

PROCESOS GEODINÁMICOS EN EL ÁREA RÍO QUILLCAY, HUARAZ - ANCASH

GEODINAMIC PROCESSES IN THE AREA QUILLCAY RIVER, HUARAZ-ANCASH

Néstor Chacón A.*; Javier Jacay H.*; Iván Moreno C*.

RESUMEN

Los cambios climáticos que implican el calentamiento global han traído como consecuencia, en las últimas décadas, una gran reducción de las masas glaciares en el planeta Tierra, que se manifiesta por el retroceso de los glaciares.

El área de estudio se enmarca dentro de una zona sismotectónica móvil y en un sector intracordillerano con influencia de la actividad glacial de la Cordillera Blanca, en la cual se originan desprendimientos de grandes bloques de hielo, de materiales morrénicos y de rocas, los cuales al llegar violentamente a las lagunas glaciares ocasionan grandes movimientos de masas. Geológicamente, la ciudad de Huaraz ocupa el abanico deyectivo del río Quillcay, el cual está constituido por materiales fluvio-aluvionales.

En la ciudad de Huaraz se han reportado históricamente una serie de eventos de remoción en masas, y siendo evidentes todos los factores de riesgo, se incrementa su amenaza y vulnerabilidad por fenómenos de origen glacial y lacustre del Nevado de Palcaraju y de la laguna de Palcacocha.

Para la mitigación de este riesgo se dan instructivas que deben difundirse de manera masiva a nivel poblacional.

Palabras clave: Glaciar, aluvión, riesgo natural, tectónica.

ABSTRACT

The climatologically changes that involve the global heating, have produced in the last decades a great reduction of glacial areas on earth, and this is evidenced by the glacial back stripping

The area of study is situated into a seismotectonic zone where an intercordilleran segment has a Cordillera Blanca's glaciers, that produces a lot of ice2 s falls, moraines landslides and great rocks. These materials fall in to glacial lakes and produce a violent damage. Huaraz city is in the Quillcay2 s alluvial fan, and consists of the fluvial-alluvial sediments

Historically in Huaraz have been reported events like landslides that evidence the risk factor and increase the vulnerability of the zone due to deglatiation and lacustrine phenomena's of Palcaraju mountain and Palcacocha lake.

For the mitigation of the risk we are showing some instructions that must be diffused to the most of the people.

Keywords: Glacier, alluvium, hazard natural, tectonic.

* EAP Ingeniería Geológica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos
E-mails: nchacuna@unmsm.edu.pe / jjacayh@unmsm.edu.pe / geolocal.yahoo.com

I. OBJETIVOS

- Analizar los fenómenos geodinámicos externos.
- Revisar los efectos producidos por la acción geodinámica externa ocurridos en el Nevado de Palcaraju y la laguna de Palcacocha en los años 1941 y 2003.
- Propiciar futuras investigaciones para minimizar los riesgos geodinámicos.
- Difundir a las autoridades respectivas y a la población los resultados obtenidos.

II. GENERALIDADES

2.1. Glaciares, lagunas y ríos de la cuenca del río Quillcay

Los glaciares más importantes ubicados al este de la ciudad de Huaraz son los nevados Ranrapalca, Palcaraju, Pucarranra, Chinchey, Tullparaju, Cayesh, Churup, Huantsan, los cuales han originado las lagunas Palcacocha, Cuchillococha, Tullpacocha, Shallap y Churup. Estas tres últimas lagunas drenan a la quebrada Quillcayhuanca, formando el río Auqui; y a partir de la laguna Palcacocha sobre la quebrada Cojup, se forma el río Paria; al confluir ambos, forman el río Quillcay, que es afluente del río Santa.

Las lagunas y ríos más importantes del área de estudio son los siguientes:

Provincia	Huaraz
Distrito	Huaraz
Laguna/Glaciár	Tambillos Tullpacocha Shurup y Shallap
Río afluente	Pariac Paria
Río confluente	Santa Quillcay y Santa

Al sur de Huaraz discurre la quebrada río Seco, que en épocas de verano no carga agua, mientras que en invierno transporta sedimentos provenientes de los deslaves de su cuenca alta.

