Cuadro 17:
Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Huaraz. Se aprecia la clara predominancia de cárcavas seguido de las caídas de detritos



MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR OLLEROS

Este sector, localizado al noreste de la localidad de Olleros, está compuesto por los valles glaciares de Rurec y Uquian, los valles glaciares colgados de Pumahuaganga y Yanamaray, y el valle fluvial de Olleros y sus pequeños afluentes estacionales.

El valle glaciar de Rurec (conocido localmente como quebrada Rurec) es un amplio valle que como los demás de su clase, tiene sus flancos cubiertos por depósitos de movimientos en masa. En su parte central tiene un largo cordón de depósito

morrénico y, en su parte inicial, se encuentra la laguna Tararhua (imagen 39) que es represada por dos depósitos morrénicos (mapa 11).

El valle glaciar de Uquian (quebrada Uquian) consta de un valle glaciar colgado llamado quebrada Pumahuganga, es también un valle bien desarrollado (fotografías 78 y 79) con un gran depósito morrénico en su parte frontal que represa una pequeña laguna. En la confluencia de estos valles se aprecia depósitos morrénicos bien desarrollados, pero de poca altura (menos de 10 metros). Estos represan dos pequeñas lagunas (fotografía 80).

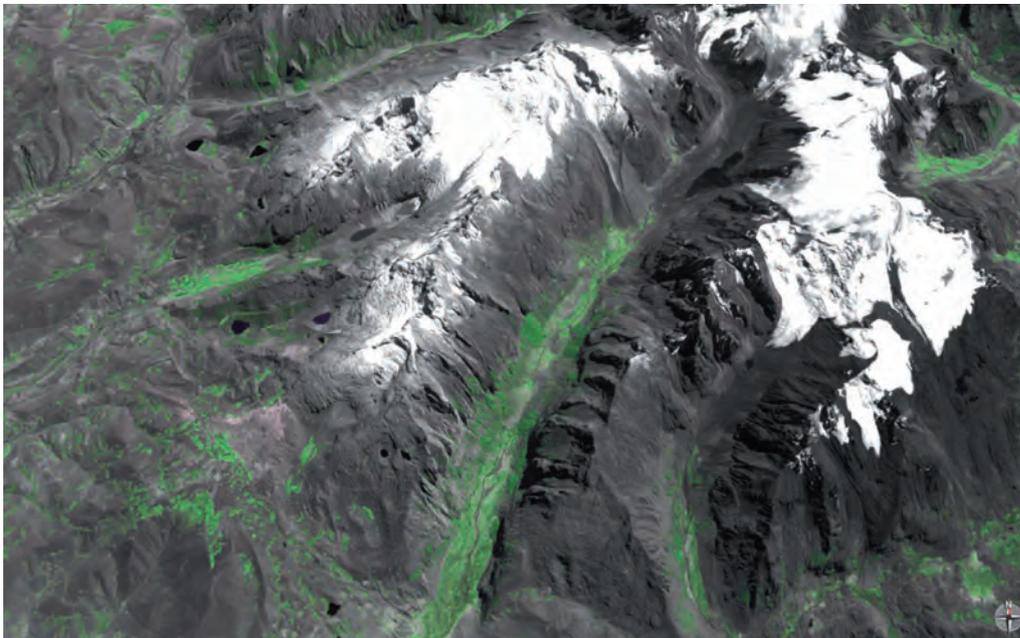


Imagen 39 Vista panorámica de la quebrada Rurec, al final de ella se encuentra la laguna Tararhua.



Fotografía 78 Vista panorámica del valle glaciar de Pumahuaganga, nótese los depósitos de grandes movimientos en masas en sus laderas.



Fotografía 79 Vista panorámica del valle glaciar de Pumahuaganga, nótese los depósitos de grandes movimientos en masas en sus laderas.



Fotografía 80 Vista de las lagunas represadas por depósitos morrénicos en la confluencia de Uquian con Pumahuaganga.

En el flanco derecho de la quebrada Uquian se aprecian grandes depósitos de avalanchas-flujos de detritos originados por desprendimientos de los depósitos fluvioglaciares de la zona. En la confluencia de las quebradas Uquian con Rurec se aprecia

grandes depósitos de morrenas de fondo de valle (imagen 40) los cuales inclusive guardan lagunas intermorrénicas (lagunas dentro de una morrena, no represadas por ésta) como es el caso de las lagunas Toroccocha y Huichiccocha (fotografía 81)

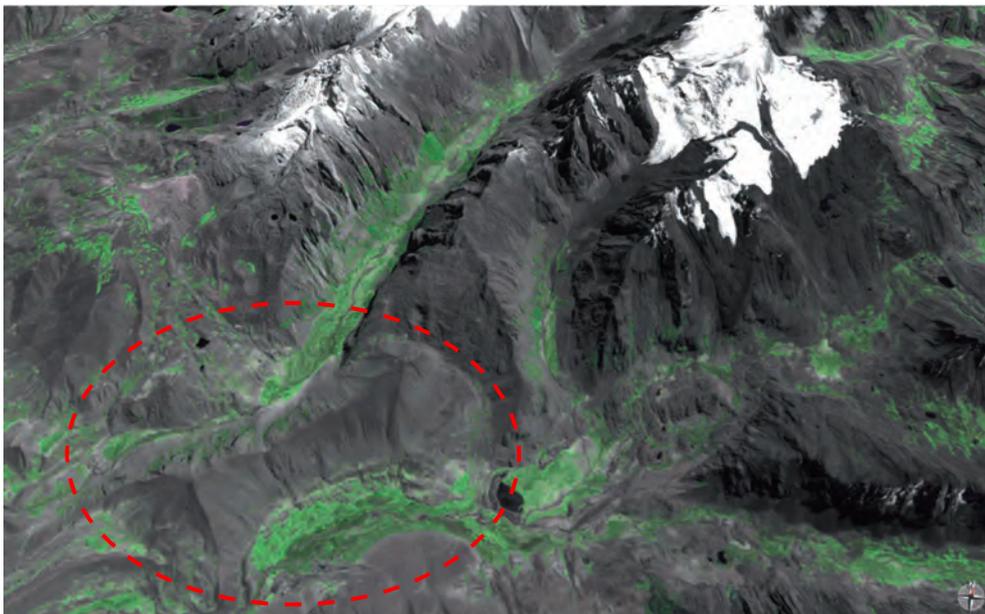


Imagen 40 En líneas rojas punteadas se muestran los grandes depósitos morrénicos de fondo de valle, los cuales son afectados por procesos de erosión tipo cárcavas.



Fotografía 81 Sistema la lagunas intermorénicas; nótese como estas lagunas no están represadas por morrenas, sino que están dentro de la morrena.

El valle fluvial de Olleros y sus afluentes están sometidos a fuerte erosión, por lo que el tipo de movimientos en masa que se presentan son las cárcavas, y algunos pequeños depósitos de flujos de detritos que discurren por ella. En su confluencia con el río Santa, no presenta un gran depósito aluvial, lo que indica que por las zonas anteriormente descritas no ocurrió un gran aluvión de origen glaciar.

La distribución porcentual de movimientos en masa en el sector Olleros se presenta de la siguiente manera: 48 % cárcavas, 33 % caída de detritos, 18 % flujo de detritos y 1 % caída de rocas y detritos (ver cuadro 18).

Cuadro 18:
Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Olleros. Se aprecia la clara predominancia de cárcavas seguido de las caídas de detritos.



MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR RECUAY – CATAAC

Localizados desde el este de la ciudad de Recuay hasta la localidad de Cataac y quebrada Queroccocha, el sector está compuesto por los valles glaciares de Queroccocha, Yanamaray y Conde, los valles fluvio-glaciares de Atoc Huaranca, Urpa y Cataac.

El valle glaciar de Queroccocha (localmente quebrada Queroccocha) está principalmente formado por depósitos de movimientos en masas del tipo cárcavas, caída de detritos y flujos de detritos, siendo estos últimos los que cierran el valle y forman la laguna de Queroccocha (imagen 41). En Queroccocha se tiene una gran exposición del escarpe de la falla de la Cordillera Blanca (fotografía 82), que inclusive es accesible desde la carretera Cataac – Túnel Cahuish. Mientras que, los valles glaciares de Yanamaray y Conde (fotografía 83) muestran depósitos de movimientos en masa de caída de detritos, caída de rocas y algunos depósitos morrénicos.

El fondo del valle fluvio-glaciar de Atoc Huaranca está cubierto por depósitos de flujos de detritos (fotografía 84) que tienen origen en la parte alta donde se tiene la presencia de cárcavas y depósitos de flujos de detritos. En época de lluvias, este valle afecta a la ciudad de Recuay, por lo que fue necesaria la construcción de muros de desviación del flujo los cuales están funcionando adecuadamente.

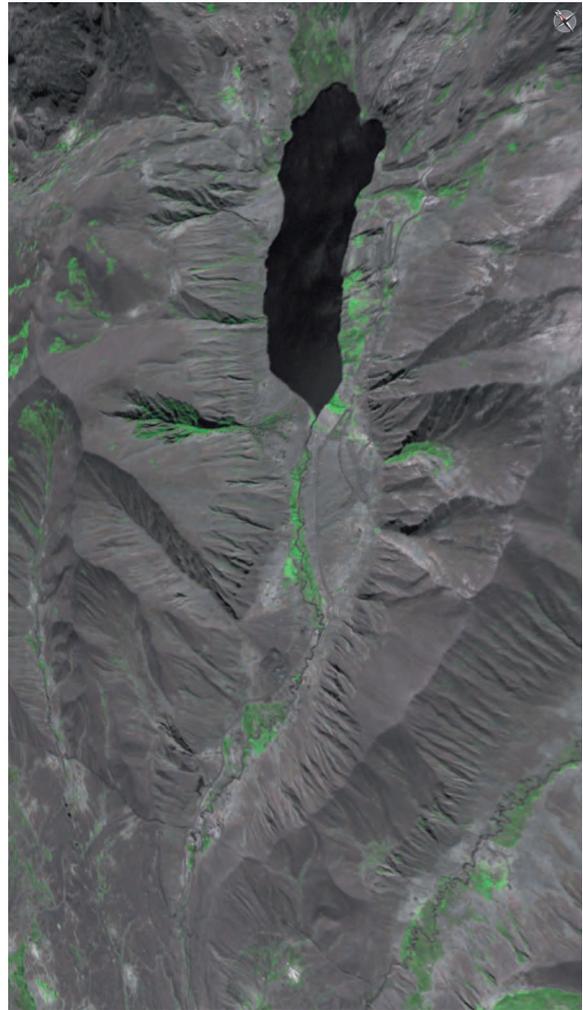


Imagen 41 Vista satelital 3D Spot 5 de la laguna Queroccocha, represada por depósitos de movimientos en masa.



Fotografía 82 Vista del escarpe de falla de la Cordillera Blanca en los depósitos morrénicos de la quebrada Queroccocha.



Fotografía 83 Vista panorámica de quebrada Conde, se aprecia que sus laderas están cubiertas de depósitos de caídas de rocas mayormente antiguos.



Fotografía 84 Vista del valle fluvio-glaciar de Atoc Huaranca y parte de la ciudad de Recuay. Nótese las barreras construidas para cambiar el rumbo de los flujos de detritos y que no impacten directamente sobre la ciudad de Recuay.

En el flanco derecho de la quebrada Atoc Huaranca se encuentra el “Deslizamiento de Recuay” (fotografía 85), un deslizamiento rotacional en material fluvioglacial que fue reactivado por el terremoto del 31 de mayo de 1970, que represó el río Santa originando la inundación de las partes bajas de Recuay. Actualmente se encuentra estable sin mostrar reactivaciones,

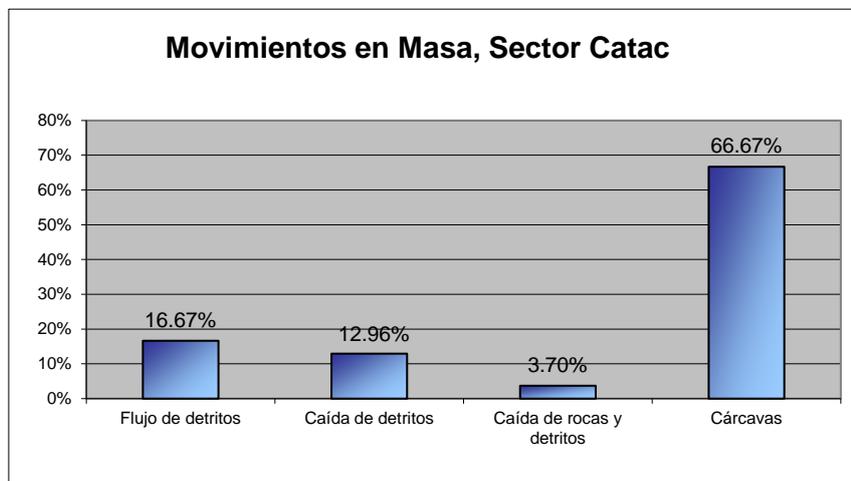
aunque se recomendaría monitorearlo, principalmente en las épocas de lluvias.

La distribución porcentual de movimientos en masa en el sector Recuay – Catac es de la siguiente manera: 66.67 % cárcavas, 16.67 % flujo de detritos, 12.96 % caída de detritos, 3.70 % caída de rocas y detritos (ver cuadro 19).



Fotografía 85 Vista del deslizamiento de Recuay.

Cuadro 19:
Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Catac. Se aprecia la clara predominancia de cárcavas seguido de flujos de detritos



CAPÍTULO VI

SIMULACIÓN NUMÉRICA DE ALUVIONES

INTRODUCCIÓN

En Perú, no se puede tratar el tema de flujos de detritos de origen glaciar (aluviones) sin considerar a la Cordillera Blanca. Esta cordillera es de lejos, la zona donde más han ocurrido estos fenómenos, y donde más víctimas se han cobrado.

El movimiento de un fluido tan complejo como el que forma un flujo de detritos, no puede representarse por medio de métodos que se aplican comúnmente para fluidos como el agua (Valderrama et al., 2007). Esto se debe a que la alta concentración de materia sólida en estos fluidos hace que se comporten como un fluido no-newtoniano, en el cual es necesario que actúe un esfuerzo superior a un esfuerzo crítico dado para que el fluido se ponga en movimiento (Castillo, 2006).

Por lo tanto, para poder reproducir la mecánica de un flujo de detritos se utiliza métodos de modelización, siendo el más preciso de estos la modelación numérica, en este caso mediante el software FLO 2D (O'Brien, 2006) que simula flujos no-newtonianos. Este modelo permite simular flujos en topografías complejas tales como áreas urbanizadas, planicies de inundación, quebradas y fondos de valles (Valderrama et al., 2007).

Sobre la base del cartografiado de peligros geológicos en campo, la ubicación de grandes poblaciones que podrían ser afectadas por fenómenos glaciares, y considerando los principales eventos aluviónicos del pasado se escogieron cinco quebradas en las que se realizaron simulaciones FLO 2D. Estas quebradas afectan directamente a una zona poblada específica:

Quebrada Atoc Huaranca: Históricamente afecta a la ciudad de Recuay.

Quebrada Cojup: Históricamente ha representado el mayor peligro para la ciudad de Huaraz.

Quebrada Honda: Afectaría directamente al poblado de Marcará.

Quebrada Hualcán: Históricamente afecta a la ciudad de Carhuaz.

Quebrada Parón: Tiene dominios directos sobre la ciudad de Caraz.

DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA LA SIMULACIÓN NUMÉRICA

Toda simulación numérica de un flujo de detritos necesita como ingrediente principal un modelo de elevación topográfico muy detallado, ya que con este, se podrán ver sutilezas durante la simulación como son los run-up (rebose), zonas de retardo, etc.

Basados en un modelo de elevación digital con una precisión de hasta 2.5 metros, se delimitaron las quebradas a simular, así como se generaron los puntos máximos y mínimos de simulación, para tener un "flujo digital" similar a uno real.

Como datos de entrada al sistema, se creó un hidrograma de caudal líquido de arranque que fue el mismo para las cinco quebradas, ya que tienen condiciones de precipitación similares, parámetros reológicos iguales y hasta dimensiones similares.

Los parámetros característicos del sedimento y características geológicas se fijaron de acuerdo a la experiencia propia en el manejo del modelo de simulación, además de experiencias en otras áreas donde se han calibrado mediante experimentos analógicos y digitales (O'Brien et al, 2006).

Las siguientes características (parámetros de entrada) son empleadas para la simulación:

Se aplicó el modelo bidimensional FLO-2D para la simulación de flujos hiperconcentrados utilizando las ecuaciones que gobiernan el movimiento en su expresión más completa (onda dinámica).

- Para la simulación se consideraron concentraciones de sedimentos que varían entre 25 % y 50 %.
- El hidrograma de caudal líquido con la respectiva concentración volumétrica de sedimento, se coloca como detonante en el borde superior de la zona a simular.

- Se asume la rugosidad "n" de Manning igual a 0.065.
- Los parámetros reológicos de mezcla entre viscosidad y esfuerzo de cedencia se encuentran en función de muestras experimentales (O'Brien et al, 2006, Valderrama et al., 2006). La muestra utilizada para la modelación y que se ajusta al desarrollo del flujo es una muestra tipo Aspen Pit 1, cuyo resultado es conservador. Por lo tanto, las ecuaciones de viscosidad y esfuerzo de cedencia utilizadas son:
 - $\eta = 0.0360e^{22.1Cv}$
 - $T_y = 0.181e^{25.7Cv}$
- La gravedad específica del sedimento es igual a 2.65.
- Se asume una resistencia de la planicie al flujo laminar (K) igual a 4000.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como resultado se presenta los mapas de simulaciones de aluviones. Los polígonos mostrados indican la expansión y altura del flujo de detritos aluvial, por lo que en su límite inferior, el flujo perdió turbulencia y desde ese punto se comenzó a comportar como una crecida del río, respetando los cauces naturales y, por lo tanto sin causar daño alguno.

Quebrada Atoc Huaranca – Recuay

Los resultados de la simulación con un caudal pico de 20 m³/s se detallan en el cuadro 20:

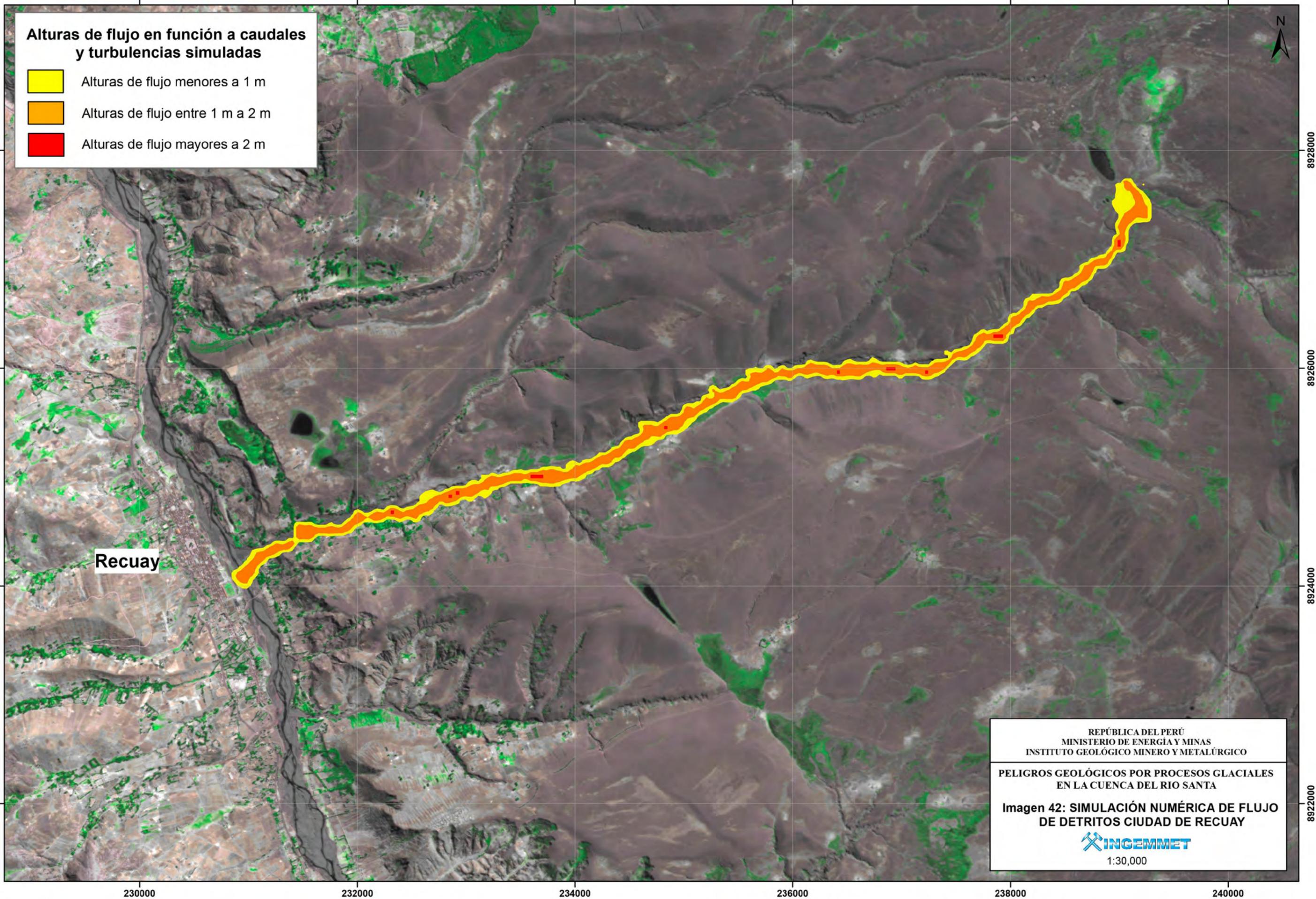
Cuadro 20
Resultados del flujo de detritos simulado para la quebrada Atoc Huaranca – Recuay

Detalle	Cantidad
Volumen del flujo de detritos (aguas y mezcla de sedimentos)	841 086.61 m ³
Volumen del flujo de detritos en la zona de arranque	982 187.06 m ³
Total de área inundada por el flujo de detritos	1 295 100 m ²

De la imagen 42, se aprecia que el flujo simulado mantiene el cauce original de la quebrada, con ciertos desbordes localizados del tipo *run up*, principalmente debido a formas preexistentes en la topografía del fondo de la quebrada. El flujo muestra algunos picos de alturas mayores a 2 metros,

manteniéndose principalmente con alturas entre 1 a 2 metros.

