

Informe Técnico N° A6631

Evaluación Ingeniero - Geológico:
**Laguna de Palcacocha y su Influencia
en la ciudad de Huaraz Cordillera Blanca**
Región Ancash



POR:
ING. PATRICIO VALDERRAMA
ING. WALTER PARI
ING. CAROLINA SILVA
ING. LIONEL FÍDEL

MAYO 2013

SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

CONTENIDO

RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	6
CAPÍTULO II: ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	9
2.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	9
2.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL	10
CAPÍTULO III: ASPECTOS GEOLÓGICOS	18
3.1 GEOLOGÍA REGIONAL	18
3.2 GEOLOGÍA LOCAL	19
3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	22
CAPÍTULO IV: ASPECTOS GLACIOLÓGICOS	24
4.1 GLACIARES TROPICALES	24
4.2 EVOLUCIÓN GLACIAR DE LA LAGUNA PALCACOCHA	25
CAPÍTULO V: PELIGROS GEOLÓGICOS	29
5.1 MOVIMIENTOS EN MASA	29
5.2 PELIGROS GEOLÓGICOS QUE AFECTAN A LA LAGUNA DE PALCACOCHA	30
5.3 PELIGRO SÍSMICO	36
CAPÍTULO VI: PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN LAS MORRENAS DE LA LAGUNA DE PALCACOCHA	49
6.1 GROUND PENETRATING RADA (GPR)	49
6.2 APLICACIÓN DEL GPR EN LAS MORRENAS DE LA LAGUNA PALCACOCHA	50
6.3 RESULTADOS	58
CAPÍTULO VII: RIESGOS GEOLÓGICOS EN LA CIUDAD DE HUARAZ	59
7.1 MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR HUARAZ	61
7.2 PROCESOS DE FLUJOS DE DETRITOS, ALUD Y/O AVALANCHAS DE GRAN MAGNITUD	65
7.3 OTROS EVENTOS	70
7.4 FUTUROS PELIGROS EN LA LAGUNA PALCACOCHA	71
CAPÍTULO VIII: SIMULACIÓN NUMÉRICA DE FLUJOS DE DETRITOS Y/O AVALANCHAS (ALUVIONES)	72
8.1 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS	72
8.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	73
8.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESEMBALSE	75
8.4 ZONAS CRÍTICAS ANTE FLUJOS DE DETRITOS (ALUVIONES) DE GRAN MAGNITUD	76

CAPÍTULO IX: ESTRATEGIAS PARA LA DISMINUCIÓN DE LA VULNERABILIDAD	78
CONCLUSIONES	82
RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFÍA	85

RESUMEN

La Cordillera Blanca es considerada como uno de los glaciares tropicales más extenso del mundo, muchas lagunas que se forman en ésta cordillera poseen diques naturales consistentes de material morrénico, los cuales si colapsarán, representarían riesgo para las ciudades que se sitúan aguas debajo de la laguna; debido al grado de estabilidad que presentan éstas geoformas, tal es el caso de las morrenas que albergan a la laguna Palcacocha.

En éste trabajo, a parte del análisis del peligro geológico en el área de la laguna, se realizó el estudio de las morrenas laterales de la laguna Palcacocha, para evaluar qué sectores de estas podrían ser propensas a colapsar como avalanchas, derrumbes o deslizamientos. Para lograr los objetivos, se realizaron estudios geofísicos, utilizando GEORADAR, método de penetración en tierra.

Así mismo, se realizó el estudio de los procesos geodinámicos que se desarrolla en ambas morrenas laterales, para poder realizar un mapa de movimientos en masa, teniendo en cuenta la diferencia que existe en la composición litológica (clastos) entre ambas morrenas, ya que aparte de tener el Batolito de la Cordillera Blanca, también se tiene pizarras, pertenecientes a la Formación Chicama.

El retroceso de la lengua glaciar, el cual formó la laguna, también fue materia de estudio; para su elaboración se contó con la ayuda de fotografías aéreas del año 1948, imágenes escaneadas mostrando fotografías del año 1932, imágenes spot del año 2007, así como fotografías más recientes; con la finalidad de ver la rapidez del retroceso de la lengua glaciar en la laguna Palcacocha.

Se hace también una descripción de los flujos de detritos (aluviones) ocurridos en la ciudad de Huaraz, para poder dar un mejor panorama acerca de los riesgos geológicos a los cuales está expuesta la ciudad.

INTRODUCCION

La ciudad de Huaraz, capital de la región Ancash, es una de las ciudades más importantes de la región andina centro norte del Perú, la cual está expuesta a numerosos fenómenos geodinámicos de movimientos en masas. Uno de los principales eventos, que condicionó el desarrollo socio-cultural de la ciudad de Huaraz, fue el aluvión de 1941 con orígenes en la Cordillera Blanca. El 13 de Diciembre de 1941, el dique morrénico de la laguna glaciaria, denominada localmente como Laguna Palcacocha a 32 km de la ciudad de Huaraz, se rompió violentamente, producto de una posible caída de un bloque de hielo del sistema de glaciares Cojup, generando un flujo de detritos (aluvión) de grandes dimensiones que destruyó casi la mitad de la pequeña Huaraz de entonces.

Los glaciares tropicales de la Cordillera Blanca son escenarios de los eventos de movimientos en masa de mayor magnitud registrados en la historia del Perú y entre los mayores del mundo. La mayoría de los flujos de detritos (aluviones) fueron ocasionados por la ruptura de diques morrénicos, los cuales albergaban lagunas, muchas de ellas ubicadas en pendientes muy abruptas, siendo un problema para las poblaciones que se asientan al pie de la Cordillera Blanca, como es el caso de la ciudad de Huaráz, la cual es vulnerable ante algún evento aluviónico que pueda provenir de la Laguna Palcacocha, la cual se ubica al NE de ésta ciudad.

Actualmente, la laguna Palcacocha es uno de los principales recursos hídricos de la ciudad de Huaraz, ya que sus aguas, al discurrir por el valle de Cojup, son captadas parcialmente para suministrar de agua potable a los más de 100,000 habitantes. Cualquier evento geodinámico que afecte la calidad de las aguas de la laguna Palcacocha, repercutirá grandemente en el suministro de agua potable de la ciudad de Huaraz.

Ese fue el caso del 19 de marzo del 2003, donde una avalancha ocurrida en una de las morrenas laterales de la laguna, generó un flujo de detritos (aluvión) de pequeñas dimensiones pero grandes consecuencias. El aumento de la turbidez y sólidos concentrados en las aguas del valle Cojup (originados por el evento) afectó la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad, obligándola a cortar el suministro de agua potable por una semana.

El objetivo de la presente investigación es, mediante estudios de campo detallados, cartografiado de movimientos en masas y prospecciones geofísicas, ubicar zonas de "debilidad" similares a las que originaron los aluviones de 1941 y 2003, conocer sus magnitudes y el grado de peligro que significan para las aguas de la laguna Palcacocha y si estos futuros eventos afectarían el suministro de agua de calidad a la planta de tratamiento de la ciudad de Huaraz y evaluar el grado de peligrosidad que representa para la misma.

Para ellos es necesario conocer el origen geológico de las morrenas que represan la laguna Palcacocha y si este es un factor preponderante en la ocurrencia de movimientos en masas; identificar los procesos que generan inestabilidad en las morrenas de la laguna; conocer si existen estructuras de debilidad y deformación precedentes a derrumbes y/o avalanchas mediante el método de GPR (Ground Penetrating Radar); encontrar estructuras de debilidad en los depósitos morrénicos laterales; y analizar cuál es el grado de peligrosidad que representan estos para la laguna Palcacocha.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

La Laguna Palcacocha está ubicada en la Cordillera Occidental del Perú, departamento de Ancash, provincia de Huaraz, a los 4,566 msnm, en la cabecera de la cuenca Cojup, por debajo de los nevados Palcaraju y Pucaranra, en la vertiente occidental de la Cordillera Blanca. En las coordenadas geográficas: 9°23'41" de Latitud Sur y 77°22'44" de Longitud Oeste. Ver mapa 1.1

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 río 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. Ver foto 1.1.



Foto 1.1: Entrada a la laguna Palcacocha por la abertura de la morrena frontal la cual fue producido por el aluvión de 1941 (Foto: Valderrama, 2008).

En el ámbito hidrológico el área de estudio comprende desde la laguna Palcacocha que da origen al río Cojup, el cual recorre una distancia aproximada de 40 km; confluye con el río Calcay, el cual proviene de las quebradas Quillcayhuanca y Shallap. Ambos ríos dan origen al río Quillcay que pasa por la ciudad de Huaraz y desemboca en el Río Santa, el más importante de la vertiente del Pacífico Norte.

La subcuenca del río Cojup nace de la laguna de Palcacocha, abarca un área aproximada de 76.3 km²; su caudal en épocas normales transporta volúmenes de

agua alrededor de 0.4 a 1.5 m³/seg. El río Cojup es uno de los principales abastecedores de agua para el consumo de la ciudad de Huaraz.

La cuenca del río Quillcay tiene un área aproximada de 249.50 km², ya que abarca las quebradas de Cojup, Quillcayhuanca y Shallap; tiene un caudal medio de volumen de 7.09 m³/seg, una longitud de 28 km, con una pendiente de 6° y cuenta con 22 lagunas dentro de su área.

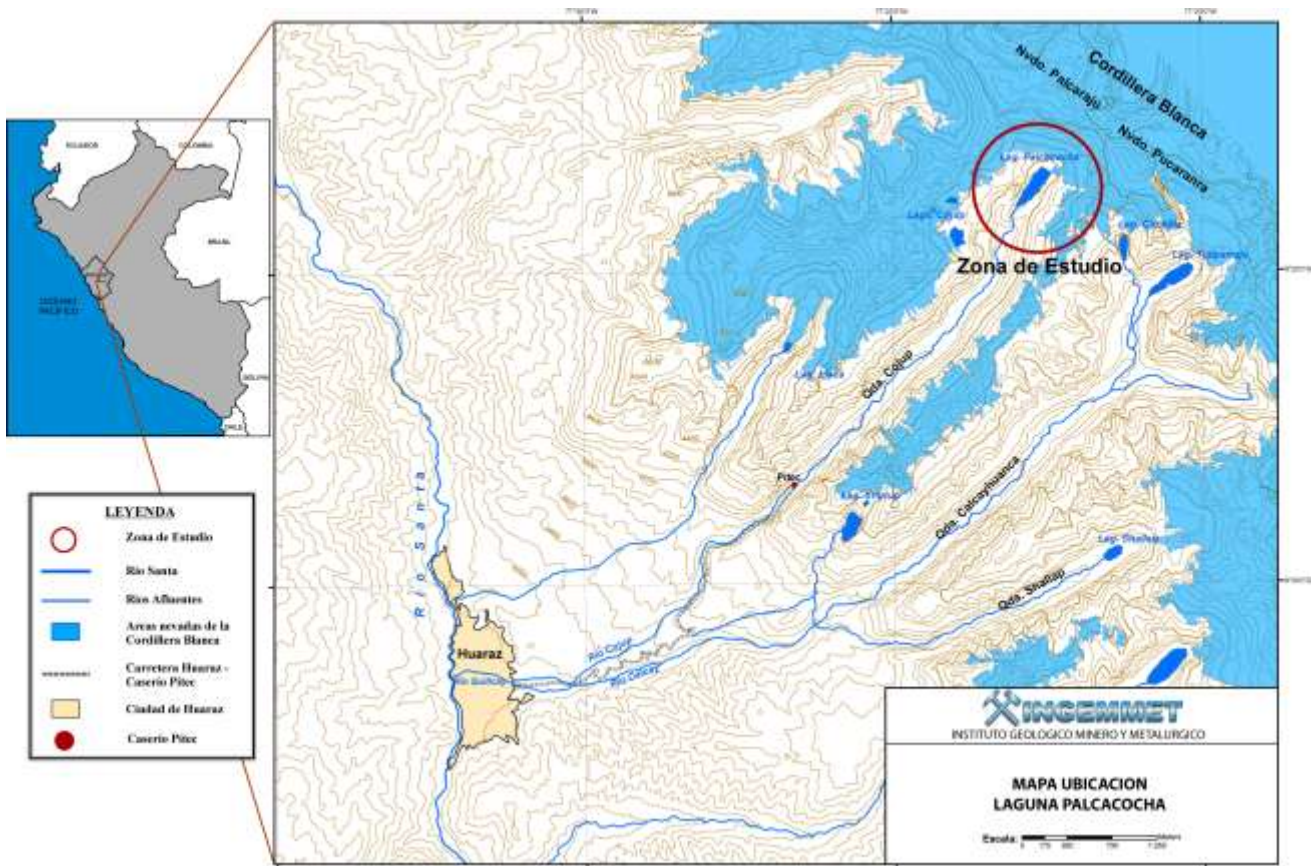
La laguna de Palcacocha por situarse a más de 4000 msnm, desarrolla un clima muy frío con temperatura promedio anual de 0°C a 4°C, pudiendo variar hasta 8°C.

Según la clasificación de W. Köpen la zona de estudio pertenece a un clima frío de alta montaña. Presenta unas temperaturas invernales negativas y unas estivales positivas, la temperatura media anual se establece en torno a los 0 °C; las precipitaciones son más abundantes en verano (Diciembre a Marzo) que en invierno (Mayo – Agosto), superando los 1000 mm anuales. Este es el tipo de clima de alta montaña que predomina en la cordillera andina. (Köpen, 1936).

Según la clasificación de W. Thornthwaite, el clima de la zona de estudio es considerado como un clima frío semiseco con una deficiencia de lluvias en invierno, con humedad relativa del 65% a 84% calificada como húmeda. (Thornthwaite, 1948, en Zavala, et al, 2007). Por último, según Pulgar Vidal, la zona de estudio está situada en la región Puna, la cual está comprendida entre los 4100 y 4800 msnm.

Por ser una región árida y fría, sólo crece el Ichu (mata de paja andina), es de baja presión atmosférica con menor grado de difusión de oxígeno en el aire y clima extremadamente frío, las precipitaciones fluctúan entre 200-400 y 1000 mm al año. La temperatura media anual es de 0° C e inferior a 7°C. (Pulgar Vidal, 1996). En el siguiente cuadro presentamos un resumen de las principales características climáticas del área de estudio:

Clima	Alt. (m)	Temp. (°C)	Precip. (mm)	Humedad Relativa (%)	Características
Clima frío de alta montaña	4100 a 4800	0 a 4	Dic – Mar > 1000 Abr – Nov < 1000	65 a 84	Vegetación: Ichu (mata de paja andina). Deficiencia de lluvias en invierno.



Mapa 1.1: Ubicación de la laguna de Palcacocha

CAPITULO II

ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

2.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL:

En el departamento de Ancash la geomorfología muestra un interesante desarrollo de la Cordillera Occidental, la cual se divide en dos tramos; hacia el lado Este se tiene la Cordillera Blanca y hacia el lado Oeste se tiene la Cordillera Negra, conformando así el Callejón de Huaylas. La Cordillera Blanca se denomina así por las imponentes cumbres glaciares de hielos permanentes, mientras que la Cordillera Negra, se denomina así por contraposición, al no tener cumbres glaciares.

Entre ambas cordilleras se desplaza el río Santa, el cual nace en la localidad de Conococha, su recorrido es a lo largo del Callejón de Huaylas (Sur a Norte), para luego cambiar de dirección al Oeste y finalmente desembocar al Océano Pacífico.

La cuenca alta del valle del río Santa, es considerada como valle interandino, las vertientes son moderadamente suaves y son de origen glaciario. Presentan conos aluviales en los cuales se emplazan ciudades importantes como Huaraz, Caraz, Carhuaz, Yungay, entre otros.

En medio del valle del río Santa y de la Cordillera Blanca se encuentra una vasta zona de depósitos fluvio-glaciares y glaciares, los cuales están constituidos de materiales inconsolidados compuestos por clastos angulosos de diferentes tamaños, provenientes de la desintegración de las rocas preexistentes, en una matriz también inconsolidada, compuesta de arenas y arcillas. (Velíz, J. 1967).

En la Cordillera Blanca la altura máxima es de 6768 msnm, que pertenece al pico Sur del Nevado del Huascarán. Presenta pendientes ligeramente suaves hacia el sur, luego se va tornando más empinadas hacia el norte hasta llegar al punto más alto del Nevado Huascarán para luego ir disminuyendo de nuevo.

A lo largo de toda la Cordillera Blanca se presentan un gran número de lagunas formadas por diques morrénicos o rocosos, los cuales fueron retrabajados por la acción del hielo.

En el flanco Oeste de la Cordillera Blanca y a lo largo de ella se encuentra la denominada Falla de la Cordillera Blanca, con una longitud aproximada de 210 km; ésta falla normal exhibe continuas evidencias geomorfológicas de repetidos desplazamientos del Pleistoceno tardío y Holoceno (Schwartz, 1988).

Al oeste del Valle del Río Santa se encuentra la Cordillera Negra cuya altura comprende entre los 4800 y 5187 m.s.n.m. (Dollfus, Peñaherra; 1962). Las pendientes que presenta son ligeramente suaves, no presenta glaciares como en la Cordillera Blanca. En los meses de Diciembre a Marzo, se cubre de granizo y escarcha en las partes altas de la Cordillera Negra. El pico más elevado de ésta cordillera es el Coñocranra (5187 msnm).

2.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL:

La geomorfología local está comprendida por las unidades de glaciares, lagunas, depósitos morrénicos, valle glaciar y cono aluvial. Ver Figura 2.1 y Mapa 1.



Figura 2.1: Imagen Spot de la Laguna Palcacocha, se observa la laguna, las morrenas laterales y frontal (cortada lateralmente), los glaciares y las laderas rocosas muy empinadas.

Glaciares: Esta unidad está constituido por dos nevados principales que dan origen a la Laguna Palcacocha, el Nevado de Palcaraju (6274 msnm), que está emplazado hacia el Norte y el Nevado de Pucaranra (6156 msnm), que está emplazada hacia el NE.

La lengua glaciar que aún sigue en contacto con la laguna, se encuentra cubierta por restos de grandes avalanchas de hielo, los cuales seguirán en continua actividad debido a los cambios climáticos que se presentan en la actualidad; la lengua glaciar cuenta con una pendiente ligeramente suave y con una longitud aproximada de 200 metros. Ver foto 2.1



Foto 2.1: Vista de los Nevados Palcaraju a la izquierda y Pucaranra a la derecha.

Lagunas glaciares: En esta unidad destacan las siguientes lagunas que describiremos a continuación:

Laguna Palcacocha: Está ubicada a los 4,566 msnm, en la cabecera de la cuenca Cojup, debajo de los nevados Palcaraju y Pucaranra. Esta laguna tiene una forma alargada, con longitudes de 1592 metros de largo por 397 metros de ancho, una profundidad máxima de 73 metros y un volumen de 17'325,206.57m³. (UGRH, 2010). Su espejo de agua sigue estando aun en contacto con la lengua glaciar, por lo que se le clasifica como laguna en desarrollo, sus aguas son represadas por dos diques artificiales y restos de depósitos morrénicos de piso. Ver figura 2.2 y foto 2.2

Los aportes de agua, provienen de los deshielos de los nevados que circundan a la laguna y en menor grado de las lluvias estacionarias que usualmente se desarrolla en los meses de diciembre a marzo.

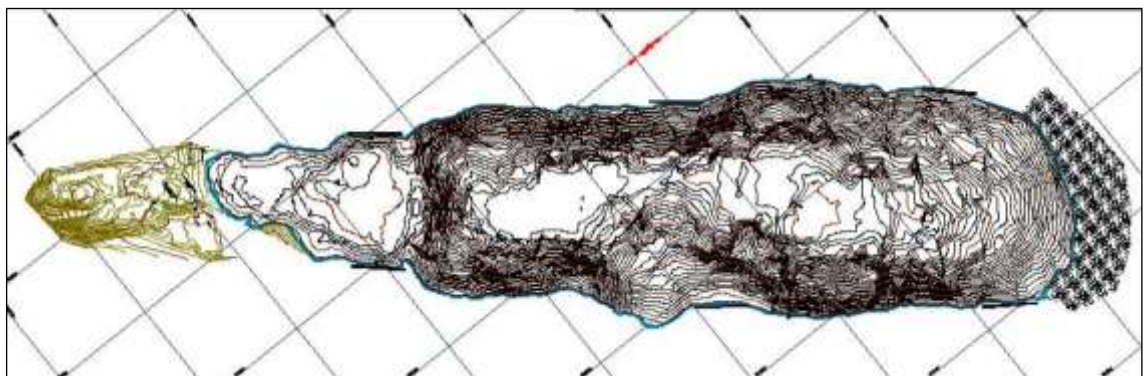


Figura 2.2: Vista en planta de la Laguna Palcacocha. La línea azul indica el área de la laguna. (Fuente: UGRH, 2010)



Foto 2.2: Laguna Palcacocha, al fondo se observa el contacto que existe entre la laguna y la lengua glaciar.

Lagunas Perolcocha y Cojup: El grupo de lagunas Perolcocha se ubica en el Nevado Cojup al Sur-este de la laguna Palcacocha; se tiene la laguna de Perolchico (5,010 msnm) y Huayar (5,100 msnm), cuyos diques naturales están constituidos por material morrénico mas joven que las morrenas de la laguna Palcacocha, las cuales aún se encuentran en desarrollo por estar en contacto con los glaciares superiores. Por último se tiene una tercera laguna, Perolgrande (5,100 msnm), la cual tiene un dique rocoso de material granítico; la acción mecánica de los glaciares tallaron la cubeta donde se deposita actualmente ésta laguna; considerándose menos peligrosa en relación a las que están formadas por diques morrénicos.

Las lagunas Cojup que también están situadas al lado Este de la Laguna Palcacocha están delimitadas por depósitos morrénicos, se les considera como lagunas desarrolladas porque ya no están en contacto con las lenguas glaciares, como se muestra en la figura 2.3.