2.2. Riesgos glaciares

En la Cordillera Blanca se han producido los mayores procesos geodinámicos de origen glaciar en el país, los cuales han sido principalmente avalanchas masivas de glaciares y la ruptura de los diques morrénicos.

Estos fenómenos se producen por un conjunto de factores, entre los principales se pueden enumerar:

- a) Comportamiento geodinámico y estabilidad de los glaciares.
- b) Topografía abrupta del terreno sobre el que se produce el fenómeno.
- c) Presencia de lagunas en la parte inferior de los glaciares.
- d) Fenómenos sísmicos

En las zonas de alta montaña son frecuentes los aludes de hielo o de nieve; y en las últimas décadas, se ha acentuado el retroceso de los glaciares, debido a cambios climáticos, los que sumados a los factores indicados, hacen que se considere de muy alto riesgo esta zona.

2.3. Casos históricos de fenómenos geodinámicos en el Callejón de Huaylas

Aluviones originados por deglaciación:

- 1941- Aluvión de Huaraz.
- 1962- Aluvión de Ranrahirca.
- 1970- Aluvión de Yungay.

Los estudios anteriores de vulnerabilidad de recursos hídricos de alta montaña concluyen que:

- La disminución de áreas glaciares se ha acelerado hace dos décadas,
- En un periodo de 27 a 35 años, la superficie total de los glaciares en el Perú se redujo en un 22%.
- Las reservas de hielo, en el mismo periodo, se han reducido en más de 20% (11 303.220 millones de m³).

Las consecuencias geomorfológicas derivadas son:

- Formación de nuevas lagunas glaciales que pueden producir aluviones.
- Menor disponibilidad de agua para las poblaciones que dependen del recurso hidroenergético.

III. GEODINÁMICA DEL NEVADO PUCARANRA – LAGUNA PALCACOCHA

3.1. Datos generales

3.1.1. Ubicación

La laguna Palcacocha se ubica a los 4566 msnm, sobre la quebrada Cojup, río Santa en la vertiente occidental de la Cordillera Blanca (Fig. 1).

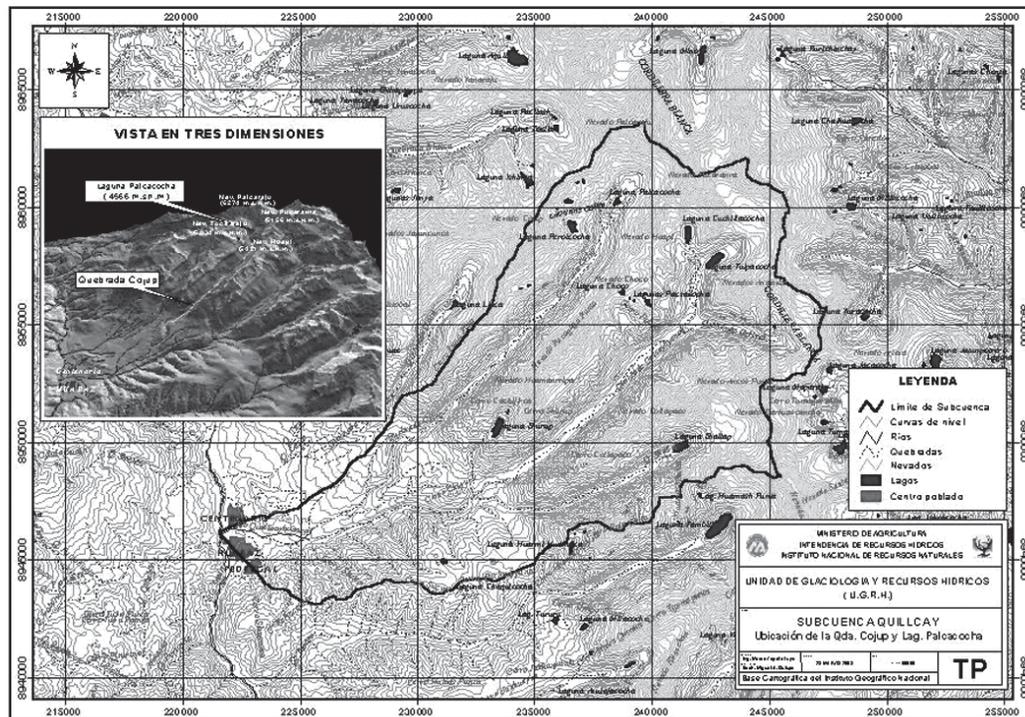


Figura N.º 1. Ubicación de la subcuenca del río Quillcay.