El flujo llega muy debilitado a la confluencia de la quebrada Atoc Huaranca con el río Santa, donde las defensas construidas reducen aún más su turbulencia y no llega a afectar a la ciudad de Recuay.



Alturas de flujo en función a caudales y turbulencias simuladas

- Alturas de flujo menores a 1 m
- Alturas de flujo entre 1 m a 2 m
- Alturas de flujo mayores a 2 m

REPÚBLICA DEL PERÚ
MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

PELIGROS GEOLÓGICOS POR PROCESOS GLACIALES
EN LA CUENCA DEL RÍO SANTA

Imagen 42: SIMULACIÓN NUMÉRICA DE FLUJO
DE DETRITOS CIUDAD DE RECUAY

INGEMMET
1:30,000

Imagen 42: Simulación de un flujo con incidencia en la ciudad de Recuay. Bajo los parámetros simulados, este flujo no afecta la ciudad de Recuay.

Quebrada Cojup – Huaraz

Los resultados de la simulación con un caudal pico de 80 m³/s se detallan en el cuadro 21:

Cuadro 21
Resultados del flujo de detritos simulado para la quebrada Cojup - Huaraz

Detalle	Cantidad
Volumen del flujo de detritos (aguas y mezcla de sedimentos)	2 441 086.61 m ³
Volumen del flujo de detritos en la zona de arranque	2 734 916.75 m ³
Total de área inundada por el flujo de detritos	4 875 000 m ²

De la imagen 43, se aprecia que el flujo simulado mantiene el cauce original de la quebrada, con ciertos desbordes localizados del tipo *run up*, principalmente debido a formas preexistentes en la topografía del fondo de la quebrada. El flujo muestra muchas zonas donde toma alturas mayores a dos metros principalmente en la parte alta y media de la quebrada.

El flujo llega muy debilitado a la confluencia que forma el río Quilcay, sin embargo gran cantidad de este ingresa a la ciudad de Huaraz debido al estrechamiento del cauce del río Quilcay, pero con alturas inferiores a un metro, por lo que se podría considerar como una inundación.

Quebrada Honda - Marcará

Los resultados de la simulación con un caudal pico de 50 m³/s se detallan en el cuadro 22:

Cuadro 22
Resultados del flujo de detritos simulado para quebrada Honda – Marcará

Detalle	Cantidad
Volumen del flujo de detritos (aguas y mezcla de sedimentos)	1 541 086.61 m ³
Volumen del flujo de detritos en la zona de arranque	1 780 380.12 m ³
Total de área inundada por el flujo de detritos	1 397 500 m ²

El flujo simulado, con origen en la laguna Paccharuri (imagen 44) se encuentra en la quebrada secundaria de Ruripaccha. En la simulación, se aprecia claramente cómo el flujo toma picos superiores a los 2 metros de altura y genera varios represamientos, 1 y desbordes.

El flujo cae y rellena completamente un sector de quebrada Honda, continuando aguas abajo por el río Marcará. Finalmente, al salir del valle glaciar, pierde turbulencia y se comporta como una crecida muy importante, sin afectar seriamente a la ciudad de Marcará.

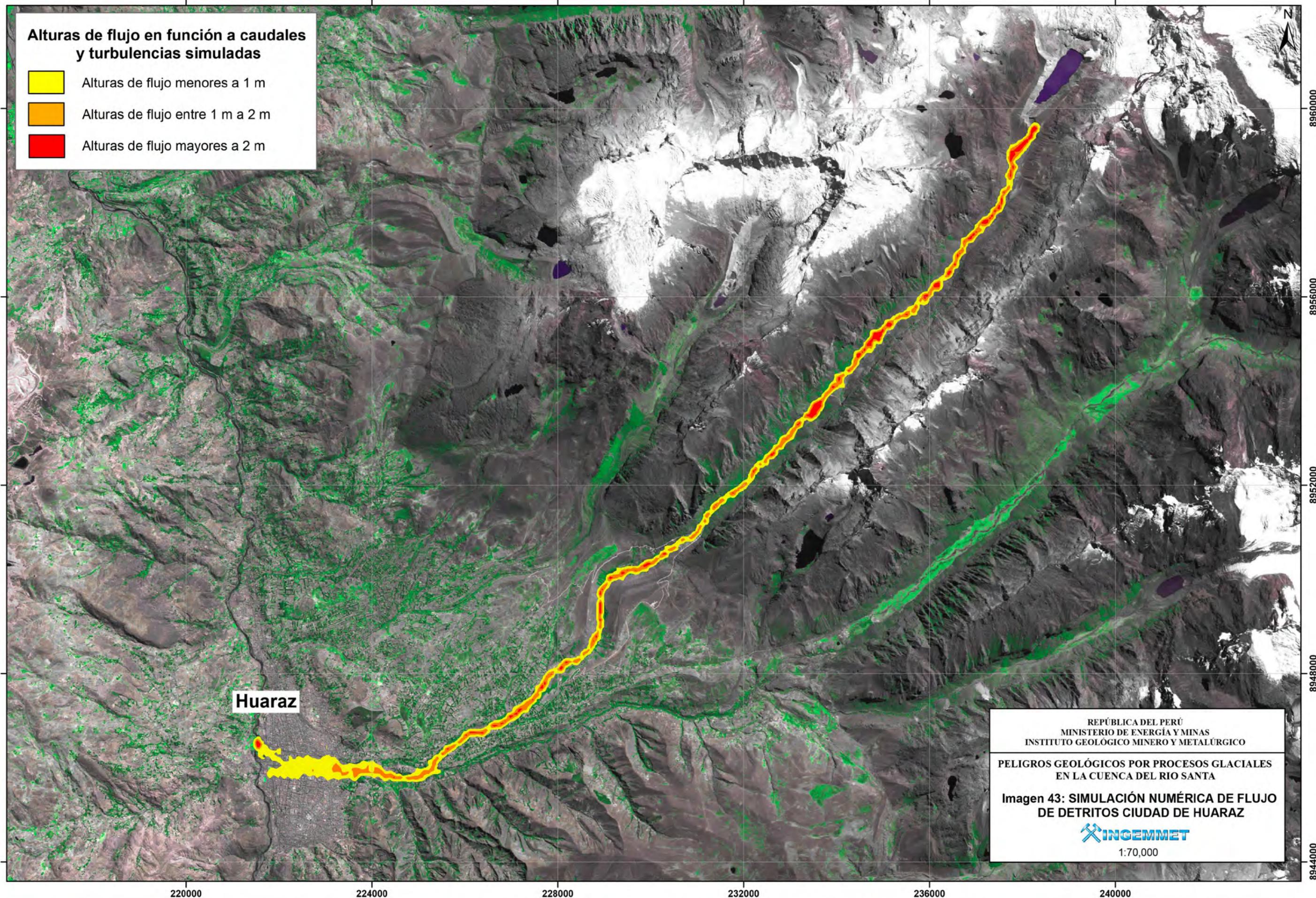


Imagen 43: Simulación numérica de un flujo de detritos con origen en la laguna de Palcacocha e implicancias en la ciudad de Huaraz.

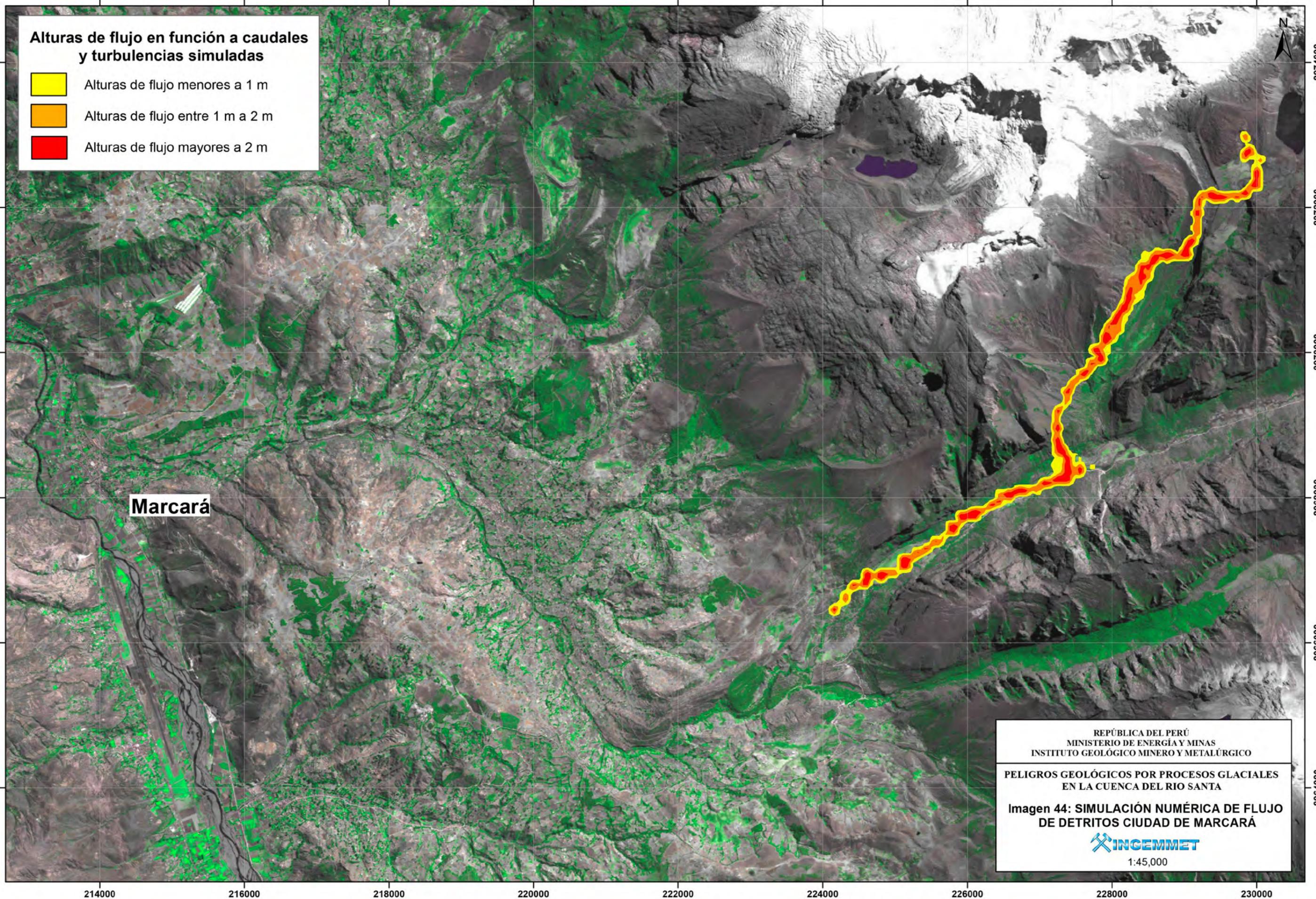


Imagen 44: Simulación de un aluvión con origen en la quebrada Paccharuri, el cual no afectaría a la ciudad de Marcará.

Quebrada Hualcán - Carhuaz

Los resultados de la simulación con un caudal pico de 80 m³/s se detallan en el cuadro 23:

Cuadro 23
Resultados del flujo de detritos simulado para la quebrada Hualcán - Carhuaz

Detalle	Cantidad
Volumen del flujo de detritos (aguas y mezcla de sedimentos)	909 562.32 m ³
Volumen de la masa de hielo y roca desprendida	1 500 000 m ³
Total de área inundada por el flujo de detritos	1 539 200 m ²

El flujo simulado, con origen en la laguna 513 (imagen 45) mantiene el cauce original de la quebrada, con ciertos desbordes localizados del tipo run up, principalmente debido a formas preexistentes en la topografía del fondo de la quebrada. El flujo muestra muchas zonas donde toma alturas mayores

a dos metros principalmente en la parte alta y media de la quebrada.

El flujo simulado tiene un comportamiento muy similar al aluvión ocurrido el 1 de abril de 2010. Más detalles sobre este evento en la sección anexos.

Quebrada Parón, - Caraz:

Los resultados de la simulación con un caudal pico de 120 m³/s se detallan en el cuadro 24:

Cuadro 24
Resultados del flujo de detritos simulado para la quebrada Parón - Caraz

Detalle	Cantidad
Volumen del flujo de detritos (aguas y mezcla de sedimentos)	1 523 845.28 m ³
Volumen del flujo de detritos en la zona de arranque	1 794 878.75 m ³
Total de área inundada por el flujo de detritos	4 955 000 m ²

El flujo simulado, con origen en la laguna Parón (imagen 46), mantiene el cauce original de la quebrada, con ciertos desbordes localizados del tipo run up, principalmente debido a formas preexistentes en la topografía del fondo de la quebrada. El flujo muestra muchas zonas donde toma alturas mayores a dos metros principalmente en la parte alta y media de la quebrada.

El flujo al llegar a la parte baja de la cuenca excede el volumen del cauce y afecta moderadamente (con alturas menores a 1 metro) la parte oeste de la ciudad de Caraz, continuando su viaje hasta el río Santa donde podría ocasionar un represamiento.

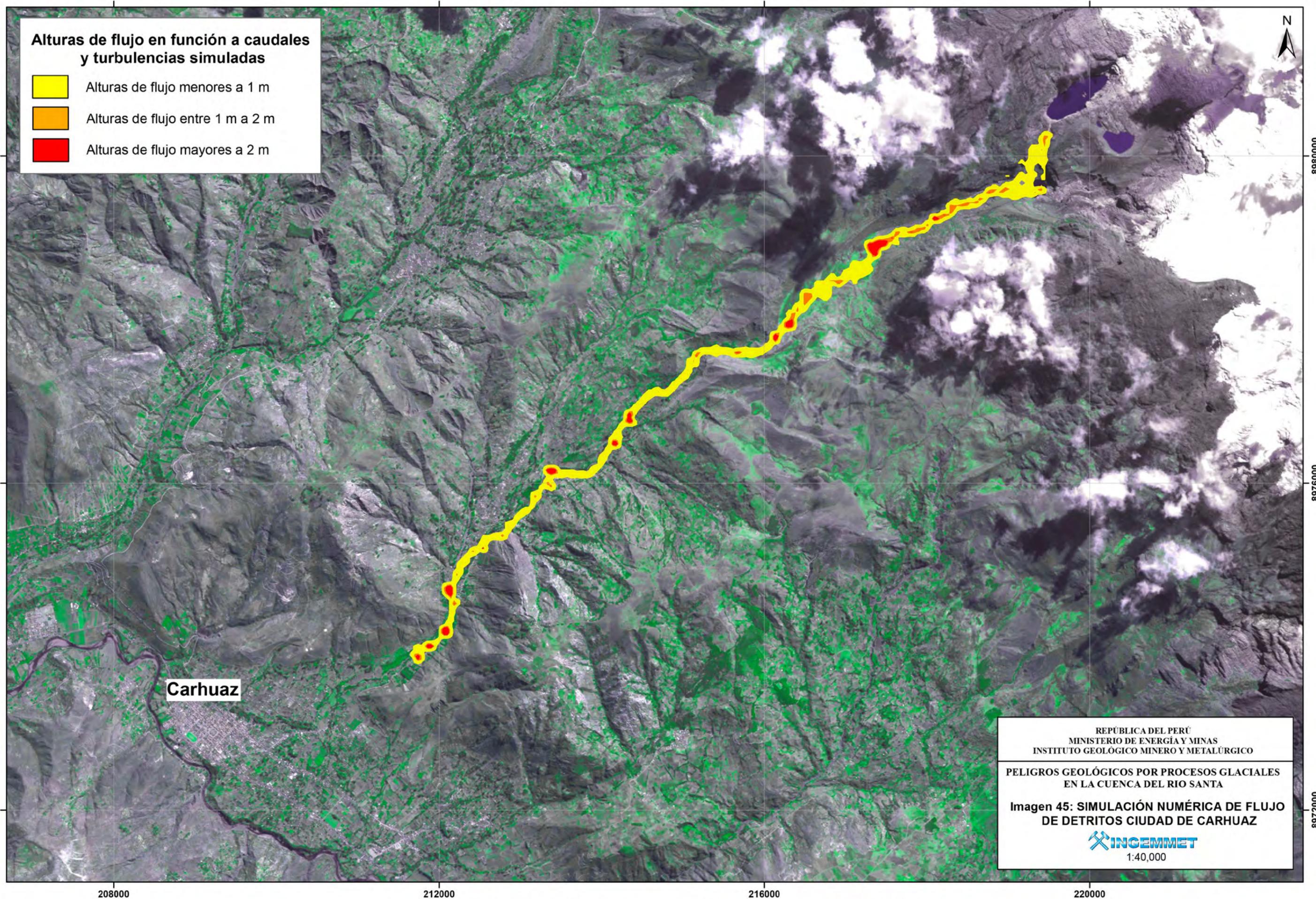


Imagen 45: Simulación de un aluvión con origen en la laguna 513 con implicancias en la ciudad de Carhuaz.