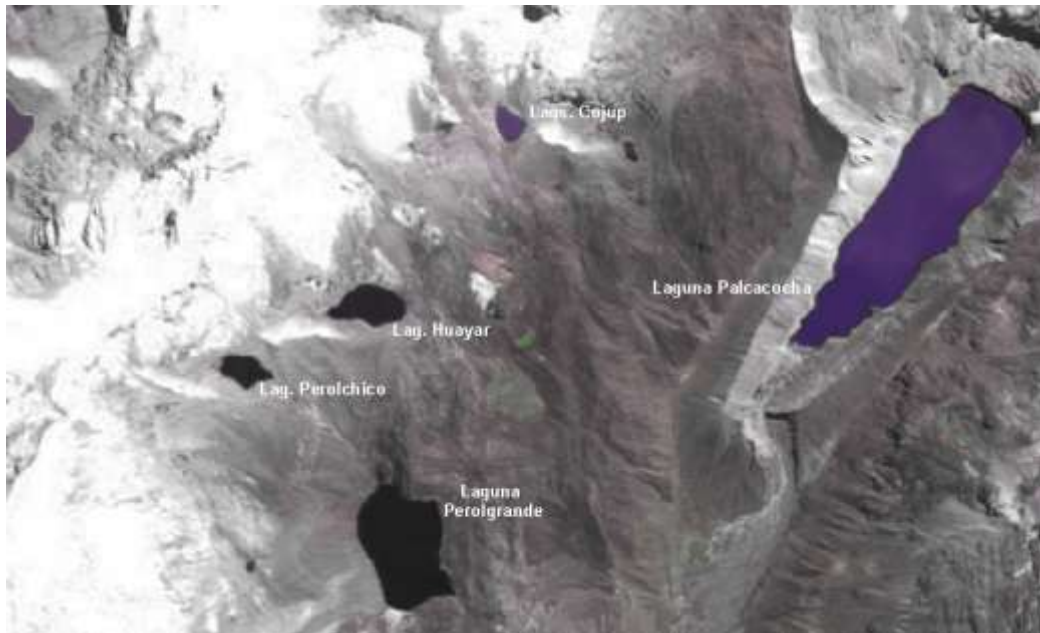


Figura 2.3: Lagunas que circundan a la de Palcacocha, los diques naturales de las lagunas son de material morrénico a excepción de la Laguna Perolgrande cuyo dique es rocoso.

Depósitos morrénicos: Estos depósitos son característicos de la sedimentación glacial que se producen por la acumulación de fragmentos de roca y arcilla (tillitas), transportados y depositados por un glaciar. Las morrenas forman crestas y lomas alargadas, se ubican en la zona del frente glacial. Dada la importancia de ésta unidad en la zona de estudio, se dividirá en dos sub-unidades.

Sub unidad de Depósitos Morrénicos de Fondo de Valle Glaciar: Se denomina depósitos morrénicos de fondo de valle glacial por estar ubicados al pie del circo glaciar de los nevados Palcaraju y Pucaranra. Estos depósitos están conformados por dos morrenas laterales, cuya confluencia forma una morrena central o frontal que tiene una forma lobulada. Ver fotos 2.3, 2.4, y 2.5

Estos depósitos están localizados por encima de los 4500 msnm albergando a la laguna Palcacocha.

La morrena lateral derecha tiene una extensión promedio de 2,28 km, y la morrena lateral izquierda tiene una extensión promedio de 1,70 km.

La morrena frontal presenta una forma lobulada, marcando así el límite del avance del hielo, para luego formar la laguna actual. En la actualidad ésta morrena presenta una abertura con un ancho promedio de 10 metros, producto del aluvión ocasionado el 13 de diciembre de 1941.



Foto 2.3: morrena lateral derecha.



Foto 2.4: Morrena lateral izquierda.



Foto 2.5: Vista de la morrena frontal en el fondo del valle glaciar; véase el flujo de detritos en la morrena frontal ocasionado por el represamiento de la laguna, así como la abertura del dique ocasionado por el aluvión en 1941.

Sub unidad de Depósitos Morrénicos Colgantes: Estas morrenas se encuentran tanto en las cercanías de la Laguna Palcacocha, como a lo largo del Valle Glaciar Cojup en las partes superiores de ambas laderas. Muchas de ellas forman sistemas morrénicos y la mayoría aun están en contacto con los nevados de Ishinca, Cojup, Choco, Pucagaga Punta y Nevado Huamanripa. Este tipo de morrenas son más inestables en relación a las morrenas de fondo de valle, debido a que están ubicadas en pendientes pronunciadas cerca de las cumbres de los flancos de los valles glaciares y albergan a numerosas lagunas las cuales descargan sus aguas mediante filtrado por “tubificación” en las morrenas.

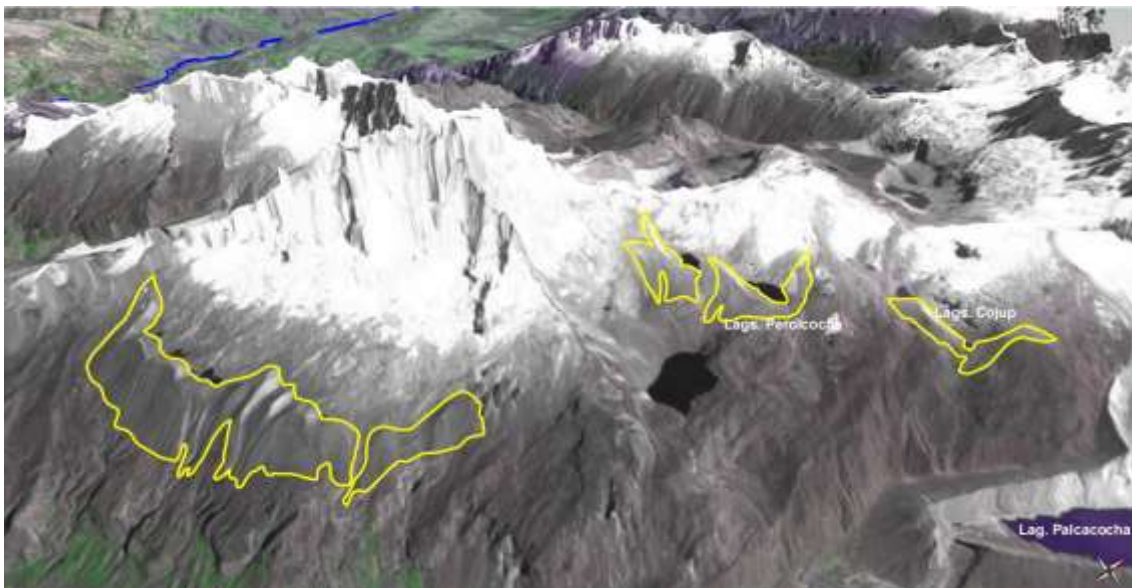


Figura 2.4: Imagen en 3D mostrando las morrenas colgantes en el valle glaciar Cojup, cercanas a las cumbres del valle glaciar.

Valle glaciar: El valle glaciar de Cojup, tiene una dirección NEE-SWW. Tiene una longitud aproximada de 14 km con una pendiente promedio de 5 a 15 grados. El valle glaciar presenta la forma de una “U” debido a la erosión glaciar y posterior aluvial. Encontramos material morrénico a los 4450 msnm, así como a los 3500 msnm producto de glaciares recientes y antiguos.

La erosión del valle glaciar de Cojup tiene un aspecto muy especial debido a que presenta una profundidad mayor de 50 metros en relación a los valles vecinos; muy aparte de la actividad tectónica que elevó a la Cordillera Blanca y que realizó la actividad erosiva en las partes altas y a la actividad glaciar, se debe principalmente al aluvión ocurrido en el año de 1941 (Vilímek y Zapata, 1998). Ver foto 2.6

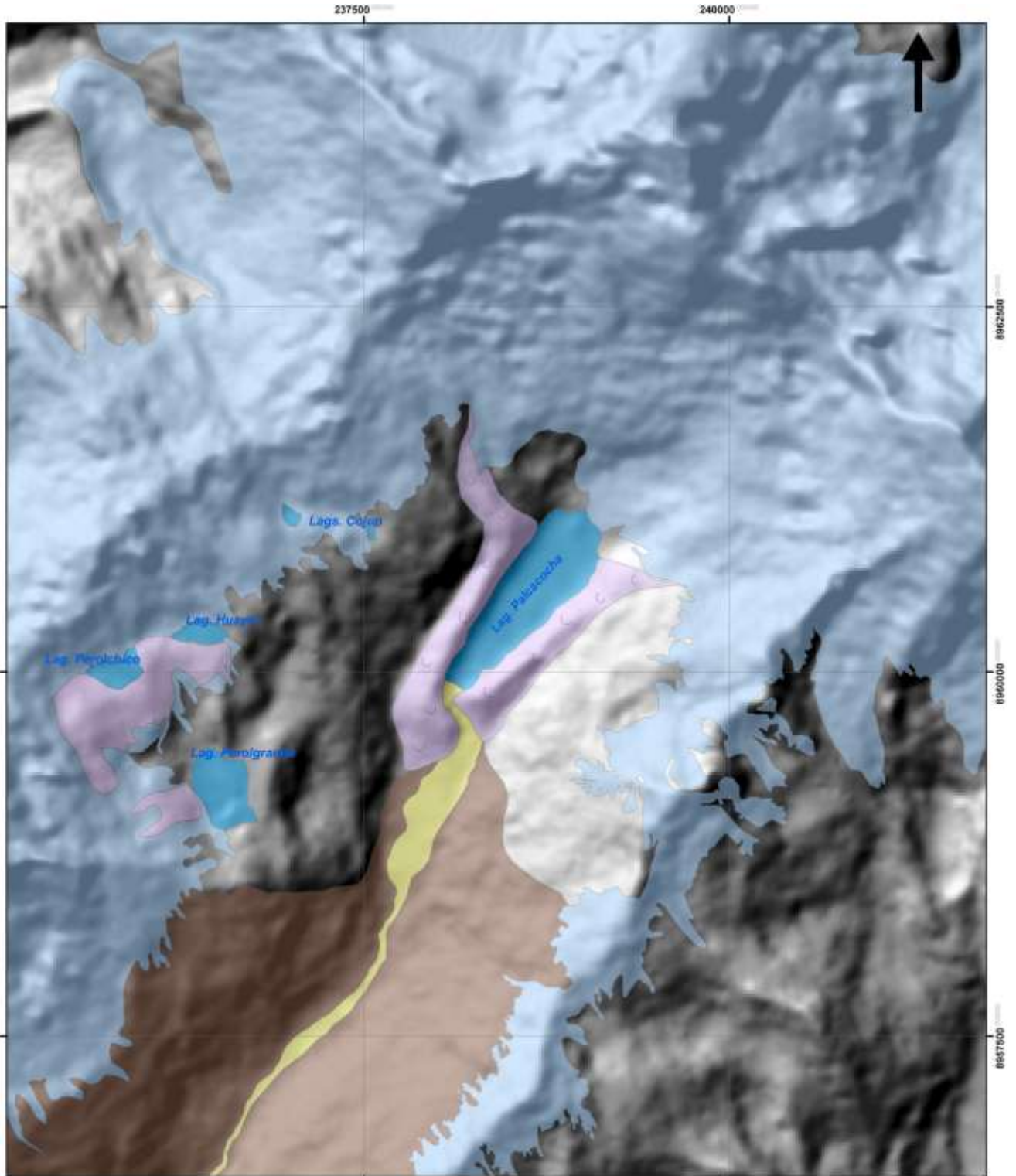




Foto 2.6: Valle Glaciar Cojup, muestra la forma en “U” típica de estos valles, debido a la erosión glaciar

Cono aluvial: Esta unidad se encuentra sobre los 4,450 msnm; nace de la desembocadura de la Laguna Palcacocha; el material del cono aluvial está comprendido por gravas, y limos como producto de antiguos y recientes aluviones debido a deslizamientos provenientes de las morrenas que contienen a la laguna o por caídas de bloques de hielo.



Foto 2.7: Cono aluvial de la laguna Palcacocha, muestra diferentes tamaños de bloques de rocas como consecuencia de aluviones antiguos y recientes.



LEYENDA	
	Depósito de flujo del Aluvión de 1941
	Lagunas
	Zona Glaciar
	Zona Periglaciar
	Morrenas de Fondo de Valle Glaciar
	Morrenas Colgantes



INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO

**MAPA GEOMORFOLÓGICO LOCAL -
LAGUNA PALCACOCHA**

Escala:  Metros

Mapa 1.1: Mapa geomorfológico del área de la laguna Palcacocha

CAPITULO III

ASPECTOS GEOLOGICOS

3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Los datos y términos descritos en el presente capítulo son tomados del boletín N° 60: Geología de los Cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari, por Wilson J., Reyes L. y Garayar J. elaborado por INGEMMET, 1967; así como del boletín N° 76: Geología de los Cuadrángulos de Huaráz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca, por Cobbing E., Sánchez A., Martínez W., Zárate H., elaborado por INGEMMET, 1996.

Formación Chicama: La Fm. Chicama consiste en grosores considerables de lutitas y areniscas finas, que afloran en muchas zonas de la Cordillera Blanca. Infrayace en discordancia paralela a la Fm. Oyón. Los grosores de ésta formación se estima entre 800 a 100 m. Las lutitas de la Fm. Chicama, que se intercalan con las areniscas, son piritosas con nódulos ferruginosos. La edad que se le asigna a ésta formación es titoniana (145.5 ± 4.0 M.A.).

Formación Oyón: Consiste en areniscas gris a gris oscuras, carbonosas, de grano fino a medio, intercaladas con limoarcillitas y limonitas gris oscuras. Esta formación sobreyace concordantemente a la Fm. Chicama y su límite inferior está definida por una transición gradacional, pasando de limoarcillitas a areniscas. La edad que se le asigna es el Neocomiano inferior (142.2 ± 4.0 M.A.).

Grupo Goyllarquizga: Las facies de plataformas del Gpo. Goyllarquizga, consiste en 50 – 350 m. de areniscas conglomerádicas, intercaladas con lutitas, que sobreyacen a todas las unidades anteriores en discordancia angular. El Gpo. Goyllarquizga sobreyace al granito paleozóico. La edad que se le asigna a éste grupo es Neocomiano – Aptiano. En el área afloran las siguientes formaciones:

Formación Santa: Consiste de 100 – 800 m. de calizas y arcillitas calcáreas que sobreyacen a la Fm. Chimú e infrayacen a la Fm. Carhuaz; ambos contactos con discordancia paralela. Se le atribuye una edad Valanginiana (140.2 ± 3.0).

Formación Carhuaz: Consiste aproximadamente 500 m. de areniscas y arcillitas en discordancia sobre la Fm. Santa, infrayace a la Fm. Farrat. La litología general de ésta formación, consiste de areniscas y cuarcitas finas marrones, en capas delgadas, con abundantes intercalaciones de arcillitas. La edad asignada para ésta formación es Valanginiano superior (± 133.9 M.A.).

Depósitos Cuaternarios: Sobreyacen a las unidades antes descritas, se encuentran depósitos cuaternarios, siendo los más importantes los fluvio-glaciares, que alcanzan su desarrollo máximo en los alrededores de la Cordillera Blanca; incluyen a los grupos de morrenas, extensos mantos de arenas y gravas.

Rocas intrusivas:

Batolito de la Cordillera Blanca: Está ubicado en la parte central de la Cordillera Occidental con un rumbo paralelo a las estructuras regionales, alcanza una longitud aproximada de 210 km y un ancho que varía entre 12 – 15 km. La litología predominante es granodiorita/tonalita de grano grueso, con desarrollo de foliación en algunos sectores.

En ciertas áreas, éste intrusito pasa gradualmente a una anfibolita producida por la contaminación del magma con el material derivado de la Fm. Chicama. La edad que se le asigna al Batolito de la Cordillera Blanca por el método K/Ar es del Mio-Plioceno, variando entre los 16 a 2.7 ± 0.4 M.A, con una agrupación de 9 M.A. (Stewart et al, 1974).

2.2 GEOLOGÍA LOCAL

En el mapa 3.1, se presenta el cartografiado geológico del área de la laguna Palcacocha.

Batolito de la Cordillera Blanca: La litología del Batolito de la Cordillera Blanca comprende rocas intrusivas como granodioritas y tonalitas de grano grueso.

El tipo de litología que presenta la zona de estudio, da origen a las numerosas escarpas que existe en el circo glaciar del nevado. Se presenta algunos diaclasamientos en diversos sectores, producto del fenómeno de deglaciación intensa, lo que origina desprendimientos de bloques y derrumbes no sólo al rededor de la laguna, sino también a lo largo de la quebrada Cojup. Ver foto 3.1



Foto 3.1: Bloques del Batolito de la Cordillera Blanca en la morrena lateral derecha. (Foto: Valderrama, 2008).

Formación Chicama: Esta formación se puede encontrar hacia el lado Este de la laguna Palcacocha, su litología está esencialmente compuesta por lutitas gris oscuras a negras, pizarrosas con intercalaciones delgadas de

areniscas. Debido a su litología, origina deslizamientos afectando la zona Este de la laguna Palcacocha. Ver foto 3.2



Foto 3.2: Izquierda: Morrena lateral izquierda, compuesta principalmente por clastos de la Fm. Chicama. Derecha: detalle de las pizarras.

Depósitos Superficiales: En el área de estudio los depósitos superficiales, por su situación, composición, morfología y grado de consolidación, son proclives a producir movimientos en masa que pueden representar alto riesgo para la seguridad de la ciudad de Huaraz.

Depósitos Aluviales: El depósito aluvial se localiza al pie de la laguna Palcacocha, formando un abanico aluvial; está constituido por el arrastre y depositación del material detrítico así como de gravas subangulosas a subredondeadas que se originaron por numerosos desembalses provenientes de la laguna, uno de estos eventos provocó la ruptura del dique morrénico frontal ocurrido el 13 de diciembre de 1941 (ver Cap.VI), por lo tanto el material es no consolidado. Ver foto 3.3

La composición de éste depósito proviene del Batolito de la Cordillera Blanca, así como de la Formación Chicama, el tamaño de grano es variable desde 3 cm, hasta bloques mayores a 1 metro. La pendiente que presenta éste depósito aluvial es aproximadamente de 6°.



Foto 3.3: Depósito aluvial al pie de las morrenas de la laguna Palcacocha.

Depósitos Morrénicos: Los depósitos morrénicos, tanto los de fondo de valle glaciar como las morrenas colgantes presentes en la zona de estudio, pertenecen a la edad holocena (0.01 M.A.); estos depósitos son producto de la acción y retroceso de los glaciares de los nevados. Las morrenas se caracterizan por ser carentes de estratificación y no ser muy consolidadas. Ver fotos 3.4 y 3.5

La composición en las morrenas de alta montaña tanto laterales como frontales son básicamente granítica pero guardan una cierta diferencia; así se tiene que la morrena lateral derecha presenta bloques de granito que son angulosos a subredondeados, con diámetros aproximados de 0.5 a 2 metros, envueltos en matriz de arena granítica gruesa, mientras que la morrena lateral izquierda está conformada por detritos y bloques también de granito pero acompañado de bloques de pizarras en una matriz areno arcillosa, variación debido a la presencia de pizarras de la Formación Chicama la cual data del Jurásico Superior (± 156 M.A.)



Foto 3.4: Morrena lateral izquierda, compuesta principalmente por pizarras y arcillas provenientes de la formación Chicama. Nótese las coloraciones marrones de las pizarras.



Foto 3.5: Morrena lateral derecha, compuesta exclusivamente por clastos de roca intrusiva del Batolito de la Cordillera Blanca.

Las morrenas colgantes que circundan a la laguna Palcacocha también guardan ciertas diferencias en su composición, mientras que las de lado derecho están compuestas por granito en forma detrítica, las de lado izquierdo están compuestas por material no sólo de granito sino también de pizarras, por la misma alteración de la Formación Chicama. Estos depósitos son los que representan un mayor peligro ya que por situarse en pendientes muy pronunciadas son más inestables que las morrenas de fondo de valle glaciario, propiciando así numerosos procesos geodinámicos.