Coordenadas geográficas de 9° 23´ 50´ Lat. Sur y 77° 22´ 50´´ Long. Oeste

Subcuenca: Río Quillcay
 Distrito y provincia de Huaraz
 Departamento: Ancash
 Características técnicas de la laguna Palcacocha

NOMBRE	SUB. CUENCA	IBIC. POLIT. PROVINCIA	COORDENADAS		CARACTERÍSTICAS INICIALES			
			LATT. SUR	LONG. OESTE	ALT. m.s.n.m.	AREA M2	VOLUMEN M3	PROF. M.
PALCACOCHA	QUILLCAY	HUARAZ	9° 23'	77° 22'	4,567	66,800	579,400	14

CARACTERÍSTICAS FINALES				DIM. ACTUALES		OBRAS CIVILES				
ALT. m.s.n.m.	AREA M2	VOLUMEN M3	PROF. M.	LARGO M	ANCHO M	ONG. M.	ALT. ART. M.	ALT. DISC. M.	AÑO CONCLUS.	TIPO DE OBRA
4,566	62,600	514,800	13	400	220	33	8	1	1,974	F.A. - D.A.

3.1.2. Accesibilidad

Desde Huaraz, para el acceso a la laguna Palcacocha, se utiliza la trocha carrozable hacia el caserío Pitec y se continúa ascendiendo hasta llegar a la quebrada Cojup, cubriendo una distancia aproximada de 25 km, luego se continúa a pie por 15 km.

Características de la Laguna Palcacocha

Tiene forma elongada, con dimensiones de 560 m por 200 m, almacenando un volumen aproximado de 500 000 m³. La dinámica de todo el sistema está regulada por las estructuras construidas en su morrena frontal, a fin de mantener el equili-

brio y el normal funcionamiento de la laguna. Los aportes de agua a la laguna son las lluvias y la fusión de los glaciares Pucaranra y Palcaraju.

3.1.3. Geología

La morfoestructura más resaltante de esta zona es el Batolito de la Cordillera Blanca, que está constituido por granitos y granodioritas con edad de emplazamiento del Mioceno medio ~8.2 Ma (U-Pb en zircón, McNult *et al.* 1998 y Petford, & Atherton, 1992). Esta estructura es limitada al Oeste por el sistema de fallas activas de la Cordillera Blanca, en el que se nota unos sistemas de diaclasas, que definen grandes bloques, los cuales debido a las pendientes escarpadas del terreno, y a la deglaciación originan colapsos y avalanchas.

La FCB expuesta por ~250 km siguiendo un rumbo aproximado de ~330° paralelo a la actual zona de subducción entre los 8° 05' – 10° S, cuya escarpa de falla corta a las morrenas cuaternarias que rellenan en parte la cuenca del Callejón de Huaylas, que está constituida por depósitos fluvio-glaciares del Mioceno superior Pleistoceno (denominado como Formación Lloclla; Bonnot 1984) donde se observan depósitos lacustres, sedimentos de abanicos aluviales distales de fan delta, y hacia la parte superior con facies gruesas de de abanicos aluviales proximales.

Las quebradas de Cojup y Quillcayhuanca que son las dan origen al río Quilkay se originan al pie de los nevados Palcaraju, Pucaranra, Chinchey, Tullparaju y Cayesh. Tienen la característica forma de un clásico valle glaciar encajonado, siguiendo éstas un rumbo promedio NE-SW; la mayor parte es excavada en rocas ígneas del Batolito de la Cordillera Blanca que conforman el basamento de estas quebradas (Cobbing *et al.*, 1996 y Wilson *et al.* 1995). A ambos flancos de las quebradas se observan gruesos depósitos de cono de depósitos coluviales formados por acción de la gravedad, estos son constituidos por clastos ígneos angulosos de hasta +10m de diámetro. Las morrenas y los depósitos fluvioglaciares que cubren el fondo de estos valles, corresponden a los dos últimos periodos glaciares del Pleistoceno con avances glaciares durante el Holoceno (Veliz y Machare, 1994).