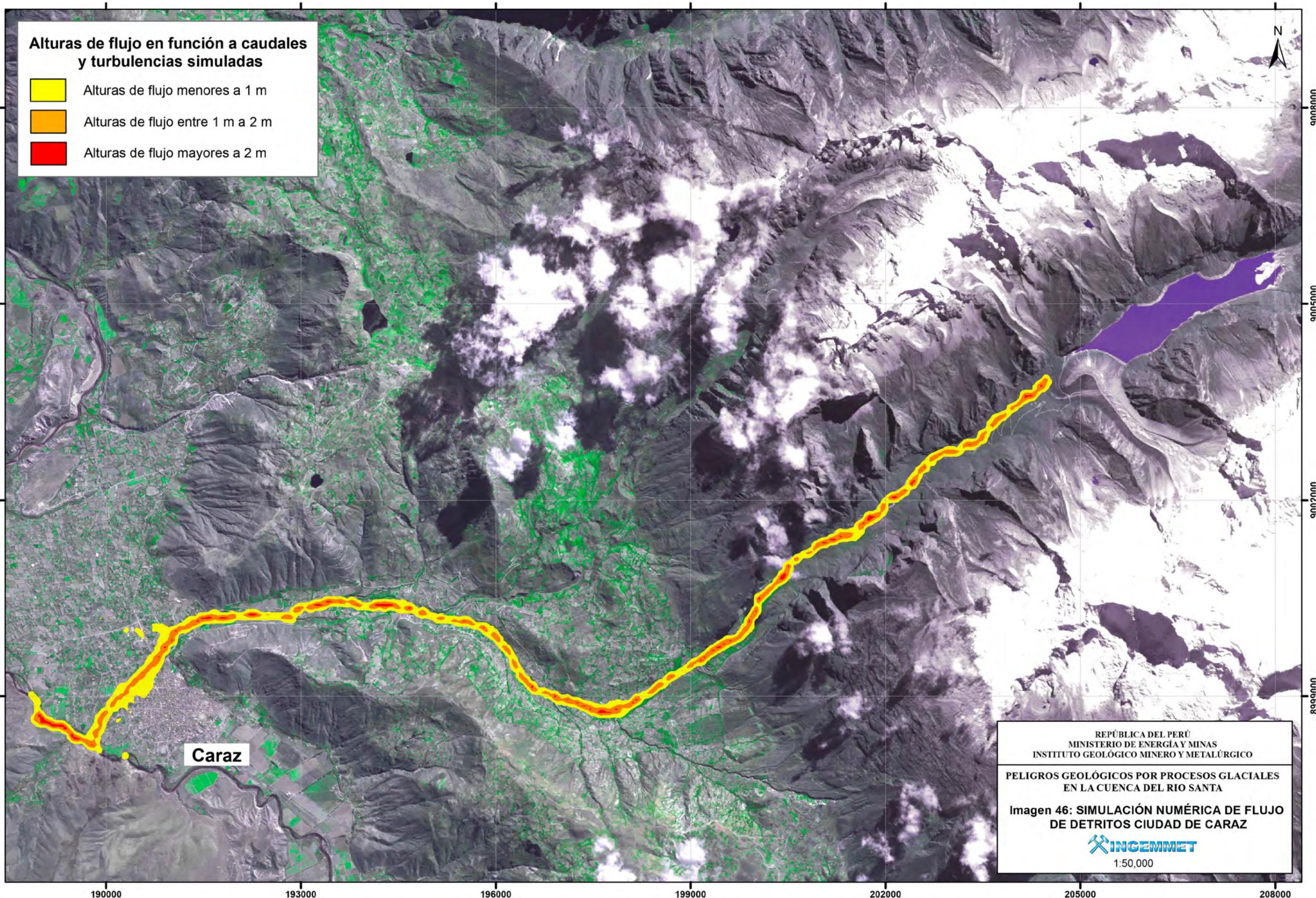


Imagen 46: Simulación de un aluvión con origen en la laguna Paró, el flujo afectaría moderadamente a la ciudad de Caraz.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

- La Cordillera Blanca, ubicada en la región Ancash, representa una de las más valiosas fuentes de agua dulce en la cuenca del río Santa y del norte de Perú. Es sin lugar a dudas una de las zonas con mayor presencia y actividad de movimientos en masa, eventos, algunos recurrentes en el tiempo como los flujos de detritos de origen glaciar (aluviones), deslizamientos, erosiones superficiales, cárcavas, caídas y avalanchas de rocas, flujos de detritos y movimientos complejos. Pese a que estos eventos están en zonas muy remotas, podrían significar cierto peligro a las grandes ciudades de la cuenca del río Santa y a las obras de infraestructura, localizadas principalmente en el Callejón de Huaylas, ya que estas dependen directamente del recurso hídrico generado por la Cordillera Blanca. La Cordillera Blanca está constituida por granodiorita/tonalita en la que se modelaron grandes valles glaciares, con pendientes verticales e imponentes circos glaciares. Sin embargo, los depósitos no consolidados correspondientes a los últimos 15 mil años, son los dominantes en el área, incluyendo grandes extensiones de depósitos fluvioglaciares, varios tipos de depósitos morrénicos, fondos de valles fluviales, etc.
- Geológicamente, la Cordillera Blanca está constituida por granodiorita/tonalita en la que se modelaron grandes valles glaciares, pendientes verticales están formadas en areniscas y lutitas de la Formación Chicama e imponentes circos glaciares. Sin embargo, los depósitos no consolidados correspondientes a los últimos 15 mil años son los dominantes en el área, con grandes extensiones de depósitos fluvioglaciares, varios tipos de depósitos morrénicos, fondos de valles fluviales, etc.
- La presencia de la falla normal de la Cordillera Blanca es un factor importante en el área, ya que ésta pudo haber tenido un papel principal en la modelización del terreno por ser una falla activa y sismogénica. Una reactivación de la falla de la Cordillera Blanca (con un sismo) desencadenaría grandes aluviones, por lo que es necesario tener planes de contingencia frente a este supuesto.
- Otro factor importante para considerar la ocurrencia de movimientos en masa en la Cordillera Blanca es el importante cambio de pendiente que se tiene entre el fondo del valle del río Santa y la parte alta de la Cordillera, llegando a generar desniveles de hasta tres mil metros en tan solo 6 km lineales, como es el caso del Nevado Huascarán en relación con el río Santa.
- La cuenca del río Santa es históricamente una de las más afectadas por movimientos en masa de origen glaciar. Los aluviones de 1962 y 1970 del nevado Huascarán marcaron un hito en la investigación de este tipo de peligros en Perú, y eventos más recientes como el de la laguna Palcacocha de 2001 y de la laguna 413 de 2010 demuestran que la actividad aluviónica no ha cesado y que se tiene que continuar con los trabajos de prevención en las lagunas y cuencas glaciales.
- En la Cordillera Blanca, se han inventariado 1631 movimientos en masa, de los cuales el 38.6 % corresponde a erosiones superficiales tipo cárcavas, el 30.5 % son caídas de detritos y depósitos de talud, el 19.3 % corresponden a flujos de detritos principalmente de origen glaciar, el 7.3 % son caídas de rocas y detritos y el 4.5 % restante corresponden a deslizamientos.
- En el **sector Cashapampa – Santa Cruz** se tiene la presencia de flujos de detritos (39 %), caída de detritos (32 %), caída de rocas (27 %) y deslizamientos rotacionales (2 %) como fenómenos

existentes; muchos de ellos represando lagunas, formando terrazas, etc.

- Los movimientos en masa del **sector Caraz** se presentan de la siguiente manera: 48.74 % cárcavas, 25.21 % caída de detritos, 17.65 % flujos de detritos, 6.72 % de caída de rocas y detritos, 0.84 % de avalanchas de rocas y detritos y 0.84 % en deslizamientos rotacionales, muchos de ellos asociados a la laguna Parón.
- Porcentualmente, los movimientos en masa en el sector Yungay se presentan como flujos de detritos 43.28 %, cárcavas 29.85 %, caída de detritos 23.88 %, caída de rocas y detritos 1.47 % y deslizamientos 1.49 %. Las zonas más afectadas por estos corresponden al sistema de lagunas de Llanganuco y a los nevados de Huascarán y Huandoy.
- Los movimientos en masa en el **sector Tingo** se presentan de la siguiente manera: 38 % caída de detritos, 26 % cárcavas, 20 % flujos de detritos, 12 % caída de rocas y detritos y 4 % deslizamientos. La zona más afectada por estos corresponde a la quebrada Ulta y el sector de Punta Olímpica.
- Para el **sector Carhuaz** los movimientos en masa se presentan de la siguiente manera: 75 % cárcavas, 12 % flujos de detritos, 9 % deslizamientos, 2 % caída de rocas y 2 % caída de rocas y detritos. Las zonas más afectadas son las lagunas 513 y la quebrada Hualcán que podrían afectar a la ciudad de Carhuaz.
- La distribución porcentual de los movimientos en masa en el sector de **Marcará** se presenta de la siguiente forma: 34.42 % caída de detritos, 28.37 % cárcavas, 18.60 % flujos de detritos, 14.42 % caída de rocas y detritos, 3.26 % deslizamientos rotacionales y 0.93 % deslizamientos translaciones. Están agrupados principalmente en quebrada Honda.
- Porcentualmente, los movimientos en masa en el sector **Taricá – Paltay** se presentan de la siguiente

manera: 50 % caída de detritos, 23 % flujos de detritos, 15 % caída de rocas y detritos, 10 % deslizamientos y 2 % cárcavas. La zona más afectada por estos se encuentran en el valle glaciar de Ishinca.

- Los movimientos en masa en el **sector de Huaraz** se presentan de la siguiente manera: 41 % cárcavas, 34 % caída de detritos, 15 % flujos de detritos, 7 % deslizamientos, 3 % caída de rocas y detritos. La mayoría de estos eventos están localizados en los valles glaciares que rodean a la ciudad de Huaraz.
- La distribución porcentual de movimientos en masa en el sector **Olleros** se presenta de la siguiente manera: 48 % cárcavas, 33 % caída de detritos, 18 % flujo de detritos y 1 % caída de rocas y detritos, la mayoría de ellos localizados en las quebradas Rurec y Pumahuanga.
- En el sector **Recuay – Catac** la distribución de los movimientos en masa es la siguiente: 66.67 % cárcavas, 16.67 % flujo de detritos, 12.96 % caída de detritos, 3.70 % caída de rocas y detritos, afectando principalmente la laguna Querococha y la ciudad de Recuay.
- De las simulaciones FLO2D para las distintas ciudades localizadas en el Callejón de Huaylas se puede determinar que de ocurrir un aluvión de origen glaciar, las principales ciudades no serían muy afectadas (como ocurrió en el pasado), esto debido a las obras de seguridad realizadas en las principales lagunas glaciares. Sin embargo, la formación de nuevas lagunas, el poco mantenimiento a las obras de seguridad y el rápido derretimiento glaciar podrían cambiar estos escenarios.
- La rápida elevación desde el cauce del río Santa hasta las cumbres de la Cordillera Blanca, es uno de los factores determinantes para la ocurrencia de los movimientos en masa.

RECOMENDACIONES

- La actualización permanente de la base de datos de lagunas de origen glaciar en la Cordillera Blanca es de gran importancia para la evaluación de la ocurrencia de futuros eventos potencialmente peligrosos.
- Continuar con los trabajos de estabilidad y seguridad de las lagunas glaciares, con el fin de mantener el nivel de sus aguas en niveles óptimos para la preservación del recurso hídrico pero con un grado de seguridad ante rotura de presas o caída de bloques de hielo y/o roca que pudieran generar un aluvión.
- Realizar un monitoreo constante de la actividad sísmica y de deformación en la Falla de la Cordillera Blanca, esto para conocer la posibilidad de ocurrencia de un evento sísmico que pueda detonar nuevos movimientos en masa.
- Junto con las autoridades locales, realizar simulacros de evacuación en caso de aluviones principalmente en las ciudades de Huaraz, Carhuaz, Yungay y Caraz, dado que son potencialmente susceptibles a este fenómeno.
- Instalar Sistemas de Alerta Temprana en las principales lagunas y desembocaduras de los ríos de orígenes glaciares, con el fin de alertar a la población en caso de la ocurrencia de un movimiento en masa potencialmente peligroso.
- Determinar zonas intangibles para la expansión urbana en la ciudad de Huaraz, principalmente considerando los sectores de alta influencia de procesos glaciares: ríos de origen glaciar, depósitos morrénicos, etc.
- Realizar intervenciones ecológicas en las zonas de erosión superficial aledañas a la ciudad de Huaraz (Sectores de Rataquenua y Cruzpunta) con el fin de estabilizar los terrenos con vegetación nativa.
- Realizar una limpieza constante del cauce de los ríos, para evitar la colmatación de material que puede generar problemas en caso de una crecida repentina de los caudales de los ríos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ames, A. & Francou, B. (1995) - Cordillera Blanca: glaciares en la historia. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 24(1): 37-64.
- Castillo, L. (2006) - *Aplicación de un modelo numérico de flujos de escombros y lodo en una quebrada en el Perú*. Tesis Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 236 p.
- Ccopa, K.; Alegre, C.; Chávez, T. & Egas, G. (2010) – *Inventario de glaciares Cordillera Blanca*. Huaraz: Autoridad Nacional del Agua, Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos, 81 p.
- Chang, L., & Alva, J. (1991) - *Deslizamientos y aluviones en el Perú*. Lima: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres - CISMID, Universidad Nacional de Ingeniería, 173 p.
- Cobbing, E.J., Pitcher, W.S. & Garayar, J. (1973) - Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ámbar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta. *Servicio de Geología y Minería, Boletín*, 26, 172 p.
- Cobbing, E.J., Pitcher, W.S. Wilson, J.J., Baldock, J.W., Taylor, W.P., McCourt, W.J. y Snelling, N.J. (1981) - Estudio Geológico de la Cordillera Occidental del Norte del Perú. *INGEMMET, Boletín, Serie D: Estudios Especiales*, 10, 260 p.
- Coral, R. (1962) - *El aluvión de Huaraz: relato de una tragedia*. Lima: Litografía Universo, 72 p.
- Cossío, A. (1963) - Deslizamientos de tierras y condiciones de seguridad de las lagunas en el área de Conchucos (Provincia de Pallasca, Departamento de Ancash). *Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín*, 13: 57-73.
- Cruden, D.M. (1991) – A simple definition of a landslide. *Bulletin International Association for Engineering Geology*, 43: 27-29.
- Dávila, S.; Fidel, L.; Aniya, R.; Guzmán, A.; González, M., et al. (1989) - Estudio geodinámico de la cuenca del río Santa (Departamentos: Ancash - La Libertad). *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 14B, 403 p.
- Ericksen, G.E.; Plafker, G. & Fernández, J. (1970) - Preliminary report on the geologic events associated with the May 31, 1970, Peru earthquake. *U.S. Geological Survey Circular* 639, 28 p.
- Evans, S.G.; Bishop, N.F.; Fidel, L.; Valderrama, P.; Delaney, K.B. & Oliver-Smith, A. (2009) – A re-examination of the mechanism and human impact of catastrophic mass flows originating on Nevado Huascarán, Cordillera Blanca, Peru in 1962 and 1970. *Engineering Geology*, 108 (1-2): 96-118.
- Farber, D.L.; Hancock, G.S.; Finkel, R.C. & Rodbell, D.T. (2005) – The age and extent of tropical alpine glaciation in the Cordillera Blanca, Peru. *Journal of Quaternary Science*, 20(7-8): 759-776.
- Fernández, J. (1953) - Origen de las lagunas de la Cordillera Blanca. *Minas*, (2): 30-34.
- Galdos, J. (1974) - *Estudio geodinámico del área de Socosbamba*, Informe inédito. Servicio de Geología y Minería, Dirección de Geotecnia, 17 p.
- Ghiglino, L. (1970) - Alud de Yungay y Ranrahirca del 31 de mayo de 1970. *Revista Peruana de Andinismo y Glaciología*, (9): 84-88.
- Heim, A. (1949) - Observaciones geológicas en la región del terremoto de Ancash de noviembre de 1946. *Boletín Sociedad Geológica del Perú, Volumen Jubilar*, parte II, fasc. 6, p. 1-29.
- Heim, A. (1974). Observaciones glaciológicas en la Cordillera Blanca. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, (20): 111-117.

- Hungr, O.; Evans, S.G.; Bovis, M.J. & Hutchinson, J.N. (2001) - A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental & Engineering Geoscience*, 7(3): 221-238.
- Indacochea, A. (1947) - Aluvionamiento de Chavín de Huántar el 17 de enero de 1945. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, (20): 21-28.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2008) - *Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda. Resultados definitivos. Departamento de Ancash*. Lima: INEI, 7 t.
- Kaiser, P.K. & Simmons, J.V. (1990) - A reassessment of transport mechanisms of some rock avalanches in the Mackenzie Mountains, Yukon and Northwest Territories, Canada. *Canadian Geotechnical Journal*, 27(1): 129-144.
- Leureyro, J.; Macharé, J. & Sébrier, M. (1991) - Actualización del mapa neotectónico del Perú a escala 1:2'000,000. En: Congreso Peruano de Geología, 7, Lima, 1991, *Resúmenes extendidos*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, t. 1, p. 23-28.
- Lliboutry, L.A. (1975) - La catastrophe de Yungay (Pérou) - En: Snow and Ice Symposium, Moscow, 1971. *Proceedings of de Moscow Symposium*. London: International Association of Hydrological Sciences, IAHS-AISH Publication No. 104, p. 353-363.
- Medina, J. (1991) - *Fenómenos geodinámicos: estudio y medidas de tratamiento*. Lima: Tecnología Intermedia ITDG, 87 p.
- Myers, J.S. (1980) - Geología de los cuadrángulos de Huarmey y Huayllapampa. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 33, 153 p.
- O'Brien, J.S. (2006) - *FLO-2D user's manual, versión 2006.01*. Nutrioso, Arizona: FLO-2D Software Inc.
- Ortiz, G. & Gonzales, M. (1972) - *Derrumbes producidos en el caserío de Llaymucha, anexo del distrito de Pallasca, Provincia de Pallasca, Departamento de Ancash*, informe inédito. Lima: Servicio de Geología y Minería, 15 p.
- Pérez, G. (1974) - *Estudio geodinámico en la localidad de Yauya, Prov. Mariscal Luzuriaga – Dpto. de Ancash, informe inédito*. Lima: Servicio de Geología y Minería, 11 p.
- Robinson, E.S. (1990) - *Geología física básica*. México: Limusa, 699 p.
- Sánchez, A.; Molina, O. & Gutiérrez, R. (1995) - Geología de los cuadrángulos de Chimbote, Casma y Culebras. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 59, 263 p.
- Sébrier, M.; Huamán, D.; Blanc, J.L.; Macharé, J. Bonnot, D. & Cabrera, J. (1982) - *Observaciones acerca de la neotectónica del Perú*. Lima: Instituto Geofísico del Perú, 107 p. (Proyecto SISRA – Grupo Peruano de Neotectónica).
- Silgado, E. (1951) - The Ancash earthquake of November 10, 1946. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 41(2): 83-99.
- Silva, R. (2009) - *Procesos geodinámicos y peligros geológicos en los depósitos morrénicos de la laguna Palcacocha, Cordillera Blanca – Ancash*. Tesis Ing. Geólogo, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 87 p.
- Silva, R.; Valderrama, P.; Pari, W. & Dueñas, S. (2010) - Prospección geofísica y evaluación de peligros geológicos en los depósitos morrénicos de la laguna Palcacocha, Cordillera Blanca - Ancash. En: Congreso Peruano de Geología, 15, Cusco, 2010. *Resúmenes extendidos*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 1066-1070.
- Sotomayor, C. (1976) - *Reconocimiento geológico del deslizamiento de Quecas y Canchas, Dist. Huachis, Prov. Huari, Dpto. Ancash*, Informe inédito. Lima: Instituto de Geología y Minería, 13 p.
- Spann J. (1947). Informe sobre el origen de la catástrofe de Chavín de Huántar. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, (20): 29-33.
- Stewart, J., Watts, A.B. (1997) - Gravity anomalies and spatial variations of flexural rigidity at mountain ranges. *Journal of Geophysical Research*, 102(B3): 5327-5352.

- Stewart, J.W; Evernden, J.F & Snelling, N.J. (1974) – Age determinations from Andean Peru: a reconnaissance survey. *Geological Society of America Bulletin*, 85(7): 1107-1116.
- Suárez, J. (1998) - *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Universidad Industrial de Santander, 548 p.
- Valderrama, P. (2006) – *Geología, geodinámica y simulación de flujos en las ciudades de Urubamba y Ollantaytambo*. Tesis Ing. Geólogo, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 99 p.
- Valderrama, P.; Cárdenas, J. & Carlotto, V. (2007) - Simulaciones FLO 2D en las ciudades de Urubamba y Ollantaytambo, Cusco. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, (102): 43-62.
- Valderrama, P. & Vilca, O. (2010) - Dinámica del aluvión de la Laguna 513, Cordillera Blanca, Ancash, Perú: primeros alcances. En: Congreso Peruano de Geología, 15, Cusco, 2010. *Resúmenes extendidos*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 336-341.
- Varnes, D.J. (1984) - *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. Paris: UNESCO, Comisión on Landslides on the IAEG, 63 p. Natural Hazards Series, 3.
- Wilson, J.J.; Reyes, L. & Garayar, J. (1995) - Geología de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari. Actualizado por la Dirección de la Carta Geológica Nacional. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 60, 79 p.
- Zapata, M. (2002) - La dinámica glacial en lagunas de la Cordillera Blanca. *Acta Montana*, Ser. A, 19(123): 37-59.
- Zavala, B.; Valderrama, P.; Pari, W.; Luque, G. & Barrantes, R. (2009) - Riesgos geológicos en la región Ancash. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 38, 280 p.

ANEXOS
INVESTIGACIONES Y PUBLICACIONES
CIENTIFICAS DERIVADAS DE ESTE TRABAJO

Anexo 1

MOVIMIENTOS EN MASA DEL NEVADO HUASCARÁN

Patricio Valderrama¹, Lionel Fidel¹, Reginald L. Hermanns²,
John Gosse³

1: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Perú.
pvalderrama@ingemmet.gob.pe

2: Norges geologiske undersøkelse (NGU)

3: Dalhousie Geochronology Centre, Canada

El nevado Huascarán, localizado en los andes orientales de Perú, en la denominada Cordillera Blanca es considerado una de la montañas glaciares con mayor actividad geodinámica de los últimos tiempos en Perú. Entre los eventos de geodinámica más importantes destacan los enormes flujos de detritos de los años 1962 y 1970 los cuales han sido bien documentados, además de otros movimientos en masa mucho más antiguos de magnitudes iguales o muy superiores a la de los eventos recientes.

El nevado Huascarán, geológicamente se encuentra sobre rocas graníticas-granodioríticas de ~8.2 Ma (U-Pb zircon ages; McNulty et al., 1998) que conforman el batolito de la Cordillera Blanca en el flanco derecho del río Santa. En los alrededores, se encuentran rocas sedimentarias jurásicas-cretácicas, además de rocas volcánicas de la misma edad (que conforman la Cordillera Negra) en el flanco izquierdo del río Santa.

