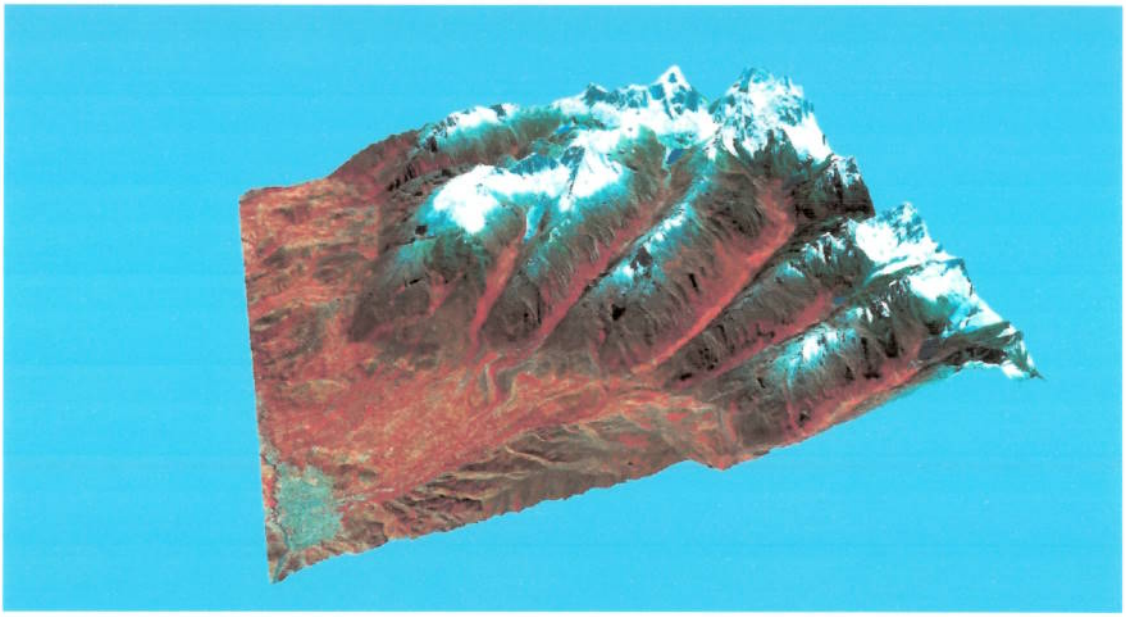
INFORME TÉCNICO COLEGIADO SOBRE LAS ACCIONES, ACTIVIDADES Y PROYECTOS QUE DEBEN EJECUTARSE, PARA DISMINUIR EL RIESGO DE DESASTRE POR DESEMBALSE DE LA LAGUNA PALCACOCHA

(Huaraz – Ancash)

Instituciones participantes:

Autoridad Nacional del Agua
Instituto Geofísico del Perú
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
Instituto Nacional de Defensa Civil
Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgos de Desastres



Coordinador Responsable
Autoridad Nacional del Agua

Solicitado por
Presidencia del Consejo de Ministros

Julio del 2013

CONTENIDO

1.- Antecedentes 1

2.- Ubicación y acceso 3

3.- Información existente 5

4.- Estado actual de la laguna Palcacocha 6

5.- Principales fenómenos de origen natural que afectan a la Laguna Palcacocha 9

6.- Estudios que deben realizarse y los profesionales que deben participar 14

6.1 Revisión análisis y actualización de la información disponible 14
6.2 Topografía 14
6.3 Batimetría 14
6.4 Geología 15
6.5 Geomorfología 15
6.6 Geodinámica 16
6.7 Hidráulica 16
6.8 Geotecnia 16
6.9 Sismología 17
6.10 Zonificación de riesgos 17
6.11 Gestión reactiva de riesgo 18
6.12 Hidrología 18
6.13 Estudio de impacto ambiental 20
6.14 Glaciología 20

7.- Conclusiones 21

8.- Recomendaciones 22

1. Antecedentes

La laguna Palcacocha de origen glaciar, forma parte del conjunto de lagunas con obras de seguridad de la Cordillera Blanca. El 13 de Diciembre de 1941, se produjo la ruptura del dique morrénicas como consecuencia del desprendimiento de grandes masas de hielo del nevado Pucaranra y Palcaraju, hacia el espejo de agua. La energía del oleaje generado, superó la resistencia del referido dique natural frontal, produciéndose el rompimiento y el desborde violento del agua contenida.

El flujo aluviónico generado, se transportó por toda la quebrada Cojup, erosionando las laderas, adquiriendo grandes velocidades en los tramos de fuertes pendientes, hasta conformar una masa hiperconcentrada y de alta viscosidad, hasta llegar a la ciudad de Huaraz. Los daños producidos en la ciudad de Huaraz, fueron de tipo material y de vidas humanas, superando éstas últimas a 4,800. A raíz de éste suceso, se construyen obras civiles de seguridad, que minimizaban en gran medida los eventos extraordinarios. En 1970, las obras sufren algunos deterioros como consecuencia del terremoto acontecido; finalmente en 1974, la Unidad de Glaciología y Seguridad de Lagunas de Electro Perú S.A. termina la construcción de la sección de tajo abierto de la morrena frontal con undique de 8m de altura, después de bajar 1m el nivel del espejo de agua, evacuando gradualmente un volumen de 60,000 m^3 mediante un sistema de canalización que comprende 12 m de canal de ingreso, 33 m de conducto cubierto y 10 m de canal de salida, obra que fue complementada con un dique artificial secundario, ubicado en el extremo derecho.

En el 2,002, la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos, programó y ejecutó un conjunto de trabajos de mantenimiento de lagunas con obras de seguridad, en previsión al Fenómeno del Niño 2,003, una de los cuales correspondió a la Laguna Palcacocha, donde se realiza la reconstrucción del conducto cubierto, el emboquillado del talud interior y corona de la presa secundaria, así como la construcción de 2 aleros en el canal de ingreso.

El día 19 de Marzo del 2003, se produce el deslizamiento de material morrénico del talud interior de la zona de arranque del flanco izquierdo, gran parte del cual hace impacto en la parte terminal de la lengua glaciar, y otra en el espejo de agua, provocando oleajes que superaron la altura de los diques artificiales y natural de la laguna, ocasionando deterioros en las mismas (sobre todo en el dique secundario), así como el aumento del caudal y la turbidez del agua

escurrida por la quebrada Cojup, parte del cual es captada y tratada para el consumo poblacional en la ciudad de Huaraz.

En Abril del 2009 la UGRH realizó la batimetría, reportando un volumen de 17 325 206,57 m^3, la superficie del espejo de agua 518 425,85 m^2 y profundidad máxima de 73,1m.