Entre el pie de las lagunas de Palcacocha, Cuchillococha y tullpacocha y el cruce con la traza de la falla de la Cordillera Blanca, ambas quebradas tienen una pendiente $\sim 5^\circ$ presentando fuertes pendientes (casi verticales), y a partir del cruce con la FCB éstas se encajonan en depósitos fluvioglaciares de la Cuenca del Callejón de Huaylas.

3.1.4. Hidrología local

Precipitaciones y escorrentía superficial

En las partes altas de la Cordillera Blanca, sobre los 4500 msnm, la precipitación anual varía; y en la estación meteorológica de la ciudad de Huaraz se ha registrado una precipitación media anual de 661.6 mm. El río Quillcay drena al río Santa, y en su abanico deyectivo se ubica la ciudad de Huaraz.

3.2. Estudio del proceso geodinámico

3.2.1. Causas del fenómeno

Antecedentes

La laguna Palcacocha es de origen glaciar y forma parte del conjunto de lagunas consolidadas de la Cordillera Blanca. El día 13 de diciembre de 1941 se produjo la rotura de la morrena (dique natural) como consecuencia del colapso de grandes masas de hielo del nevado Pucaranra hacia la laguna Palcacocha, la energía del oleaje generado superó la resistencia del dique morrénico, produciéndose su rompimiento y el desborde aproximado de 2 500 000 m³ de agua (ver fotografía N.º 1).

El material de arrastre se estimó en 4 000 000 de m³, deslizándose por toda la quebrada Cojup y formando conos aluviónicos a la salida de la laguna y en la ciudad de Huaraz. Los daños producidos en la ciudad de Huaraz (INRENA, 2001 y Sigueñas *et al.*, 2003).

Los daños producidos en la ciudad de Huaraz fueron de tipo material y la pérdida de vidas de 4000 personas. Posteriormente, y a raíz de esta tragedia, se construyeron obras civiles de seguridad, que garantizaron su estabilidad relativa en las posteriores lluvias extraordinarias; sin embargo, como consecuencia del sismo de mayo de 1970, las obras civiles sufrieron severos deterioros. En 1974 la Unidad de Glaciología y Seguridad de Lagunas de Electro Perú S.A. terminó la construcción de la sección de tajo abierto de la morrena frontal, bajando el nivel del espejo de agua, evacuando gradualmente un volumen de 60 000 m³ mediante un canal de rebose y la construcción de dos presas artificiales.

En el año 2002, ante un posible Fenómeno de El Niño 2003, se ejecutaron obras de mantenimiento de las lagunas reforzadas, entre ellas la Laguna Palcacocha. El 19 de marzo de 2003 se produjo el colapso de material morrénico del talud de la parte posterior y lateral izquierda, el cual impactó en la lengua glaciar y en la laguna, provocando olas que rebasaron las presas y el dique morrénico, ocasionando deterioro de los mismos, así como el aumento del caudal y turbidez del agua escurrida por la quebrada Cojup, parte de la cual es potabilizada para el consumo poblacional en la ciudad de Huaraz (ver fotos N.ºs 2, 3 y 5).

3.2.2. Área de influencia del fenómeno o zona afectada

Desborde del 19 de marzo de 2003

Descripción y estado de la laguna después del desborde

Como se indicó anteriormente, el 19 de marzo se produjo el deslizamiento de material morrénico de la zona de arranque de la pared lateral izquierda hacia el área de contacto con la lengua glaciar y el espejo de agua. La Oficina de Seguridad de lagunas de Huaraz estimó un volumen de 84 000 m³ de material morrénico depositados en la laguna. El impacto de esta masa sobre la zona terminal de la lengua glaciar hizo que una parte de esta última se fragmente en bloques de diferentes tamaños, los mismos que llegaron a

cubrir todo el espejo de agua y un volumen importante de ellos fueron transportados aguas abajo por la dinámica del oleaje hacia fuera de la laguna, rebalsando la corona de la presa y dique natural frontal (ver foto N.º 5).