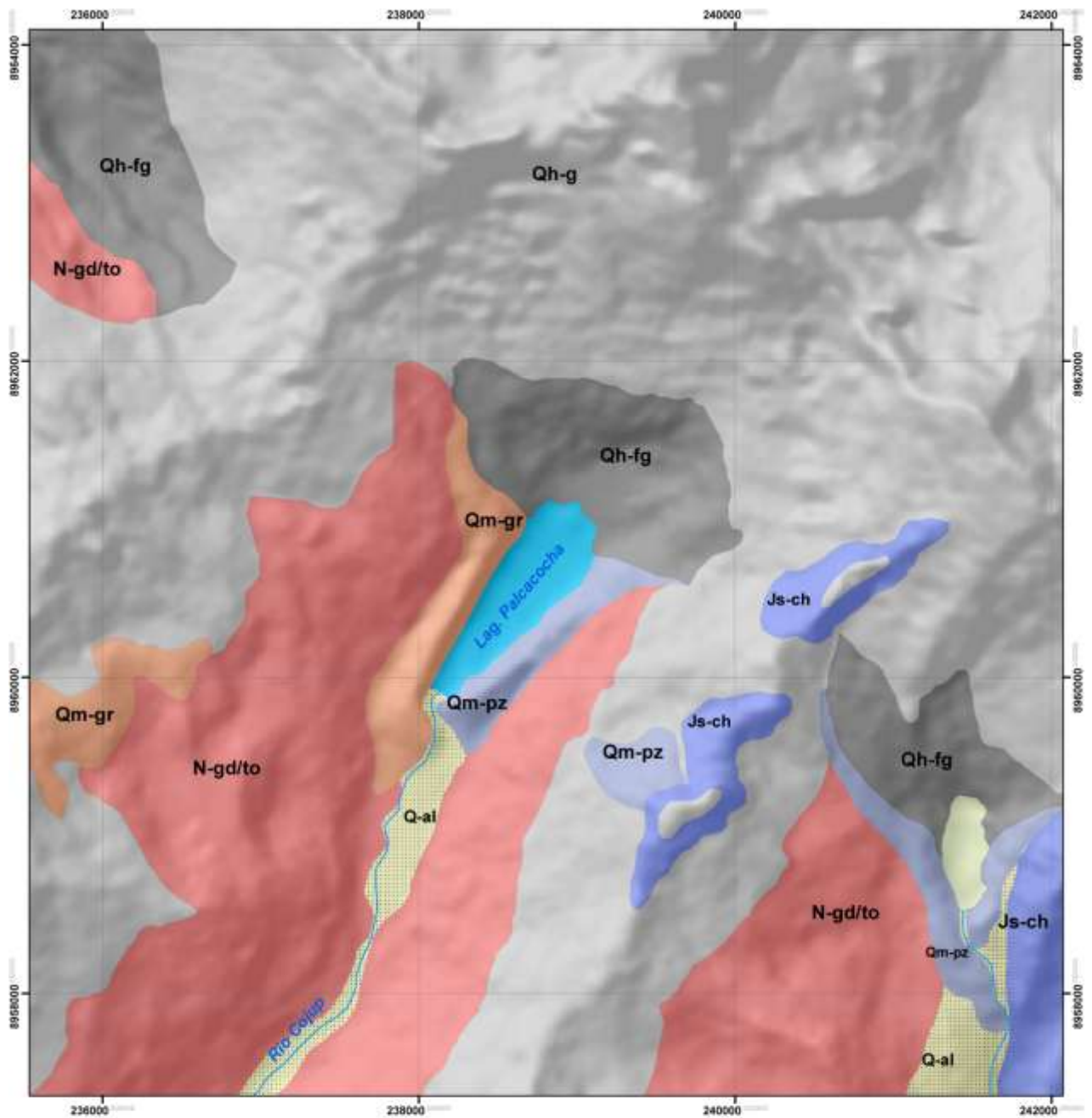
3.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Falla Activa de la Cordillera Blanca: La Falla de la Cordillera Blanca está formada por un sistema de fallas, descritas por DALMAYRAC (1974), COBBING, E. J. (1978). La falla ha proveído de canales para el emplazamiento de los plutones del Batolito de la Cordillera Blanca, es por ésta razón que ha penetrado profundamente en la corteza; tal vez de toda la corteza llegando al manto. Esta evidencia de la profundidad de penetración es apoyada por la actividad de fuentes termales a lo largo de la falla. El levantamiento durante el Neógeno del Batolito de la Cordillera Blanca, a lo largo de la línea de falla ha dado como resultado la actual expresión morfológica de la Cordillera Blanca, y también el desarrollo de un graben estructural en el lado oeste de la Cordillera Blanca, el cual llegó a ser la depresión donde se ha depositado material del Neógeno – Cuaternario, erosionado tanto de la Cordillera Blanca como de la Cordillera Negra. Ver foto 3.6

El movimiento a lo largo del sistema de fallas ha continuado en el Cuaternario de manera, que se ha desarrollado un sistema de fallas de echelón normal al pie de la Cordillera Blanca, involucrando graben cuaternario. La falla de la Cordillera Blanca es de tipo normal.



Foto 3.6: Vista aérea de la Falla activa de la Cordillera Blanca, obsérvese los múltiples saltos de falla



ERA	SISTEMA	SERIE	LITOLOGIA
CENOZÓICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos Glaciares
			Depósitos Fluvioglaciares
CENOZÓICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos aluviales
			Depósitos morrénicos de granito
			Depósitos morrénicos de pizarra
			Batolito de la Cordillera Blanca
			Fm. Chicama
MESOZÓICO	NEÓGENO		
MESOZÓICO	JURÁSICO	SUPERIOR	


 INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO

**MAPA GEOLOGIA LOCAL
LAGUNA PALCACOCHA**

Escala: 

Mapa 3.1: Geomorfología de la laguna de Palcacocha

CAPITULO IV

ASPECTOS GLACIARES

4.1 GLACIARES TROPICALES:

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. La Cordillera Blanca es uno de los más grandes depósitos glaciares de la zona tropical en el mundo representando el 43% de mayor concentración de hielo en el Perú, forma parte de la cordillera occidental, con una dirección NW-SE y es el principal abastecedor de agua dulce para el consumo de las ciudades que la circundan.

En los últimos 30 años los glaciares de la Cordillera Blanca, han experimentado un retroceso acelerado, debido al cambio climático global. Según los datos de las temperaturas de la superficie obtenidas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), confirman que durante el transcurso del siglo XX se ha registrado un aumento de 0.6 °C. La variación observada desde 1976 es aproximadamente tres veces superior a la de los últimos 100 años. De continuar la acentuación del efecto invernadero, el pronóstico para fines del presente siglo XXI, la temperatura ambiental puede incrementarse en el orden de 1.5 a 5.8 °C. (INRENA, 2007).

En 1970 la Cordillera Blanca tenía un área glaciár de 723.37 Km² (UGRH, 2008), y en 1997 se determinaron 611.48 Km² (INAGGA), teniéndose una pérdida del área glaciár de 111.89 Km² que representa el 15.46%. Estos deshielos originan la creación de numerosas lagunas debido a la fusión del hielo, muchas de ellas aun están en desarrollo, y son proclives a originar numerosos desembalses comprometiendo la seguridad de los poblados cercanos. Ver figura 4.1

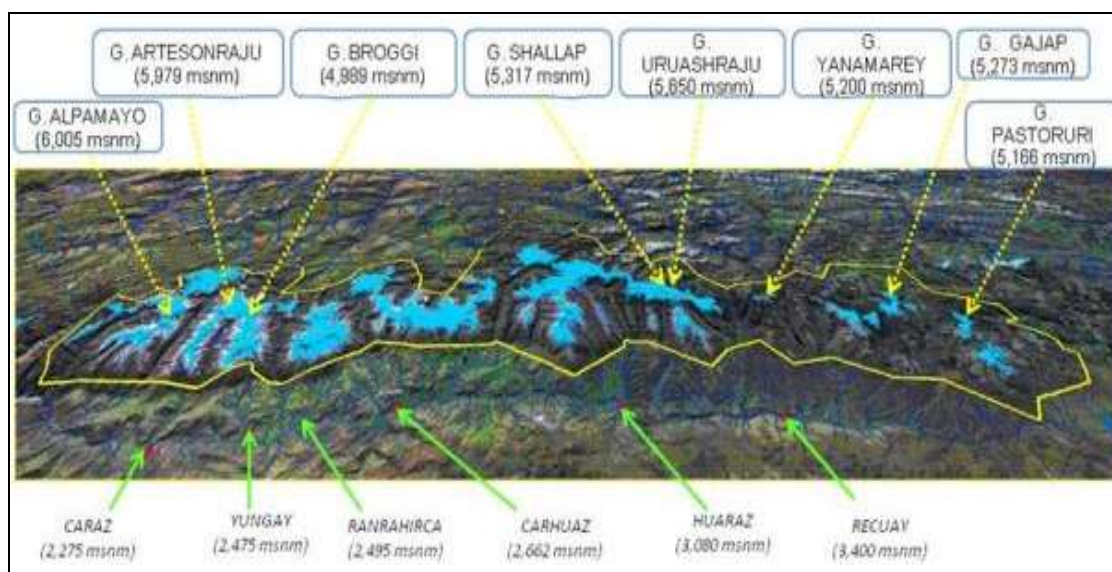


Figura 4.1: Evolución de los glaciares en la Cordillera Blanca. La línea amarilla representa el área de los glaciares de hace 30 años, el color celeste representa el área de los glaciares actuales. (Fuente: UGRH, 2008)

Dentro de la Cordillera Blanca hacia el flanco oeste se sitúa la Laguna Palcacocha, y como se refirió en el primer capítulo, es una de las principales fuentes de recurso hídrico para la ciudad de Huaraz. Sus aportadores principales son el Nevado Palcaraju y Pucaranra; así mismo la laguna constituye peligro potencial en la formación de movimientos en masa como aluviones de gran magnitud ya sea por efectos de desbordes naturales o por la ruptura del dique morrénico por causa de oleajes provocados por avalanchas y/o deslizamientos en sus morrenas, como lo sucedido en 1941.

4.2 EVOLUCIÓN GLACIAR DE LA LAGUNA PALCACOCHA:

La laguna Palcacocha, se originó del 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.

Las morrenas 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).

Mediante la ayuda de imágenes escaneadas del año 1932, fotografías aéreas del año 1948, imágenes satelitales spot a escala 1:5,000 del año 2007, así como fotografías antiguas y recientes tomadas el mes de Junio del 2009, se pudo realizar un esquema de la evolución glaciar que experimentó la Laguna Palcacocha. La fotografía del año de 1948 muestra un retroceso glaciar no muy severo, en comparación al que hubo en 1970 el cual tuvo un desarrollo mucho más pronunciado. Este retroceso de la lengua glaciar se debió a variaciones de temperatura. Según Hansen (1999) las variaciones de temperatura comenzaron a incrementarse en 0.7°C desde finales del siglo XIX; hubo un período de calentamiento en la tierra que duró de 1880 a 1940, seguido con un período de enfriamiento de 1940 a 1965, y nuevamente otro período de calentamiento que fue de 1965 a 1985 (Hansen y Lebedeff (1987) en Vilímek, et al, 2005). Sin embargo los Andes Peruanos experimentaron un incremento de temperatura de 3 a 5 °C entre los años de 1880 y 1940 (Evans y Clague (1994) en Vilímek, et al, 2005). Ver figuras 4.2, 4.3, y 4.4



Figura 4.2: Laguna Palcacocha en 1932, la lengua glaciar está en un periodo de desarrollo total, aún no hay fusión del glaciar. (Foto: H. Kinzl)

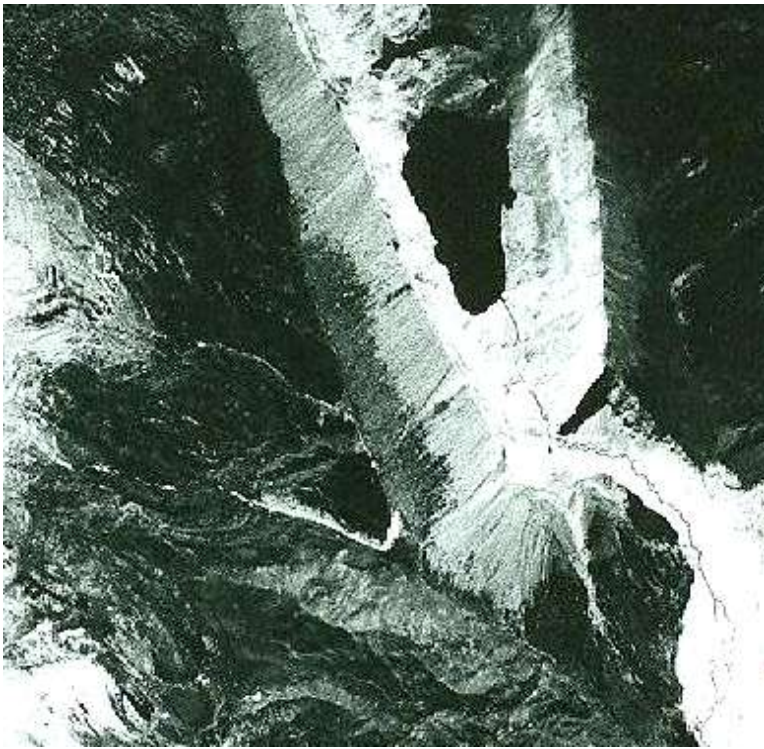


Figura 4.3: Fotografía aérea tomada en 1948, muestra la evolución de la lengua glaciar de la laguna Palcacocha (Foto: Servicio Aerofotográfico Nacional, SAN)



Figura 4.4: Imagen Spot de la Laguna Palcacocha, 2007.

En base a fotografías tomadas por H. Kinzli en 1932, se estima que el nivel de agua llegaba a los 4610 m.s.n.m. antes del evento de 1941, en la actualidad ésta laguna presenta un nivel de agua del orden de 4563 m.s.n.m. (Zapata et al. 2004). Según algunos estudios anteriores realizados en la zona de estudio se presume que el volumen de la laguna antes del evento de 1941 llegaba entre 9`000,000 y 11`000,000 m³. (Vilímek et al, 2005). Ver figura 4.5

En el año de 1948 a 1970 el retroceso de la lengua glaciar fue en un estimado de 20%; que no fue muy severo debido al período de enfriamiento. Del año de 1970 a 1984 el retroceso aumentó en un 25% en sólo catorce años, para el año de 1999 el retroceso glaciar fue en un estimado de 25%, el 2003 se tiene casi la totalidad del retroceso glaciar. Por último el esquema en la figura 4.5 muestra una regresión casi en su totalidad para los años 2008 y 2009 a pesar de que la laguna sigue en contacto con la lengua glaciar pero en forma mínima, debido a un nuevo periodo de calentamiento.

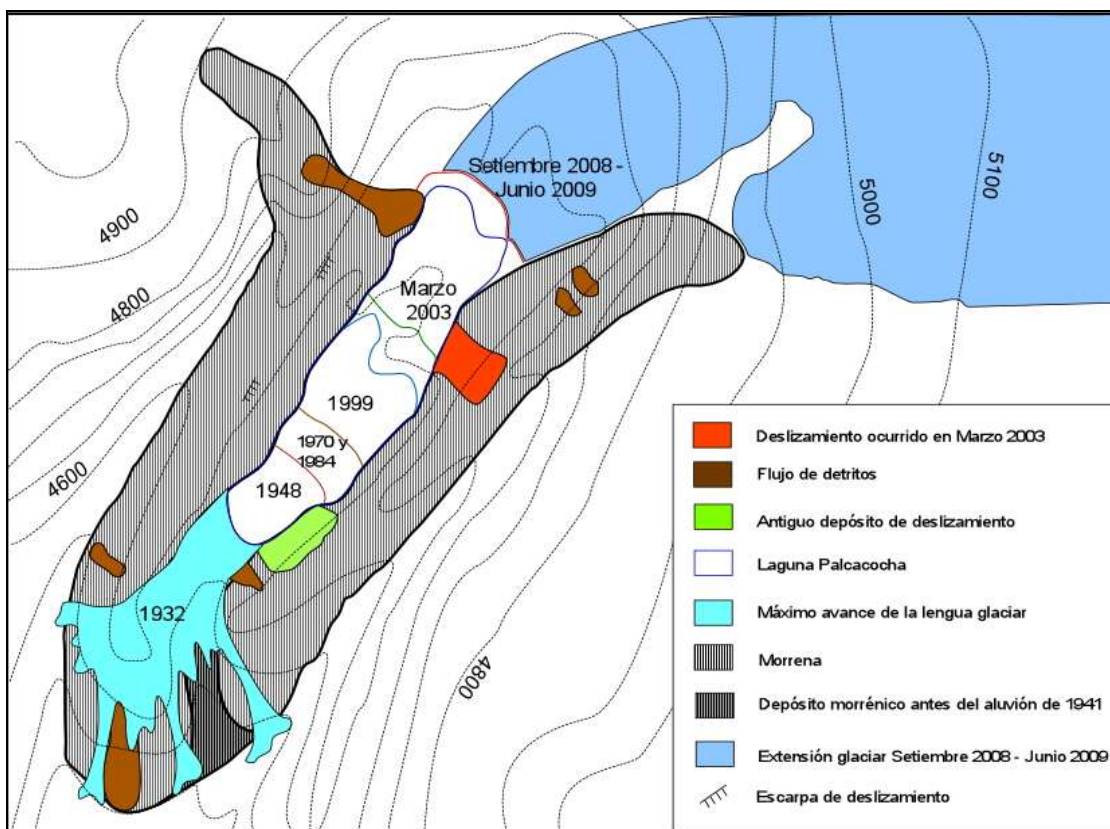


Figura 4.5: Evolución Glaciar de la Laguna Palcacocha, se muestra el retroceso entre los años 1932 y 2008, basados en los resultados de las fotos aéreas, imágenes satelitales. (Modificado de Vilímek, et. al 2005).

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

pequeña era de hielo. El aumento de la temperatura sólo es una de las causas del retroceso glaciar. (Vílimek, 2005). Ver figura 4.6 y foto 4.1



Figura 4.6: Vista de frente de la laguna Palcacocha en Septiembre de 2004 mostrando el retroceso glaciar en la laguna. La lengua glaciar proveniente del Nvdo. Pucaranra aún sigue en contacto con la laguna. (Foto: Z. Patzelt 2004).



Foto 4.1: Vista de la Laguna Palcacocha, tomada en Junio 2009. Nótese la regresión en el frente glaciar con respecto a la figura anterior.

CAPITULO V

PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos que se desarrollan en las morrenas laterales como en la morrena frontal de la Laguna Palcacocha son de tipo movimientos en masa. Identificándose caídas de rocas, derrumbes, avalanchas y deslizamientos.

Para el desarrollo del presente capítulo se dará a conocer algunos conceptos básicos acerca de los movimientos en masa.

5.1 MOVIMIENTOS EN MASA:

El termino movimiento en masa incluye todos aquellos movimientos ladera debajo de una masa rocosa, de detrito o de tierra por efectos de la gravedad (Cruden, 1991). Tomado de Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA:GCA, 2007).

Los Movimientos en masa son parte de los grandes desastres que ocurren anualmente en todo el mundo y cuya frecuencia va en aumento. Lo más probable es que se subestime el número de muertes provocadas por deslizamientos y/o aludes, avalanchas, en casos de eventos secundarios, pues las estadísticas mayormente cubren los desastres principales como terremotos e inundaciones. Se puede citar como ejemplos las avalanchas de lodo y detritos que se produjeron en Yungay en 1970, Ranrahirca 1962 y 1970, Venezuela en diciembre de 1999, que provocaron cerca de 20 mil víctimas, y el terremoto del 2001 en El Salvador, en que un solo deslizamiento causó la muerte a 600 personas; los deslizamientos en el valle del Colca, valle sagrado del Cusco, Carretera Central, etc.

Clasificación de Movimientos en Masa:

Caída de Rocas (Detritos): Es la separación, caída, rodamiento, y rebote de fragmentos de roca o suelo. 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.

Deslizamiento de detritos: Movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un flujo pero que en principio se origina en otro movimiento como un deslizamiento o caída. Hungr et al (2001) los clasifican de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral y otras características que los hacen distinguibles.

Flujo de Detritos: Flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados no plásticos a lo largo de un canal empinado (Índice de plasticidad menor al 5% de arenas y fracciones más finas) (Hungr et al, 2001)

Flujo de lodo: Flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos, cuyo contenido de agua es significativamente mayor al del material fuente (Índice de Plasticidad > 5%) (Hungr et al, 2001).

Avalancha de Hielo: Cuando el lecho de un glaciar sufre una pendiente pronunciada, la velocidad puede triplicarse durante algunos metros, este repentino cambio de velocidad provoca en la superficie una serie de grietas entrecortadas y muy inclinadas que forman una compleja acumulación de bloques llamados “seracs” cuyo equilibrio es inestable. Mínimas alteraciones producidas por la erosión eólica, pluvial o climática pueden hacer que estos muros de hielo se derrumben.

Avalancha de detritos: Flujo no canalizado de detritos saturados o parcialmente saturados, poco profundo, muy rápido a extremadamente rápido (Hungry, et al, 2001).

Avalancha de rocas: Movimiento tipo flujo extremadamente rápido y masivo de roca fragmentada proveniente de un gran deslizamiento o caída de roca (Hungry et al, 2001).

Otros peligros:

Cárcavas: Las cárcavas, las cuales son definidas como zanjas más o menos profundas originadas por el socavamiento repetido sobre el terreno debido al flujo incontrolado del agua que escurre ladera abajo (agua de escorrentía).

Agrietamiento (cracking): Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

Grietas de Hielo: Las grietas de hielo se producen, por las fuerzas de tensión y compresión que se producen en el hielo, así como al cambio de pendiente que pueden sufrir los glaciares, en nuestro caso las lenguas glaciares. Estas grietas pueden ser rellenadas por agua proveniente de la fusión del hielo o por precipitaciones pluviales, así como por material detrítico que sólo hacen más que aumentar la separación del hielo.

5.2 PELIGROS GEOLÓGICOS QUE AFECTAN LA LAGUNA PALCACOCHA.

Las morrenas de la laguna Palcacocha son depósitos glaciares compuestos por bloques aislados de hasta 2.00 m de diámetro, cantos y gravas, con clastos sub redondeados a sub angulosos de naturaleza granítica y granítica /pizarras; en una matriz areno limoso y areno arcilloso (morrena lateral derecha e izquierda respectivamente); medianamente consolidados a inconsolidados, susceptibles a movimientos en masa y erosión.

Avalancha de Hielo:

Las avalanchas de hielo se producen debido a la fragilidad del casco glaciar, pueden caer en forma de bloques, pudiendo variar las dimensiones de éste movimiento con dirección a la laguna Palcacocha, ocasionando en algunos casos olas de tsunami influenciando así en la inestabilidad de las morrenas, sobre todo en las laterales. Estas avalanchas de hielo provienen de los nevados Palcaraju y Pucaranra.



Foto 5.1: Avalancha de hielo de mediana escala, en dirección a la Laguna Palcacocha.

Grietas de Hielo:

Estas grietas se ubican en la lengua glaciár de los nevados Palcaraju y Pucaranra. 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 glaciár 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 glaciár, para luego fusionarse.