El flujo de detritos de 1962 ocurrió sin un detonante determinado, a diferencia del flujo de detritos de 1970 cuyo detonante fue un terremoto oceánico con una distancia epicentral de 130 km en las costas de Chimbote ($M \sim 7.9$). Ambos eventos tuvieron origen en el pico norte del nevado Huascarán (6654 msnm); con un proceso de viaje rápido y violento hacia el valle del río Santa a 2400 msnm (Evans SG, et al 2007b). En 1962, el flujo de detritos de 3 millones de m^3 destruyó solo el pueblo de Ranrahirca.

El flujo de detritos de 1970 de 5.5 millones de m^3 originó un Run Up en la margen izquierda del río Santa de mas de 30

metros (Ericksen E & Plafker, 1979), y el material acumulado dentro de las riberas del río Santa, originó un represamiento de aproximadamente 30 minutos de sus aguas, el cual ocasionó la inundación del vecino pueblo de Mancos ubicado a 5 km aguas arriba. (Ghiglino, 1970), un volumen significativo del flujo ingresó a la ribera del río, giró hacia el norte y se movilizó hacia el valle interior del río Santa, afectando zonas de cultivo, carreteras y destruyendo el sistema ferroviario Chimbote – Santa – Caraz. (Ericksen E & Plafker, 1979), además de destruir completamente los pueblos de Yungay y Ranrahirca causando no más de 5000 víctimas (Evans SG et al, 2007 b).

Estudios recientes realizados por el Servicio Geológico de Perú (INGEMMET) con el apoyo del PMA:GCA, permitieron conocer uno de los más grandes eventos de flujo de detritos que ha ocurrido en el nevado Huascarán, que se ha denominado el Evento Matacoto, el cual generó un run up de aproximadamente 250 metros por encima de las aguas del río Santa, que inclusive hubiera afectado la zona donde actualmente se encuentra el pueblo de Matacoto a una distancia aproximada de 16.23 km con una pendiente promedio de 16° del pico norte del nevado Huascarán (fig. 1). El Evento Matacoto arrojó una edad de 47.7 mil años (edad mínima con 10Be de núcleos cosmogénicos) (Valderrama et al, en preparación).

Los eventos históricos indican que los movimientos en masa detonados por eventos sísmicos son mucho más violentos en el valle Santa y alrededores (Huascarán 1970) que los ocurridos sin detonación conocida (Huascarán 1962, Chavín de Huántar 1945, Huaraz 1941, etc.) por lo tanto el Evento Matacoto pudo haberse originado por un evento sísmico de gran magnitud en la interplaca (como el sismo de 1970) o por un sismo local detonado por un movimiento vertical de la falla normal cuaternaria de la Cordillera Blanca. Además, dejamos en discusión que los orígenes de los grandes depósitos aluviales del valle del río Santa donde se ubican las ciudades de Huaraz, Carhuaz, Marcará, Yungay y Caraz están relacionados a sismos originados por el movimiento de la falla activa de la Cordillera Blanca.

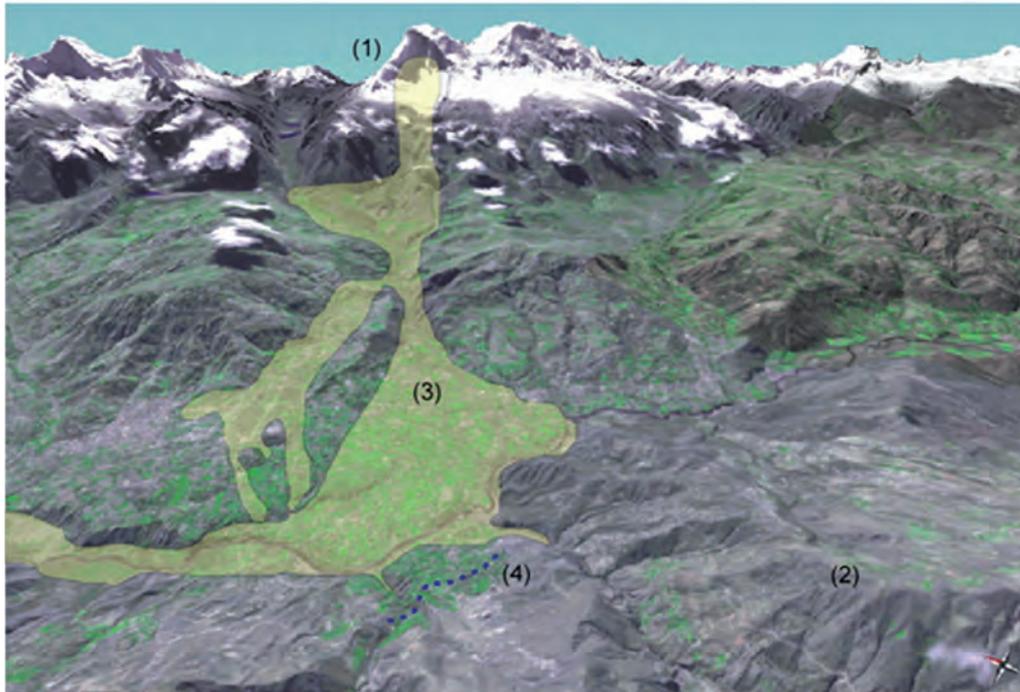


Figura 1: (1) Pico norte del Nevado Huascarán (6654 msnm.), los hielos glaciares se encuentran por encima del batolito de la Cordillera Blanca. (2) La "Cordillera Negra" compuesta principalmente por rocas volcánicas, se encuentra en el flanco izquierdo del río Santa. (3) Marca del aluvión de 1970, que fue el más grande flujo de detritos registrado en la Cordillera Blanca en tiempos modernos. (4) la línea azul punteada muestra la altura a donde llegó un flujo proveniente del Huascarán hace 47.7 mil años.

REFERENCIAS

Ericksen E & Plafker, 1979, Informe Preliminar de los Eventos Geológicos Asociados con el Terremoto del Perú Ocurrido el 31 de Mayo de 1970, Revista Peruana de Andinismo y Glaciología 1969-1979. Año XIX N°9, p.31-50.

Evans, SG., Fídel Smoll, L, Zegarra Loo, J (2007b) Los movimientos en masa de 1962 y 1970 en el Nevado de Huascarán, valle del río Santa, Cordillera Blanca, Perú. Anexo B4. In: Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas Proyecto Multinacional Andino:

Geociencias para las Comunidades Andinas, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 386-404.

Ghiglino, A., L, 1970, Alud de Yungay y Ranrahirca del 31 de mayo de 1970, Revista Peruana de Andinismo y Glaciología 1969-1979. Año XIX N°9, p. 84-88.

McNulty, B.A., Farber, D.L., Wallace, G.S., Lopez, R., and Palacios, O., 1998, Role of plate kinematics and plate-slip-vector partitioning in continental magmatic arcs: Evidence from the Cordillera Blanca, Perú, Geology, v. 26, p. 827-830

Anexo 2

GEODINÁMICA DEL NEVADO HUASCARÁN, NUEVOS ALCANCES SOBRE “EL EVENTO MATACOTO”

Patricio Valderrama^{1,2}, Lionel Fidel¹, Reginald L. Hermanns³,
John Gosse⁴

1: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Perú.
pvalderrama@ingemmet.gob.pe

2: Landslide Research Programme, University of Waterloo,
Canada.

3: Norges geologiske undersøkelse (NGU)

4: Dalhousie Geochronology Centre, Canadá

INTRODUCCIÓN

El nevado Huascarán localizado en la Cordillera Blanca, región Ancash, es la montaña más alta de los andes peruanos (6768 msnm, pico Sur) y además es el punto de origen de numerosos eventos geodinámicos. El 31 de mayo de 1970, un enorme complejo y catastrófico movimiento de masa ocurrió en el valle del río Santa (Evans SG, et al 2007b), el cual fue detonado por un terremoto marino (M~7.9) con una distancia epicentral de 130 km. (Ericksen et al 1970; Plafker et al 1971; Plafker & Ericksen 1979). Este gran movimiento de masa se originó en el pico Norte del nevado Huascarán (6654 msnm) como un gran desprendimiento de roca y hielo, el cual descendió arrastrando material morrénico a gran velocidad por las laderas del nevado Huascarán. El material rápidamente se convirtió en un flujo, el cual descendió por el valle del río Ranrahirca (llamado localmente río Shacsha). Parte de este flujo generó un salto de poco más de 400 metros sobre una pequeña loma y descendió violentamente arrasando la ciudad de Yungay y la mayoría de sus habitantes. La mayor parte del material se desplazó por el abanico aluvial de Ranrahirca, enterrando al poblado del mismo nombre e ingresando al cauce del río Santa (2400 msnm) (fig. 1). El flujo tomó la dirección de las aguas del río Santa y se dirigió hacia el océano Pacífico a una distancia de más de 180 km (Evans SG, et al 2007b). Un evento similar, pero de menor magnitud ocurrió el 10 de enero de 1962, el cual destruyó el poblado de Ranrahirca.

Estudios recientes realizados por INGEMMET y la universidad de Waterloo de Canadá en colaboración con el Proyecto Multinacional Andino PMA:GCA y el Servicio Geológico de Canadá han permitido ubicar y datar lo que posiblemente ha sido el más grande movimiento de masas con origen en el Huascarán, al cual lo hemos denominado “El Evento Matacoto”.



Figura 1: Fotografía aérea oblicua del aluvión del 31 de mayo de 1970, en letras blancas se distinguen los nombres de las desaparecidas Yungay y Ranrahirca, (fotografía SAN)

CONTEXTO GEOLÓGICO

El pico Norte del nevado Huascarán, fue la zona de arranque de los eventos de 1962 y 1970, se encuentra en una zona muy escarpada y tectónicamente muy activa (McNulty & Farber, 2002). La base del Huascarán está compuesta por rocas intrusivas masivas miocenas-pliocenas que conforman el batolito de la Cordillera Blanca (Cobbing et al., 1981). En el flanco oeste del batolito de la Cordillera Blanca se encuentra la falla activa de la Cordillera Blanca, una falla normal con buzamiento oeste, la cual muestra evidencias en desplazamientos de depósitos morrénicos pleistocenos y holocenos (Schwartz, 1988), clara evidencia de su reciente actividad.

En los alrededores del nevado Huascarán, es muy notoria la presencia de grandes depósitos morrénicos producto de la última era glacial, y depósitos morrénicos más pequeños y jóvenes como resultado de la denominada “Pequeña Edad de Hielo”.

Vale la pena resaltar que gran parte de los hielos permanentes del nevado Huascarán (especialmente en el pico Norte) se encuentran muy fracturados, esto debido a que el 6 de enero de 1725, toda la Cordillera Blanca sufrió un fuerte terremoto, con posible origen en la falla activa de la Cordillera Blanca, el cual originó un desprendimiento del nevado Huandoy,

y un gran flujo de detritos que arrasó el antiguo poblado de Ancash, que estaba ubicado entre la actual Yungay y Caraz, dejando aproximadamente 1500 víctimas (Lliboutry et al., 1977; Silgado, 1978; Oliver-Smith, 1986). En honor a este pueblo desaparecido, se le dio el nombre de Ancash a toda la región.



Figura 2: Vista panorámica del run up en el área de Matacoto. (1) La línea negra representa la hipotética altura del run up de "El Evento Matacoto". (Foto: SAN)

EL EVENTO MATACOTO

Hemos denominado "El Evento Matacoto" a los restos de un movimiento en masa de gigantescas proporciones con posible origen en el pico norte del nevado Huascarán. La principal evidencia es la ubicación de bloques (de hasta 3 metros de diámetro) provenientes del intrusivo de la Cordillera Blanca en la parte alta del poblado de Matacoto, a casi 350 metros por la margen izquierda en la Cordillera Negra, encima del cauce y en la margen derecha del río Santa en la Cordillera Blanca (Valderrama et al, 2008). Esta es una altura mucho mayor en comparación con el último gran evento con origen en el pico norte del Huascarán (31 de mayo de 1970), que llegó a tener un run up en la zona de Matacoto de 70 metros (fig. 2).

DATACIÓN DE EXPOSICIÓN EN SUPERFICIE CON NÚCLEOS COSMOGÉNICOS

Dadas las evidencias de grandes movimientos en masa

ocurridos en el Huascarán en épocas Pre-Colombinas (Plafker & Ericksen, 1978) así como la localización de estos bloques que muestran sin lugar a duda, uno de los más grandes movimientos en masas con origen en el Huascarán, se vio la necesidad de conocer su edad para entender con que retorno han ocurrido similares eventos en tiempos prehistóricos.

Dada la buena preservación de los bloques y la falta de materiales orgánicos (por la pendiente y las condiciones climáticas de la zona), la datación de exposición de superficies con núcleos cosmogénicos (CN) es un excelente método para conocer la edad en la que estos bloques fueron transportados desde el intrusivo de la Cordillera Blanca hasta 350 metros por encima del río Santa en la Cordillera Negra. Numerosos resúmenes de este método fueron publicados (Cerling and Craig, 1994; Gosse and Phillips, 2001; Kurz and Brooke, 1994; Lal, 1991). Es importante mencionar que este método

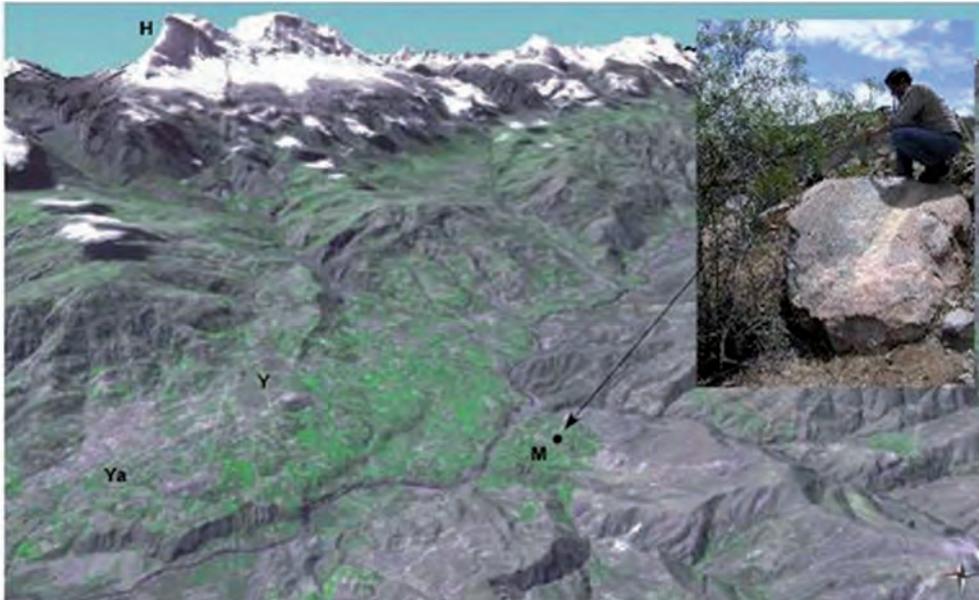


Figura 3: Modelo de elevación digital en base a una imagen Spot 5. (M), ubicación del poblado de Matacoto, en la Cordillera Negra, y la ubicación de la muestra para CN. (Y), antigua ubicación de la ciudad de Yungay. (Ya), actual ubicación de la ciudad de Yungay. (H), pico norte del nevado Huascarán.

ha sido usado repetidamente para datar movimientos de masa (Hermanns et al. 2001; Hermanns et al., 2004, y otros), lo cual genera un alto grado de confianza en el resultado.

Al momento de determinar cuál sería el bloque a muestrear y posteriormente datar, se consideró el entorno geomorfológico y las características superficiales. Se seleccionó un bloque de 2 metros de diámetro para así evitar la posibilidad de que este haya sido redepositado (por rodamiento, dada la alta pendiente de la ladera posterior a su emplazamiento (fig. 3).

La muestra fue analizada en el Dalhousie Geochronology Centre en Canadá. El Evento Matacoto arrojó una edad de 47.7 mil años (edad mínima con ^{10}Be de núcleos cosmogénicos) (Valderrama et al, 2008). Cabe mencionar que se realizó la corrección del apantallamiento de montaña con un mapa topográfico y la medición cada 30 grados del horizonte, este procesó no varió significativamente la edad resultante (menos de 0.1 mil años).

INTERPRETACIÓN

La muestra tomada corresponde, sin lugar a dudas, al intrusivo de la Cordillera Blanca, la cual fue transportada por un gran movimiento en masa desde la Cordillera Blanca hacia la Cordillera Negra, a este fenómeno lo hemos denominado “El

Evento Matacoto”. De este gran movimiento de masa se ha datado la edad de exposición por núcleos cosmogénicos (NC) ^{10}Be de los bloques emplazados en la Cordillera Negra, con un resultado de 47.7 mil años. Es decir, hace 47.7 mil años se originó el más grande movimiento en masa con origen en el nevado Huascarán que se conozca.

DISCUSIÓN

Según la ubicación de los bloques dejados por “El Evento Matacoto” (algunos hasta casi 400 metros por encima del cauce del río Santa), proponemos que el origen de “El Evento Matacoto”, fue un sismo posiblemente con implicancia directa en la reactivación de la Falla de la Cordillera Blanca. Este evento originó el desprendimiento de hielo y rocas con un volumen mucho mayor al del 31 de mayo de 1970. Este se convirtió en un enorme flujo que cubrió (o formó) el gran abanico aluvial de Yungay-Ranrahirca, con un run up de 350 metros en la zona de Matacoto (fig. 4), giró hacia el norte y se desplazó hacia el océano Pacífico. La otra posibilidad es que este evento prehistórico, similar al evento de 1962 ocurrió sin detonante específico, pero por el tamaño del evento, preferimos la primera interpretación.

Asimismo, por los enormes volúmenes, proponemos el mismo origen (un evento sísmico y movimientos de masas asociados)



Figura 4: Bloques del intrusivo de la Cordillera Blanca, restos de "El Evento Matacoto". Al fondo de la imagen se ve el gran abanico aluvial de Yungay-Ranrahirca.

para los grandes abanicos que se encuentran en el valle del río Santa, en los cuales se asientan las ciudades de Huaraz, Carhuaz, Marcará y Caraz.

REFERENCIAS

- Cerling, T. E., and Craig, H. 1994. Geomorphology and in-situ cosmogenic isotopes: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 22, p. 273-317.
- Cobbing, E.J., Pitcher, W.S., Wilson, J.J., Baldock, J.W., Taylor, W.P., McCourt, W., Snelling, N.J. 1981. The geology of the western Cordillera of northern Peru, *Institute of Geological Sciences Overseas Memoir 5*, Her Majesty's Stationery Office, p. 143.
- Ericksen, G.E., Plafker, G., Concha, J.F. 1970. Preliminary report on the geologic events associated with the May 31, 1970, Peru Earthquake. *United States Geological Survey Circular 639*, p. 25.
- Ericksen E & Plafker. 1979. Informe Preliminar de los Eventos Geológicos Asociados con el Terremoto del Perú Ocurrido el 31 de Mayo de 1970, *Revista Peruana de Andinismo y Glaciología 1969-1979*. Año XIX N°9, p.31-50.
- Evans, S.G., Fidel Smoll, L., Zegarra Loo, J. 2007b. Los movimientos en masa de 1962 y 1970 en el Nevado de Huascarán, valle del río Santa, Cordillera Blanca, Perú. Anexo B4. In: *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas*, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, p. 386-404.
- Gosse, J. C., and Phillips, F. M., 2001, *Terrestrial in situ cosmogenic nuclides; theory and application: Quaternary Science Reviews*, v. 20, no. 14, p. 1475-1560.
- Hermanns, R.L., Niedermann, S., Villanueva Garcia, A., Sosa Gomez, J., and Strecker, M.R. 2001. Neotectonics and catastrophic failure of mountain fronts in the southern intra-Andean Puna Plateau, Argentina: *Geology*, v. 29, no. 7, p. 619-623.
- Hermanns, R. L., Niedermann, S., Ivy-Ochs, S., and Kubik, P. W. 2004. Rock avalanching into a landslide-dammed lake causing multiple dam failure in Las Conchas valley (NW Argentina) - evidence from surface exposure dating and stratigraphic analyses: *Landslides*, v. 1, no. 2, p. 113-122.
- Kurz, M. D., and Brooke, E. J. 1994. Surface exposure dating with cosmogenic nuclides, *Dating in exposed and surface contexts: Albuquerque, NM, University of New Mexico Press*, p. 139-159 .
- McNulty, B, Farber, D. 2002. Active detachment faulting above the Peruvian flat slab, *Geology* 30: p. 567-570
- Oliver-Smith, A. 1986. *The martyred city; death and rebirth in the Andes*. University of New Mexico Press, Albuquerque
- Schwartz, D.P. 1988. Paleoseismicity and neotectonics of the Cordillera Blanca Fault Zone, northern Peruvian Andes. *Journal of Geophysical Research*, 93: B5: p. 4712-4730
- Silgado, E. 1978. Historia de los sismos mas notables ocurridos en el Peru (1513-1974) Boletín No. 3, Serie C. Geodinamica e Ingenieria Geologica, Instituto de Geologia y Minería, Lima, Peru
- Liboutry, L., Morales Arnao, B., Pautre, A., Schneider, B. 1977. Glaciological problems set by the control of dangerous lakes in Cordillera Blanca, Peru. I. Historical failures of morainic dams, their causes and prevention, *Journal of Glaciology*, 18: p. 239-254.
- Valderrama, P, Fidel, L, Hermanns, R. L, Gosse, J. 2008. Movimientos en masa del nevado Huascarán. *Congreso Argentino de Geología*.