Estado de las estructuras, después del desborde

Presa principal

Se encuentra ubicada en el extremo izquierdo de la morrena frontal, y ha sido diseñada para soportar altas cargas hidrostáticas e hidrodinámicas eventuales (no permanentes), y así brindar seguridad en situaciones de llenado y vaciado violento de la laguna (Sigueñas *et al.*, 2003).

Esta estructura de sección trapezoidal tiene 33 m de ancho por 8 m de altura, comprendido desde la rasante del ducto hasta la corona de presa. La inclinación del talud, aguas arriba y aguas abajo, es de 3:1 (H-V), siendo su construcción de tierra homogénea compactada por capas, con una cortina de rocas y acabados en toda su superficie. Está cubierta y, a pesar de su rigidez, no presentó agrietamientos, garantizando así la impermeabilidad al cuerpo de presa (ver foto N.º 4).

Cuando se produjo el colapso de la masa morrénica hacia la laguna, ésta elevó su nivel, superando la altura de la presa y se desbordó aguas abajo. En la evaluación que efectuaron a esta presa se observaron daños superficiales como pequeñas fisuras y el levantamiento de los acabados en el talud interior de la capa superficial de mampostería de piedra, así como el desprendimiento de una pequeña área superficial del pie de presa del talud exterior, que refleja que esta estructura ha trabajado satisfactoriamente en el evento ocurrido.

Canal de drenaje cubierto

Esta estructura, que se encuentra debajo de la presa principal, tiene una longitud de 33 m de largo, es de sección circular de 1.2 m de diámetro con una pendiente uniforme de 1%. Está construida de concreto armado, con una cubierta metálica tipo ARMCO y con una capacidad de evacuación máxima de 5 a 5.5 m³/s. En el 2002 se hicieron obras de mantenimiento en esta estructura, reparándose las áreas erosionadas y optimizando su operatividad con concreto armado. Esta estructura no ha sufrido daños visibles, a pesar de haber transportado abundante material rocoso, sedimentos y haber trabajado a plena carga, sometida a grandes esfuerzos hidrodinámicas.

Canal de ingreso

Es de sección trapezoidal de 12 m de largo y con aletas de orientación en el área de contacto con el espejo de agua. El material con el que está construido es de mampostería de piedra, con acabados de mortero (cemento y arena): En la evaluación realizada después del evento se observaron pequeñas fisuras y erosión de los acabados en la corona de ambos muros, con una pequeña área de desprendimiento. Se observaron rocas heterométricas en el entorno e incrustación de dos rocas en la sección del canal, cuyos diámetros promedio estaban en el orden de 1,5 m.

Canal de salida

Es de sección trapezoidal variable, que diverge hacia la parte terminal de evacuación, esta estructura tiene 10 m de largo y su construcción es de mampostería de piedra con acabados de mortero y cemento. Después del evento, presentó pequeñas fisuras en la corona de ambos muros, así como algunas áreas erosionadas y desprendidas en la parte terminal del canal. Además, se observó una zona de acumulación de sedimentos y rocas, quedando por lo tanto en un nivel más alto que el lecho del río en un tramo aproximado de 15 m. Se hace necesario restituir las condiciones anteriores del lecho, realizándose la limpieza necesaria, rellenando las áreas erosionadas y haciendo coincidir la pendiente del lecho con la rasante del canal de salida.

Presa auxiliar

Esta estructura que no tiene conducto de evacuación fue construida con fines de seguridad, para alcanzar un borde libre de altura uniforme con el dique morrénico natural y la presa principal. Hasta el año 2002 estuvo cubierta con una capa de roca seca en toda su superficie, año en el que se realizó el emboquillado con mortero de cemento y arena en el talud interior y corona, en un área de 673 m², proporcionándole, por lo tanto, una mayor resistencia e impermeabilidad a los fuertes oleajes producidos por la caída de avalanchas de hielo y desprendimientos de material morrénico de los taludes interiores de la laguna.