A finales del mes de Octubre del 2003, el Gobierno Regional de Ancash, inicia los trabajos de restitución o rehabilitación de las obras civiles de seguridad, afectadas como consecuencia del evento de Marzo del 2003.

La autoridad Nacional del Agua, a través de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos (DCPRH), donde se encuentra la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos (UGRH) así como la Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales (DEPHM), iniciaron gestiones desde marzo del 2010 ante el Gobierno Regional de Ancash y sectores del Estado como el INDECI, con el fin de atender el peligro o amenaza y los riesgos que representan algunas lagunas de origen glaciar y dentro de ellas la laguna. Estas gestiones estuvieron orientadas a hacer del total conocimiento e involucramiento del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y del Gore Ancash en los problemas de peligro y riesgos de lagunas altoandinas.

El 25 de Octubre del 2010, se realiza una Mesa de Trabajo entre funcionarios del INDECI y profesionales de la Autoridad Nacional del Agua en la Sala de Crisis de la Dirección de Operaciones del Instituto Nacional de Defensa Civil. Por parte de la ANA, se realizó una exposición sobre la problemática de las lagunas con riesgos físicos y amenazas.

Mediante el Informe Técnico N° 028-2010-INDECI/10.0 del 01 de Diciembre de 2010, la Dirección Nacional de Prevención del INDECI se ha pronunciado, teniendo en consideración lo informado por la Autoridad Nacional de Agua (Informe Técnico N° 014-2010-ANA-DCPRH-GLA/NSP del 25 de noviembre de 2010), señalando que la situación de la laguna Palcacocha constituye un PELIGRO INMINENTE, por lo que se requiere la adopción de medidas inmediatas. En base a los indicados informes, la PCM emitió el D.S. 002-2011-PCM del 05 de enero de 2011, declarando en Estado de Emergencia a la Cuenca de la Laguna Palcacocha.

En base al Decreto Supremo 002-2011-PCM, se inicia las coordinaciones interinstitucionales con el fin de elaborar el proyecto "Sifonamiento de las aguas de la laguna Palcacocha", como medida de prevención temporal ante el peligro inminente que representa la laguna para la ciudad de Huaraz, es así

que, en julio del 2011, se inicia con los trabajos del proyecto, ejecutado por Administración Directa por el Gobierno Regional de Ancash.

Desde enero 2011 hasta octubre 2012 se han emitido **11** Decretos Supremos declarando en estado de emergencia la laguna Palcacocha; por presentar un peligro inminente para la población de Huaraz. Acatando a estas ordenanzas el Gobierno Regional de Ancash viene ejecutando el proyecto "Sifonamiento de las aguas de la laguna Palcacocha" con la finalidad de reducir el volumen de almacenamiento de la laguna.

N°	INFORME	FECHA	D.S.	INICIO	FIN
01	028-2010-INDECI/10,0	01/10/2010	002-2011-PCM	07/01/2011	07/03/2011
02	005-2011-INDECI/10,2	28/02/2011	018-2011-PCM	08/03/2011	06/05/2011
03	012-2011-INDECI/10,2	29/04/2011	040-2011-PCM	07/05/2011	05/07/2011
04	019-2011-INDECI/10,2	28/06/2011	056-2011-PCM	06/07/2011	03/09/2011
05	026-2011-INDECI/10,2	26/08/2011	076-2011-PCM	04/09/2011	02/11/2011
06	033-2011-INDECI/10,2	03/11/2011	086-2011-PCM	08/11/2011	06/01/2012
07	038-2011-INDECI/10,2	26/12/2011	003-2012-PCM	07/01/2012	06/03/2012
08	004-2012-INDECI/10,2	28/02/2012	019-2012-PCM	07/03/2012	06/05/2012
09	010-2012-INDECI/10,2	25/04/2012	049-2012-PCM	06/05/2012	05/07/2012
10	019-2012-INDECI/10,2	26/06/2012	068-2012-PCM	05/07/2012	02/09/2012
11	024-2012-INDECI/10.2	22/08/2012	088-2012-PCM	03/09/2012	01/11/2012

"Desde el año 2011 se cuenta con normas tales como, Ley 29664 – Ley del Sistema Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres (desde el mes de Febrero 2011) y su Reglamento D.S Nº 048-2011-PCM (desde el mes de Mayo 2011), Reglamento de Organización y Funciones del INDECI (D.S. Nº 043-2013-PCM (desde el mes de Abril de 2013), asimismo, es preciso resaltar que el nuevo enfoque de la gestión de riesgos involucra la competencia de dos instituciones públicas: INDECI y CENEPRED, siendo competencia del INDECI, la gestión reactiva (preparación, respuesta y rehabilitación) y la competencia de la gestión prospectiva y correctiva (estimación, reducción y `prevención del riesgo así como la reconstrucción)" por CENEPRED.

2. Ubicación y acceso

La laguna Palcacocha se encuentra ubicada al pie de los nevados; Palcaraju (6 274 msnm) y Pucarranra (6 156 msnm), al lado Este de la ciudad de Huaraz, a los 4 562 msnm, en la cabecera de la quebrada Cojup.

Ubicación Política:

Departamento	: Ancash
Provincia	: Huaraz
Distrito	: Independencia

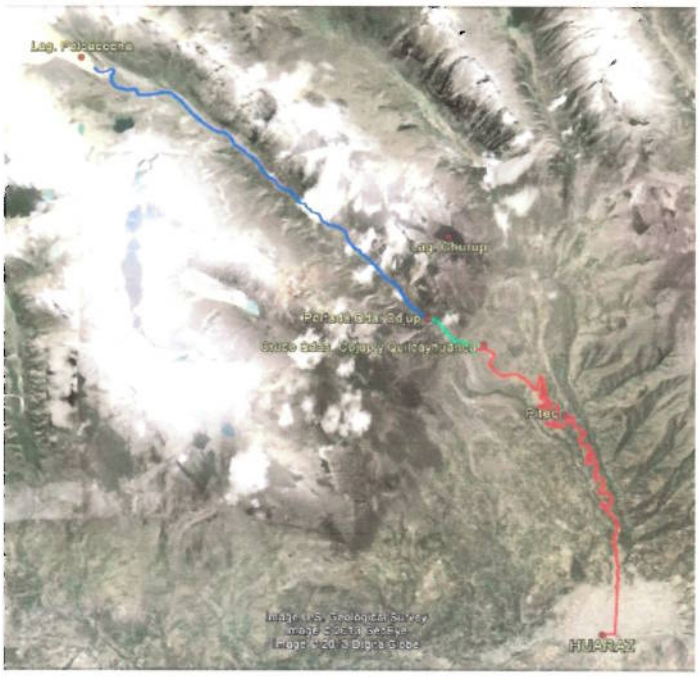
Ubicación Hidrográfica:

Cordillera	: Blanca
Vertiente	: Océano Pacífico
Cuenca	: Río Santa
Subcuenca	: Río Quilcayhuanca
Microcuenca	: Qda. Cojup
Quebrada	: Cojup

Coordenadas UTM y Altitud:

Este	: 238 750 m.
Norte	: 8 960 551 m.
Altitud	: 4 561.909 msnm

Acceso:



Al ubicarse en pleno corazón de la Cordillera Blanca, el acceso a la laguna Palcacocha es accidentado y complejo. Desde la ciudad de Huaraz, se sigue una trocha carrozable hasta llegar al caserío de Pítec, donde comienza el valle glaciar del rio Cojup (3833 msnm). Desde ahí, se sigue un camino peatonal de herradura por aproximadamente 5 horas (34 km), donde se asciende hasta los 4450 msnm que corresponde a la base de la morrena frontal de la laguna Palcacocha. Para llegar al dique artificial de la laguna Palcacocha, se debe seguir un pequeño sendero por la rotura de la morrena frontal (producida por el aluvión de 1941) hasta llegar al dique la laguna a 4566 msnm; un promedio de 20 minutos de caminata.

3. Información existente

- En 1977, Inspección técnica de las lagunas Shallap, Tullparaju, Cuchillacocha y Palcacocha
- En 1978, Inspección técnica de las lagunas; Llaca, Shallap, Cuchillacocha, Tullparaju y Palcacocha
- Inspección técnica de la situación actual de las lagunas Llaca, Palcacocha, Cuchillacocha y Tullparaju 1970 y 1972.
- 1974, se realizó el Informe Geológico Glaciológico Sobre las Condiciones de Seguridad del Cono Aluviónico de Huaraz, elaborado por el Ing. José Veliz.
- Evaluación de la laguna Palcacocha, Informe realizado por la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos, a raíz del evento ocurrido en marzo del 2003.
- En abril 2003, se realiza una inspección conjunta entre la UGRH y INGEMMET titulada "Informe de Evaluación del Estado de los Glaciares en la Cabecera de la Laguna Palcacocha".
- En 2005, VitVilimek realiza un estudio titulado "Influencia del Retroceso de los Glaciares en los Peligros Naturales de la Zona de la Laguna Palcacocha, Perú.
- Plan de prevención ante desastres: uso del suelo y medidas de mitigación ciudad de Huaraz; aprobado por ordenanza Municipal 03-2005-GPHz, de fecha 05 de enero del 2005; INDECI - PNUD PER/02/051/Ciudades sostenibles.
- En 2008, Estudio de "Evaluación Integrada de la Vulnerabilidad a los Peligros Glaciares Caso Cordillera Blanca", realizada por Esther Hegglin y Christian Huggel.
- Estudio batimétrico de la laguna realizada por la UGRH en abril del 2009, donde se obtuvo un volumen de 17`325,207 m^3 de agua.
- En 2010, la UGRH realiza un informa de la situación actual de la laguna Palcacocha, el cual es derivado a la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente, a la Municipalidad Distrital de Independencia y Municipalidad Provincial de Huaraz.
- Mediante Convenio de Cooperación técnica internacional entre la ANA y el Instituto de Estructura de la Roca y Mecánica de la Academia de Ciencias de la República Checa, se tiene instalado sensores de humedad en la morrena del dique lateral izquierdo de la laguna Palcacocha, en la misma dirección se cuenta con un pluviómetro automático. Además se

ha realizado estudios de geofísica muy cerca al punto que se produjo deslizamiento en el año 2003 de la morrena lateral izquierda.

- Términos de Referencia para el "Estudio definitivo con fines de estabilidad de laderas de las lagunas Palcacocha y Tullparaju y, de los tramos iniciales de sus correspondientes quebradas de drenaje", realizado por el Consultor, Ing. José del Carmen Urteaga Cabrera; (Feb. 2008).
- Estudios sobre "Prospección geofísica y evaluación de peligro geológicos en los depósitos morrénicos de la laguna Palcacocha, Cordillera Blanca – Ancash", realizada por la Tesista Raquel Silva de la Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco y Patricio Valderrama del Instituto geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), presentado al XV Congreso Peruano de Geología en 2010 en Cusco.
- En 2013, Emmer and VitVilimek del Departamento de Geografía Física y Geología de la Universidad de Charles en Praga-Republica de Checa, realiza un estudio titulada "Lagunas y evaluación de diques morrénicos de lagunas, ejemplo desde la Cordillera Blanca Perú.
- Poster presentado por Judith Torres de la UGRH-ANA en el Foro Glaciares, "Modelamiento Preliminar del Flujo de Escombros del Probable Desbordamiento de la laguna Palcacocha, Subcuenca Quillcay, Cordillera Blanca" utilizando Modelo Numérico Rapid Mass Movements Model(RAMMs).
- Informe Técnico Nº A6631 evaluación Ingeniero - Geológico: laguna Palcacocha y su influencia en la ciudad de Huaraz Cordillera Blanca - Región Ancash -INGEMMET.

4. Estado actual de la laguna Palcacocha

En la zona posterior se encuentra el frente residual de la lengua glaciarproveniente de los nevados Palcaraju y Pucaranra, que en la actualidad hace contacto con el espejo de agua. Aproximadamente en la parte intermedia de la referida lengua glaciar, se observa un gran afloramiento de la roca base, lo que nos indica claramente que se está produciendo la desconexión de la misma en dos partes.

Se observa también, que de los niveles más altos, debido a la fuerte pendiente de los picos rocosos (donde se encuentran todavía adheridas significativas masas de hielo, algunas en condiciones colgantes), se vienen produciendo constantes desprendimientos de bloques de hielo, que se desintegran en el recorrido, cuya gran parte se depositan en forma desintegrada en el frente

glaciar en contacto con el espejo de agua, que viene comportándose como superficie de disipación; sin embargo, también se puede notar con claridad, que el retroceso de esta masa de hielo en contacto con el espejo de agua, se viene produciendo a una gran velocidad, situación que se ve reflejado en una mayor longitud de la laguna; de continuar con esta tendencia, ésta alcanzaría su máximo desarrollo en pocos años, estado en el cual, de seguir originándose los desprendimientos de bloques de hielo o pequeñas avalanchas de los niveles altos, éstos caerían directamente a la superficie lagunar, generando oleajes que comprometerían la estabilidad de la laguna (como lo ocurrido en el 2003). Así mismo, la parte terminal de la masa de hielo en contacto con el espejo de agua, presenta agrietamientos transversales, que posibilitan los permanentes desplomes, además se encuentra cubierto gran parte de la superficie exterior, por una delgada capa de detritos, con una coloración que va de marrón a negro, condición que favorece la fusión, debido a una mayor absorción de la radiación solar.