Foto 5.2: Grietas de Hielo en la lengua glaciár que aún está en contacto con la laguna. (Foto: Valderrama, 2008)

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.



Foto 5.3: Flujo de detritos en la morrena frontal.

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.



Foto 5.4: Morrena lateral izquierda, se aprecia las acumulaciones de caídas de detritos y bloques. (Foto: Valderrama, 2008).

Avalancha de Rocas y Detritos:

La avalancha de rocas y detritos se observan en la morrena lateral izquierda, el cual fue producido por las filtraciones de agua producto de las precipitaciones pluviales, 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.



Foto 5.5: Deslizamiento - avalancha de rocas y detritos producto de las infiltraciones por precipitaciones pluviales en el mes de Marzo del 2003.

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. Estas cárcavas pueden ser superficiales o ligeramente profundas. Se pueden observar mejor en la morrena lateral derecha.



Foto 5.6: Cárcavas relativamente profundas en la morrena lateral derecha.

En conclusión, 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 las avalanchas de detritos, caídas de detritos y deslizamientos.

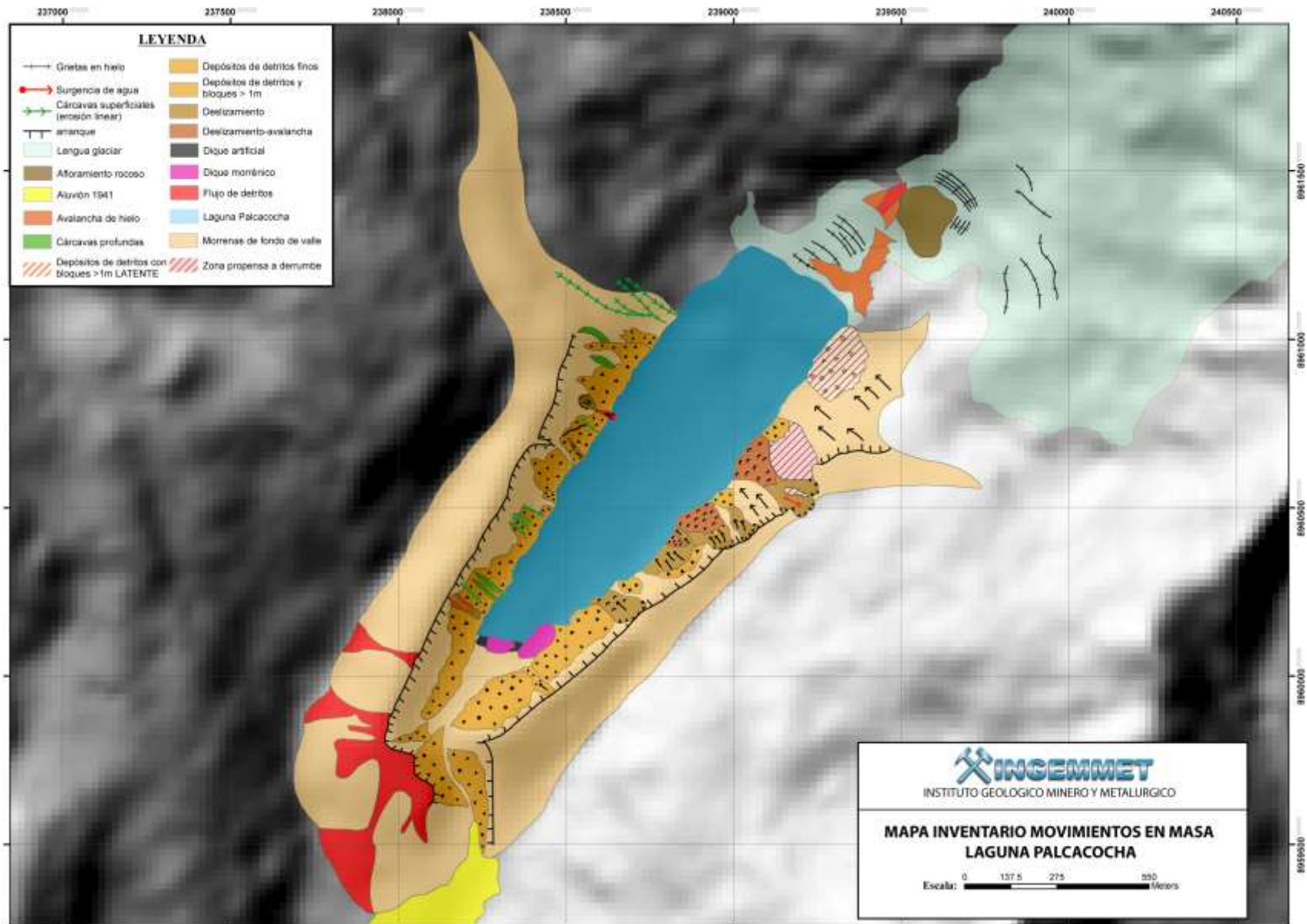


Figura 5.1: Vista panorámica de la geodinámica desarrollada en la morrena lateral derecha (Foto: Valderrama 2008).



Foto N° 5.7: Vista panorámica de la geodinámica que se desarrolla en la morrena lateral izquierda.

El resultado de los trabajos de campo y la interpretación de los movimientos en masas que ocurren en las morrenas laterales de la laguna Palcacocha, se muestran en el mapa 5.1.



Mapa 5.1: inventario de movimientos en masa en el área de la laguna de Palcacocha

5.3 PELIGRO SÍSMICO¹

El territorio peruano se presenta muy accidentado debido principalmente al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana. Este proceso da origen a un gran número de sismos de diferentes magnitudes con focos a diversos niveles de profundidad y que han producido en superficie distintos grados de destrucción. Estos sismos son parte de la principal fuente sismogénica en razón a que en ella se han producido los sismos de mayor tamaño conocidos en Perú. Una segunda fuente la constituye la zona continental cuya deformación ha provocado la formación de fallas de diversas longitudes con la consecuente ocurrencia de sismos de magnitudes menores en tamaño a los que se producen en la primera fuente (Cahill e Isacks, 1992; Tavera y Buforn, 2001).

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.

En este apartado se presentan los resultados de la revisión y análisis de la sismicidad histórica e instrumental presente en la Región Ancash. El número de sismos presentes en esta región nos permitió realizar estimaciones de las aceleraciones máximas esperadas para un periodo de 50 años, así como conocer las posibles intensidades que podrían afectar a las distintas localidades de su entorno, contribuyendo de esta manera a la zonificación del peligro sísmico de la región.

Historia sísmica de la región Ancash

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. Los sismos registrados se señalan en el Cuadro 5.1, apreciándose que las máximas intensidades evaluadas para la región Ancash oscilaron entre VI y X en la escala de Mercalli Modificada.

Para la mayoría de los sismos descritos en el Cuadro 5.1, 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 (Figura 5.2).

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.

¹ Tomado de Riesgo Geológico en la región Ancash (INGEMMET, 2009)

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.

CUADRO 5.1
DATOS MACROSÍSMICOS EN LA REGIÓN ANCASH

FECHA	INTENSIDAD	LOCALIDADES AFECTADAS
1725-01-06	VII	Yungay, Trujillo
1932-01-19	V - VII	Lima
1946-11-10	VII	Pallasca, Pomabamba
1947-11-01	VIII	Satipo
1948-02-14	VII	Quiches
1956-02-17	VII	Chimbote
1956-02-17	VI	Callejón de Huaylas
1955-02-09	VI	Lima
1961-07-03	VI	Chimbote
1963-09-24	V - VI	Cordillera Negra
1966-10-17	VIII	Lima
1970-05-31	V - VI	Callejón de Huaylas: Huaráz, Yungay; zona costera: Casma, Huarmey, Chimbote, etc.
1971-05-05	VI	Sihuas-San Miguel

Fuente: Silgado, 1978; IGP, 2005.

Distribución de máximas intensidades sísmicas

Las intensidades de los sismos que asolaron a la Región Ancash oscilaron entre VI y X (MM), siendo los más importantes los que ocurrieron frente a la línea de costa de la ciudad de Chimbote y Casma y en la parte continental en los años 1725, 1946, 1948, 1956, 1970 y 1971.

En la Figura 5.3, se presenta el Mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas (Alva y Meneses, 1984), elaborado como parte del proyecto SISRA a cargo del Centro Regional de Sismología para América del Perú y el Caribe (CERESIS, 1985). Se observa que prevalecen las intensidades máximas que son del orden de VIII (MM), y además dos sectores de distribuciones de intensidades sísmicas máximas altas: una frente a las costas de Chimbote y Casma, y la otra al sur de Huarmey. El resto del área se caracteriza por presentar intensidades del orden de VII y VI (MM), estando las mismas enmarcadas en la cordillera Occidental. Se ha denotado un sector de carácter local con valor extremo en la parte noreste de la región.

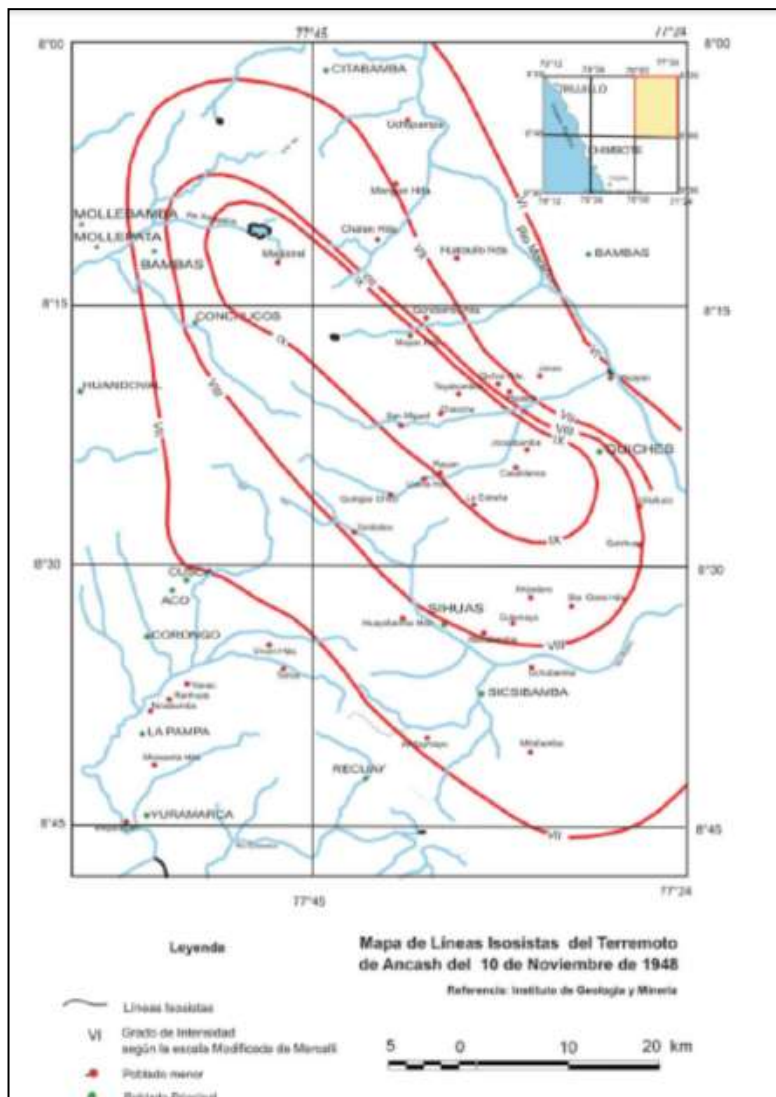


Figura 5.2: Líneas isosistas del terremoto de Ancash del 10 de noviembre de 1946.

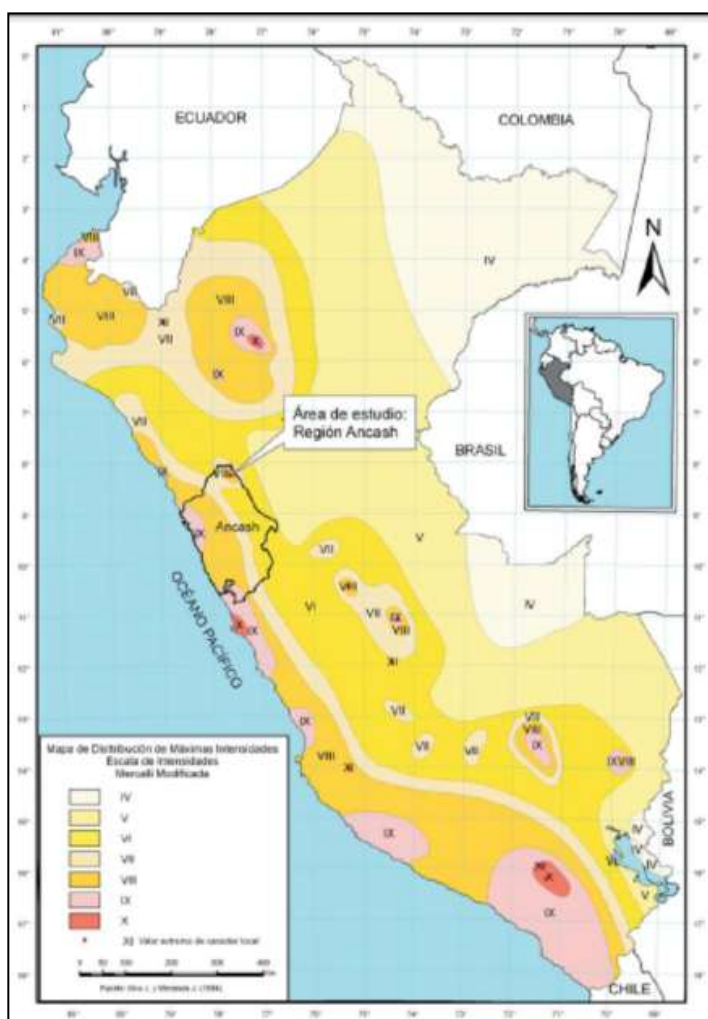


Figura 5.3: Distribución de máximas intensidades sísmicas.

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 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 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 sinistral. 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 (Foto 5.8). Esta falla se localiza muy cerca de la laguna de Palcacocha



Foto 5.8: Vista del salto de la Falla de la Cordillera Blanca entre los valles glaciares de Llaca y Cojup. (Foto: Valderrama, 2008)

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 (Foto 5.9). 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.



Foto 5.9: Vista del plano de ruptura de la falla de Quiches originada el 10 de noviembre de 1946 (Tomada de Heim, 1949).

Distribución espacial de sismos

Para el análisis de la distribución espacial de los sismos ocurridos en Perú se ha utilizado la base de datos históricos e instrumental del IGP que considera los sismos de los años 1500 a 2005. Según el mapa de la Figura 5.4 se diferencian sismos: superficiales ($h < 60$ km), intermedios ($61 < h < 300$ km) y profundos ($h > 300$ km), y su distribución espacial muestra que los superficiales ocurren frente a la línea de costa del departamento de Ancash. Sismos con el mismo rango de magnitud también están presentes en el interior del continente.

Los sismos con foco superficial ($H < 60$ Km) se distribuyen entre la fosa y la línea de costa de manera irregular formando pequeños agrupamientos. En general, en la región norte los sismos tienden a localizarse a mayor distancia de la costa; mientras que en la región centro el número de sismos es mayor frente a la costa del departamento de Ancash ($9,5^{\circ}$ - 11° Sur), debido probablemente a la llegada de la Fractura de Mendaña (Tavera et al., 2005). En esta región la historia sísmica indica la ocurrencia de varios sismos de magnitud elevada, siendo los más catastróficos los ocurridos en 1970 (Ancash) y 1974 (Lima), ambos con magnitudes de 6,4 y 6,2 Mb respectivamente.

Estudio sísmico probabilístico

A fin de conocer las aceleraciones máximas producidas por un sismo que pudiera ocurrir en el futuro en la región Ancash, se ha evaluado el peligro sísmico utilizando la base de datos del Catálogo Sísmico del IGP, la ley de atenuación (Casaverde y Vargas, 1980), y las fuentes sismogénicas definidas por Zamudio y Tavera (2004). Para el cálculo de las aceleraciones máximas se utilizó del programa Risk III (McGuire, 1999).

Se prepararon los mapas de aceleraciones máximas para periodos de retorno de 30, 50 y 100 años con un 10% de excedencia. En ellos se observa que las aceleraciones mayores, para el caso de 30 años, se presentan a lo largo del borde occidental de la región Ancash y disminuyen conforme se avanza hacia el este.

La distribución de aceleraciones máximas para 10% de excedencia en 30 años oscila entre 268 a 329 gals (Mapa 5.2), mientras que para 50 años de vida útil varían de 295 a 371 gals (Mapa 5.3), y para 100 años varían de 335 a 432 gals (Mapa 5.4).

En los tres mapas se observa que las aceleraciones mayores se presentan a lo largo del borde occidental de la región, en tanto que hacia el este las aceleraciones disminuyen gradualmente. Estos resultados muestran que las áreas más propensas a soportar aceleraciones importantes se encuentran en el sector oeste, cerca de la línea de costa, siendo coherente con el importante número de sismos que ocurren en dicha área.

El rápido decaimiento de los valores de aceleración se debe, por una parte, a que el número de sismos que ocurren en el continente disminuye así como la participación de la cordillera andina como un elemento atenuador de la energía liberada por los sismos que ocurren en la zona de subducción.