Esta estructura, por su ubicación (extremo derecho de la morrena frontal), es la que ha soportado los oleajes de mayor intensidad, llegando a producir la erosión total del cuerpo de presa correspondiente al talud exterior. Esta presa auxiliar no brinda en la actualidad garantías en caso de producirse un evento de similar magnitud, por ello se deberían construir nuevas estructuras de refuerzo y/o contrafuertes (Sigueñas *et al.*).

ANTES DEL DESBORDE DE MARZO 2003



Foto N.º 1. Morrena frontal de la laguna Palcacocha que muestra las huellas de la ruptura que originó el aluvión del año 1941 sobre la ciudad de Huaraz.



Foto N.º 2. Espejo de agua de la laguna Palcacocha. En la parte media de la foto se observa el frente glaciar colgante de donde se originan avalanchas que se depositan sobre la lengua glaciar.

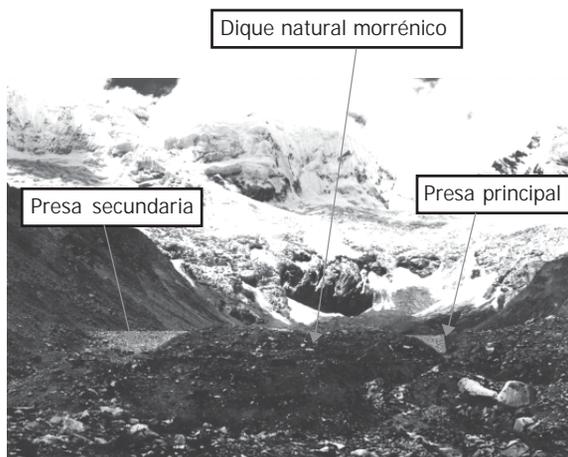


Foto N.º 3. Dique morrénico de la laguna Palcacocha antes de producirse el desborde. En el lado izquierdo de la foto se observa una presa de contención de roca asentada, a la derecha la presa artificial y canal de desagüe.

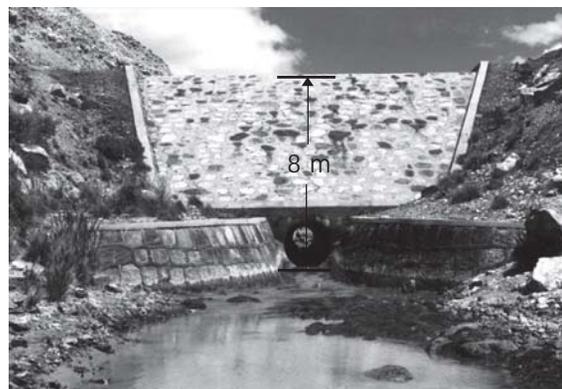


Foto N.º 4. Aletas de entrada de la presa artificial de la laguna Palcacocha. Se observa el conducto cubierto de sección circular y el talud interior.



Foto N.º 5. La laguna Palcacocha con bloques de hielo en la superficie del espejo de agua, en el extremo izquierdo del área de desprendimiento de la pared morrénica.

Estado de la Subcuenca Cojup

Morfológicamente, la subcuenca Cojup, que tiene una pendiente promedio de 5%, presenta en su recorrido algunos ensanchamientos y estrechamientos. Existe vegetación de Quenuales a ambas márgenes de esta quebrada.

La quebrada Cojup, en épocas normales, transporta en caudales un promedio de 0.40 a 1.5 m³/s, por lo tanto tiene un lecho definido. En la parte intermedia de la quebrada se encuentra una explanada tipo valle, lugar donde el caudal disminuye hasta alcanzar velocidades mínimas.

Al producirse el desborde, este cauce ha soportado caudales momentáneos de hasta 10 m³/s, que por sus características indicadas no ha tenido capacidad de arrastrar grandes rocas. La erosión producida en todo el recorrido hizo posible que el agua, en régimen turbulento, transportara abundantes sedimentos, causando la turbidez de la mis-

ma, lo cual imposibilitó su tratamiento para abastecer de agua potable a la ciudad de Huaraz.