Los flancos laterales así como el dique frontal, son de material morrénico inestable y de fuertes pendientes, llegando en algunas partes a los 90º. En la zona de arranque del flanco izquierdo, donde el año 2003 se produjo un derrumbe, se observa que el material morrénico continua cayendo, debido a la saturación producida por el aporte que drena de la fusión de las pequeñas masas de hielo existentes en los niveles superiores y, también por las fuertes precipitaciones de la temporada de lluvias; ésta zona de derrumbe, está próxima de hacer contacto con la roca base que sostiene el nevado Pucaranra; en la continuación de la pared morrénica, aguas abajo, se pueden ver nuevas agrietamientos y líneas de arranque de futuros derrumbes o deslizamientos, así como áreas, de donde se vienen produciendo frecuentes caídas, que son atenuadas en su mayor parte, por los conos de

deyección formados en la zona de contacto con la superficie lagunar, sin descartar, que puedan generarse fuertes oleajes, si estos materiales fuesen de grandes volúmenes

La laguna en 37 años (1972-2009), ha experimentado un proceso acelerado de desarrollo, el último levantamiento batimétrico muestra que su volumen se ha incrementado de 514 800 m^3a 17 325 207 m^3, de igual forma su área de espejo de agua de 62 600 m^2 a 518 426 m^2 y profundidad máxima de 13,50m a 73,1m; en las condiciones actuales la laguna se muestra peligrosa para la ciudad de Huaraz; este estado, motivó que mediante D.S.-002-2011-PCM, de fecha 05 de enero del 2011, se declarara en Estado de Emergencia la laguna Palcacocha por un lapso de 60 días, dentro de este período se iniciaron las coordinaciones interinstitucionales (ANA, Gobierno Regional, INDECI, PNH-SERNANP y otros) para la ejecución del "Sifonamiento de las aguas de la laguna Palcacocha, ubicado en el distrito de Independencia, provincia de Huaraz, Región Ancash, ante el peligro inminente de desborde e incremento de su volumen por posible desprendimiento de masa de glaciar", obra que fue aprobado como medida temporal, para disminuir la mayor cantidad de agua, realizando en los estudios y de ser posible las nuevas obras de seguridad y descarga por parte del Gore –Ancash.

Resultados de la Batimetría realizada el 22 de abril del 2009

Área del Espejo de Agua	**518 425,90**	**m^2.**
Altitud del Espejo de Agua	4 561,909	msnm
Volumen Almacenado	17 325 206,57	m^3.
Profundidad Máxima	73,10	m.
Largo Máximo	1 591,90	m.
Ancho Máximo	397,50	m.

Evolución de la laguna Palcacocha

Características Físicas de la laguna Palcacocha	Batimetría Año 1972	Batimetría Año 2009	Evolución entre los años 1972 y 2009
Área del Espejo de Agua (m^2)	62 600	518 425,90	**455 825,90**
Volumen Almacenado (m^3)	514 800	17 325 206,57	**16 810 406,57**
Profundidad Máxima (m)	13,5	73,10	**59,60**

5. Principales fenómenos de origen natural que afectan a la Laguna Palcacocha

Los fenómenos que afectan la estabilidad de la Laguna Palcacocha son principalmente de movimientos en masa y procesos de erosión:

Avalancha de Hielo:
Las avalanchas de hielo se producen debido a la fragilidad y dinámica propia de la masa glaciar, pueden caer en forma de bloques, pudiendo variar las dimensiones del volumen con dirección a la laguna Palcacocha, ocasionando en algunos casos grandes olas que pueden comprometer la estabilidad del vaso morrénico, sobre todo en los flancos. Estas avalanchas de hielo provienen de los nevados Palcaraju y Pucaranra.

Grietas y fracturamientos en el glaciar:
Estas grietas se ubican en la lengua glaciar de los nevados Palcaraju y Pucaranra, se observan de tipo longitudinal y transversal con predominancia de esfuerzos tensionales en la zona de acumulación y compresivos en la zona de ablación. Estas grietas están siendo ocupadas tanto por material detrítico como por agua ayudando a producir mayor tensión en el contacto de las grietas de la lengua glaciar que aún están en contacto con la laguna. Según se va desarrollando cada vez más las grietas, se va produciendo la separación de una parte de la lengua glaciar, para luego fusionarse y colapsar hacia la laguna.

Flujo de detritos:
Los flujos de detritos se aprecian de mejor manera en la morrena frontal. Estos flujos se originaron por efecto de rebose de las aguas de la laguna Palcacocha, ya que antes del aluvión de 1941, el nivel de las aguas de la laguna llegaba hasta los bordes de las morrenas. Los bloques que presenta varían de tamaño desde 10 cm hasta 2 m.

Caída de Detritos:
Debido a la inconsistencia que poseen las morrenas se producen numerosas caídas de detritos. Se muestra claramente eventos relativamente antiguos y recientes. Las zonas de arranque que presentan son mayormente irregulares. Este material al acumularse al pie de las morrenas, forma depósitos conteniendo bloques en muchos casos con diámetros mayores a 1 metro; en matriz limo arenosa.

Deslizamiento de Rocas y Detritos:
La avalancha de rocas y detritos se observan principalmente en la morrena lateral izquierda, el cual fue producido por las filtraciones de agua producto de las precipitaciones pluviales y la fusión del hielo que drena a ese nivel (éste hecho ocurrió en el mes de marzo del 2003). El tamaño de clastos varía desde 0.5 cm hasta 1.5 m de diámetro, la zona de arranque de éste movimiento tiene una forma semicircular.

Cárcavas:
Debido a la acción erosiva de las lluvias que se producen en los meses de diciembre a marzo surgen muchas escorrentías de agua, las cuales van socavando las superficies de las morrenas, creando así cárcavas sobre todo en los taludes internos. Estas cárcavas pueden ser superficiales o ligeramente profundas. Se pueden observar mejor en la morrena lateral derecha.

Por sus características litológicas de sus clastos y la diferente matriz, en la morrena lateral derecha predominan movimientos en masa de tipo caídas de detritos, así como erosión por cárcavas. Mientras que en la morrena lateral izquierda la predominancia recae en los deslizamientos, derrumbes, avalanchas y caídas de detritos.