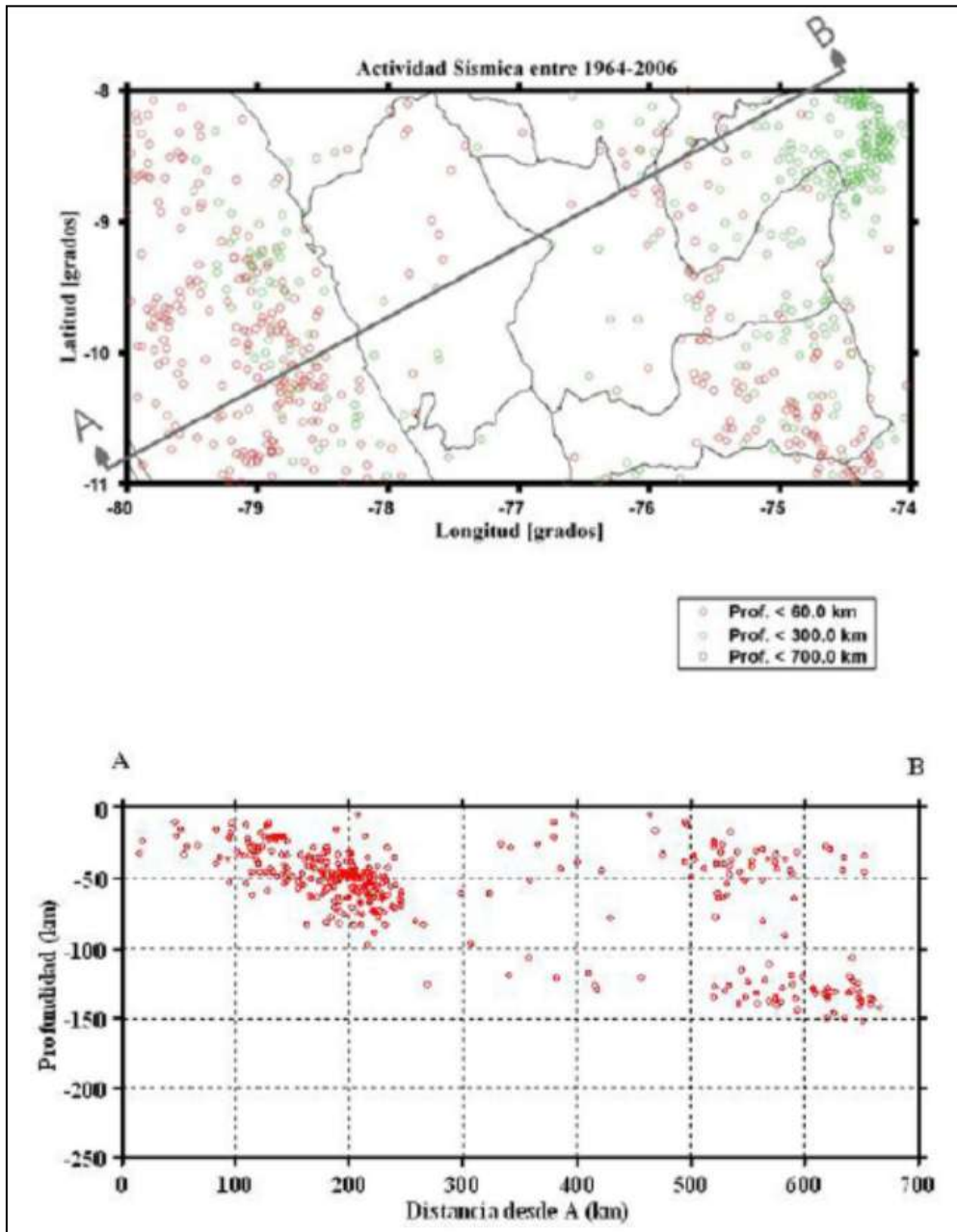
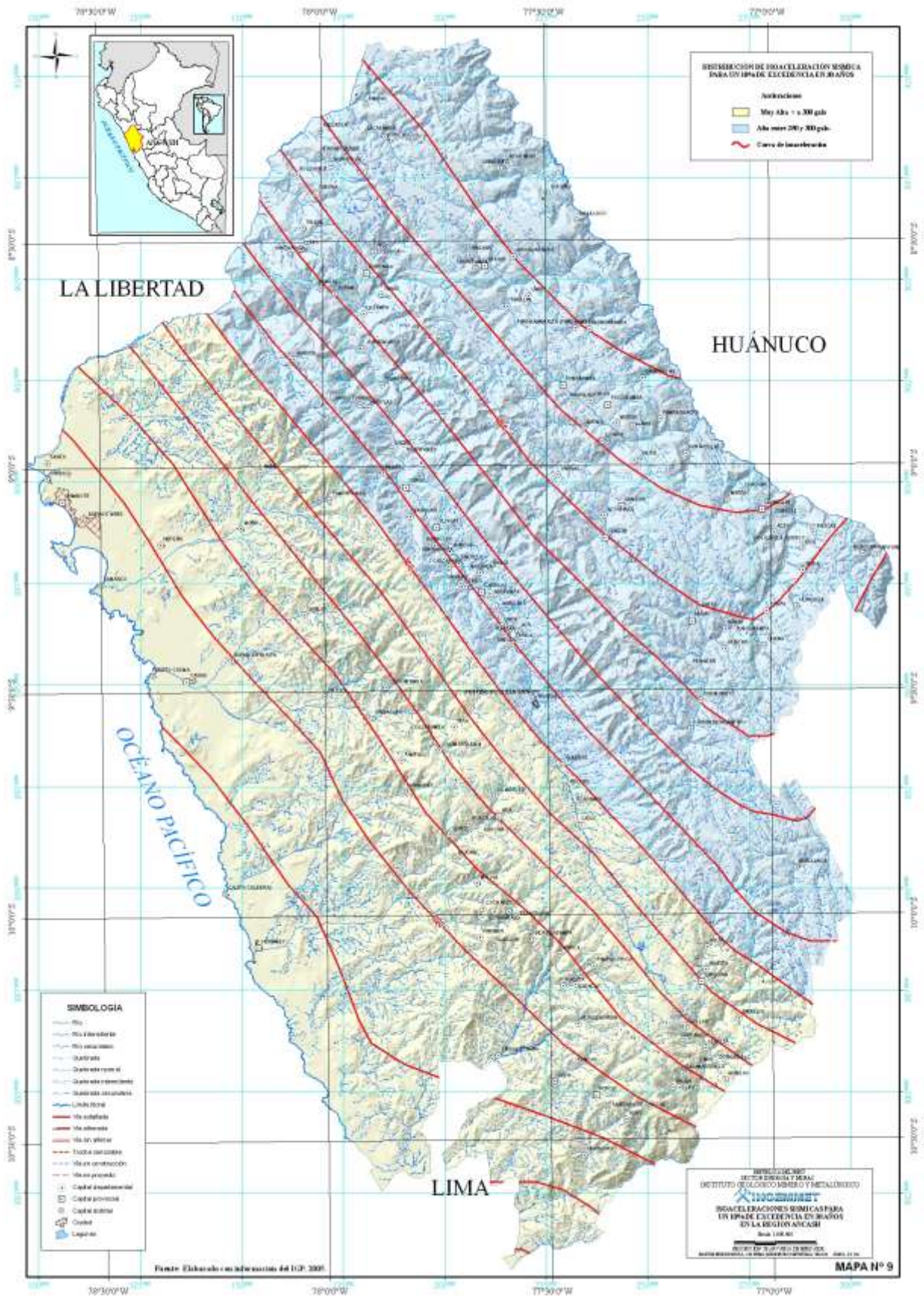
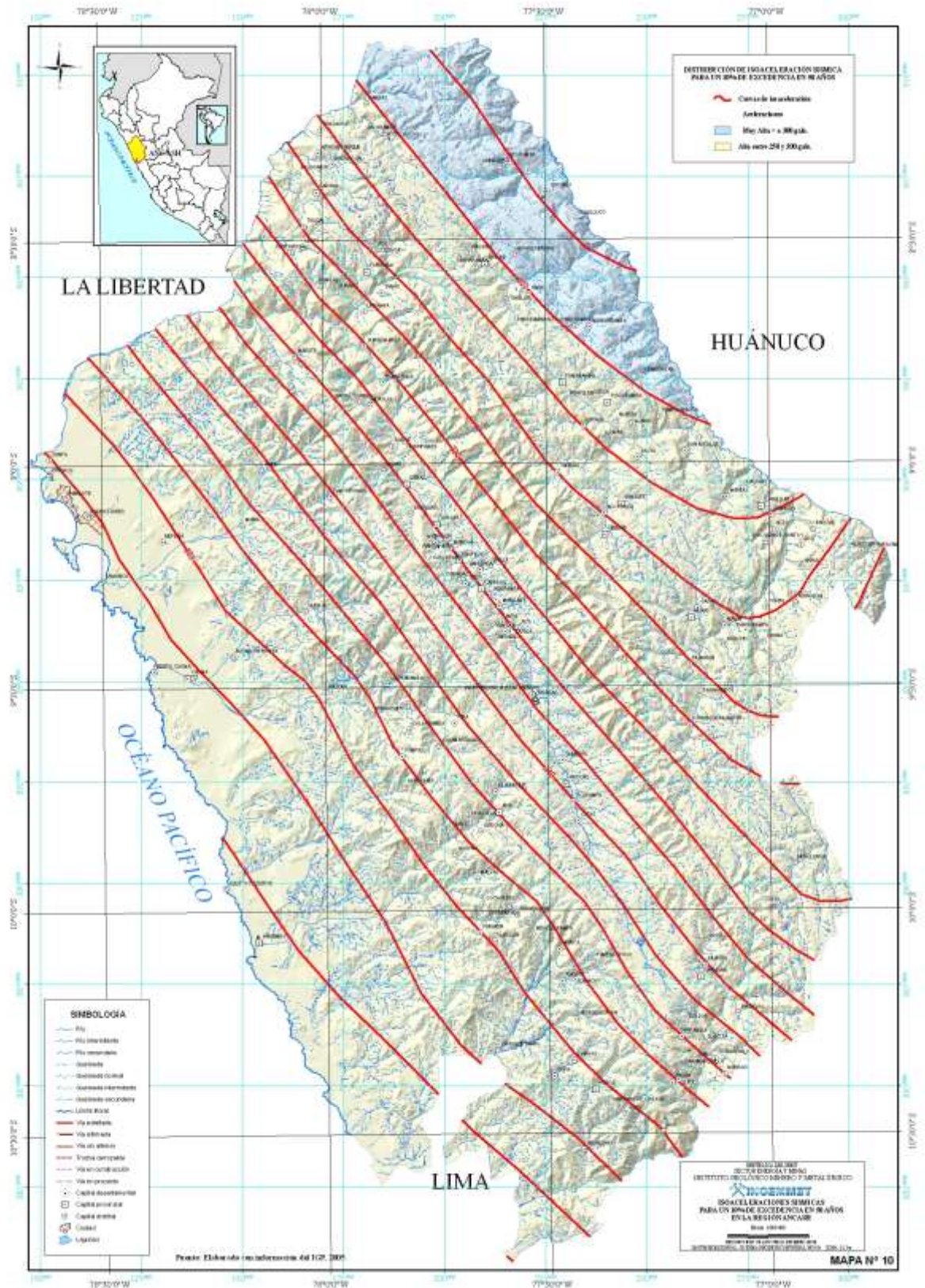


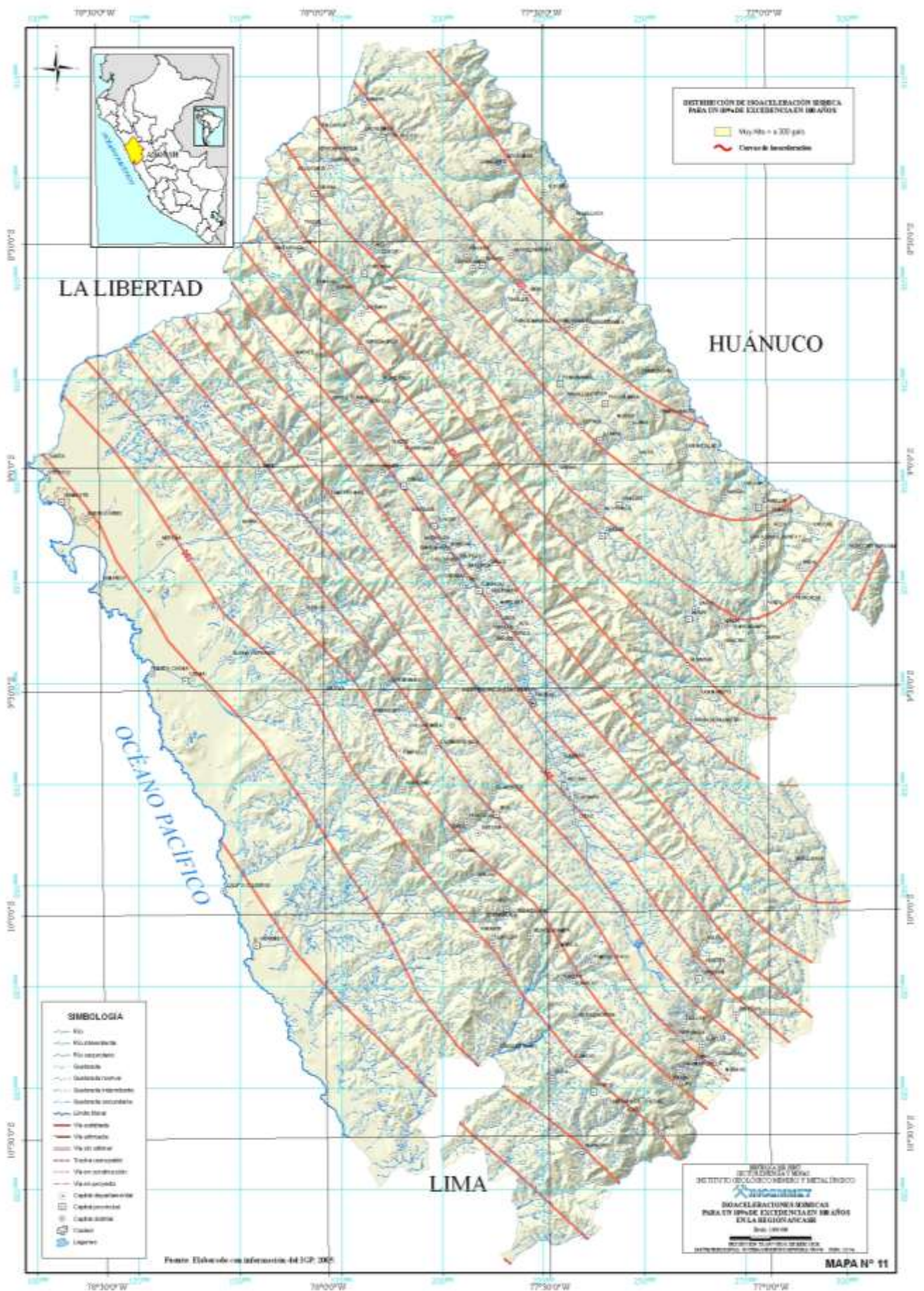
Figura 5.4. Distribución de sismos con influencia en la región Ancash y sección sísmica transversal SO-NE (Fuente: Instituto Geofísico del Perú, 2005)



Mapa 5.2: Isoaceleraciones sísmicas para un 10% de excedencia en 30 años



Mapa 5.3: Isoaceleraciones sísmicas para un 10% de excedencia en 50 años



Mapa 5.4: Isoaceleraciones sísmicas para un 10% de excedencia en 100 años

Zonificación y aceleraciones máximas

Los diversos estudios de sismicidad que existen a la fecha sirvieron como base para que Alva (1999) elabore el Mapa de Zonificación Sísmica para el Perú Norma sismorresistente NTE-030-97 (MTC/SENCICO, 1997), que es utilizado actualmente en el Reglamento de Construcción Sísmica (Figura 5.5). El país ha sido dividido en tres zonas de ocurrencia de sismos: Zona 3 con sismicidad alta, donde los sismos de intensidad alta son más frecuentes; Zona 2 con sismicidad intermedia, donde la ocurrencia de sismos de intensidad elevada es moderada, y Zona 1 donde los sismos de intensidad fuerte no son muy frecuentes.

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), que se presenta en el Cuadro 5.2, le corresponde una categoría de alta a muy alta.

CUADRO 5.2
CLASIFICACION DEL FACTOR DETONANTE (SISMICIDAD)

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	VALOR ASIGNADO
Baja	Se espera un AMH menor de 210 gals	1
Moderadamente Alta	Se espera un AMH entre 210-250 gals	2
Alta	Se espera un AMH entre 250-290 gals	3
Muy alta	Se espera un AMH mayor de 300 gals	4

AMH: Aceleraciones máximas alcanzadas por sismos con magnitudes mayores a 4.

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.

Asimismo en la Figura 5.6 se presenta la curva de peligro sísmico que muestra la probabilidad de ocurrencia de aceleraciones máximas y sismos de gran magnitud en la ciudad de Huaraz. De dicha figura se deduce que en esta zona se produciría una aceleración máxima de 530 gals con una probabilidad de 0,002%, siendo el periodo medio de retorno del sismo que produce dicha aceleración de 900 años. Aceleraciones del orden de 273 gals se producirían con un porcentaje de 0,05% con periodos de tiempo de 60 años en promedio.



Figura 5.5. Mapa de zonificación sísmica de Perú

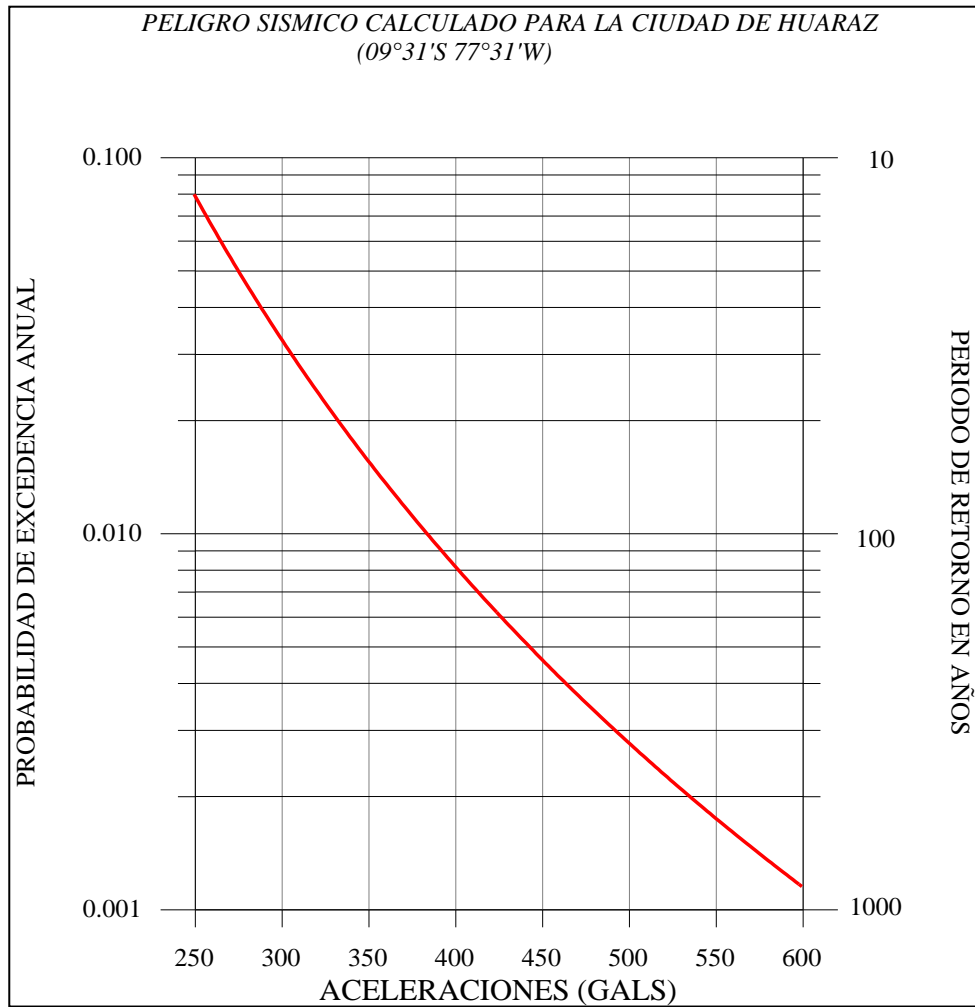


Figura 5.6. Curva de peligro sísmico calculada para la ciudad de Huaraz.

CAPITULO VI

PROSPECCIÓN GEOFISICA EN LAS MORRENAS DE LA LAGUNA DE PALCACOCHA

Debido a la peligrosidad de la laguna Palcacocha, su ubicación al pié de los glaciares de la Cordillera Blanca y su registro histórico de movimientos en masa (flujos de detritos / aluvines), se realizaron estos estudios.

Se decidió por el método geofísico de Ground Penetrating Radar (GPR) por ser de fácil utilización para el tipo de morfología, visualización simple, portabilidad y con capacidad de ubicar zonas de fracturas.

6.1 GROUND PENETRATING RADAR (GPR):

Es un método geofísico de avanzada tecnología, que usa pulsos de radar para mostrar el subsuelo. Este método no destructivo utiliza radiaciones electromagnéticas en las pequeñas bandas de frecuencia UHF/VHF del espectro de radio, detectando las señales reflejadas de las estructuras sub superficiales. Ver figura 6.1

Utiliza antenas de transmisión y recepción de alta frecuencia: 50, 100 y 200 MHz; las antenas de transmisión irradian pequeños pulsos de alta frecuencia de ondas de radio (usualmente polarizada) en el terreno. Ver figura 6.2

Cuando las ondas chocan con objetos enterrados o con un límite con diferente constante dieléctrica, la antena receptora grafica las variaciones en la señal de retorno reflejada. Es un principio similar a la prospección sísmica. La información se presenta en tiempo real y de manera continua en la pantalla del computador, donde se ve como imagen el material subyacente a lo largo de la línea de investigación. La profundidad de penetración varía de 0 a 50 metros.

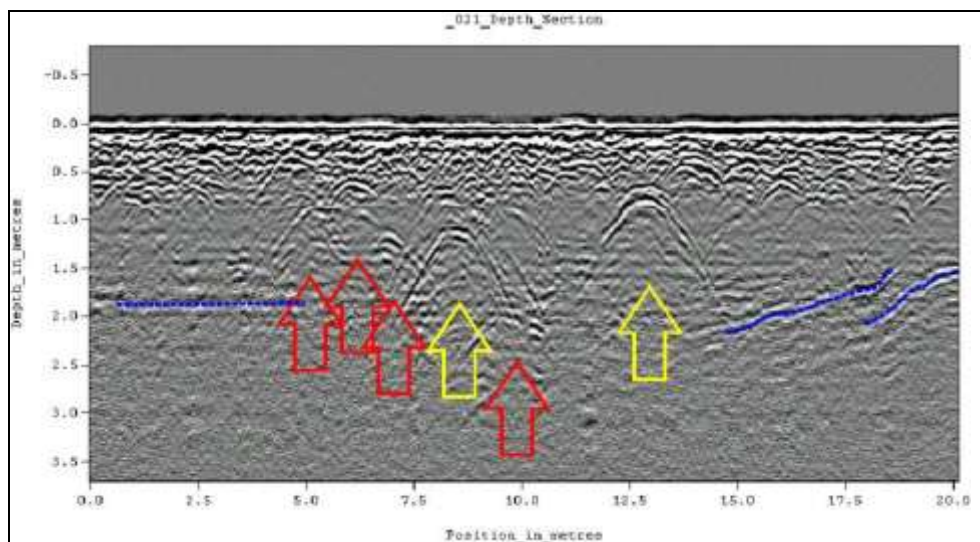


Figura 6.1: Ejemplo de un radargrama, mostrando las anomalía en el subsuelo con el estudio de GPR.

El GPR puede ser utilizado en estudios hidrológicos, geotécnicos, medio ambientales, así como en propósitos forenses. Ver foto 6.1



Antenas de Frecuencia



Pantalla del Computador

Figura 6.2: Equipos de GPR



Foto 6.1: Prospección geofísica en la morrena lateral izquierda, se observa las dos líneas transmisoras en forma paralela.

6.2 APLICACIÓN DEL GPR EN LAS MORRENAS DE LA LAGUNA PALCACOCHA:

El objetivo de realizar la prospección geofísica en las morrenas de la Laguna Palcacocha, fue encontrar zonas de debilidad que puedan provocar el colapso de la morrena por movimientos en masa, sobre la laguna.

El estudio se realizó con antenas de 50 MHz de frecuencia, alcanzando una profundidad de hasta 20 m.

El trabajo se realizó con cuatro líneas longitudinales, y una línea transversal.