Anexo 3

ORIGEN Y DINÁMICA DEL ALUVIÓN DE 1945 EN EL COMPLEJO ARQUEOLÓGICO DE CHAVÍN DE HUÁNTAR

Patricio Valderrama^{1, 2} & Lionel Fidel¹

¹ Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. INGEMMET, Peru

² Landslide Research Programme. University of Waterloo.

Canadá

Mail: pvalderrama@ingemmet.gob.pe

RESUMEN

El complejo arqueológico Chavín de Huántar (1300 a 400 AC) está ubicado a 3185 msnm en el flanco oriental de la Cordillera Blanca entre los ríos Mosna y Huachecsa, en el departamento de Ancash. Dada su antigüedad, Chavín es considerado como pieza importante en la evolución de la cultura peruana. El 17 de enero de 1945 a las 7.00 am, una avalancha de hielo proveniente del nevado Huantsán (6369 msnm en la cumbre) se precipitó sobre la laguna Ayhuinyaraju, rompiendo su dique morrénico y precipitándose sobre la laguna Carhuacocha dando origen así al flujo de detritos de origen glaciar (“aluvión”) que bajó por el río Huachecsa, afectando seriamente el complejo arqueológico de Chavín de Huántar y la ciudad del mismo nombre. No se tiene clara la dinámica del flujo original. El presente trabajo presenta evidencias sobre el origen de este evento, basandonos en trabajos de campo, interpretación de fotos aéreas de la zona e imágenes de satélite de alta resolución.

UBICACIÓN E IMPORTANCIA

El complejo arqueológico de Chavín de Huántar se sitúa en la provincia de Huari, departamento de Ancash en el denominado Callejón de Conchucos, en la margen izquierda del río Mosna que nace de los deshielos de la Cordillera Blanca. Chavín de Huántar es uno de los monumentos arqueológicos más célebres y antiguos del Perú precolombino. Son característicos de este sitio, el Templo de Lanzón, la plaza principal y la circular, el Obelisco Tello y la Estela Raymondi, ornamentados con representaciones mitológicas de jaguares, serpientes, halcones o águilas, caimanes, etc. Las célebres “cabezas clavadas”, incrustadas en los muros, son parte notable del arte monumental de Chavín, junto con los cientos de estelas líticas grabadas y bellos objetos de cerámica (fig. 1). Chavín de Huántar fue declarado Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO en 1985.

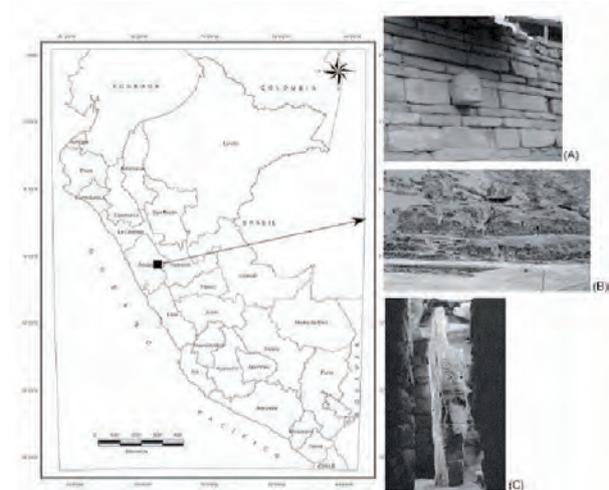


Figura 1: Mapa de ubicación del complejo arqueológico de Chavín de Huántar. (A) Cabeza clava de piedra característica de la cultura Chavín. (B) Vista panorámica del complejo arqueológico. (C) El Lanzón Chavín, ubicado dentro del complejo arqueológico. Fotos de Valderrama, 2006.

CONTEXTO GEOLÓGICO

El marco geológico de los alrededores del complejo arqueológico Chavín de Huántar y la cuenca del río Huachecsa (por donde descendió el flujo de detritos de 1945) es muy variado. Resalta, en la parte alta, la presencia de pizarras jurásicas cubiertas por masas glaciares y depósitos morrénicos que represan lagos de origen glaciar. En la parte media de la cuenca del río Huachecsa se tienen intercalaciones de areniscas y calizas cretácicas que favorecen la formación de movimientos en masas de grandes proporciones e inclusive represaron en varias ocasiones las aguas del río Huachecsa. En la parte baja de la cuenca, se tienen los depósitos fluviales del río Mosna, afluente del río Marañón y los depósitos aluviales formados por la superposición de flujos de detritos antiguos sobre los que se ubica el complejo arqueológico Chavín de Huántar.

EL FLUJO DE DETRITOS (ALUVIÓN) DEL 17 DE ENERO DE 1945

La dinámica del origen de este aluvión no está muy clara, debido primero al difícil acceso en la zona de arranque y a la falta de observaciones directas después de ocurrido el evento, así como, de la poca información topográfica de la zona en ese entonces. (Indacochea et al. 1947).

ZONA DE ARRANQUE DEL ALUVIÓN

El aluvión de 1945 tuvo sus orígenes en la laguna Ayhuinyaraju, muy cerca al nevado Huantsán.

Una masa compuesta de rocas y hielo con poco contenido de agua se precipitó dentro de la laguna Ayhuinyaraju (4500 msnm); sin embargo, se originaron procesos de tubificación hacia el frente morrénico que no lograron destruirlo. El ingreso de la masa glaciaria produjo una serie de olas de tsunami que sobrepasaron en exceso la altura de las morrenas laterales. Este nuevo flujo, debido a la dinámica generada por las olas rebasó la morrena lateral izquierda, erosionándola pero no destruyéndola. En la actualidad, la laguna Ayhuinyaraju no existe ya que la masa relleno completamente el vaso lacustre.

El flujo ingresó a la laguna Carhuacocha (4400 msnm) ubicada inmediatamente aguas abajo, generando un violento aumento de presión en su dique natural (de roca) superándolo y erosionándolo completamente liberando el flujo violentamente hacia la quebrada Alhuaiña (fig. 2).

TRAYECTO QUE SIGUIÓ EL ALUVIÓN

El flujo de detritos descendió por el cauce de la quebrada Alhuaiña con pendiente promedio de 20° arrastrando gran cantidad de material morrénico del cauce y laderas. Con la ampliación del valle y la reducción de la pendiente (0° - 2°) el flujo disminuye la velocidad y deposita albardones con

espesores entre 0.5 – 10 m de acuerdo a la morfología del terreno. En esta zona se depositó aproximadamente 150 000 m³ de material (fig. 3). Al estrecharse el valle y aumentar nuevamente la pendiente (6° en promedio) el flujo adquiere más velocidad y erosiona las laderas de fuerte pendiente del valle originando varios movimientos en masa a 8 km de distancia (Zavala & Valderrama 2007).

ZONA DE DEPÓSITO

El flujo terminó su recorrido en un abanico aluvial en la desembocadura del río Mosna formado por la superposición de varios flujos antiguos. El flujo ingresó con una altura aproximada de 6m, formando un depósito de 600 m de longitud y un volumen estimado de material de 900 000 m³ aproximadamente (Indacochea et al, 1947) cubriendo gran parte del complejo arqueológico de Chavín de Huántar y el pequeño pueblo de Chavín (fig. 4).

Calicatas excavadas en el pueblo de Chavín revelan espesores del flujo de detritos de hasta 1 metro. Una gran porción del material de flujo quedó en la zona de trayecto gracias a las condiciones topográficas del valle superior.

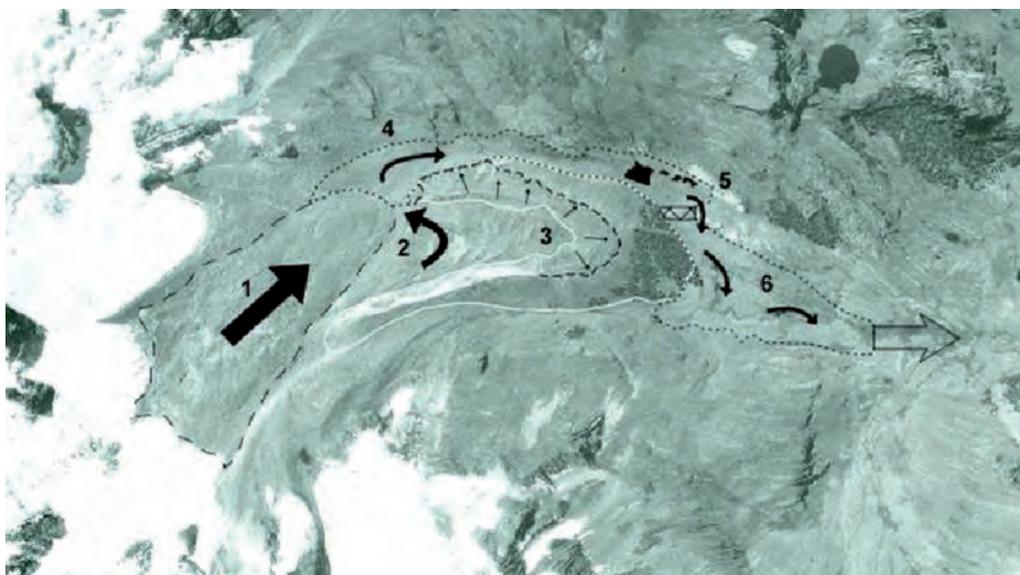


Figura 2: Dinámica del origen del aluvión de 1945. (1) Una masa glaciaria proveniente del nevado Huantsán ingresa al dique morrénico de la laguna Ayhuinyaraju. (2) Esta masa produce la colmatación de la pequeña laguna, genera olas y desfoga por la morrena lateral derecha. (3) Al momento del oleaje, se generan rebalses, las flechas pequeñas muestran su dimensión. (4) El flujo sale del dique morrénico y se dirige aguas abajo a la laguna Carhuacocha. (5) El flujo ingresa a la laguna Carhuacocha y destruye el dique que la contenía (rectángulo entramado). (6) El nuevo flujo con mayor cantidad y velocidad se dirige hacia la quebrada del río Huachecsa. Dibujado por Valderrama 2008. Imagen tomada por SAN en 1962.



Figura 3: Zona de trayecto del aluvión de 1945, en líneas entrecortadas se limita la zona donde se depositó parte del flujo de detritos. Fotografía de Zavala 2006.



Figura 4: Abanico aluvial donde se ubica el complejo arqueológico de Chavín de Huántar (en líneas blancas entrecortadas), la flecha entrecortada negra muestra la dirección del flujo de detritos de 1945 y su pequeño poblado (izquierda). Fotografía de Zavala, 2006.

DISCUSIÓN FINAL

El origen del flujo de detritos que afectó Chavín de Huántar se debió al rebalse de la laguna Ayhuinyaraju por la caída de una masa de hielo y rocas del nevado Huantsán, este flujo ingresó a la laguna Carhuacochoa (300 metros aguas abajo) y destruyó su dique natural (roca) vaciándola completamente. En el trayecto del flujo, se depositó una porción importante de material al disminuir su pendiente sobre un valle de represamiento antiguo, sin embargo, luego se precipitó a gran velocidad y ganó velocidad debido a la morfología del valle del río Huachecsa (cuenca media inferior), tomando alturas mayores a 10 metros en algunos tramos del valle y produciendo movimientos de masas principalmente por erosión de laderas y del cauce.

REFERENCIAS

Cobbing, J., Sanchez, A., Martínez, W., Zarate, H. 1996. Huaraz (20-h), Recuay (20-i), La Unión (20-j), Chiquian (21-j) y Yanahuanca (21-j). Boletín 76, Serie A: Carta Geológica Nacional.

Kauffmann Doig, F. 2002. Historia y Arte del Perú Antiguo. Tomo 1. Ediciones PEISA.

Indacochea, A. & Iberico, M. 1947. Aluvionamiento de Chavín de Huántar el 17 de enero de 1945. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú – Tomo XX. Lima 1947. p. 21-28

Spann, H.J. 1947. Informe sobre el origen de la Catástrofe de Chavín de Huántar. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú – Tomo XX. Lima 1947. p. 29-33

Fidel L, Zavala B, Valderrama P. y otros 2007. Movimientos en Masas en la cuenca del río Huachecsa, Chavín de Huántar. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima.

Zavala B & Valderrama P. 2007. Geodynamic of Chavín de Huántar debris flow happens in January 17, 1945, Ancash Perú. 2nd Alexander von Humboldt International Conference on the Role of Geophysics in Natural Disaster Prevention. Lima.

Anexo 4

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA Y EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS DEPÓSITOS MORRÉNICOS DE LA LAGUNA PALCACOCHA, CORDILLERA BLANCA – ANCASH

Silva Raquel¹, Valderrama Patricio^{2,3}, Pari Walter², Dueñas Sharon⁴

1:Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

2:Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

3:Laboratoire Geophysique Interne et Tectonophysique, Université Joseph Fourier

4:Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Introducción:

Las morrenas de la Laguna Palcacocha están ubicadas en la Cordillera Occidental de los Andes, en el departamento de Ancash, provincia de Huaraz, a más de 4500 msnm en la cabecera de la cuenca Cojup, por debajo de los nevados Palcaraju (6264 msnm) y Pucaranra (6156 msnm); pertenecientes a la Cordillera Blanca. Debido al arrastre de la lengua glaciar proveniente de estos nevados se formaron las morrenas que albergan a la laguna Palcacocha la cual cuenta con un volumen de 17 millones de m³ (UGRH, 2003). La morrena frontal que tiene forma lobulada indica el límite máximo del avance de la lengua glaciar durante el último gran periodo glaciar. En la actualidad, la morrena presenta una abertura con un ancho promedio de 10 metros, producto del aluvión de 1941.

En 1941 las morrenas de la laguna Palcacocha produjeron uno de los mayores desastres históricos ocurridos en la ciudad de Huaraz. Debido al desprendimiento de un bloque de hielo que cayó sobre la laguna y originó fuertes oleadas que sobrepasaron y erosionaron la morrena frontal, produciendo un gran desembalse en dirección a la ciudad de Huaraz, ocasionando miles de muertos y cientos de desaparecidos. Recientemente en el 2003, un deslizamiento – avalancha de proporciones menores, ocurrido en la morrena lateral izquierda, ocasionó un desembalse en la laguna forzando el cierre temporal del centro de tratamiento de agua potable de la ciudad de Huaraz por casi dos semanas, privando del recurso hídrico a casi 100 000 personas.

El presente trabajo muestra un avance de los estudios geofísicos

y geomorfológicos efectuados por INGEMMET en el proyecto “Peligros Geológicos por Procesos Glaciares en la Cordillera Blanca”, se hace una interpretación de la geodinámica de las morrenas de la laguna Palcacocha, con el fin de prevención de probables aluviones que puedan afectar la quebrada Cojup y la ciudad de Huaraz.

Morfología glaciar y características geológicas de las morrenas en la laguna Palcacocha

Actualmente, la lengua glaciar originada en los nevados Palcaraju y Pucaranra aún se encuentra en contacto con la laguna Palcacocha, esta situación fue variando a lo largo del tiempo, ya que como se aprecia en la figura 1, el retroceso de la lengua glaciar es considerable. Este retroceso puede estar asociado a las variaciones climáticas globales.

Las morrenas laterales tienen dimensiones variables siendo que, la morrena lateral derecha tiene una longitud de 2.28 km, con un ancho de 400 metros y una altura de 75 a 100 metros aproximadamente. La morrena lateral izquierda cuenta con una longitud de 1.70 km, con un ancho variable que va de 250 metros a 400 metros y una altura variable entre 50 a 100 metros. Estas morrenas se formaron durante el último periodo glaciar (fase tardía aproximadamente en 20 000 años) (Veliz et al. 1994).

Desde el punto de vista geológico, las morrenas de la laguna Palcacocha están ubicadas en medio del batolito granodiorítico de la Cordillera Blanca (16 a 2.7 ± 0.4 M.A.) (Wilson et al 1967) y presentan una importante diferencia en su composición litológica. La morrena lateral derecha está compuesta principalmente por clastos y bloques de granodiorita provenientes del batolito de la Cordillera Blanca; los clastos se presentan en forma angulosa a subredondeada con diámetros mayores a 5 cm, mientras que los bloques se podían medir hasta tamaños de 3 metros, ambos se encuentran envueltos en una matriz granítica. La morrena lateral izquierda tiene una composición más variada, además de contener granodiorita, se observa la presencia de clastos de pizarra y matriz pelítica, provenientes de la erosión glaciar a las pizarras de la formación Chicama (± 156 M.A.) (Wilson et al 1967), que sobreyace al batolito granodiorítico. El diámetro de los clastos que presenta varía de 0.5 cm hasta bloques de 1.5 metros.

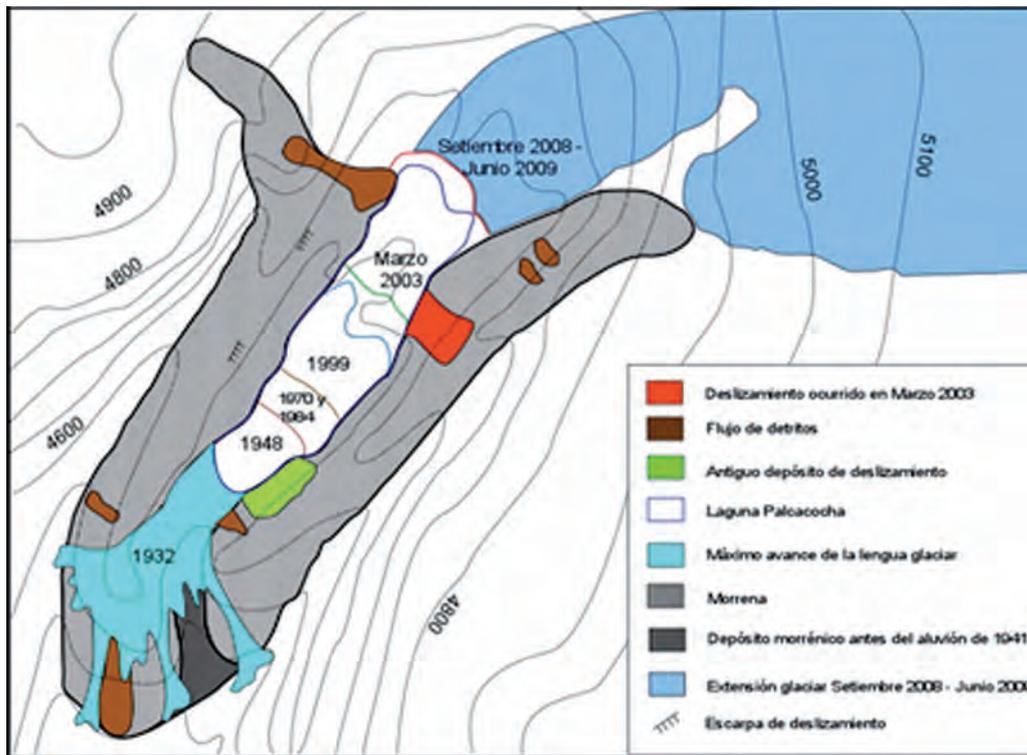


Figura 1: Evolución Glaciar de la Laguna Palcacocha, se muestra el retroceso entre los años 1932 y 2008, basados en los resultados de las fotos aéreas, imágenes satelitales. (Modificado de Vilímek, et. al 2005).

Cartografía geodinámica en las morrenas de la laguna Palcacocha

La geodinámica que se desarrolla en las morrenas de la laguna Palcacocha es considerablemente activa. La cartografía de los movimientos en masa (fig. 2) se ha realizado a una escala de 1:5000 sobre una imagen de satélite SPOT 5 del año 2008. La morrena lateral derecha muestra mayoritariamente caídas de detritos y pequeñas erosiones lineales; consideramos que el factor litológico (composición mayoritariamente granítica) es el responsable de estos fenómenos. Además, se notó que la mayor actividad geodinámica se presenta en la morrena lateral izquierda, debido a su composición pizarrosa, que la hace más susceptible a fenómenos del tipo de deslizamientos y avalanchas.

Mediante la prospección geofísica e interpretación geodinámica en las morrenas de la laguna Palcacocha utilizando el método geofísico GPR (Ground Penetrating Radar) se pudo visualizar zonas de mayor debilidad en las morrenas. Se tendieron cuatro líneas paralelas a las crestas de las morrenas laterales y una línea transversal en la zona de mayor actividad en la morrena lateral izquierda (fig. 3).