Factores Condicionantes

Morrenas Laterales

Según los estudios de prospección geofísica realizados a las morrenas de la Laguna Palcacocha llevado a cabo por el INGEMMET (Informe Técnico Nº A6631 Evaluación Ingeniero – Geológico: Laguna de Palcacocha y su influencia en la ciudad de Huaraz Cordillera Blanca Región Ancash)

Las morrenas laterales tienen diferente composición litológica; siendo que en la morrena lateral derecha está constituida por clastos de material netamente granítico, más estable; la morrena lateral izquierda está conformada no sólo por clastos de granito sino también por pizarras, que debido a la forma de estas (planares) las hace más inestables.

Las grietas que presentan ambas morrenas permiten dar idea del lugar próximo a sufrir avalanchas y deslizamientos. El mayor número de grietas pequeñas se sitúan cerca de la cumbre de las morrenas, las cuales implicarían una próxima caída de material morrénico en dirección a la laguna.

Estas grietas podrían ser peligrosas en caso sucediera un movimiento sísmico, o simplemente por la continua filtración de agua en dirección de la morrena, comprometiendo así la seguridad de la laguna.

Por otra parte se tienen los asentamientos vistos, los cuales están a una profundidad aproximada de 18 metros; indicándonos que en algunas zonas de ambas morrenas está habiendo un reacomodo de sus partículas para dar una mayor estabilidad. Probablemente se pudieron originar por la invasión de material en las oquedades que existía. Pero a la vez estos asentamientos por estar controlados por grietas, algunas de ellas entre cruzadas, podrían ocasionar el debilitamiento de éste material, ocasionando derrumbes o avalanchas en ambas direcciones de las morrenas.

El asentamiento que se aprecia tiene una dirección hacia la laguna, y al estar ubicado cerca de la superficie y además estar controlado por grietas entrecruzadas, se convierte en un peligro para la estabilidad de las morrenas de la laguna, ya que si ocurre un movimiento sísmico o exista un exceso de filtración de agua en esta área, podría causar derrumbes o avalanchas, acarreando consigo bloques mayores a 1.5 metros de diámetro, pudiendo ocasionar el desborde de la laguna y por consiguiente un nuevo flujo de detritos (aluvión).

Factores Desencadenantes

Fenómenos Sísmicos

La historia sobre los acontecimientos sísmicos ocurridos en Perú ha sido descrita con detalle en el trabajo de Silgado (1978), quien presenta una vasta información de los sismos históricos importantes que produjeron diversos niveles de daño en las ciudades y localidades ubicadas en esta región. Apreciándose que las máximas intensidades evaluadas para la región Ancash oscilaron entre VI y X en la escala de Mercalli Modificada.

Silgado elaboró sus respectivos mapas de intensidades, siendo uno de ellos el del terremoto del 10 de noviembre de 1946, cuyo epicentro macro sísmico estuvo situado dentro del departamento de Ancash, en la región de la cordillera occidental.

El sismo del 31 de mayo de 1970 fue uno de los más catastróficos ocurridos en el Perú. Su epicentro se halló frente a las costas de las ciudades de Casma y Chimbote, en el océano Pacífico. Su magnitud fue de 7,5 grados en la escala de Richter y alcanzó una intensidad de VIII en la escala de Mercalli. Produjo además un violento aluvión en las ciudades de Yungay y Ranrahirca.

Las muertes se calcularon en 47 194 y hubo cerca de 19 600 desaparecidos. Los heridos se contabilizaron en 143 331, si bien en lugares como Recuay, Carhuaz y Chimbote la destrucción de edificios osciló entre 80% y 90%. La carretera Panamericana sufrió graves grietas entre Trujillo y Huarmey, lo que dificultó aún más la entrega de ayuda. La central hidroeléctrica del Cañón del Pato quedó también afectada por el embate del río Santa y la línea férrea que comunicaba Chimbote con el valle del Santa quedó inutilizable en un 60% de su recorrido

Sismotectónica de la región

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 peruana 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 a Perú como uno de los países de mayor riesgo sísmico en América Latina.

Los estudios sobre la neotectónica del país (Sebrier et al., 1982), así como la Síntesis del "Mapa Neotectónico del Perú 2008", preparado por INGEMMET (Machare et al., 2009) han permitido identificar un importante número de fallas activas, muchas de las cuales producen sismos continuamente.

En la región Ancash se han cartografiado fallas activas, entre las que destacan:

Falla de la cordillera Blanca:
Está limitando el borde oeste de la cordillera Blanca. Tiene rumbos entre N100°E y N150°E, con buzamientos entre 55° y 75° hacia el suroeste. Sus movimientos son normales a ligeramente sinestral. El sistema de fallas tiene una longitud de 190 km y cada una de las fallas que lo conforman no tiene más de unos 8 km. Los saltos verticales son variables y están comprendidos entre 1 y 50 m. Esta falla se localiza muy cerca de la laguna de Palcacocha

Falla de Quiches:
Está ubicada entre Quiches y Chingalpo, al oeste del cañón del río Marañón. Tiene un rumbo promedio andino con buzamientos fuertes hacia el suroeste y también al noreste. Estas fallas se formaron durante el sismo de 1946, produciendo saltos hasta de 3 m sobre tramos que alcanzaban 5 Km. Estudios efectuados en campo sugieren que dichas fallas podrían ser solamente una consecuencia secundaria del sismo y por lo tanto no tendrían relación directa con el foco sísmico.

Zonificación y aceleraciones máximas
De acuerdo a este mapa, la Región Ancash, por ende la laguna de Palcacocha, se encuentra ubicada en la Zona 3 que corresponde a sismicidad alta, donde las aceleraciones con ventanas de tiempo para 30, 50 y 100 años de vida útil corresponden a 300, 475 y 1 000 años de periodo de retorno respectivamente para un 10% de excedencia. Se determinó aceleraciones que varían entre 269 y 331 gals, que según los parámetros de la Guía metodológica de evaluación de riesgo por fenómenos de remoción en masa (INGEOMINAS, 2001), le corresponde una categoría de alta a muy alta.

Las zonas de categoría alta y muy alta abarcan las unidades morfológicas de la cordillera Occidental y parte de la cordillera Oriental de los Andes, en donde prevalece la presencia de lineamientos estructurales, y cuya actividad sísmica compromete a los poblados de la cordillera Negra y del Callejón de Huaylas como Recuay, Huaraz, Caraz, Yungay, Carhuaz, entre otros y los del Callejón de Conchucos como Chacas, Huántar, Huari, San Luis, Pomabamba, Sihuas, Quiches, entre otros.