Área de influencia del fenómeno o zona afectada

1. En el año de 1941, la zona afectada fue la subcuenca del río Quilcay y parte de la ciudad de Huaraz.
2. En el año 2003, la zona afectada fue la subcuenca del río Quilcay, el que subió de caudal, deteriorando el sistema de la planta de tratamiento del agua potable de Huaraz.

- c. Planificar el reordenamiento territorial urbano en Huaraz tomando en consideración los mapas de **PELIGROS** de la ciudad de Huaraz y el zoneamiento de riesgos geodinámicos efectuados por **INDECI**.
- d. Construir obras civiles de protección y defensa ribereña en el cauce inferior del río Quilcay (ciudad de Huaraz).
- e. Coordinar con Defensa Civil la difusión, a los pobladores ubicados en las márgenes del río Quilcay, de las medidas de prevención ante posibles fenómenos geodinámicos que pueden generar desastres naturales.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La deglaciación se evidencia con el retroceso de los glaciares y con el desprendimiento violento de grandes bloques de hielo a las lagunas, lo cual origina grandes movimientos de masas a lo largo de los cauces fluviales. Esta acción origina desastres naturales, como el del aluvión del año 1941, que causó destrucción parcial en la ciudad de Huaraz.
- De continuar con la tendencia actual (deglaciación), en la Cordillera Blanca se va a producir una drástica reducción del recurso hidroenergético, así como la posibilidad de que se activen los fenómenos geodinámicos.
- El área de estudio se ubica en una zona sismotectónicamente activa, este es uno de los factores de riesgo geodinámico de la zona, y nos hace propensos a esta amenaza. Si bien es cierto, que por parte del Estado se han efectuado trabajos de prevención en la mayoría de las lagunas de la Cordillera Blanca, es urgente y necesario replantear los estudios de riesgos geodinámicos de la ciudad de Huaraz, sobre la base de las nuevas metodologías y avances tecnológicos que se han desarrollado en los últimos años.
- A fin de minimizar los riesgos geodinámicos, se hace necesario:
 - a. Continuar con el monitoreo de los glaciares y control de lagunas en la cuenca alta del río Quilcay (para efectuar una alerta temprana).
 - b. Efectuar el encausamiento y la limpieza del cauce del río Quilcay en su curso medio e inferior, porque presenta gran cantidad de clastos heterométricos y materiales colmatados, proclives a incrementar la carga de un posible aluvión y su desborde.

V. BIBLIOGRAFÍA

1. BONNOT D. (1984). Néotectonique et tectonique active de la Cordillera Blanca et du Callejon de Huaylas, Andes Nord-Peruvienne. Thèse Université de Paris Orsay, 115p.
2. COBBING J., SANCHEZ A., MARTINEZ W., Y ZARATE H. (1996). Geología de los Cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquian y Yanahuanca. Bol. N° 76 INGEMMET serie Carta Geológica Nacional, 298p.
3. WILSON J., REYES L. Y GARAYAR J. (1995). Geología de los Cuadrángulos de Carhuaz, Corongo, Pallasca, Tayabamba, Pomabamba y Huari. Bol. N° 60 INGEMMET serie Carta Geológica Nacional, 79p.
4. INDECI. Mapa de Peligros, Huaraz. Reporte Técnico interno.
5. INRENA (2001). Unidad de Glaciología y Recursos hídricos. Reportes técnicos internos
6. 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, Peru. *Geology* V. 26, p: 827-830.
7. PETFORD, N., and ATHERTON, M.P. (1992), Granitoid emplacement and deformation along a major crustal lineament: The Cordillera Blanca, Peru: *Tectonophysics*, v. 205, p. 171-185.
8. SIGUEÑAS E. CABALLERO A. e ITA F. (2003). Casos Nacionales de Fenómenos Geodinámicos por Acción glacial y Lacustre. Memoria de Maestría (Geotecnia) UNMSM, 35p.
9. VELIZ Y. y MACHARE J. (1994). Reconstrucción de fluctuaciones glaciales en la Cordillera Blanca. Vol. Res. Ext. VIII Congr. Peruano de Geol. p: 247-251.