Los resultados del estudio geofísico muestran la presencia de cavidades (círculos rojos en las figuras 4 y 5) y asentamientos (líneas naranjas en la figura 5) que podrían estar asociados a la génesis misma de las morrenas, ya que al momento de su formación, grandes bloques de hielo quedaron atrapados en el interior del depósito de Till. Cuando la lengua glaciar abandonó el contacto con la morrena, estos bloques de hielo interiores se derritieron generando dichas cavidades y los subsecuentes asentamientos del material. Además, se aprecia varios sistemas de discontinuidades magnéticas (líneas amarillas en las figuras 4 y 5) que podrían corresponder a varios sistemas de fracturas o agrietamientos, que estarían asociados a estructuras de rotura (deslizamientos – avalanchas) en las morrenas.

Este estudio muestra la viabilidad de usar métodos geofísicos en áreas glaciares, y tendría una gran utilidad en la prevención de fenómenos de movimientos en masas de origen glaciar. Se recomendaría la continuidad de este tipo de estudios en otras lagunas de la Cordillera Blanca, principalmente las que han mostrado una actividad aluviónica reciente como en la laguna Safuna el año 2002 y 513 en el 2010.

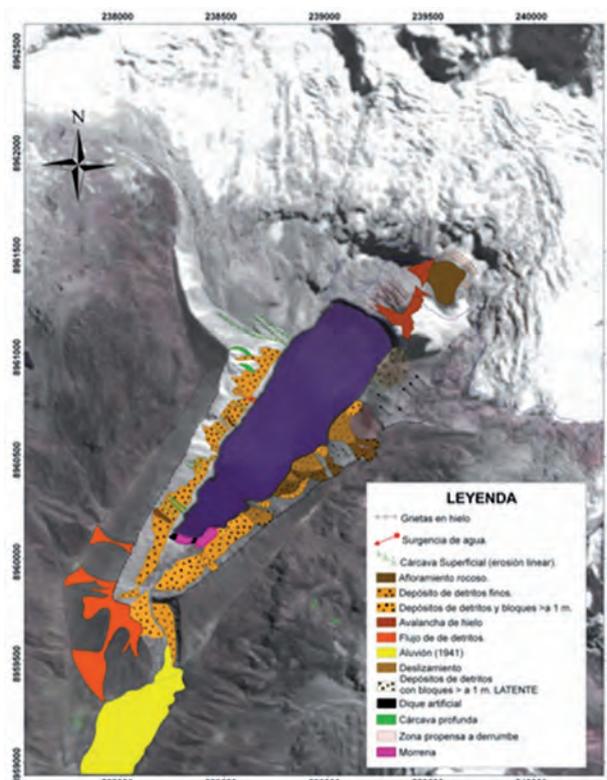


Figura 2: Principales Movimientos en masa en las morrenas de la laguna Palcacocha.



Figura 3: Prospección geofísica; en la morrena lateral izquierda se observa dos líneas transmisoras en forma paralela.

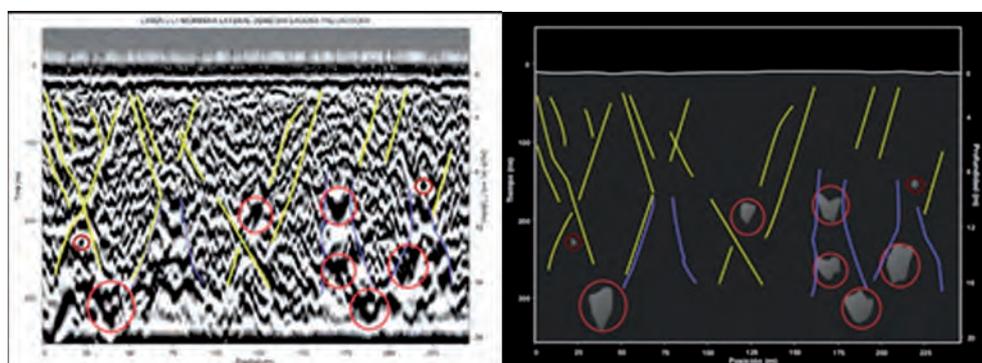


Figura 4: Radargrama (izq.) y su interpretación (der.) de la línea LL_1 en la morrena lateral derecha. Las líneas en color amarillo representan las grietas; en color azul el material grueso, y en círculos rojos las oquedades observadas en la morrena lateral derecha.

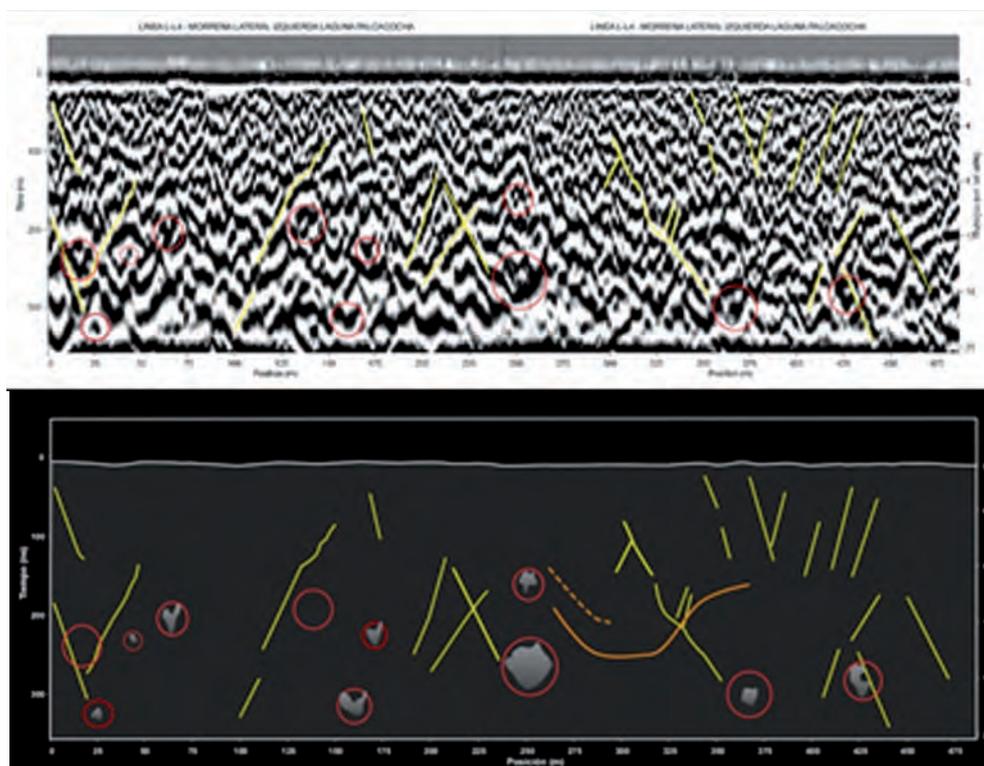


Figura 5: Radargrama (arriba) y su interpretación (abajo), de la línea LL_3 en la morrena lateral izquierda.

Referencia

- UGRH, INGEMMET. (2003) “Informe de Evaluación del Estado de los Glaciares en la Cabecera de la Laguna Palcacocha”.
- Wilson J., Reyes L., Garayar J. (1995). “Geología de los Cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huarí”. Boletín N° 60 Serie A: Carta Geológica Nacional (Hoja 19h).INGEMMET. Lima.
- Veliz Y., Macharé J. (1994). “Reconstrucción de Fluctuaciones Glaciares en la Cordillera Blanca, Perú.” Resúmenes Extendidos VIII Congreso Peruano de Geología, 1994.pp. 247-251, p 249.
- Vilímek V., Zapata M., Klimes J., Patzelt Z., Santillán N. (2005). “Influence of glacial retreat on natural hazards of the Palcacocha Lake area, Peru”. Landslides (2005) 2:107-115p.

Anexo 5

DINÁMICA DEL ALUVIÓN DE LA LAGUNA 513, CORDILLERA BLANCA, ANCASH PERÚ. PRIMEROS ALCANCES

Patricio Valderrama^{1,3} & Oscar Vilca²

1: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima- Perú

2: Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos. Autoridad Nacional de Agua. Huaraz – Perú
pvalderrama@ingemmet.gob.pe

Introducción

La Cordillera Blanca ubicada en los andes centrales del Perú (figura 1), cuenta con el 70 % de los glaciares tropicales del planeta. Desde siempre, su dinámica ha sido una gran condicionante para la formación y evolución de las zonas aledañas, modificando su relieve, formando grandes ríos y condicionando el desarrollo de pueblos y grandes ciudades a sus alrededores.

Los numerosos aluviones¹ originados en la Cordillera Blanca crearon las grandes planicies aluviales donde desde tiempos prehistóricos alteraron la forma de vida de los antiguos peruanos como en Chavín de Huántar (Valderrama & Fidel, 2008) para posteriormente afectar seriamente a los poblados y ciudades modernas instaladas en esa zonas, claros ejemplos son los aluviones que afectaron las ciudades de Huaraz (1941) y Yungay (1970) Zavala & Valderrama, (2007).

El 11 de abril de 2010, a las 7:40 horas, se produce una avalancha de hielo y rocas, muy cerca de una de las principales ciudades del Callejón de Huaylas, Carhuaz. El desprendimiento de hielo y roca ocurrió en la cima oeste del nevado Hualcán (5500 msnm) e impactó sobre la laguna glaciar denominada 513 situada al pie del mismo a una altura de 4428 msnm, ocasionando un oleaje violento en la laguna, un GLOF² y un posterior flujo de detritos que afectó levemente varios poblados. Afortunadamente, este evento no cobró víctimas ni afectó directamente a la ciudad de Carhuaz.

¹ Aluvión: Flujo de detritos de origen glaciar generalmente consecuencia de un GLOF.

²GLOF: Glacial Lake Outburst flooding, Inundación por derrame de un lago glaciar.

El aluvión de la laguna 513

Zona de Arranque

A las 7:40 horas del 11 de abril de 2010, la avalancha de rocas y hielo proveniente del nevado Hualcán, cae pendiente abajo en un recorrido de 1.5 km aproximadamente arrasando con seracs y remanentes glaciares incrementando su volumen, hasta llegar a un precipicio rocoso y precipitarse en caída libre de una altura de 190 m sobre la laguna glaciar 513.

Al momento de la presentación de este artículo, se desconoce la dinámica de la laguna al sufrir el impacto de la masa de hielo y roca, ya que aún se está levantando el modelo digital de elevación de la zona. Lo que sí se puede detallar, son las alturas de las olas basados en las inspecciones de campo y la verificación de las marcas de rebose que quedaron en los flancos de la cubeta rocosa de la laguna, considerando una altura promedio de 6 metros en las partes laterales.

Evidencias fotográficas y de campo, afirmadas con los testimonios de pobladores, nos permiten asegurar que no fue solo una avalancha la que afectó la laguna 513. La figura 2a, tomada minutos después del evento, revela la zona de la avalancha de roca y nieve, mientras que en la figura 2b fotografía tomada un día después, revela una segunda avalancha compuesta mayormente por hielo.

Estos hechos hacen muy complicada la dinámica de la laguna, ya que según testimonios de los pobladores afectados, fueron dos grandes crecidas de los ríos (que nacen en la laguna 513).

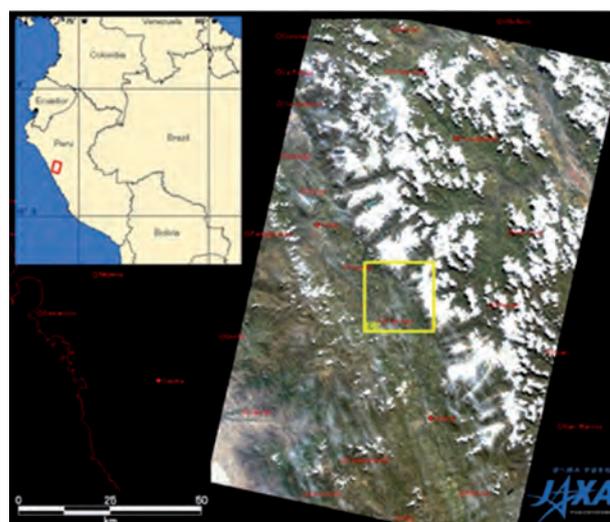


Figura 1: Imagen JAXA tomada el 12 de abril del 2010, donde se muestra la ubicación de la Cordillera Blanca en el Perú.



Figura 2: (a) Fotografía tomada por el Equipo de Rescate de Carhuaz horas después de la primera caída. Nótese la gran masa de hielo que queda suspendida en la parte superior a la escarpa de rotura. (b) Fotografía tomada por O. Vilca al día siguiente del evento durante la inspección de campo, se aprecia que la mitad de la masa de hielo de la figura (a) ha caído.

La mayor descarga de energía fue contenida por la parte frontal de la cubeta de la laguna, donde se tenía hasta 23 metros de borde libre los cuales fueron sobrepasados parcialmente. En la parte frontal del dique, el rebose de la ola, erosionó 5 metros de depósito morrénico (figura 3), lo cual indica que no todo el flujo fue liberado por la parte frontal del dique.

Por las evidencias de campo recolectadas el mismo día del evento, se puede afirmar que el sistema de túneles de liberación de carga y sistemas de seguridad de la laguna 513 funcionó correctamente y la mayor cantidad de la turbulencia de las olas, producto del impacto, fue disipada por estos. De no haber tenido estas obras de seguridad, seguramente el flujo de detritos hubiera sido mucho mayor y la posibilidad de que afecté la ciudad de Carhuaz sería alta.



Figura 3: Vista de la parte frontal del vaso, nótese el borde de seguridad de la laguna de 23 metros. La erosión producida por el flujo al salir de la cubeta fue de 5 metros en la morrena.

Zona de Trayectoria

Superada la barrera que el dique de roca significaba, el GLOF pasó a convertirse en un típico flujo de detritos de origen glaciar, precipitándose violentamente por el cauce natural hacia donde se encuentra otra laguna glaciar (laguna Rajupaquinan, 4150 msnm) sin afectarla, pero sí erosionando fuertemente el cauce y aumentando su velocidad por la fuerte pendiente de la zona (figura 4).

Afortunadamente, el flujo al ingresar a la zona conocida como Shongilpampa sufre una gran desaceleración debido a la pendiente casi plana del área (compuesta por depósitos lacustres cuaternarios) erosionándolos (figura 5) y aumentando su viscosidad, para luego tomar el cauce natural del río.



Figura 4: El flujo de detritos se acelera considerablemente debido a la fuerte pendiente en la parte alta. El flujo posteriormente sufre una desaceleración por el brusco cambio de pendiente.

Finalmente, el flujo de detritos ingresó a la quebrada del río Chucchún y afectó terrenos de cultivos y viviendas. Cabe resaltar que el flujo de detritos colmató completamente el sistema de captación de agua potable de la ciudad de Carhuaz (50 mil habitantes) dejando a la población sin suministro de agua potable por casi 5 días.

La simulación FLO 2D

Ya es bien conocida la efectividad del software de simulación de flujos hiperconcentrados FLO 2D (O'Brien, 2003). Su efectividad ha sido demostrada en casos como el aluvión de Runtumayo, Cusco (Valderrama & Cardenas, 2005), generación de escenarios de flujos de detritos en las ciudades de Urubamba y Ollantaytambo, Cusco (Valderrama et al, 2007), generación de mapas de evacuación de la ciudad de Huaraz (Valderrama et al 2007) y otros.

En el caso de las simulaciones realizadas para la laguna 513 en febrero de 2009 (un año antes del evento) estas fueron parte de un proyecto experimental en el cual, basados en el script del FLO 2D se creó un programa en plataforma MatLab que no solo muestre el área de inundación y caudal, sino también la turbulencia del flujo. La turbulencia muestra las áreas en las que el flujo de detritos es más violento y además muestra hasta donde el flujo de detritos llega con esas características, para después pasar a ser una inundación (Valderrama, 2010 en preparación). Los resultados de dicha simulación



Figura 5: Depósitos lacustres del sector de Shongilpampa. El flujo de detritos erosionó aproximadamente 2 metros en el material, aumentando así su velocidad.

en comparación con una imagen de satélite post-evento son notorios (figura 6).

Gracias a la simulación se puede apreciar por que el flujo no llega a afectar directamente a la ciudad de Carhuaz, ya que por los fuertes cambios de pendientes y lo estrecho del valle, el flujo pierde turbulencia en la zona de Shongilpampa convirtiéndose desde esa zona en una inundación, las cuales típicamente siguen cauces pre-establecidos sin rebosarlos y con dinámica de fluidos simple.



Figura 6: Der. Imagen de Jaxa posterior al evento. Izq. Simulación FLO 2D antes del evento. Con líneas entrecortadas se aprecia las grandes zonas de disipación de energía producto de los cambios de pendiente. En línea continua se aprecia las aéreas más susceptibles a run up en esta zona hubo varias viviendas afectadas. La estrella marca el límite de la turbulencia, desde ahí el flujo de detritos se convierte en una inundación, que sigue el cauce del río pre establecido naturalmente

De no haber existido estructuras de seguridad en la laguna 513, la cantidad de fluido liberado hubiera sido mucho mayor, por lo tanto la turbulencia y caudal del flujo hubieran llegado mucho más adelante y seguramente comprometer seriamente la ciudad de Carhuaz.

De los resultados de la simulación y su gran similitud con los hechos ocurridos el 11 de abril del 2010, se pueden extraer los siguientes datos:

Detalle	Cantidad
Volumen del flujo de detritos (agua y mezcla de sedimentos)	909 562.32 m ³
Volumen de la masa de hielo y roca desprendida	~ 1 500 000 m ³
Total de área inundada por el flujo de detritos:	1 539 200.00 m ²

Conclusiones

Los resultados que se muestran en este resumen son preliminares, los que tienen que ser reajustados con modelos de elevación digital más precisos y simulaciones post-evento tipo back-analysis.

Todas las evidencias muestran que las estructuras de seguridad de la laguna 513 fueron las que redujeron la turbulencia del GLOF inicial. De no haber existido estas estructuras, seguramente este evento hubiera afectado seriamente a la ciudad de Carhuaz.

En comparación con eventos anteriores, este aluvión se puede catalogar como uno leve, pese al gran volumen de material desplazado.

Las obras de prevención en nuestro territorio no son cuantificables en forma tangible e inmediata, una muestra son las obras civiles realizadas en la laguna 513 que después de 18 años evitó que se produjera consecuencias realmente lamentables.

Referencias

Evans, S.G., Bishop, N.F., Smoll, L.F., Valderrama, P., Oliver-Smith, A., Delaney, K.B. & Kampherm, T.S. (2009). A re-examination of the mechanism and human impact of catastrophic mass flows originating on Nevado Huascarán, Cordillera Blanca, Peru in 1962 and 1970. *Engineering Geology* 108. Pages 96-118 O'Brien (2003). *Manual of FLO-2D*. Flo 2D. Web site www.flo2d.com

Valderrama, P. & Cárdenas, J. (2005). *Geología, Geodinámica y Peligros en la Quebrada Runtumayo (Cusco): Avalancha y Aluvión del 12 de octubre del 2005*. Proceedings of the XIII Peruvian Geological Congress.

Valderrama, P., Cárdenas, J. & Carlotto, V. (2007). FLO 2D simulation in Urubamba and Ollantaytambo cities, Cusco. *Geological Society of Peru, Bulletin* 102.

Valderrama, P. (2007). Peligros Geológicos asociados al cambio climático en la ciudad de Huaraz, Ancash. 1st International Engineering Congress Cusco.

Valderrama, P. & Fidel, L. (2008). Origen y dinámica del aluvión de 1945 en el complejo arqueológico de Chavín de Huántar. Proceedings of the XIV Peruvian Geological Congress XIII Latin American Geological Congress.

Valderrama, P. (2010). Numerical turbulence debris flow modeling. On preparing.

Zavala, B. & Valderrama, P. (2007). Mass Movements and Valley Dams of great dimension in Ancash region. Proceedings of the 2nd Alexander Von Humboldt International Conference. 2007.

Dinamic of the 17th January 1945 debris flow in Chavín de Huántar, Ancash, Peru.

Анехо 6

P. Valderrama, L. Fidel, B. Zavala, L. Medina
 Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Lima,
 Peru

**Динамика селевого потока 17 января 1945 г. в
 Чавин-де-Уантар (департамент Анкаш, Перу)**

П. Вальдеррама, Л. Фидел, Б. Завала, Л. Медина

*Институт геологии, горных наук и
 металлургии (INGEMMET), Лима, Перу*

Археологический комплекс Чавин-де-Уантар (от 1300 до 400 до н.э.) находится на высоте 3185 м н.у.м. на восточной стороне хр. Кордильера Бланка между рр. Моша и Уаческа в департаменте Анкаш на севере Перу. Ввиду античного возраста он является важным участком для исследования эволюции перуанской культуры. 17 января 1945 г. в 7.00 ледяная лавина, зародившаяся на г. Уатцан (6369 м н.у.м.) упала в оз. Айуиньяраху, разрушила его моренную дамбу, затем прошла до оз. Каруакоча, породив сель («аллювиальный поток»), который далее шел по долине Уаческа, существенно разрушил археологический комплекс Чавин-де-Уантар и небольшой город Чавин. Особенности динамики селевого потока не вполне понятны. В данной статье предложен новый взгляд на генезис события, основанный на полевых исследованиях, дешифрировании аэрофотоснимков и космических снимков высокого разрешения SPOT 5.