Factores Meteorológicos
La laguna Palcacocha, se originó como consecuencia del retroceso (deshielo) de la lengua glaciar de los nevados Palcaraju y Pucaranra, presentando una evolución acelerada debido a los cambios de temperatura en forma creciente por el calentamiento global que está experimentando en la actualidad nuestro planeta. Los glaciares tropicales son excelentes indicadores de la evolución del clima por su extrema sensibilidad a las variaciones de los parámetros meteorológicos como la temperatura, radiación y precipitación.

El volumen glaciar no depende sólo de la temperatura, sino también de las precipitaciones pluviales que influyen significativamente en el balance del hielo glaciar. Por ejemplo durante el período de calentamiento (1965 – 1985) hubo un menor avance glaciar entre los años 1974 y 1979, debido a una alta tasa de

precipitación anual (Kaser et al. 1989). De acuerdo a Kaser (1999), una reducción de aire húmedo, con todos los cambios consecuentes de los balances de energía y masa, está sugerido para ser una de las mayores razones del retroceso de los glaciares en los trópicos desde el fin de la 28 pequeña era de hielo. El aumento de la temperatura sólo es una de las causas del retroceso glaciar (Vílimek, 2005).

Las morrenas de la laguna Palcacocha muestran el avance máximo de la lengua glaciar, la cual experimentó una fusión formando lo que hoy se conoce como la Laguna Palcacocha. Se presume que estas morrenas fueron formadas en la pequeña era de hielo, el cual se desarrolló entre los años 1490 y 1880 D.C. (Véliz et al. 1994).

6. Estudios que deben realizarse y los profesionales que deben participar

Los representantes de la Instituciones, recomendamos que el Estudio a realizarse en laguna Palcacocha y su ámbito de Influencia contenga, como mínimo lo siguiente:

6.1 REVISIÓN ANÁLISIS Y ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

Se recopilará, analizará y actualizará la información relacionada con el área de interés extrayéndose las conclusiones, resultados y recomendaciones de todos ellos (***se muestra la relación en el Ítem 3***).

6.2 TOPOGRAFÍA:

Debe realizarse de forma mínima los siguientes trabajos topográficos:

a) Levantamiento topográfico de la laguna, a una escala de 1:2,000, lo cual cubrirá en elevación la altura de la cresta de los paredes laterales, pared posterior hasta el nivel de contacto con el glaciar, y dique frontal.

b) El levantamiento del dique frontal será a detalle y una escala de: 1:200; lo cual cubrirá la zona morrénica y el emplazamiento de las dos obras de seguridad y descarga.

c) El perfil longitudinal con el trazo de la gradiente del canal de descarga de la laguna.

6.3 BATIMETRIA:

Abarcará el integro de la superficie y vaso de la laguna, desarrollando una densa red de mediciones en forma transversal, como paralela a los ejes longitudinales, con la finalidad de obtener resultados confiables y óptimos.

Así mismo, según los condiciones morfológicas y dimensiónales de la laguna, se determinará la necesidad de contar con una ó dos líneas base para hallar la posición de los puntos batimétricos.

Se elaborarán los mapas y planos respectivos, donde se muestren toda la información batimétrica a detalle, en una escala: 1/1000.

Además, se realizará la batimetría del embalse para evaluar el total del sedimento depositado durante el tiempo de ejecución de las nuevas obras de seguridad de la laguna.

6.4 GEOLOGÍA:

Evaluación de la Geología Regional y local, que abarque toda la ruta de escurrimiento del agua descargada de la laguna Palcacocha (que comprende la quebrada Cójup hasta la intersección con la quebrada Quilcayhuanca, donde toma el nombre de río Quilcay, hasta la confluencia con el río Santa); y en detalle la zona de la Laguna Palcacocha, donde como resultado del estudio, se proyecten las nuevas obras o estructuras de seguridad y descarga.

Deberá ponerse énfasis en las formaciones inconsolidadas recientes, así como en la presencia de fallas locales. Se elaborará el mapa geológico general a la escala 1/25000, y el detalle a la escala 1/2000; diferenciándose las unidades Lito - estratigráficas, definiendo las características estructurales, presentado perfiles y secciones a escalas que se consideren adecuadas.

Geología Estructural:

Evaluación de fallas, como factor desestabilizador de las lagunas y glaciares, considerando la presencia de la falla activa Cordillera Blanca, ubicada en el flanco occidental de la referida Cordillera, con una longitud aproximada de 210 km.

6.5 GEOMORFOLOGIA:

El estudio Geomorfológico debe comprender la ruta de escurrimiento del agua descargada de la laguna Palcacocha (que comprende la quebrada Cójup hasta la intersección con la quebrada Quilcayhuanca, donde toma el nombre de río Quilcay, hasta la confluencia con el río Santa);así como la respectiva diferenciación de las Unidades Geomorfológicos y la elaboración de los mapas Geomorfológicos y de Unidades Geomorfológicos a escala 1/25000, y a detalle de la laguna Palcacocha a la escala 1/2000.

6.6 GEODINÁMICA :

Debe comprender la diferenciación y descripción detallada de los procesos geodinámicos externos que tengan una influencia directa e indirecta en torno a los aspectos de riesgo y vulnerabilidad para la laguna Palcacocha y la ruta de escurrimiento del agua descargada de la laguna Palcacocha (que comprende la quebrada Cójup hasta la intersección con la quebrada Quilcayhuanca, donde toma el nombre de río Quilcay, hasta la confluencia con el río Santa). Estos deben especificar sus límites de influencia, características del proceso y estimación del grado de riesgo, con la elaboración del Mapa Geodinámico a escala 1/25000.

Realizar modelamientos y simulaciones de comportamiento de flujo aluviónico, considerando la probabilidad de desborde violento del volumen de agua contenida en la laguna Palcacocha y, estimar el grado de afectación a las poblaciones y comunidades ubicadas en su ámbito de influencia.

6.7 HIDRÁULICA:

El estudio hidráulico deberá comprender, un reconocimiento de la zona para tomar información y conocimiento in situ, luego en base a los estudios básicos (topografía, batimetría, geología y geotecnia e hidrología) plantear la estructura hidráulica que mejor se adecua a la zona (diques, túneles, etc.), considerando que el objetivo es minimizar daños ante un eventual desprendimiento de bloques ya sea de hielo o suelos, y como consecuencia la formación de olas que pudieran generar el desborde violento de la laguna.

El estudio deberá contener los criterios hidráulicos, desarrollo de la ingeniería, especificaciones técnicas, metrados, análisis de costos unitarios y presupuesto.

El profesional deberá tener experiencia en elaboración de estudios hidráulicos como mínimo 07 años de experiencia.