Debido a que la morrena lateral izquierda tiene menor consistencia por su composición litológica, se realizó tres líneas tendidas: dos paralelas y una transversal. Ver figura 6.3

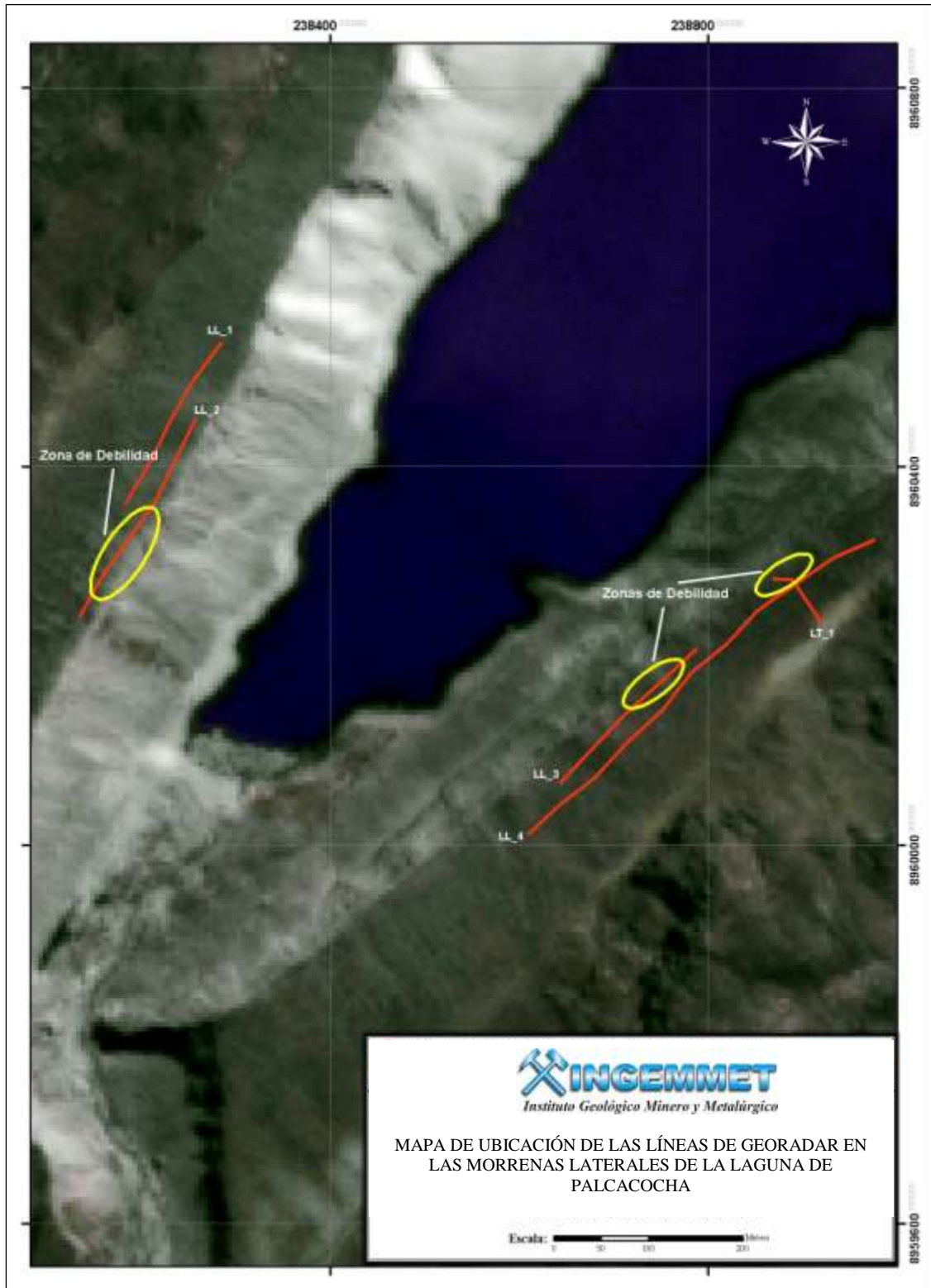


Figura 6.3: Ubicación de las líneas geofísicas en las morrenas laterales de la Laguna Palcacocha.

Línea Geofísica Longitudinal LL_1:

El radargrama de la lectura LL_1 (figuras 6.4), está ubicado en la morrena lateral derecha, muestra grietas entrecruzadas así como paralelas. Existen áreas compuestas por material de grano fino y grueso, encontrándose bloques hasta de 1.0 m de diámetro; en ésta área existen ciertas oquedades o vacíos, los cuales estarían probablemente ocupados por bloques de hielo que posteriormente fueron derritiéndose. Las oquedades se ubican a profundidades entre los 9 y 18 metros, ver figura 6.5.

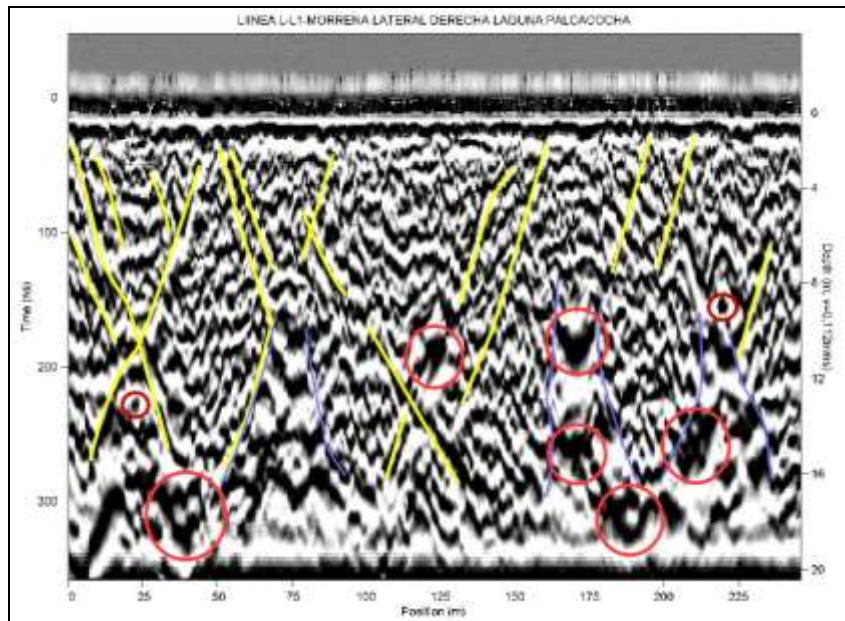


Figura 6.4: Radargrama LL_1, señala las grietas (líneas amarillas), áreas donde predomina el material grueso (limitadas por las líneas de color azul), así como las oquedades (círculos rojos).

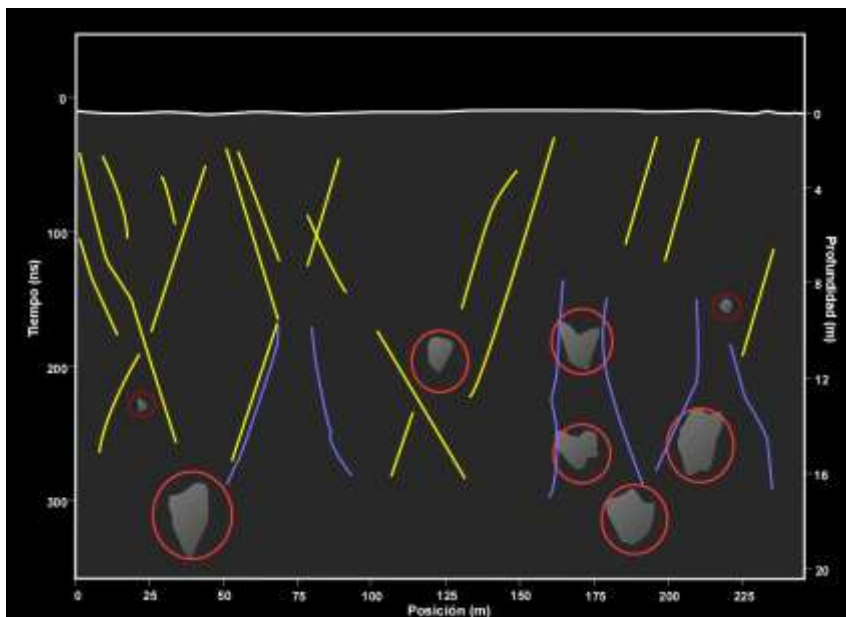


Figura 6.5: Digitalización del Radargrama LL_1, obsérvese los vacíos encontrados.

Línea Geofísica Longitudinal LL_2:

El radargrama LL_2, está ubicado a 10 metros debajo de la primera línea geofísica en la morrena lateral derecha; muestra grietas similares al anterior, éstas se encuentran en forma entrecruzada así como paralelas, presentan oquedades en áreas donde existe acumulación de rocas mayores a 1 metro de diámetro, presentándose a una profundidad de 10 a 18 metros (fig. 6.6).

Se muestra una zona de asentamiento del terreno, probablemente sólo por acción de la gravedad (reacomodo de material), o por movimientos sísmicos, ligados a los vacíos encontrados. Se localizan a profundidades entre 4 a 18 metros con un ancho de 50 metros aproximadamente. Este asentamiento está controlado por grietas, como se muestra en el radargrama (fig. 6.7).

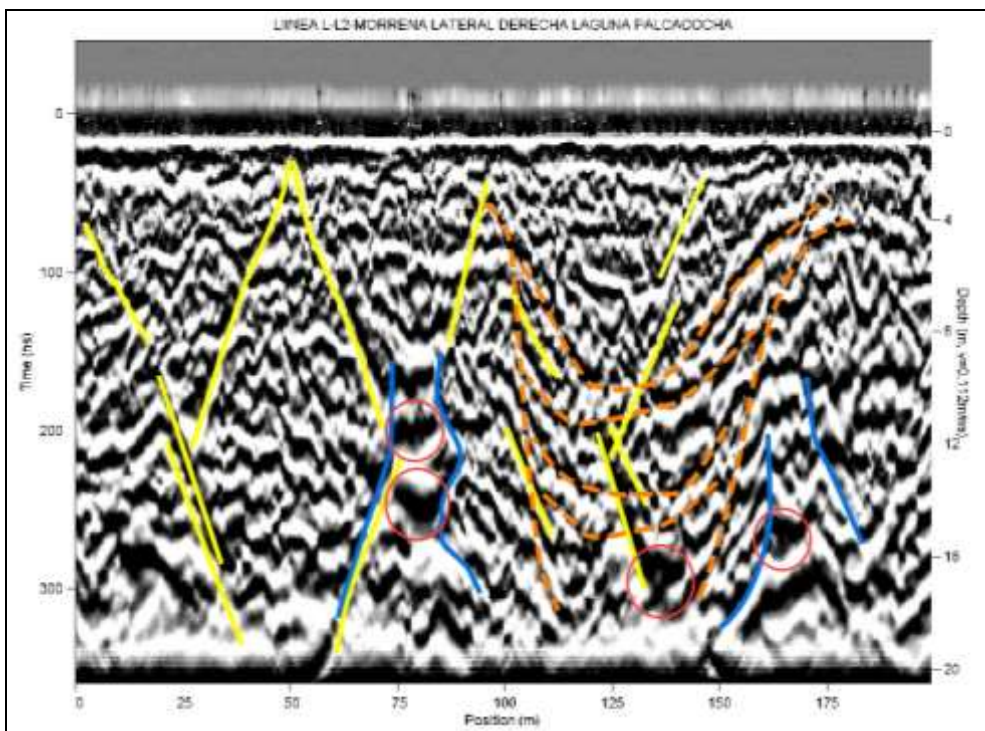


Figura 6.6: Radargrama de la lectura LL_2 muestra las grietas entrecruzadas, así como las oquedades en medio de material grueso (limitadas por las líneas azules).

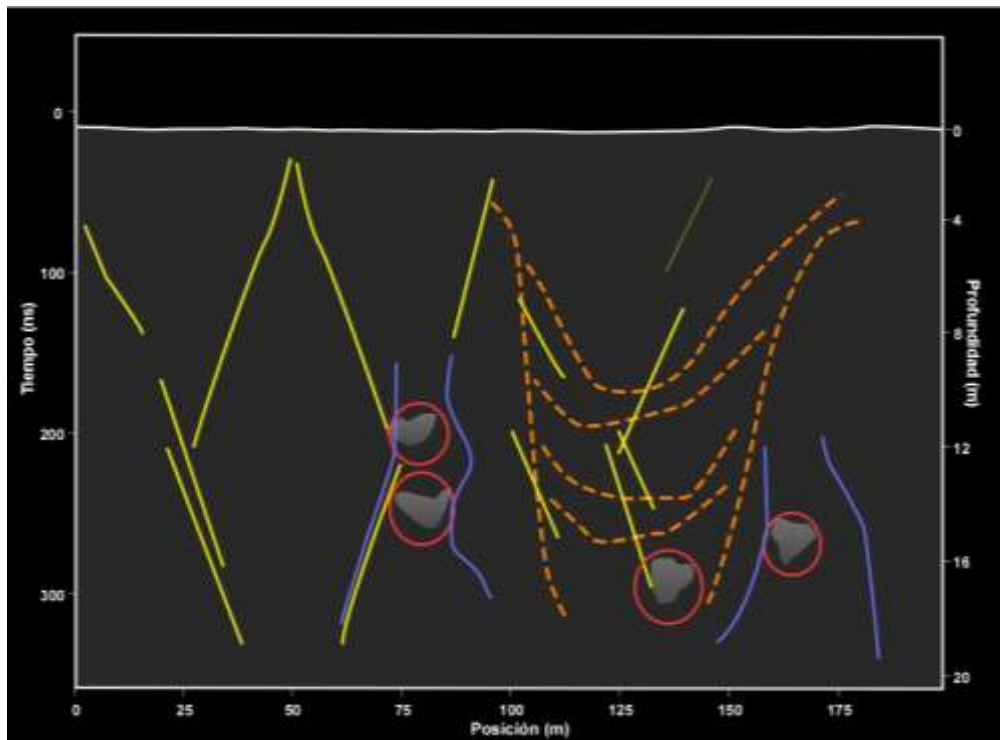


Figura 6.7: Perfil correspondiente a LL_2, muestra las grietas, así como el área de asentamiento del material (líneas azules).

Línea Geofísica Longitudinal LL_3:

El radargrama de la tercera lectura (fig. 6.8), está ubicado en la morrena lateral izquierda, presenta algunas diferencias de los dos anteriores, las grietas se presentan en forma paralela unas con otras, y ligeramente entrecruzadas. Así mismo, muestra un ligero asentamiento del terreno en el cual algunas de las oquedades se encuentran a una profundidad de 9 a 16 metros, a la vez que afecta áreas de material grueso. El asentamiento está ubicado a una profundidad que oscila de 12 a 18 metros, con un ancho promedio de 75 metros. Ver figura 6.9

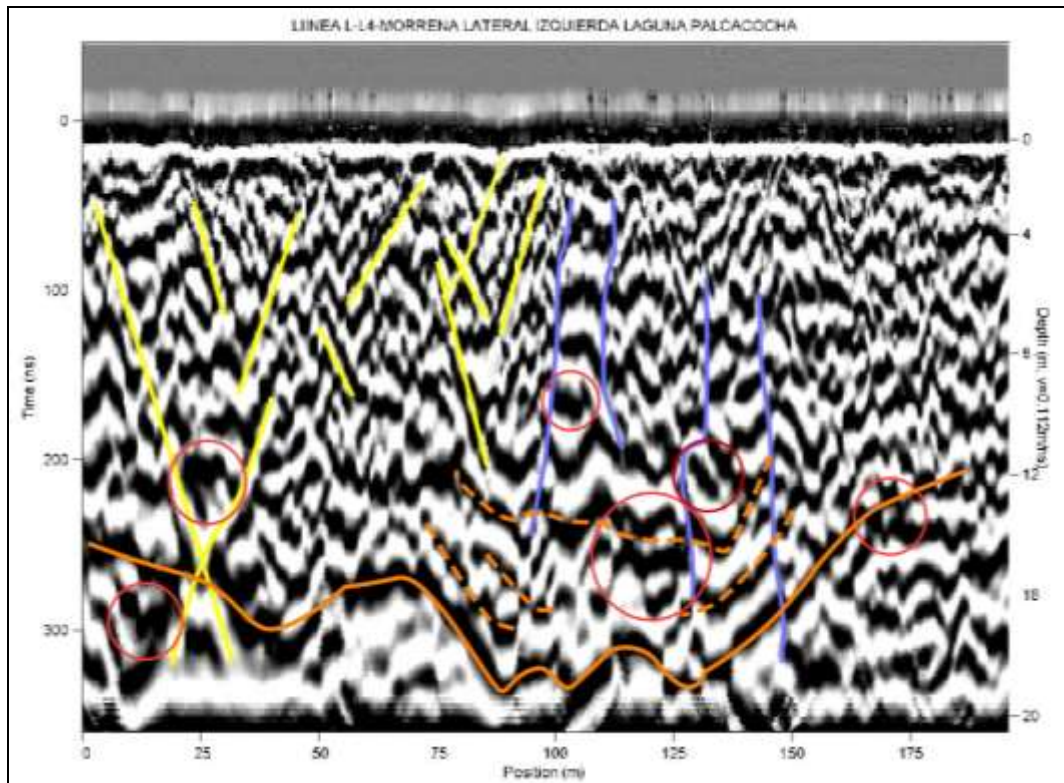


Figura 6.8: Radargrama de la línea LL_3.

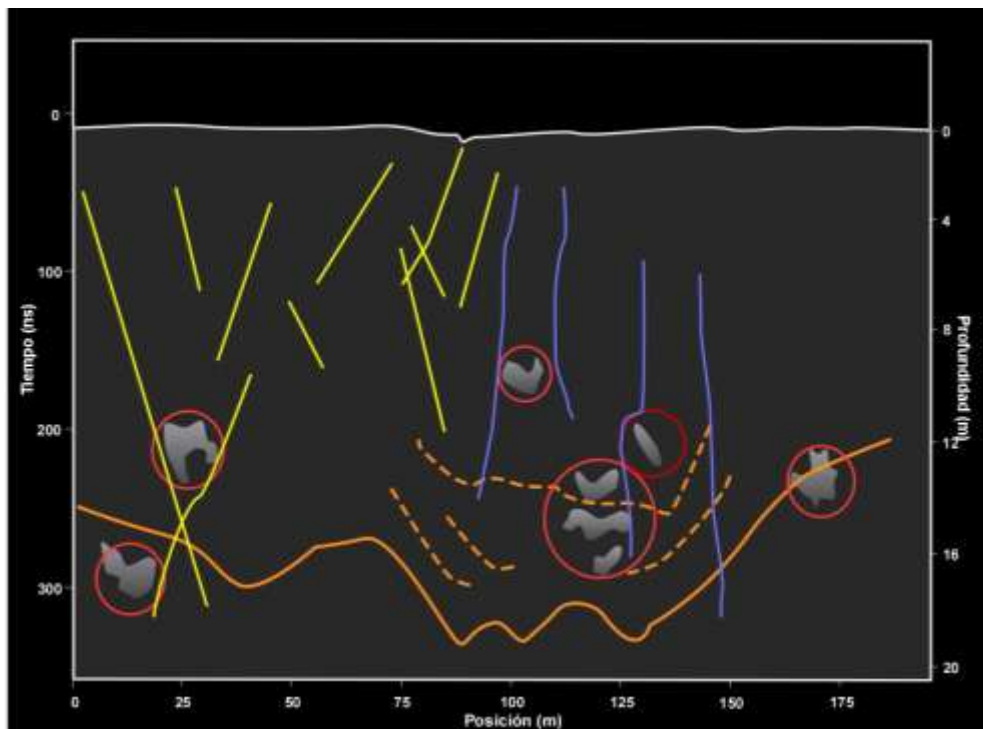


Figura 6.9: Perfil de la línea LL_3 mostrando el área de asentamiento del terreno, así como las oquedades a una profundidad de 8 a 18 metros.

Línea Geofísica Longitudinal LL_4:

La línea tendida para éste radargrama fue de 475 metros (figura 6.10), siendo de mayor extensión en comparación con los demás lecturas geofísicas. Esta línea geofísica se ubica aproximadamente a 10 m por debajo de la línea LL_3. El radargrama muestra grietas paralelas y en direcciones opuestas, así como un asentamiento cuya extensión es aproximadamente de 50 metros y su profundidad oscila entre los 9 y 14 metros; el asentamiento se encuentra controlado por grietas. Los espacios vacíos se encuentran a una profundidad entre 8 y 18 metros. Ver Figura 6.11

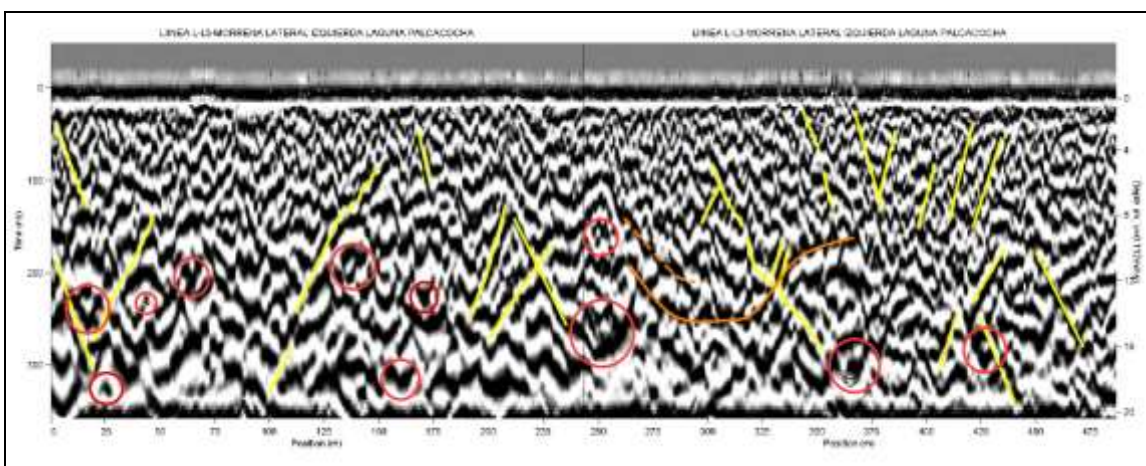


Figura 6.10: Radargrama de la línea LL_4, mostrando las grietas (color amarillo) así como el área de asentamiento.