The archeological complex of Chavín de Huántar (1300 to 400 BC) is located at 3185 m a.s.l. on the east side of the Cordillera Blanca between the Mosna and Huachecsa rivers at the Ancash department in the north of Peru. Due its antique is considered an important piece in the evolution of the Peruvian culture. The January 17, 1945 at 7.00 am an ice avalanche originated in Huatsán Mountain (6369 m a.s.l.) settle down into Ayuinyaraju lake, breaking its moraine dam and settle down up to Carhuacocha lake, originating the debris flow ("alluvial flow") that go downstream by the Huachecsa valley, affect seriously the Chavín de Huántar's archeological complex and the small city of Chavín. Is not clear the dynamic of the original flow. In this paper, we present new evidence about the origin of the event, based in field work, aerial photos and SPOT 5 high resolution satellite images interpretation.

Location and importance

The archeological complex of Chavín de Huántar is placed at

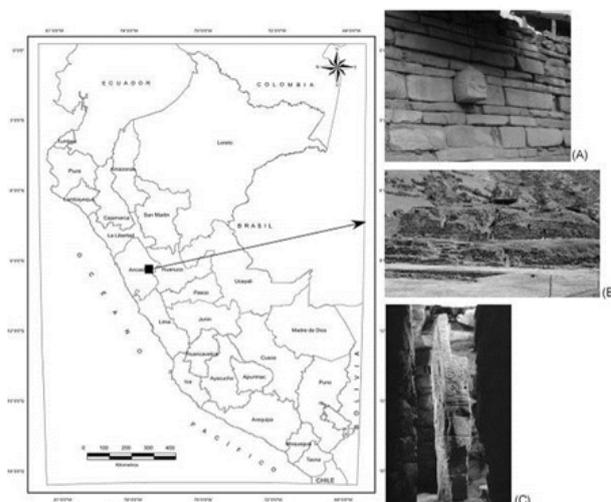


Fig. 1. Location map of the archaeological complex of Chavín de Huántar. (A) Rock made "Cabeza Clava" is the main characteristic of the Chavín culture. (B) Panoramic view of the complex. (C) "Lanzón Chavín", located inside of the archaeological complex. Photos and map by P Valderrama, 2006.

the Huari province, Ancash department, in the named Callejón de Conchucos, en the left margin of Mosna river that born by deicing of the Cordillera Blanca. Chavín de Huántar, is one of the most famed and ancient archeological monuments of the pre-Columbian Peru. The main characteristics of the site, The Lanzón Temple, the Main Plaza and the Circular Plaza, the Tello Obelisk and the Raymondi Stella, ornamented with mythological jaguar, snakes, falcons or eagle, and alligators representations. The famous "Cabezas Clavas", encrusted in the walls, are part of the monumental Chavín's art (fig. 1). Chavín de Huántar was considered by the UNESCO like a Word Heritage Center.

Geological context

The geological context of the surroundings of the archeological complex of Chavín de Huántar and the Huachecsa river basin (where the debris flow of 1945 go down stream) is very diverse, highlighting the very cracked jurassic shale in the top part of the Cordillera Blanca and moraine deposits that support glacial lakes, In this zone was the origin of the 1945 debris flow. In the middle part of Huachecsa river basin are some intercalation between cretaceous sandstone and limestone that further the formation of big proportion mass movements, and even valley dams related to them. In the low part of the basin, are river deposits from Mosna River, affluent to Marañón River, and alluvial deposits originated by overlap of ancient debris flows. In this section is placed the archeological complex of Chavín de Huántar.

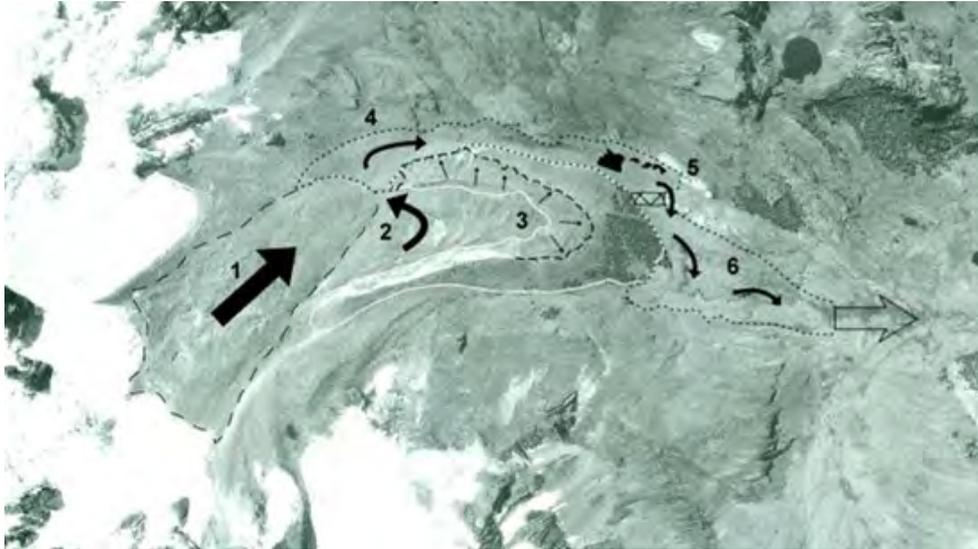


Fig. 2. Dynamics of the origin of the debris flow in 1945. (1) A glacier mass from snow-covered Huatsan Mountain come in into the moraine dam of Ayhuinyaraju Lake. (2) This mass produces the fill of the small lake, creating Tsunamis waves and vent by the right lateral moraine. (3) At the waves moment, it create overflowing marks, the small arrows show them. (4) The flow goes out of the moraine dam and goes downstream to the Carhuacocha Lake. (5) The flow came in into Carhuacocha Lake and destroys its natural dam (showing by a rectangle). (6) The new flow, by more volume and velocity go downstream into the Huachecsa River. Map by P. Valderrama, 2008.

January 17, 1945 debris flow

The dynamics of origin of this debris flow is not clear, because first to the difficult access to the Start Zone and the absence of direct observations after the event, as well as the poor topographic information of the zone.

Start zone

The 1945 debris flow was originated at Ayhuinyaraju Lake, near to the snow-covered Huatsan Mountain. A mass composed by rocks and ice precipitated inside Ayhuinyaraju Lake (4500 m a.s.l.) , at these moment the Ayhuinyaraju Lake didn't contain great volume

of water inside. The entrance of the glacier mass produced some sequence of Tsunami Waves which exceeded by far the height of the lateral moraines. This now flow, due to the dynamics generated by the waves, passed over left lateral moraine, eroding it but not destroying it. At the present time, the Ayhuinyaraju Lake does not exist anymore, because the mass filling completely the small basin of the lake (inside the moraine dam).

The flow enter into Carhuacocha Lake (4400 m a.s.l.) located immediately downstream, generating a violent increase of pressure in the natural dam (rock dam?), exceeding and eroding it completely, freeing a violent flow along Alhuaiña ravine (fig. 2).



Fig. 3. Trajectory zone of the 1945 debris flow, the dashed lines show the boundaries of the deposit zone. Photo by B Zavala, 2006.

Trajectory zone

The debris flow went down by the river bed of Alhuiña ravine (with average slope of 20°) carrying a lot of moraine and rock material. With the enlargement of the valley and the reduction of the slope ($0^\circ - 2^\circ$) the flow decelerates and deposit packsaddles with thicknesses according to the morphology of the terrain, between 0.5 – 10 m, in this zone it deposited

approximately 1500000 m³ of material (fig. 3). When the valley become narrow and increasing the slope again (6° average) the flow gets faster and eroding the foothills of the mountains in the Huachecsa valley, that event originate several mass movements (Zavala and Valderrama, 2007).

Deposit zone

The flow ended up its course in an alluvial fan formed by



Fig. 4. Alluvial fan where Chavín de Huántar is located (in white discontinuous lines). The direction of the debris flows of 1945 shows the interrupted black arrow. The small town of Chavín is in the right corner. Photo by B. Zavala, 2006.

the overlap of several ancient flows, at the Mosna River debouchments. The flow entered with an approximate height of 6m, creating a deposit of 600 m of length and a volume estimated of material of 900 000 m³ approximately (Indacochea et al., 1947) covering great part of the archeological complex of Chavín de Huántar and the small town of Chavín (fig. 4).

Exploration trial pits studies at Chavín's town reveal thicknesses up to 1m of the debris flow in this part of the town. A great portion of the flow material ended up in the Trajectory Zone thanks to the topographic conditions of the high part of the valley.

Final discussion

The origin of the debris flow that affected Chavín de Huántar was due the overflowing of Ayhuinyaraju Lake for the fall of a rock-ice mass from the snow-covered Huatsán Mountain, this flow entered into Carhuacocha Lake (300 meters further down) and destroy its natural dam (rock dam?) emptying it completely. The flow at the trajectory zone deposited an important portion of material due to the decrease of the slope in a dammed valley. However the flow got faster for the morphology of the valley of Huachecsa River taking heights up to 10 meters in some parts of the valley and produced several mass movements.

References

- Cobbing J., Sanchez A., Martínez W., Zarate H. 1996. Huaraz (20-h), Recuay (20-i), La Unión (20-j), Chiquian (21-j) y Yanahuanca (21-j). Boletín 76, Serie A: Carta Geológica Nacional.
- Kauffmann Doig F. 2002. Historia y Arte del Perú Antiguo. Tomo 1. Ediciones PEISA.
- Indacochea A., Iberico M. Aluvionamiento de Chavín de Huántar el 17 de enero de 1945. – Boletín de la Sociedad Geológica del Perú. Tomo XX. Lima, 1947, p. 21-28.
- Spann H.J. 1947. Informe sobre el origen de la Catástrofe de Chavín de Huántar. – Boletín de la Sociedad Geológica del Perú. Tomo XX. Lima, p. 29-33.
- Fidel L., Zavala B., Valderrama P. y otros. 2007. Movimientos en masas en la cuenca del río Huachecsa, Chavín de Huántar. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima.
- Zavala B. & Valderrama P. 2007. Geodynamic of Chavín de Huántar debris flow happens in January 17, 1945, Ancash Perú. – 2nd Alexander von Humboldt International Conference on the Role of Geophysics in Natural Disaster Prevention. Lima.

RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES

Mapas

- Mapa 1** Sistemas de carreteras y vías de acceso al Callejón de Huaylas y los glaciares de la Cordillera Blanca.
- Mapa 2** Precipitaciones acumuladas en periodo lluvioso para la región Ancash. Fuente: SENAMHI.
- Mapa 3** Cuenca hidrográfica del río Santa. Fuente: ANA.
- Mapa 4** Geología de la Cordillera Blanca.
- Mapa 5** Geomorfología de la Cordillera Blanca.
- Mapa 6** Movimiento en Masa sectores Cashapampa-Santa Cruz, Caraz.
- Mapa 7** Movimiento en Masa sector Yungay.
- Mapa 8** Movimiento en Masa sector Tinco - Carhuaz.
- Mapa 9** Movimiento en Masa sector Marcará-Tarica.
- Mapa 10** Movimiento en Masa sector Huaraz.
- Mapa 11** Movimiento en Masa sector Olleros - Recuay.

Fotografía

- Fotografía 1A** Salto de la falla de la Cordillera Blanca de más de 30 metros en la zona de Cojup – Huaraz
- Fotografía 1B** Turistas rumbo a la laguna de Shurup - Huaraz. El camino corta el salto de la falla de la Cordillera Blanca que es esa zona tiene 4 metros de altura.
- Fotografía 2** Caída de detritos originados por gravedad en depósitos morrénicos, laguna Llaca (Huaraz)
- Fotografía 3** Clásica forma en V de una quebrada en material fluvioglacial, parte alta sector Olleros
- Fotografía 4** Quebrada en material fluvioglacial que transporta pequeños flujos de detritos estacionales, norte de Recuay
- Fotografía 5** Vista desde el interior del valle glacial Cojup (Huaraz), se muestra la forma característica en "U" por la erosión de los glaciares.
- Fotografía 6** Paredes verticales del valle glacial con más de mil metros de altura, valle glacial de Llanganuco, Yungay.
- Fotografía 7** Valle glacial colgado (lado izquierdo), en la zona sur de la Cordillera Blanca.
- Fotografía 8** Vista panorámica de las lagunas Llanganuco (Yungay), se observa dos abanicos proluviales situados en medio de las lagunas.
- Fotografía 9** Laguna Querococha (Catac), al sur de la Cordillera Blanca.
- Fotografía 10** Morrena de fondo de valle a la entrada del valle glacial Cojup (Huaraz); del otro extremo se muestra la falla de la Cordillera Blanca.
- Fotografía 11** Morrena frontal de la laguna Palcacocha, en el valle glacial Cojup (Huaraz).

- Fotografía 12** Morrena de fondo de valle glaciar de gran altura que represa a la laguna de Parón (Caraz), al fondo se observa al nevado Pisco.
- Fotografía 13** Morrenas de fondo de valle glaciar, a espaldas del nevado Huascarán (Yungay), producto de la confluencia de dos lenguas glaciares.
- Fotografía 14** Morrenas colgadas del nevado Huandoy hacia el valle glaciar de Llanganuco (Yungay).
- Fotografía 15** Vista de los glaciares del nevado Huascarán (Yungay).
- Fotografía 16** Depósitos fluvioglaciales en el sector de Ticapampa al norte de Recuay
- Fotografía 17** Vista de campo de la unidad de montañas con pendiente abrupta de rocas intrusivas.
- Fotografía 18** Montañas de abrupta pendiente en rocas sedimentarias, valle de Rurec (Olleros).
- Fotografía 19** Caída de detritos en la quebrada Uruashraju, al sur de la Cordillera Blanca, en el distrito de Olleros.
- Fotografía 20** Avalancha de rocas y detritos en el valle glaciar Shallap – Huaraz.
- Fotografía 21** Morrena afectada por flujo de detritos, al NE de la ciudad de Recuay.
- Fotografía 22** Flujo de detritos ubicado a la entrada del valle glaciar Cojup, al este de la ciudad de Huaraz
- Fotografía 23** Deslizamiento rotacional en la parte alta de Marcará, cerca del ingreso a la zona de Quebrada Honda.
- Fotografía 24** Vista tomada en 1939 (H. Kinzl, 1939) de la laguna Palcacocha. Nótese la gran masa glaciar sobre y en contacto con la laguna y la fuerte erosión de las morrenas laterales.
- Fotografía 25** Vista de las morrenas que represaban la laguna Palcacocha (1939) antes de la ruptura de 1941. Nótese las zonas marcadas con números (1 y 2) son zonas que muestran fuerte erosión por rebalses de la laguna. El sector 2, finalmente fue el que cedió y liberó toda el agua de la laguna provocando el aluvión. (Fotografía tomada de Zapata et al 2002).
- Fotografía 26** Depósitos lacustres correspondientes a la antigua laguna Jircaycocha, en la zona inferior derecha se aprecia parte del dique natural roto por el aluvión de 1941.
- Fotografía 27** Fotografía aérea (SAN) de toma oblicua, tomada en 1948 que muestra los rastros del aluvión de 1941 a lo largo de la quebrada Cojup.
- Fotografía 28** Fotografía Aérea (SAN) de toma oblicua, que muestra la zona afectada por el aluvión de 1941. Según referencias de la época, el 45 % de la ciudad fue completamente destruida.
- Fotografía 29** Vista aérea de la confluencia de los ríos Ranrahirca y Santa y el depósito dejado por el aluvión de 1962. En ese sector se ubicaba el poblado de Ranrahirca el cual fue arrasado completamente. (Fotografía: Servicio Aerofotográfico Nacional, Perú).
- Fotografía 30** Así quedó el poblado de Ranrahirca después del aluvión de 1962.
- Fotografía 31** Extraído de la publicación de Ericksen & Plafker, 1978 donde se muestra una comparación entre el paisaje pre y post aluvión de 1970.
- Fotografía 32** Fotografía aérea del depósito del aluvión de 1970 que destruyó los pueblos de Yungay y Ranrahirca. Se puede apreciar el Run-Up en la otra orilla del río Santa. (Fotografía: Servicio Aerofotográfico Nacional, Perú).
- Fotografía 33** Zona de arranque del deslizamiento – avalancha del 2003, nótese la infiltración de aguas en la parte superior de la escarpa, posiblemente este fue el origen del fenómeno.

- Fotografía 34** Estado de los diques artificiales de regulación de caudal después del evento del 2003, los bloques de hielo fueron traídos por las olas de tsunami en el lago. (Fotografía INRENA, 2003).
- Fotografía 35** Vista panorámica hacia el este de la laguna de Palcacocha al día siguiente del aluvión del 2003. Nótese los grandes bloques de hielo que flotan en la laguna, que fueron arrancadas por la avalancha ocurrida por encima de la lengua glaciar. (Fotografía: INRENA, 2003).
- Fotografía 36** Vista panorámica de la laguna de Palcacocha desde su morrena lateral derecha. Al igual que en la fotografía anterior, se aprecia bloques de hielo flotando producto de la avalancha. (Fotografía: INRENA, 2003).
- Fotografía 37** (a) Fotografía tomada por el Equipo de Rescate de Carhuaz horas después de la primera caída. Nótese la gran masa de hielo que queda suspendida en la parte superior a la escarpa de rotura. (b) Fotografía al día siguiente del evento durante la inspección de campo, se aprecia que la mitad de la masa de hielo de la fotografía (a) ha caído.
- Fotografía 38** Vista desde el suelo del depósito morrénico
- Fotografía 39** Depósitos morrénicos en la parte periglaciaria de la quebrada Parón
- Fotografía 40** Depósitos morrénicos colgados en los flancos del valle glaciar de la quebrada Parón.
- Fotografía 41** Pequeña laguna estacional represada por los grandes depósitos morrénicos de fondo de valle al inicio de la quebrada Rajururi.
- Fotografía 42** Paredes verticales de granito, que limitan el valle glaciar de Llanganuco.
- Fotografía 43** Vista panorámica de las lagunas Llanganuco: Chinancocha (al fondo) y Orgoncocha (adelante). Nótese cómo ambas lagunas son represadas por movimientos en masas provenientes del nevado Huandoy (Der.) y nevado Huascarán (Izq.)
- Fotografía 44** Vista de la quebrada Ancush con su sistema morrénico, lengua glaciar y glaciar de roca.
- Fotografía 45** Grandes depósitos morrénicos colgados del nevado Huandoy, al no estar consolidados representan un peligro considerable para la estabilidad de las lagunas Llanganuco, por el riesgo de avalanchas de detritos y flujos de detritos.
- Fotografía 46** Vista del nevado Huascarán donde se aprecia en líneas rojas entrecortadas la ubicación de las quebradas Armapampa y Huarayoc.
- Fotografía 47** Depósito lacustre en el piso del valle glaciar de Ulta de fondo plano y curso divagante
- Fotografía 48** Vista de los depósitos morrénicos del fondo del valle; nótese la gran altura que tienen.
- Fotografía 49** Deslizamiento antiguo con reactivación en la parte baja de los depósitos morrénicos de fondo de valle en la quebrada Catay
- Fotografía 50** Depósitos morrénicos en el fondo del valle glaciar Hualcán
- Fotografía 51** Vista al nivel del suelo del valle glaciar de Hualcán y el nevado Hualcán.
- Fotografía 52** Ingreso al valle glaciar colgado de Ruripaccha, que está 150 metros por encima del nivel del valle glaciar principal (quebrada Honda).
- Fotografía 53** Vista de un segmento de la quebrada Honda; nótese los grandes depósitos de movimientos en masas en las laderas y lo plano del fondo del valle.
- Fotografía 54** Nacientes del valle glaciar de Llaca, se aprecia bloques de hielo glaciar flotando en la laguna debido a las constantes avalanchas de hielo glaciar que ocurren en la zona.