6.8 GEOTECNIA:

Se determinará las características básicas de los principales tipos de suelos y rocas que se encuentran en la zona de la laguna Palcacocha, especialmente de aquellos que se encuentren en zona de alto riesgo. Estos parámetros serán determinados por medio de ensayos estándar de mecánica de suelo realizados en nuestras obtenidas de calicatas excavadas en cada zona. De preferencia se utilizará muestras inalteradas.

De la misma manera se obtendrán por medio de ensayos estándar o método deductivos las principales propiedades de la roca base en las zonas de riesgo.

Así mismo, debe realizarse una evaluación exhaustiva de estabilidad de los taludes internos y externos de la laguna y su entorno próximo.

6.9 SISMOLOGÍA:

Los sismos son el mayor peligro al que se encuentra sometido nuestro territorio, y los daños que ellos provocan en las ciudades dependerán de su tamaño y de la capacidad de respuesta de las estructuras a las aceleraciones a las que son sometidas. La correcta equivalencia entre estos dos factores permitirá reducir los daños causados por este tipo de peligro. Para el monitoreo de la actividad sísmica que ocurre en el territorio peruano, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) opera una red sísmica nacional compuesta por 31 estaciones, de las cuales 20 son de periodo corto y 11 de banda ancha.

Evaluación del peligro sísmico en todo el ámbito de influencia de la laguna Palcacocha, como la Falla de la Cordillera Blanca, que se encuentra limitando el borde oeste de la cordillera Blanca.

6.10 ZONIFICACIÓN DE RIESGOS:

El cual involucre la determinación de los niveles de riesgo y recomendación de las medidas de prevención o de reducción a los riesgos identificados en cada una de las zonas estudiadas, de acuerdo a los resultados obtenidos de los estudios antes mencionados (geología, geomorfología, geodinámica, geotecnia, sismicidad, hidrológica, glaciología, zonificación de riesgo).

Dicha zonificación de riesgos, es el insumo para la elaboración de los Planes de Desarrollo Urbano o de Ordenamiento Territorial, los cuales tienen en cuenta al mapa de zonificación de riesgos, el cual es el resultado de la evaluación y análisis que se realiza al mapa de riesgos en función de los criterios de seguridad por niveles de riesgos, los cuales determinan el uso adecuado de dichas áreas geográfica en función al riesgo.

Las áreas de riesgo estudiadas determinarán las zonas de influencia que pudieran ejercer en toda la microcuenca río Cojup, hasta su confluencia con el río Santa.

Así mismo se deberá presentar uno o varios mapas de la zonificación de riesgo de acuerdo a los fenómenos estudiados.

Es importante llevarse a cabo un diagnóstico situacional del estado actual de las obras de seguridad física hechas en las cinco (05) lagunas que drenan sus aguas pasando por la ciudad de Huaraz, para determinar su real comportamiento frente a la probabilidad de generación de aludes en las áreas glaciares, sea como consecuencia de la dinámica glaciar propiamente dicha o por actividad sísmica.

6.11 GESTION REACTIVA DE RIESGO

En el marco de la Política Nacional de Gestión del Riesgo, y del escenario del riesgo (en la microcuenca involucrada), el Gobierno Regional en coordinación con los Gobiernos Locales involucrados ejecuten las acciones necesarias:

- Para desarrollar y fortalecer capacidades organizacionales, operativas, técnicas, humanas y otras que correspondan, para una respuesta eficiente y eficaz en situaciones de emergencias y desastres en salvaguarda de la vida de la población.
- El diseño e Implementación del sistema de alerta temprana.
- Para la comunicación y sensibilización de los riesgos existentes en la población y de las medidas para una respuesta óptima.
- Ejecución de ejercicios de simulación y simulacros

6.12 HIDROLOGÍA:

El aspecto hidrológico comprenderá como mínimo el análisis integral y a detalle de la toma de información, evaluación y procesamiento de todos los parámetros hidrometeorológicos de la cuenca y sub cuenca existentes en el área de influencia de la laguna Palcacocha.

Poniendo énfasis en:

a) Climatología

Análisis de consistencia de las variables climatológicas existentes en la zona (temperatura, radiación solar, presión atmosférica, humedad relativa, evaporación, velocidad de viento)

b) Precipitación

Análisis de consistencia y extensión de registros, mapeo de isoyetas).

c) **Sedimentos**

Se realizarán campañas de medición y muestro de sedimentos en suspensión y de fondo del caucedesde la laguna hasta la confluencia con el río Santa.

d) **Escorrentía**

Análisis de caudales, consistencia de datos, doble masa, rendimiento de la cuenca por los métodos: Soil Conservation Service, Holdrige, déficit de escorrentía, formula empírica, relación de volúmenes.

e) **Escurrimiento en la laguna**

Análisis y cuantificación del volumen medio anual derivado por el embalse teniendo en cuenta el registro de caudales medios mensuales medidos en este.

f) **Aporte del Glaciar**

Se deberá realizar una evaluación y análisis del aporte de glaciar hacia la laguna mediante un balance hidrológico de la sub cuenca, se tendrá un estimado de aporte del glaciar sobre todo en el período de estiaje.

g) **Máximas Avenidas**

Cálculo de avenidas, en base a la información de estaciones existentes y/o extensión, o transposición de datos, se efectuará una evaluación de los (caudales instantáneos, si no los hubieran serán calculados en función de los caudales o precipitaciones máximas de 24 horas proporcionados por el SENAMHI, mediante un método empírico como: Creager o Fuller, previamente calibrado) caudales instantáneos de un período mínimo de 30 años, y donde deberá efectuarse un análisis de distribución de probabilidades (Gumbel, log Normal y log Normal, Pearson tipo 3 y log Pearson tipo 3) y determinar los caudales máximas asociados a diferentes periodos de retorno de: 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años. Cada uno de estos métodos seráevaluado mediante un método de bondad de ajuste (Chi^2 o Kolmogorov Smirnov) para decidir cual método es el más adecuado a usar.

h) **Hidrograma de avenidas**

Se harán uso de los métodos de hidrogramas unitario o sintético necesarios para determinar los caudales máximos en caso que no existiera información de caudales instantáneos medidos en la zona de estudio.

i) **Dimensionamiento y diseño de infraestructura hidráulica**

De acuerdo a la evaluación hidrológica, el transporte del sedimento de fondo y en suspensión, el análisis de máximas

avenidas, y evaluación geológica y geotécnica de la zona se deberá dimensionar y diseñar las obras hidráulicas necesarias en la zona del estudio.

6.13 ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL

Identificación y análisis de los impactos ambientales que se generarían como consecuencia de las obras a ejecutarse en la laguna Palcacocha y su ámbito de influencia.