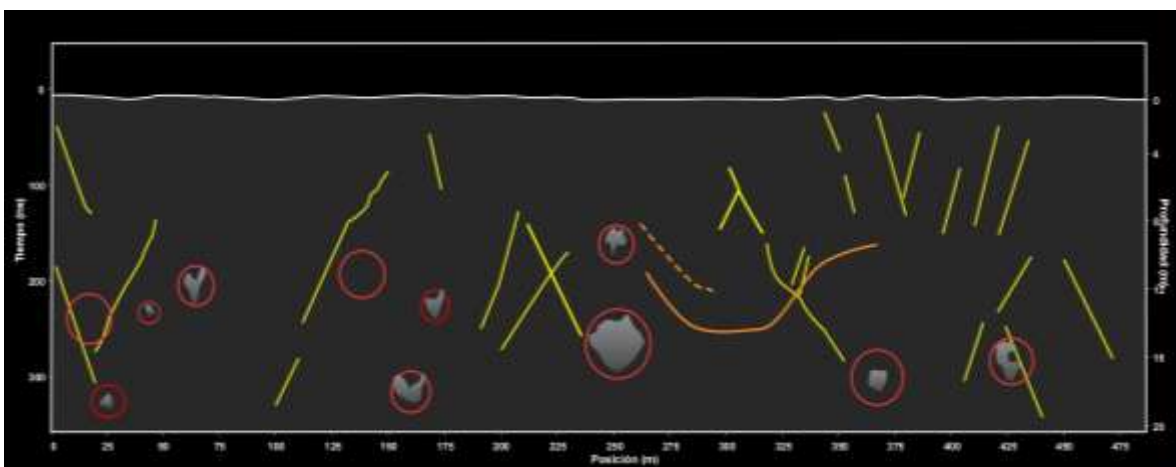


Figura 6.11 Perfil de la línea LL_4, mostrando las grietas algunas de ellas cerca de la superficie, el área de asentamiento se ubica a una profundidad de 8 a 13 metros.

Línea Geofísica Transversal LT_1:

La línea geofísica LT_1, está ubicada en la morrena lateral izquierda de manera transversal a la anterior lectura (LL_4). En el radargrama de ésta lectura se observa la existencia de grietas pequeñas cercanas a la superficie como se muestra en las figuras 6.11 y 6.12. Las oquedades que se encuentran están ubicadas a una profundidad de 9 y 14 metros. Muestra un ligero asentamiento cercano a la superficie, la profundidad es de 6 metros, con un ancho promedio de 60 metros.

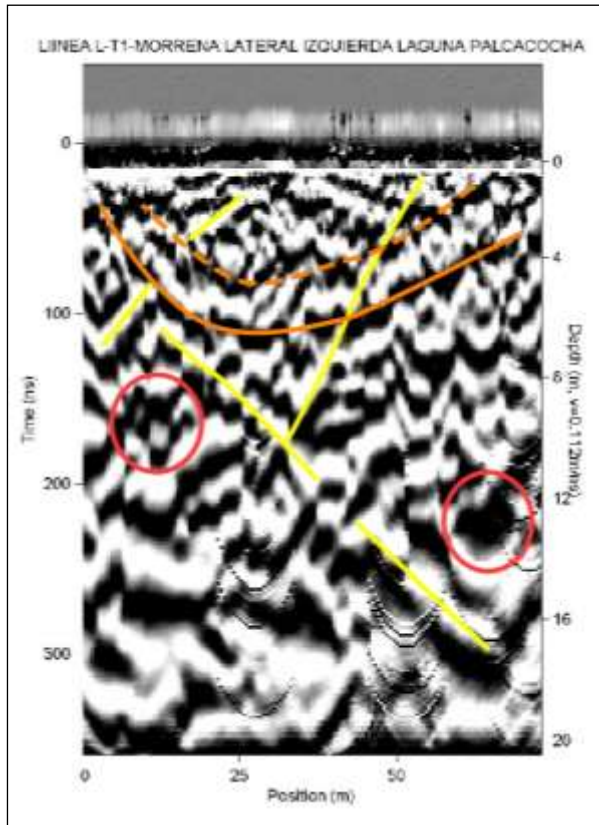


Fig. 6.12 radargrama de la línea LT_1 mostrando el área de asentamiento cerca de la superficie.

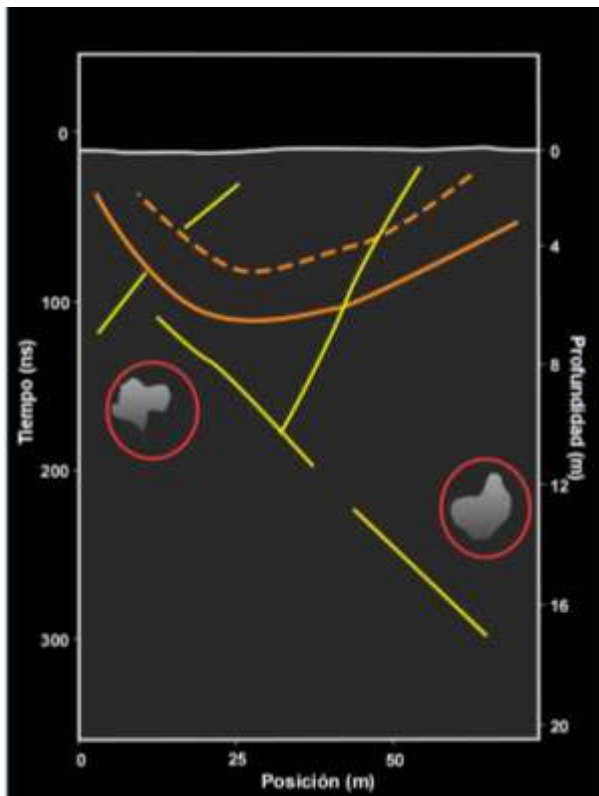


Fig. 6.13 Perfil de la línea LT_1 mostrando el asentamiento cercano a la superficie así como la gran dimensión de una grieta, llegando a una profundidad de 6 a 17 metros.

6.3 RESULTADOS

Se debe tener en cuenta que 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 nos dan 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. Esto se puede observar en los radargramas LL_1 y LL_3.

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 en los radargramas LL_2 y LL_3, 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 observa en el radargrama LT_1, está controlado por grietas que tienen direcciones opuestas a manera de cuña. Debido a que la línea LT_1 fue tendida en forma transversal a LL_3 y LL_4, 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).

CAPITULO VII

RIESGOS GEOLÓGICOS EN LA CIUDAD DE HUARAZ

La ciudad de Huaraz se ubica en un extenso cono proluvial, formado por numerosos movimientos en masa de tipo flujos de detritos de gran magnitud (aluviones) con origen en los valles glaciares al Este de Huaraz en la Cordillera Blanca. No sólo el valle glaciar de Cojup, sino también en los valles glaciares de Llaca, Quillcayhuanca y Shallap.

Debido a que dentro de estos valles glaciares existen numerosos movimientos en masa, como caída de rocas, caída de detritos, avalanchas de rocas y detritos y numerosos deslizamientos (ver foto 7.1); la confluencia de éstos eventos con los posibles embalses de las lagunas como la de Palcacocha, Cuchilla, Shurup y Shallap; así como la existencia de morrenas colgantes que se ubican en las zonas altas de los valles; podrían acrecentar el riesgo en algunos sectores de la ciudad de Huaraz;. Ver figura 7.1



Foto 7.1: Caída de rocas en el valle glaciar de Shallap, ocurrido meses antes del aluvión de 1941 (Foto: Valderrama, 2008).

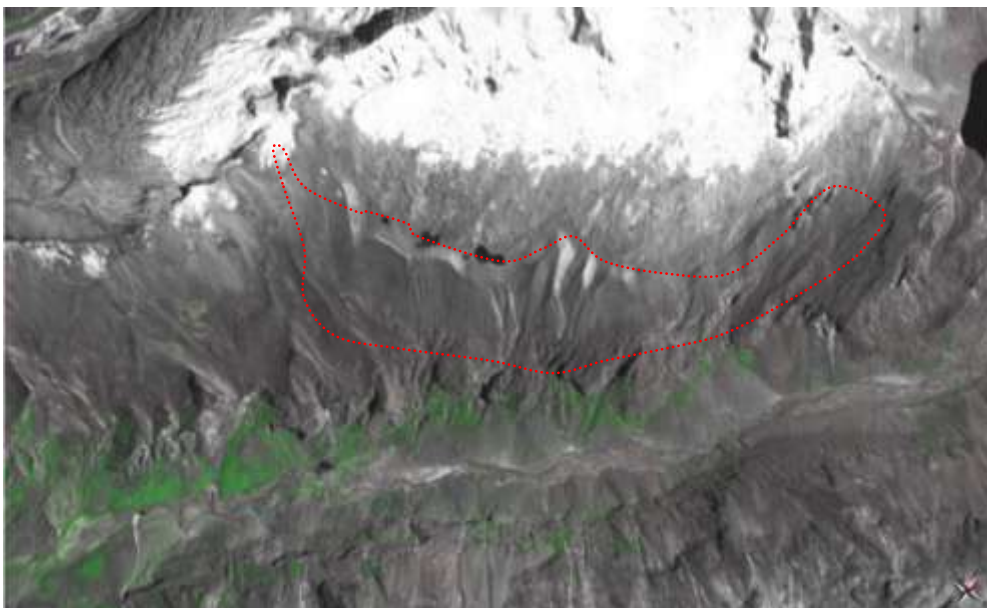


Figura 7.1: Imagen Spot 5mostrando los depósitos morrénicos colgantes, marcado con líneas entrecortadas, ubicados en el valle glaciar de Cojup. Estos depósitos albergan lagunas jóvenes que representan un peligro para su estabilidad y por consiguiente para la ciudad de Huaraz.

El avance desordenado de la ciudad, la hace más propensa a ser vulnerable ante los eventos antes mencionados. Se han identificado numerosas viviendas ubicadas cerca a las riveras de los ríos, como es el caso del sector Este de la ciudad donde se encuentran viviendas cercanas a la confluencia de los ríos Cojup y Quillcayhuanca, así mismo las viviendas cercanas al río Quillcay, que pasa por el medio de la ciudad. Ver foto 7.2 y figura 7.2

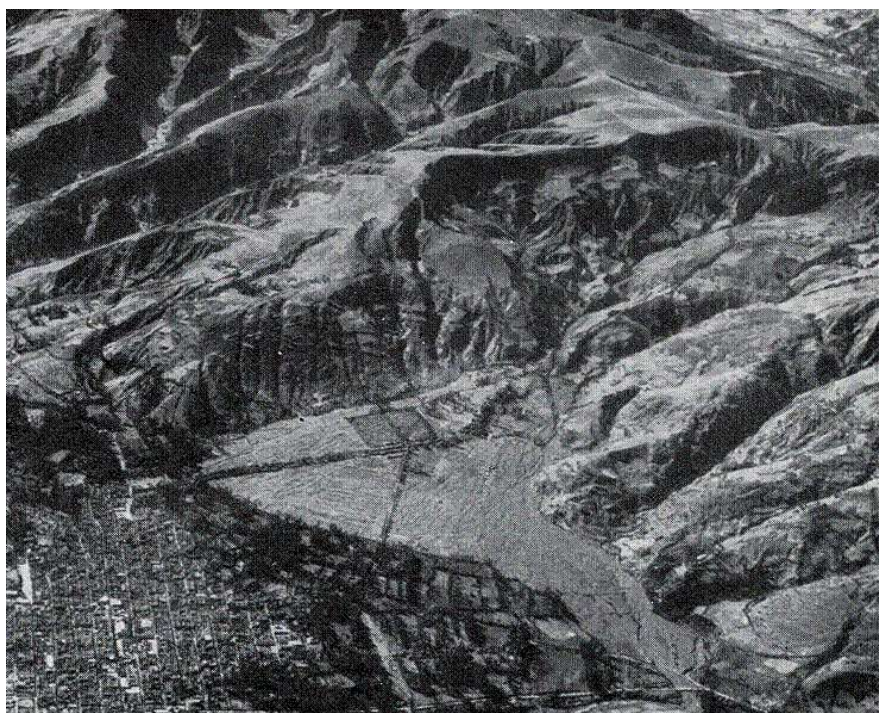


Foto 7.2: Fotografía aérea, de la ciudad de Huaráz, tomada por el SAN en 1942.

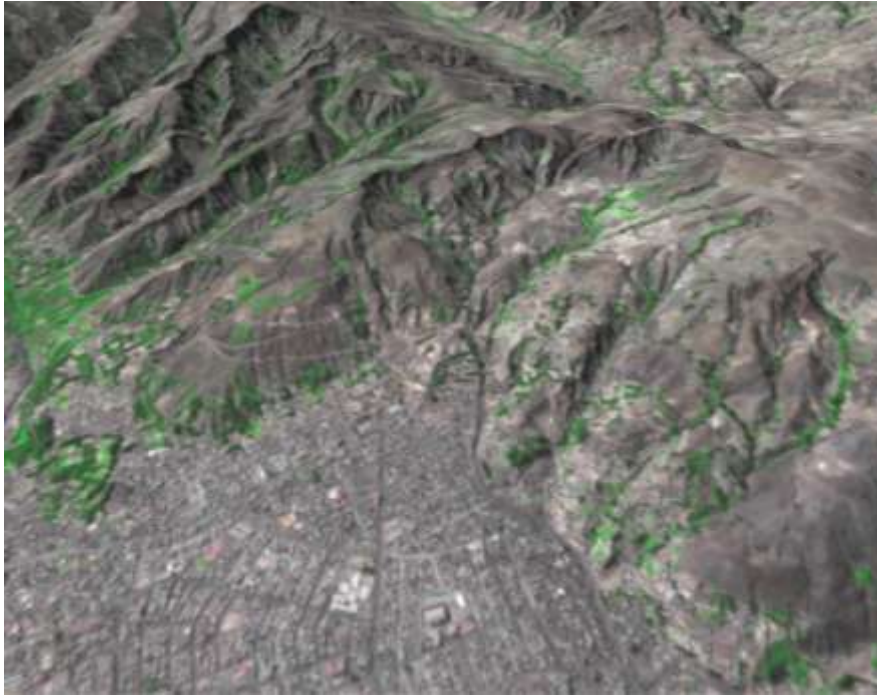


Figura 7.2: Imagen Spot 5 del año 2007, mostrando el crecimiento de la población en la ciudad de Huaraz, en comparación con la anterior fotografía.

7.1 MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR HUARAZ

El área evaluada comprende 5 valles glaciares (Imagen 33) de 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) forman la cuenca del río Quilcay, que es fuente de agua para la ciudad de Huaraz, una quebrada glaciar (Altuac) 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 al Sur, cualquier evento que afecte las aguas de su río (un represamiento por avalancha, por deslizamiento o un aluvión en la parte glaciar) afectaría directamente a la ciudad de Huaraz, por lo que se considera dentro del mismo sector. Ver mapa 7.1 y figura 7.3

Al Norte de la ciudad de Huaraz, se aprecian zonas de inundación al borde del río Santa, cárcavas que transportan pequeños flujos de detritos en las épocas de mayor precipitación pluvial y varios depósitos de deslizamientos antiguos con algunas pequeñas reactivaciones locales.

La parte glaciar y periglacial conformada por grandes valles glaciares cuyas laderas están cubiertas por depósitos de avalanchas de rocas, caída de detritos, flujos de detritos y en la parte final se tiene sistemas de diques morrenicos que represan y bordean lagunas de diferentes extensiones como Palcacocoha (780 metros de largo) Tulpacocha (1280 metros de largo) Shallap (578 metros de largo) y otras menores como Perolcocha, Altuac, Llaca y otros.

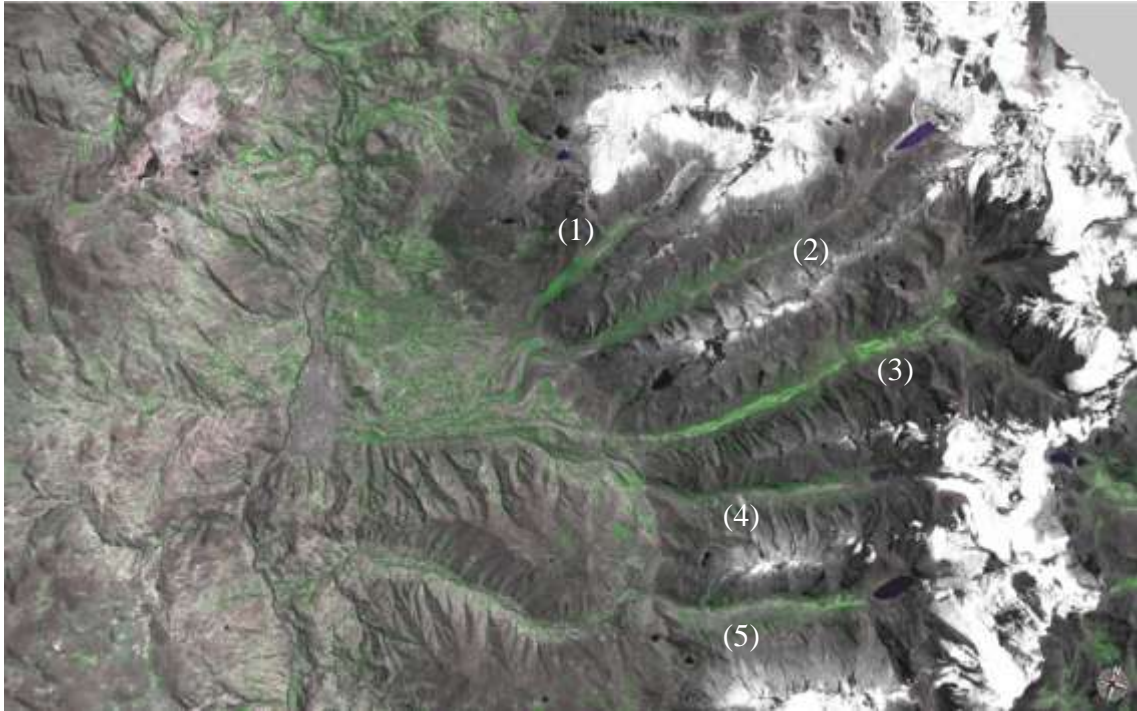


Figura 7.3: Vista panorámica de la cuenca Quilcay: 1: Llaca, 2: Cojup, 3: Quilcayhuanca, 4: Shallap y 5: Quebrada Paria

La zona media, compuesta por grandes depósitos fluvioglaciares está muy expuesta a la erosión por caravas, con depósitos de flujos de detritos, grandes deslizamientos (caso el de Rataquenua, Foto 7.3) y pequeños derrumbes de rocas y material fluvio – glaciar.



Foto 7.3: Gran deslizamiento de Rataquenua al Sur de la ciudad de Huaraz.

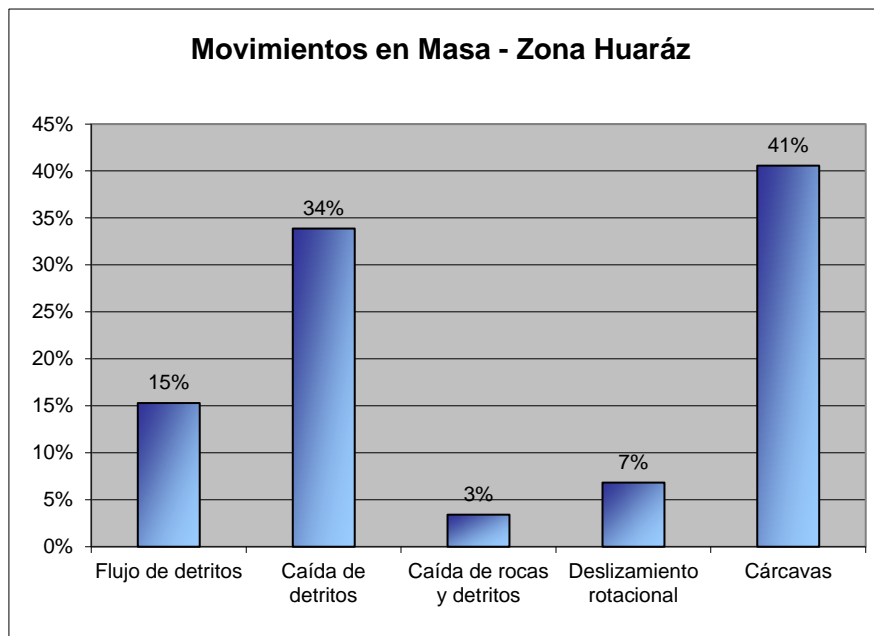
En la confluencia del río Quilcay (Foto 7.4) con el río Santa, se localizan depósitos proluviales, sobre el que se encuentra la ciudad de Huaraz, productos del evento de gran magnitud ocurrió en 1941 (flujo de detritos).

Los eventos de flujos de detritos y/o alud – avalanchas (aluviones) de gran magnitud, con origen en los glaciares de la Cordillera Blanca, trajo consigo la muerte de miles de personas en el Callejón de Huaylas, entre los que resaltan los aluviones de Huaraz (1941), Ranrahirca (1962 y 1970), y Yungay (1970); debido principalmente a las caídas y/o avalanchas de hielo y roca hacia glaciares y lagunas glaciares.