- Fotografía 55** Avalancha de detritos en la morrena de la laguna Llaca (mirando al N), este tipo de eventos ocurren principalmente, después de fuertes temporadas de lluvias, y en depósitos inconsolidados.
- Fotografía 56** Depósito de caída de detritos en la parte media del valle glaciar de Llaca; nótese los bloques recientes que son evidencia de reactivaciones menores.
- Fotografía 57** Depósitos de caída de rocas en el valle glaciar de Llaca.
- Fotografía 58** Vista de las morrenas Palcacocha y de la cicatriz que originó el aluvión de 1941
- Fotografía 59** Avalancha de detritos ocurrida en la morrena lateral izquierda de la laguna de Palcacocha, que originó el aluvión del 13 de marzo de 2003.
- Fotografía 60** Zona de transporte del aluvión del 27 de septiembre de 2008. Una morrena en formación produjo una avalancha que desbordó una pequeña laguna. La flecha roja indica el trayecto del flujo, que tuvo una caída hasta el fondo del valle de más de 500 metros.
- Fotografía 61** Vista panorámica de lo que fue la laguna de Jircaycocha, la cual fue desaguada por el aluvión de 1941. En líneas punteadas se aprecia el nivel que alcanzaban las aguas de la laguna Jircaycocha.
- Fotografía 62** Flujo de detritos que represa las aguas del río Cojup; nótese la evolución temporal del abanico, que anualmente va ganando altura y va estrechando más la zona de desfogue, además de que la laguna posterior al abanico es cada año más grande.
- Fotografía 63** Depósitos de avalanchas de rocas y detritos en el valle glaciar de Quilcayhuanca.
- Fotografía 64** Depósito de caídas de rocas recientes, sobre depósitos antiguos en el valle glaciar de Shallap.
- Fotografía 65** Avalancha de rocas ocurrida en 1941 en Shallap, no se asocia al aluvión de la quebrada Cojup, ya que el deslizamiento ocurrió meses antes.
- Fotografía 66** Parte media del valle glaciar de Rajucolta (quebrada Pariac) con depósitos de caídas de rocas y algunos flujos de detritos antiguos
- Fotografía 67** Depósitos de flujos de detritos antiguos en la parte media de la quebrada Pariac
- Fotografía 68** La ciudad de Huaraz ubicada sobre un abanico aluvial completamente urbanizado.
- Fotografía 69** Cárcavas en las morrenas que canalizan al río Cojup al este de Huaraz.
- Fotografía 70** Grandes cárcavas y zonas de erosión superficial en grandes escarpas (sureste de la ciudad de Huaraz, sector de cerro Shullca).
- Fotografía 71** Confluencia de los ríos Llaca y Cojup, se aprecia como las viviendas están en algunos casos a menos de un metro del cauce del río.
- Fotografía 72** Sector de Nueva Florida, que al igual que en la foto 72 las viviendas se encuentran a unos cuantos metros del cauce del río Quilcay.
- Fotografía 73** Vista panorámica de la escarpa del deslizamiento de Rataquenua y Cruz Punta, cerca de la esquina superior izquierda de la foto se aprecia la ciudad de Huaraz.
- Fotografía 74** Comparación con una foto aérea (SAN) de 1942, y una imagen SPOT 5 de 2007, nótese el notable crecimiento de la ciudad de Huaraz sobre el depósito del deslizamiento de Rataquenua y Cruzpunta. Actualmente en la zona se ubican los barrios de La Soledad y El Pedregal. La línea roja señala la escarpa y las líneas amarillas señalan los límites del depósito.
- Fotografía 75** Gran urbanización alrededor de la quebrada río Seco señalado con línea continua.

- Fotografía 76** Vista al detalle de las viviendas que se encuentran en los cauces de río Seco y los depósitos de flujos de detritos que discurren anualmente por esta quebrada.
- Fotografía 77** El puente que es el nexo de la ciudad de Huaraz con Recuay, Conococha y Lima, se ve muy afectado por los depósitos de flujos de detritos.
- Fotografía 78** Vista panorámica del valle glaciar de Pumahuaganga, nótese los depósitos de grandes movimientos en masas en sus laderas.
- Fotografía 79** Vista panorámica del valle glaciar de Pumahuaganga, nótese los depósitos de grandes movimientos en masas en sus laderas.
- Fotografía 80** Vista de las lagunas represadas por depósitos morrénicos en la confluencia de Uquian con Pumahuaganga.
- Fotografía 81** Sistema de lagunas intermorrénicas; nótese como estas lagunas no están represadas por morrenas, sino que están dentro de la morrena.
- Fotografía 82** Vista del escarpe de falla de la Cordillera Blanca en los depósitos morrénicos de la quebrada Querococha.
- Fotografía 83** Vista panorámica de quebrada Conde, se aprecia que sus laderas están cubiertas de depósitos de caídas de rocas mayormente antiguos.
- Fotografía 84** Vista del valle fluvio-glaciar de Atoc Huaranca y parte de la ciudad de Recuay. Nótese las barreras construidas para cambiar el rumbo de los flujos de detritos y que no impacten directamente sobre la ciudad de Recuay.
- Fotografía 85** Vista del deslizamiento de Recuay.

Imágenes

- Imagen 1** Imagen Satelital Spot 5 de la ciudad de Caraz, emplazada en un gran abanico aluvial.
- Imagen 2** Vista satelital Spot 3D del sector de Anta, nótese las llanuras de inundación y las terrazas fluviales dejadas por el río Santa. En una de ellas se ubica el Aeropuerto de Anta, único aeropuerto en el Callejón de Huaylas.
- Imagen 3** Imagen de Satélite 3D de la quebrada Ruripaccha (Marcará) donde se aprecia sistemas morrenicos y lagunas dentro del valle glaciar colgado.
- Imagen 4** Morrenas de valle del sector Cojup – Quilcayhuanca (Huaraz) desde una imagen satelital SPOT 3D.
- Imagen 5** Morrenas colgadas en la cuenca Cojup (Huaraz). Se observa la formación de lagunas tomando como diques naturales a estas morrenas (Google Earth, 2009).
- Imagen 6** Circo glaciar del nevado Cojup y la laguna Palcacocha (Huaraz).
- Imagen 7** Colinas de rocas sedimentarias en la zona intermedia entre el río Santa y la Cordillera Blanca (Carhuaz).
- Imagen 8** Colinas de rocas volcánicas (entre Caraz y Yungay).
- Imagen 9** Vista satelital SPOT 3D de los depósitos fluvio-glaciales al sur de la Cordillera Blanca (Olleros).
- Imagen 10** Vista panorámica en una imagen satelital 3D del sector norte de la Cordillera Blanca, se aprecia la fuerte pendiente en las rocas intrusivas y lo dominante de estas en el paisaje.
- Imagen 11** Vista panorámica satelital SPOT 3D en imagen satelital de los picos generados por las montañas de rocas sedimentarias.
- Imagen 12** Vista satelital 3D de las cárcavas del sector Pariac - Huaraz.

- Imagen 13** Reconstrucción digital 3D de las actuales morrenas de la laguna Palcacocha basados en una imagen SPOT 5. Se intentó dar el mismo ángulo de imagen que la fotografía 33 para poder ver por donde falló el dique de la morrena frontal, causa del desembalse.
- Imagen 14** Vista de la ciudad de Huaraz con una imagen SPOT 5 3D, con la misma inclinación que la fotografía 28, se puede ver el gran crecimiento urbano y como afectaría un aluvión a la actual ciudad de Huaraz.
- Imagen 15** Imagen satelital 3D Spot 5 de la quebrada Santa Cruz, nótese en líneas rojas punteadas uno de los depósitos provenientes del nevado Artesonraju que represó y dividió la laguna en dos.
- Imagen 16** Vista satelital SPOT 3D de las lagunas Arhueycocha y Taullicocha junto con la quebrada Arteson.
- Imagen 17** Se puede apreciar los numerosos depósitos de movimientos en masas a lo largo de la quebrada Santa Cruz, además de los cambios de pendientes por represamientos.
- Imagen 18** Vista 3D de la quebrada Huancotepampa, nótese los depósitos morrénicos en el fondo y los depósitos de movimientos en masa de las laderas.
- Imagen 19** Vista 3D del depósito morrénico que represa la laguna Parón.
- Imagen 20** Vista satelital 3D del circo glaciar de la quebrada Parón, nótese los depósitos morrénicos que al cerrar el valle formaron las lagunas.
- Imagen 21** Vista panorámica del valle glaciar de Parón, donde se aprecian los depósitos de movimientos en masa que cambian la pendiente de la quebrada.
- Imagen 22** Vista satelital 3D de la quebrada Rajururi, en líneas punteadas se resalta la zona que es afectada constantemente por avalanchas de nieve.
- Imagen 23** Imagen satelital 3D que muestra la misma zona que la fotografía 41; se aprecia la laguna y los largos depósitos morrénicos resaltados con líneas rojas.
- Imagen 24** Depósito de una avalancha proveniente del nevado Huascarán que represó el valle glaciar de Ulta; nótese lo largo del depósito lacustre remanente, aguas arriba.
- Imagen 25** En líneas rojas punteadas se delimitan los depósitos morrénicos del fondo del valle en la parte inicial de la quebrada Ulta. En líneas amarillas se delimitan algunos depósitos morrénicos colgados.
- Imagen 26** Vista satelital de las lagunas Aquicocha y Checquiacochoa; nótese la erosión de la presa de morrenas de la laguna superior.
- Imagen 27** Vista satelital 3D del valle del río Buin y la quebrada Pungaruri; se puede apreciar la presencia de cárcavas en las laderas.
- Imagen 28** Vista satelital de las lagunas 513 y Coccha, así como, del valle glaciar Hualcán y los depósitos morrénicos en el fondo.
- Imagen 29** Vista satelital 3D del valle del río Chucchun, se aprecia el gran depósito aluvional en la confluencia con el río Santa. La ciudad de Carhuaz está ubicada en una zona susceptible a aluviones dada las condiciones de las quebradas cercanas y del valle glaciar de Hualcán.
- Imagen 30** Vista satelital de Google Earth donde se aprecia el valle glaciar de quebrada Honda y el poblado de Marcará.
- Imagen 31** Vista satelital 3d Spot de Ruripaccha, nótese los depósitos morrénicos en la naciente del valle glaciar principal (quebrada Honda).
- Imagen 32** Vista satelital de la quebrada Akillpo.
- Imagen 33** Vista panorámica de la cuenca fluvial del río Marcará (línea roja); nótese el fuerte grado de erosión por cárcavas que se presenta en las laderas.
- Imagen 34** Vista panorámica 3D de quebrada Ishinga mostrando los depósitos morrénicos colgados y el sistema de lagunas al final del valle.
- Imagen 35** Vista panorámica de la cuenca Quilcay: 1: Llaca, 2: Cojup, 3: Quilcayhuanca, 4: Shallap y 5: Quebrada Pariac.

- Imagen 36** Gran avalancha de rocas originada en el flanco derecho del valle glaciar de Quilcayhuanca. Esta avalancha produjo el cierre total del cauce del río, llegando a formar una laguna de la cual solo se encuentran sus sedimentos.
- Imagen 37** Margen derecha de la quebrada Pariac (cerro Varincagirca) se aprecia el grado de erosión por cárcavas en la zona que origina flujos de detritos en la temporada de lluvias.
- Imagen 38** Vista satelital 3D que muestra la escarpa del deslizamiento y cárcavas de Rataquenua y Cruzpunta y como la población se ubica directamente debajo de la zona de erosión.
- Imagen 39** Vista panorámica de la quebrada Rurec, al final de ella se encuentra la laguna Tararhua.
- Imagen 40** En líneas rojas punteadas se muestran los grandes depósitos morrénicos de fondo de valle, los cuales son afectados por procesos de erosión tipo cárcavas.
- Imagen 41** Vista satelital 3D Spot 5 de la laguna Querococha, represada por depósitos de movimientos en masa.
- Imagen 42** Simulación numérica de flujo de detritos ciudad de Recuay.
- Imagen 43** Simulación numérica de flujo de detritos ciudad de Huaraz.
- Imagen 44** Simulación numérica de flujo de detritos ciudad de Marcará.
- Imagen 45** Simulación numérica de flujo de detritos ciudad de Carhuaz.
- Imagen 46** Simulación numérica de flujo de detritos ciudad de Caraz.

Cuadros

- Cuadro 1** Población en el flanco oeste de la Cordillera Blanca
- Cuadro 2** Región Ancash: Crecimiento poblacional según provincias
- Cuadro 3** Provincias del flanco oeste de la Cordillera Blanca
- Cuadro 4** Características climáticas en la Cordillera Blanca
- Cuadro 5** Principales datos de la cuenca del río Santa
- Cuadro 6** Principales ríos en el flanco oeste de la Cordillera Blanca
- Cuadro 7** Características hidrológicas de las principales cuencas del río Santa
- Cuadro 8** Estadística general del inventario de movimientos en masa en la Cordillera Blanca.
- Cuadro 9** Movimientos en masa en el sector Cashapampa – Santa Cruz; se observa que los flujos de detritos predomina en esta área, seguido en gran importancia por la caída de detritos.
- Cuadro 10** Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Caraz. Se aprecia la clara predominancia de las cárcavas seguido de las caídas de detritos.
- Cuadro 11** Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Yungay. Se aprecia la clara predominancia de los flujos de detritos seguido de las caídas de detritos.
- Cuadro 12** Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Tinco. Se aprecia la clara predominancia de caídas de detritos seguido de flujos de detritos.
- Cuadro 13** Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Carhuaz. Se aprecia la clara predominancia de las erosiones tipo cárcavas.

Cuadro 14	Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Marcará. Se aprecia el predominio de las caídas y flujos de detritos; estos últimos están relacionados a la erosión en cárcavas.
Cuadro 15	Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Paltay. Se aprecia la clara predominancia de caídas de detritos seguido de los flujos de detritos.
Cuadro 16	Principales eventos geológicos que afectaron a la ciudad de Huaraz
Cuadro 17	Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Huaraz. Se aprecia la clara predominancia de cárcavas seguido de las caídas de detritos.
Cuadro 18	Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Olleros. Se aprecia la clara predominancia de cárcavas seguido de las caídas de detritos.
Cuadro 19	Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Catac. Se aprecia la clara predominancia de cárcavas seguido de flujos de detritos.
Cuadro 20	Resultados del flujo de detritos simulado para la quebrada Atoc Huaranca – Recuay.
Cuadro 21	Resultados del flujo de detritos simulado para la quebrada Cojup - Huaraz.
Cuadro 22	Resultados del flujo de detritos simulado para quebrada Honda – Marcará
Cuadro 23	Resultados del flujo de detritos simulado para la quebrada Hualcán - Carhuaz
Cuadro 24	Resultados del flujo de detritos simulado para la quebrada Parón - Caraz

Figuras Anexos

Anexo 1:

Figura 1 (1) Pico norte del Nevado Huascarán (6654 msnm.), los hielos glaciares se encuentran por encima del batolito de la Cordillera Blanca. (2) La "Cordillera Negra" compuesta principalmente por rocas volcánicas, se encuentra en el flanco izquierdo del río Santa. (3) Marca del aluvión de 1970, que fue el más grande flujo de detritos registrado en la Cordillera Blanca en tiempos modernos. (4) la línea azul punteada muestra la altura a donde llegó un flujo proveniente del Huascarán hace 47.7 mil años.

Anexo 2:

Figura 1 Fotografía aérea oblicua.

Figura 2 Vista panorámica del run up en el área de Matacoto. (1) La línea negra representa la hipotética altura del run up de "El Evento Matacoto". (Foto: SAN)

Figura 3 Modelo de elevación digital en base a una imagen Spot 5. (M), ubicación del poblado de Matacoto, en la Cordillera Negra, y la ubicación de la muestra para CN. (Y), antigua ubicación de la ciudad de Yungay. (Ya), actual ubicación de la ciudad de Yungay. (H), pico norte del nevado Huascarán.

Figura 4 Bloques del intrusivo de la Cordillera Blanca, restos de "El Evento Matacoto". Al fondo de la imagen se ve el gran abanico aluvial de Yungay-Ranrahirca.

Anexo 3:

Figura 1 Mapa de ubicación del complejo arqueológico de Chavín de Huántar. (A) Cabeza clava de piedra característica de la cultura Chavín. (B) Vista panorámica del complejo arqueológico. (C) El Lanzón Chavín, ubicado dentro del complejo arqueológico. Fotos de Valderrama, 2006.

- Figura 2** Dinámica del origen del aluvión de 1945. (1) Una masa glaciaria proveniente del nevado Huantsán ingresa al dique morrénico de la laguna Ayhuinyaraju. (2) Esta masa produce la colmatación de la pequeña laguna, genera olas y desfoga por la morrena lateral derecha. (3) Al momento del oleaje, se generan rebalses, las flechas pequeñas muestran su dimensión. (4) El flujo sale del dique morrénico y se dirige aguas abajo a la laguna Carhuacocha. (5) El flujo ingresa a la laguna Carhuacocha y destruye el dique que la contenía (rectángulo entramado). (6) El nuevo flujo con mayor cantidad y velocidad se dirige hacia la quebrada del río Huachecsa. Dibujado por Valderrama 2008. Imagen tomada por SAN en 1962.
- Figura 3** Zona de trayecto del aluvión de 1945, en líneas entrecortadas se limita la zona donde se depositó parte del flujo de detritos. Fotografía de Zavala 2006.
- Figura 4** Abanico aluvial donde se ubica el complejo arqueológico de Chavín de Huántar (en líneas blancas entrecortadas), la flecha entrecortada negra muestra la dirección del flujo de detritos de 1945 y su pequeño poblado (izquierda). Fotografía de Zavala, 2006.
- Anexo 4:**
- Figura 1** Evolución Glaciaria de la Laguna Palcacocha, se muestra el retroceso entre los años 1932 y 2008, basados en los resultados de las fotos aéreas, imágenes satelitales. (Modificado de Vilímek, et. al 2005).
- Figura 2** Principales Movimientos en masa en las morrenas de la laguna Palcacocha.
- Figura 3** Prospección geofísica; en la morrena lateral izquierda se observa dos líneas transmisoras en forma paralela.
- Figura 4** Radargrama (izq.) y su interpretación (der.) de la línea LL_1 en la morrena lateral derecha. Las líneas en color amarillo representan las grietas; en color azul el material grueso, y en círculos rojos las oquedades observadas en la morrena lateral derecha.
- Figura 5** Radargrama (arriba) y su interpretación (abajo), de la línea LL_3 en la morrena lateral izquierda.
- Anexo 5:**
- Figura 1** Imagen JAXA tomada el 12 de abril del 2010, donde se muestra la ubicación de la Cordillera Blanca en el Perú.
- Figura 2** (a) Fotografía tomada por el Equipo de Rescate de Carhuaz horas después de la primera caída. Nótese la gran masa de hielo que queda suspendida en la parte superior a la escarpa de rotura. (b) Fotografía tomada por O. Vilca al día siguiente del evento durante la inspección de campo, se aprecia que la mitad de la masa de hielo de la figura (a) ha caído.
- Figura 3** Vista de la parte frontal del vaso, nótese el borde de seguridad de la laguna de 23 metros. La erosión producida por el flujo al salir de la cubeta fue de 5 metros en la morrena.
- Figura 4** El flujo de detritos se acelera considerablemente debido a la fuerte pendiente en la parte alta. El flujo posteriormente sufre una desaceleración por el brusco cambio de pendiente.
- Figura 5** Depósitos lacustres del sector de Shongilpampa. El flujo de detritos erosionó aproximadamente 2 metros en el material, aumentando así su velocidad.
- Figura 6** Der. Imagen de Jaxa posterior al evento. Izq. Simulación FLO 2D antes del evento. Con líneas entrecortadas se aprecia las grandes zonas de disipación de energía producto de los cambios de pendiente. En línea continua se aprecia las aéreas más susceptibles a run up, en esta zona hubo varias viviendas afectadas. La estrella marca el límite de la turbulencia, desde ahí el flujo de detritos se convierte en una inundación, que sigue el cauce del río pre establecido naturalmente

Anexo 6

- Fig. 1** Location map of the archaeological complex of Chavín de Huántar. (A) Rock made "Cabeza Clava" is the main characteristic of the Chavín culture. (B) Panoramic view of the complex. (C) "Lanzón Chavín", located inside of the archaeological complex. Photos and map by P Valderrama, 2006.
- Fig. 2** Dynamics of the origin of the debris flow in 1945. (1) A glacier mass from snow-covered Huatsan Mountain come in into the moraine dam of Ayhuinyaraju Lake. (2) This mass produces the fill of the small lake, creating Tsunamis waves and vent by the right lateral moraine. (3) At the waves moment, it create overflowing marks, the small arrows show them. (4) The flow goes out of the moraine dam and goes downstream to the Carhuacocha Lake. (5) The flow came in into Carhuacocha Lake and destroys its natural dam (showing by a rectangle). (6) The new flow, by more volume and velocity go downstream into the Huachecsa River. Map by P. Valderrama, 2008.
- Fig. 3** Trajectory zone of the 1945 debris flow, the dashed lines show the boundaries of the deposit zone. Photo by B Zavala, 2006.
- Fig. 4** Alluvial fan where Chavín de Huántar is located (in white discontinuous lines). The direction of the debris flows of 1945 shows the interrupted black arrow. The small town of Chavín is in the right corner. Photo by B. Zavala, 2006.



Av. Canadá 1470 - San Borja, Lima 41, Perú

Teléfono: 051 - 1- 618 9800

Fax: 051-1-225-3063 | 051-1-225-4540

www.ingemmet.gob.pe

comunicacion@ingemmet.gob.pe