6.14 GLACIOLOGÌA:

El estudio glaciológico deberá comprender, el análisis del estado de la masa glaciar proveniente de los nevados Pucaranra y Palcaraju, superficie, espesores, pendiente superficial y de la superficie basal, agrietamientos, velocidad de desplazamiento, retroceso glaciar y susceptibilidad de producción de deslizamientos, avalanchas o aludes.

Evaluación del peligro glaciológico, que podría influenciar en el estado y estabilidad de la laguna Palcacocha.

Modelamiento y simulación del comportamiento de la laguna por efectos de desprendimientos y avalanchas de hielo y deslizamientos, derrumbes de los taludes de los flancos. Extender el modelamiento y simulación a procesos combinados.

Evaluación del aporte a la laguna, por derretimiento de la nieve y fusión glaciar.

Para la ejecución del Estudio, se recomienda la participación de los siguientes profesionales y/o especialistas:

Profesionales	Años de experiencia
• Ing. Especialista en Hidrología	8
• Ing. Especialista en Hidráulica	8
• Ing. Especialista en Glaciares	10
• Ing. Civil	8
• Ing. Geólogo	10
• Ing. Especialista en Geotecnia	10
• Ing. Especialista en Geodinámica	8
• Ing. Especialista en Geofísica	8
• Ing. Ambientalista	7

- Ing. Especialista en Gestión de Riesgos 8
- Ing. Especialista en Batimetría y Topografía 6

7. Conclusiones

7.1 La laguna Palcacocha, de origen glaciar, que de acuerdo a la batimetría del 2009 realizada por la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua, contiene 17 325 206 m^3 de agua, se ubica en la cabecera de la ciudad de Huaraz que en la actualidad cuenta con aproximadamente 150 000 habitantes.

7.2 La laguna Palcacocha, el 13 de diciembre del 1941, se desbordó violentamente, al romperse el dique morrénico, generando un flujo aluviónico que arrasó un tercio de la ciudad de Huaraz y donde murieron alrededor de 4800 personas.

7.3 Las actuales condiciones de la laguna Palcacocha, superan ampliamente en volumen, profundidad y superficie del espejo de agua a las condiciones de la laguna de 1941 y, de acuerdo a las evaluaciones preliminares realizadas, muestra un peligro latente, que es necesario atender con prontitud.

7.4 Las obras de seguridad y descarga, construidas en la década del 70, ya resultan insuficientes para contener y controlar los diferentes procesos geodinámicos que puedan ocurrir (como lo sucedido en el 2003), tanto más considerando el desarrollo acelerado que ha tenido la laguna Palcacocha.

7.5 Las actividades de sifonamiento que viene realizando la Región Ancash, se considera que son de carácter temporal y no constituye una solución definitiva a los peligros existentes, si es que no se articula con nuevas obras de seguridad y descarga que minimicen los riesgos de la laguna Palcacocha.

7.6 Frente a la fragilidad y vulnerabilidad del vaso de la laguna y la presencia de masas de hielo en su cabecera, configurando un escenario de peligro latente, se debe considerar en las opciones de solución definitiva el desalojo de por lo menos un tercio del actual volumen contenido y la construcción de infraestructuras de seguridad y descarga con suficiente borde libre, para la contención de eventualidad extremas.

7.7 En la ciudad de Huaraz las zonas más vulnerables ante fenómenos de movimientos de masas, son los elementos expuestos ubicados a ambas márgenes del rio Quillcay, que colecta las aguas provenientes

de las quebradas (Cojup, Quilcayhuanca y Shallap), en cuyas cabeceras se ubican cuatro lagunas (Palcacocha, Cuchillacocha, Tullparaju y Shallap), que a su vez se alimentan del deshielo de las áreas glaciares que se encuentran en la parte superior, que corresponde a la vertiente occidental de la Cordillera Blanca.

7.8 Los fenómenos de movimientos de masas que afectan a la laguna Palcacocha, pueden ser desencadenados por sismos, intensas precipitaciones pluviales y la dinámica propia de la nieve y glaciares, asociados a la alteración hidrológica y climática.

7.9 La morrena lateral izquierda se muestra más inestable, presentándose movimientos en masa de tipo caídas de detritos, derrumbes, deslizamientos, los cuales pueden provocar el desborde de la laguna y/o ruptura del dique (morrena frontal), con graves consecuencias en la ciudad de Huaraz.

7.10 No se descarta que puedan producirse avalanchas o aludes de hielo provenientes de los nevados Pucaranra y Palcaraju y generar oleajes en la laguna y provocar el desborde violento y posterior formación de un flujo aluviónico sobre la ciudad de Huaraz. También pueden darse procesos combinados, es decir deslizamientos de los taludes y avalanchas de hielo, tanto más si la laguna se encuentra bajo la influencia de la falla geológica regional Cordillera Blanca, ubicada a siete km.

8. Recomendaciones

8.1 Frente a la evolución acelerada que viene experimentando la laguna Palcacocha, lo cual constituye un peligro latente para la ciudad de Huaraz que en la actualidad tiene alrededor de 150 000 habitantes, deben realizarse de forma mínima los estudios indicados en ***el Item 3*** del presente Informe Técnico.

8.2 Ejecutar obras de seguridad y descarga con suficiente borde libre, para la contención de eventualidades extremas, así mismo, se contemple como opción de solución definitiva el desalojo de por lo menos un tercio del actual volumen de agua contenido.

8.3 Implementar Sistemas de Alerta Temprana (SAT), técnicamente concebidos y con la asesoría de expertos en la materia.

8.4 Tanto para la elaboración de los Estudios, como para la ejecución de las obras, deberán contarse con Profesionales Especialistas, tal como se indica en el presente Informe Técnico.

8.5 Deben implementarse medidas no estructurales como la Gestión de Riesgos y sensibilización de la Población ante los peligros geológicos existentes.

8.6 Debe realizarse obras de limpieza del cauce y construcción de muros de encauzamiento a lo largo del río Quillcay que cruza la ciudad, teniéndose como puntos críticos la confluencia de los ríos Cojup y Quillcayhuanca y Nueva florida.

8.7 Sincronizar debidamente las actividades de sifonamiento con la ejecución de las obras de seguridad y descarga.

8.8 La batería de tuberías de sifonamiento, no deben atravesar el dique artificial por el conducto cubierto, pues ante una eventualidad extrema, restaría capacidad de descarga de la laguna.

8.9 Implementar Estaciones Meteorológicas e Hidrométricas en la laguna Palcacocha y su ámbito de influencia.

Julio del 2013.