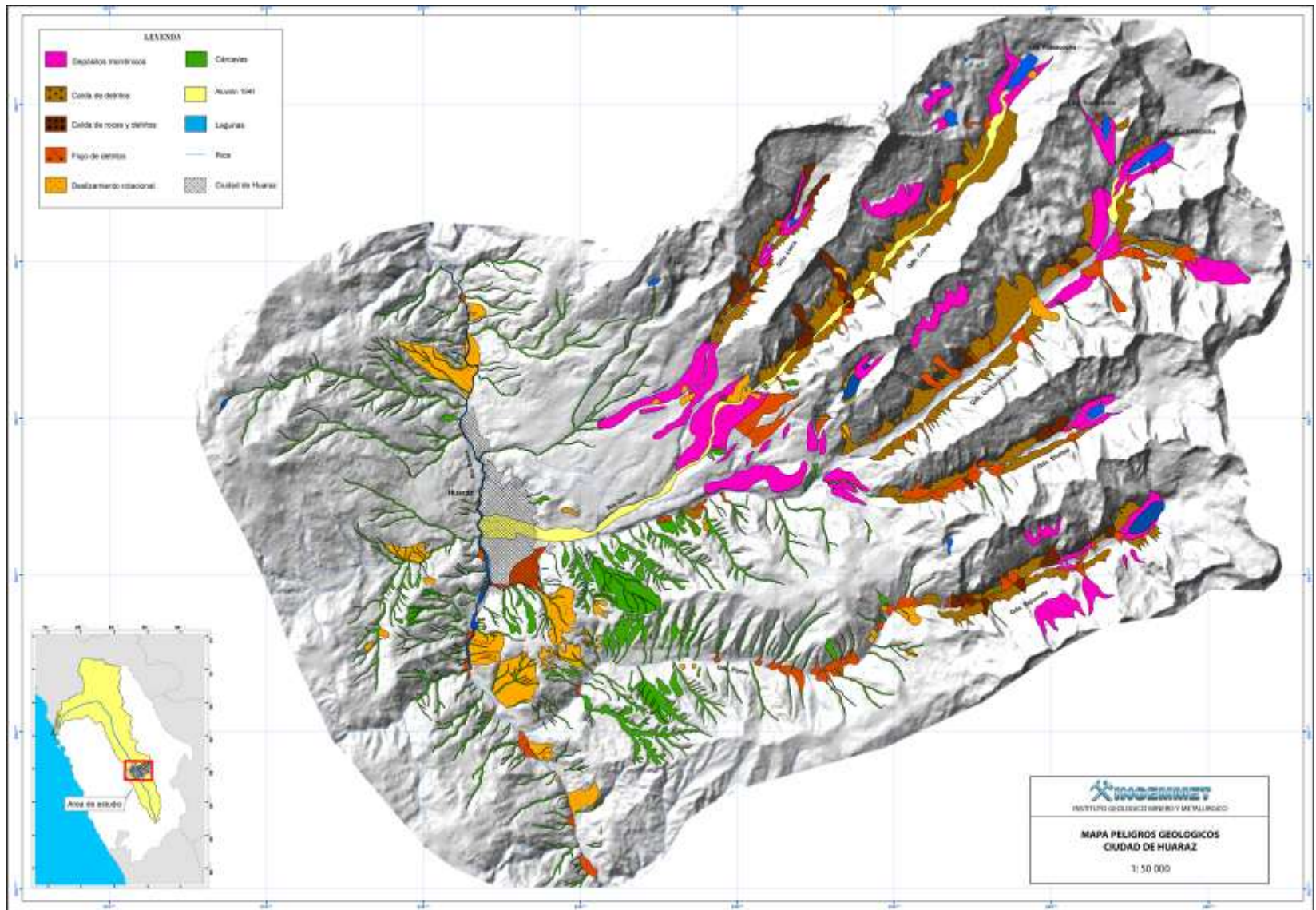


Foto 7.4: Orillas del río Quilcay, por donde pasó el aluvión de 1941, de ocurrir otro evento similar, estas viviendas serían completamente afectadas.

Porcentualmente, los movimientos en masa en el sector Huaráz 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 7.1.



Cuadro 7.1: Distribución porcentual de los movimientos en masa del sector Huaráz. Se aprecia la clara predominancia de cárcavas seguido de las caídas de detritos.



Mapa 7.1: Mapa de peligros geológicos de la ciudad de Huaraz y áreas de influencia

7.2 PROCESOS DE FLUJOS DE DETRITOS Y/O ALUD – AVALANCHAS DE GRAN MAGNITUD.

La mayor parte de los glaciares de la Cordillera Blanca se hallan ubicados detrás de lagunas y morrenas y el proceso de recesión registrado desde 1932, en que se inician las primeras mediciones y mapeo por la expedición austro-alemana dirigida por Kinzl (1940), ha sido muy considerable. Como resultado de tal retroceso glaciar, en principio se formaron pequeñas lagunas que luego fueron creciendo paulatinamente. Existen diferentes tipos de lagunas que se han formado en concordancia con la morfología del terreno o de la roca base. En las cordilleras nevadas del Perú se han producido muchos fenómenos de aluvionamiento debido fundamentalmente a las siguientes causas: por la caída de bloques de hielo o masa glaciar sobre las lagunas, por el deslizamiento de los taludes interiores del vaso de la laguna, por la caída de masas de roca sobre la laguna y por la caída de una mezcla de glaciar y roca sobre las lagunas. (Portocarrero, 1995).

La ciudad de Huaraz fue uno de los escenarios de los más grandes aluviones registrados en el Callejón de Huaylas, a raíz de una posible caída de bloques de hielo hacia la Laguna Palcacocha.

Alud – flujo de detritos del 13 de diciembre de 1941

El 13 de Diciembre de 1941, a consecuencia de intensas precipitaciones pluviales y el posible desprendimiento de un bloque de hielo de dimensiones desconocidas de los glaciares que cayó a la laguna Palcacocha, ocasionó enormes olas de tsunami, ocasionando la ruptura del dique morrénico.

Se ha descrito que la morrena lateral izquierda está compuesta por granito y pizarra, entonces se tiene que las fuertes precipitaciones pluviales ocurridas ese año hicieron que se produjera fuertes filtraciones de agua en ésta morrena aumentando su inestabilidad, teniendo mayor incidencia en la parte frontal izquierda; a éste hecho se añade el impacto de las olas tsunami ocasionada por la caída de un bloque de hielo a la laguna, produciendo finalmente la ruptura de la morrena, desalojando más de 4'000,000 m³ de agua, lodo y de rocas los cuales se precipitaron violentamente, llegando al poco tiempo a la laguna Jircacocha, ubicada a 4120 m.s.n.m. el cual se encontraba en la parte media del valle glaciar Cojup.

El impacto del flujo produjo la ruptura del dique natural de ésta última laguna desalojando el total del agua que estaba contenida en ella, recorriendo con gran velocidad debido a la mayor fluidez que contenía el flujo para luego ingresar al Río Quillcay causando la destrucción de casi la mitad de la ciudad de Huaraz, ocasionando la pérdida de vidas humanas, así como de numerosas viviendas, sobre todo las que quedaban situadas en los cauces antiguos del Río Quillcay. Se estima que el volumen total del aluvión que recorrió el valle glaciar Cojup fue de 8 a 10 millones de m³ (Chang, 1991). Ver foto 7.5 y figuras 7.4 y 7.5.



Foto 7.5: Foto aérea del recorrido del aluvión del 13 de Diciembre de 1941, a lo largo de la quebrada Cojup. Se muestran los nevados Palcaraju y Pucaranra.

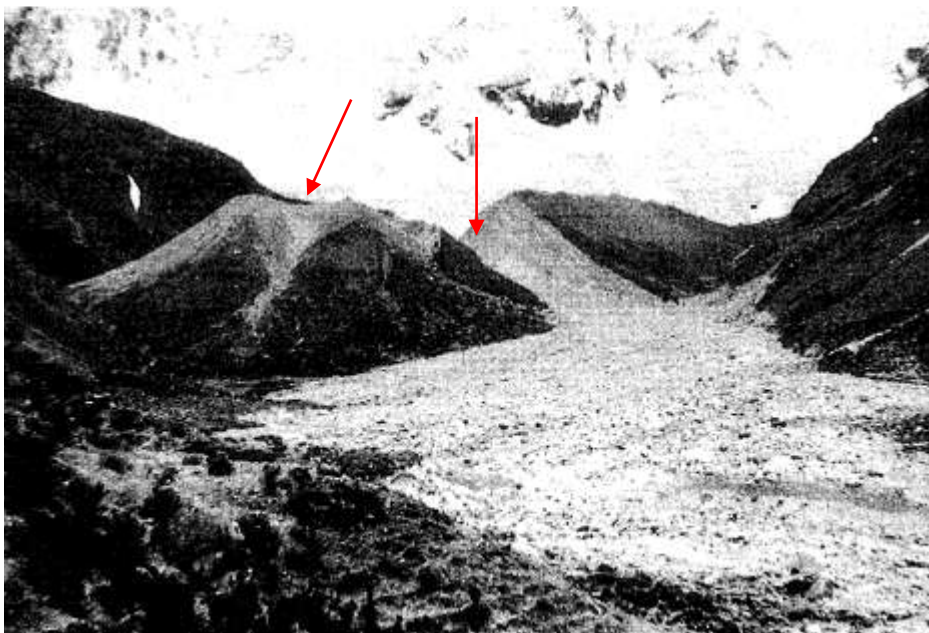
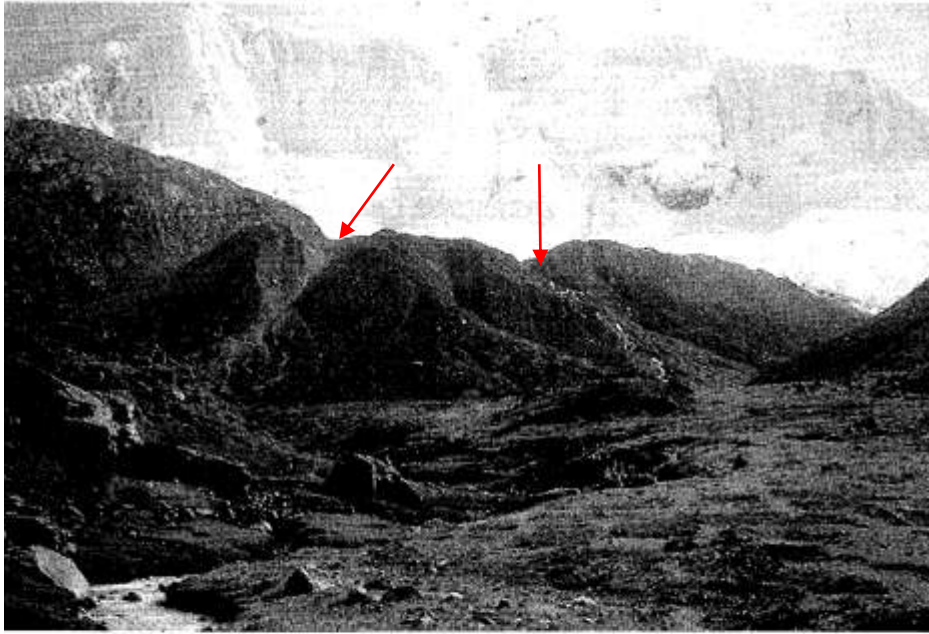


Figura 7.4: Dique morrénico de la Laguna Palcacocha. Arriba: Morrena frontal antes del aluvión de 1941, con cicatrices de rupturas anteriores (flechas rojas) (foto Kinzl) Abajo: Ruptura de la morrena frontal después del aluvión de 1941, obsérvese que la ruptura de la morrena se produjo siguiendo las cicatrices de eventos anteriores. (Foto Fernández). (Fuente: Ames, 1995).



Figura 7.5: Huaraz cubierto por el aluvión de 1941, se observa el ingreso del aluvión al río Quillcay y como consecuencia la destrucción de casi un tercio de la ciudad de Huaraz, viéndose mayormente afectadas las viviendas e infraestructura ubicada en el cauce del río.

A raíz del aluvión se construyó un sistema de canalización el cual logró bajar el nivel de agua de la laguna en forma gradual a un volumen de 60,000 m³. Ver foto 7.6

Este sistema está reforzado con una presa artificial principal de 8 m. de altura y una presa secundaria de contención, ubicada en el extremo derecho del dique natural frontal. Esta obra fue realizada por la dirección de Unidad de Glaciología y Seguridad de Lagunas de Electro Perú S.A. en 1970 y cada cierto tiempo se ejecuta un conjunto de trabajos de mantenimiento para garantizar la seguridad de la ciudad de Huaraz.



Foto 7.6: Sistema de canalización realizada en la Laguna Palcacocha, a la derecha se muestra la presa artificial realizada por la Unidad de Glaciología y Seguridad de Lagunas de Electro Perú S.A. para reforzar el sistema de canalización. (Fotos: Santillán, 2008).

Deslizamiento del 19 de marzo del 2003 en la laguna Palcacocha

El 19 de Marzo del 2003, una avalancha deslizamiento de material inconsolidado tuvo lugar en la morrena lateral izquierda de la laguna Palcacocha, golpeando una parte de la lengua glaciar. El principal factor de la activación de la avalancha deslizamiento fue la precipitación pluvial que sobresaturó al material morrénico. El volumen deslizado estimado fue entre 50 000 y 75 000 m³. El impacto del material que cayó produjo olas de tsunami sobrepasando los 8 metros, y cubriendo una parte de los diques morrénicos tanto naturales como artificiales, causando la turbidez de las aguas que recorren a lo largo de la cuenca del río Cojup. Los sedimentos acarreados por la inundación, bloquearon el normal funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Huaraz, desabasteciendo por casi una semana a la ciudad de éste recurso hídrico. (Vilímek, et al. 2005). Ver foto 7.7



Foto 7.7: Sección del deslizamiento ocurrido en Marzo 2003, el cual ocasionó oleaje que superó las alturas de las presas y diques morrénicos tanto naturales como artificiales de la laguna, produciendo la turbidez del agua que escurre a través del valle glaciar Cojup. (Foto: Valderrama 2008).

7.3 OTROS EVENTOS

El 27 de Setiembre del 2008, una pequeña laguna situada al lado Este de la laguna Palcacocha se desbordó hacia la morrena lateral izquierda, como consecuencia de las fuertes precipitaciones pluviales registradas en la zona, las que son normales en temporada de lluvias, ocasionando que el día 28 de ese mes se cierre el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Huaraz. Este evento provocó el arranque de bloques de rocas de proporciones variables, así como la remoción del suelo a lo largo del cauce que poseía. Ver Fotos 7.8 y 7.9



Foto 7.8: Ubicación de la laguna que se desbordó el mes de Setiembre del 2008.



Foto 7.9: Flujo de detritos como consecuencia del desborde de la laguna situada a la margen izquierda de Palcacocha.

7.4 FUTUROS PELIGROS EN LA LAGUNA PALCACOCHA

En el cuarto capítulo se hizo mención al contacto que existe entre la laguna Palcacocha y la lengua glaciar de los nevados Palcaraju y Pucaranra; debido al fuerte retroceso glaciar, la lengua existente está desapareciendo poco a poco, efecto que podría traer consecuencias negativas en el futuro.

La caída de los bloques de hielo de los nevados, mencionados en el párrafo anterior, tiene zonas que debilitan su energía durante el trayecto de caída; una de estas zonas es la lengua glaciar que aún está en contacto con la laguna produciendo que el bloque caiga con menor impacto hacia el espejo de agua.

En poco tiempo la lengua glaciar dejará de existir provocando que las futuras caídas de bloques de hielo se desplacen directamente sobre la laguna ocasionando grandes oleajes que erosionarán las morrenas tanto laterales como la frontal, pudiendo rebasar el nivel de los diques tanto naturales como los artificiales.

Por otra parte, la morrena lateral izquierda por ser más inestable que la derecha, puede ser erosionada con mayor intensidad originando deslizamientos consecutivos que al impactar con el espejo de agua provocarían oleajes que comprometerían la seguridad de la laguna y más aún la seguridad de los poblados ubicados aguas abajo como la ciudad de Huaraz. No sólo enturbiando el agua que baja por el valle glaciar Cojup, que si bien es cierto provocaría el desabastecimiento de éste recurso hídrico a la ciudad, también podría provocar flujos de detritos o aluviones como el que ocurrió el 13 de Diciembre de 1941.

CAPÍTULO VIII

SIMULACION NUMERICA DE ALUVIONES

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

El movimiento de un fluido tan complejo como el que forma los flujos de detritos, no puede representarse por medio de métodos que se aplican comúnmente para fluidos como el agua (Valderrama et al, 2006). 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, 2000) 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, 2006).

En base al cartografiado de peligros geológicos en campo, la ubicación de Huaraz, ciudad que podría ser afectada por flujos de detritos (aluviones); así como considerando los principales eventos aluviónicos del pasado, se realizó la simulación en FLO 2D de la quebrada Cojup, teniendo como base o inicio de la "corrida" la laguna de Palcacocha.

8.1 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS

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*, zonas de retardo, etc.

Basados en un modelo de elevación digital con una precisión de hasta 2.5 metros se delimitó las quebradas a simular, así como generó 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, el cual 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 reológicas, 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, 2000).

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, 1988, 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:

$$\eta = 0.0360 e^{22.1 C_v}$$

$$\tau_y = 0.181 e^{25.7 C_v}$$

- La Gravedad específica del sedimento es igual a 2.65.
- Se asume una resistencia de la planicie al flujo laminar (K) igual a 4000.

8.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como resultado se presenta el mapa 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.

Los resultados de la simulación con un caudal pico de 80m³/s se detallan en el Cuadro 8.1.

Cuadro 8.1: 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

En la figura 8.1, apreciamos 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 el evento podría considerarse, para la ciudad de Huaraz, como movimiento en masa de tipo **inundación de detritos y/o barro**.

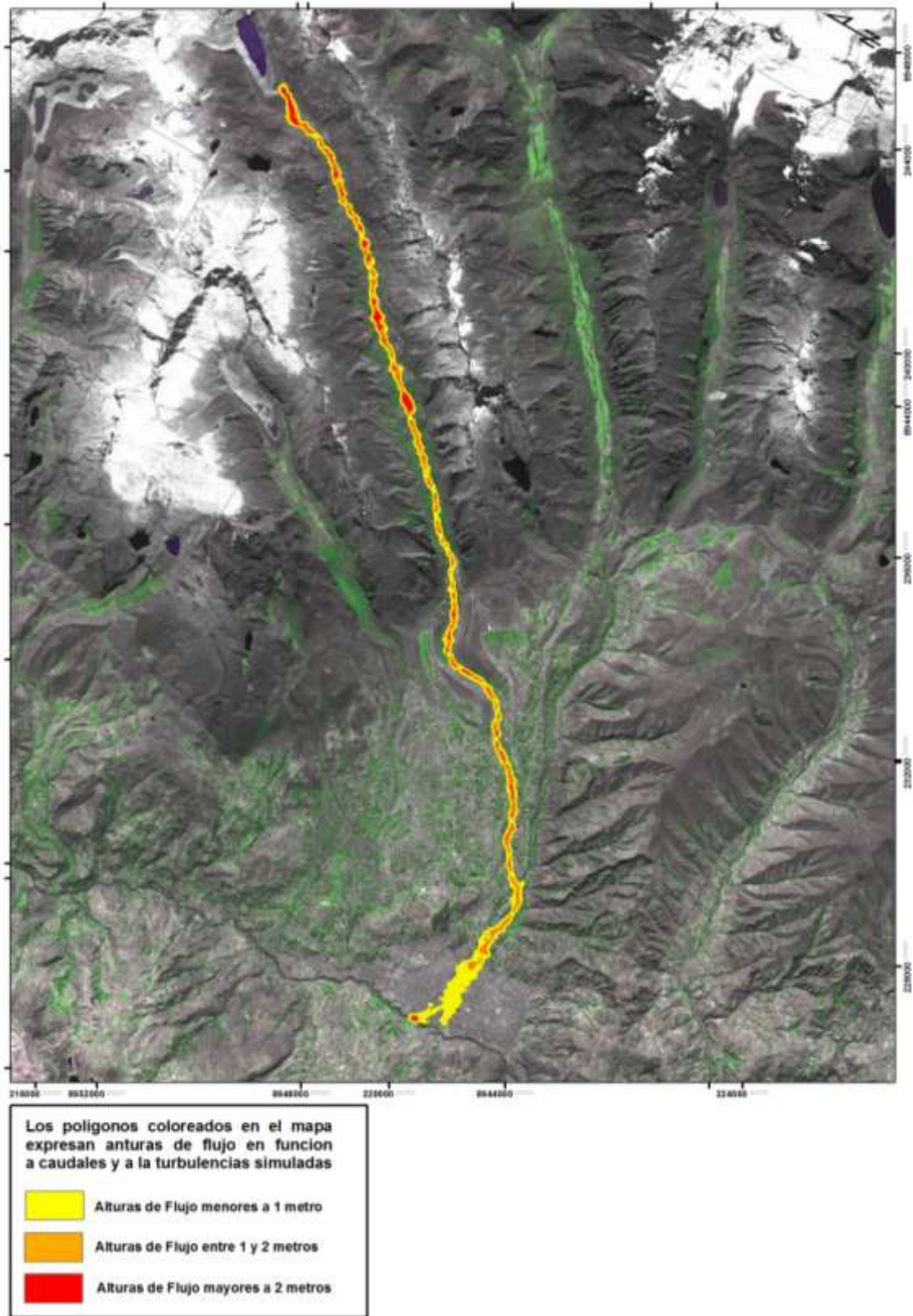


Figura 8.1: Simulación numérica de un flujo de detritos con origen en la laguna Palcacocha e implicancias en la ciudad de Huaraz.

8.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESEMBALSE

Dos variables son importantes para la evaluación del riesgo de desembalse de la laguna, la evaluación del peligro (flujo de detritos – aluvión – y/o inundación de detritos o barro) y luego la vulnerabilidad (población e infraestructura expuesta).

En el caso de la laguna de Palcacocha, en la evaluación del peligro se tiene que tener en cuenta las características físicas y geomecánicas del embalse (morrenas laterales y frontales, macizo rocoso sobre estas), el estado de los glaciares; así como los detonantes que puedan provocar movimientos en masa que a su vez originen el desborde de la laguna (sismos, clima, u otro).

Los desembalses de la laguna, son usualmente por consecuencia de una cadena en reacción. Por ejemplo, un impacto de olas producidas por los movimientos en masa dentro de la laguna, pueden erosionar y colapsar el dique morrénico, pudiendo producir la ruptura del dique en forma parcial o total para un posterior vaciado de la laguna y formación de aluviones. Dependiendo de la magnitud del evento, la ola puede desbordar sin romper el dique (caso aluvión de Chavín 1945). Ver Figura 8.2

Los movimientos en masa identificados, que pueden provocar el desembalse de la laguna son: alud, avalanchas de hielo, flujos de detritos (huaicos y aluviones), caída de rocas y avalanchas – deslizamientos. Todos estos pueden ser detonados por sismos y clima (lluvias y brusco derretimiento del suelo congelado en la base de las morrenas). Este último caso fue el causante del aluvión de Aobamba (Cusco) de 1997.

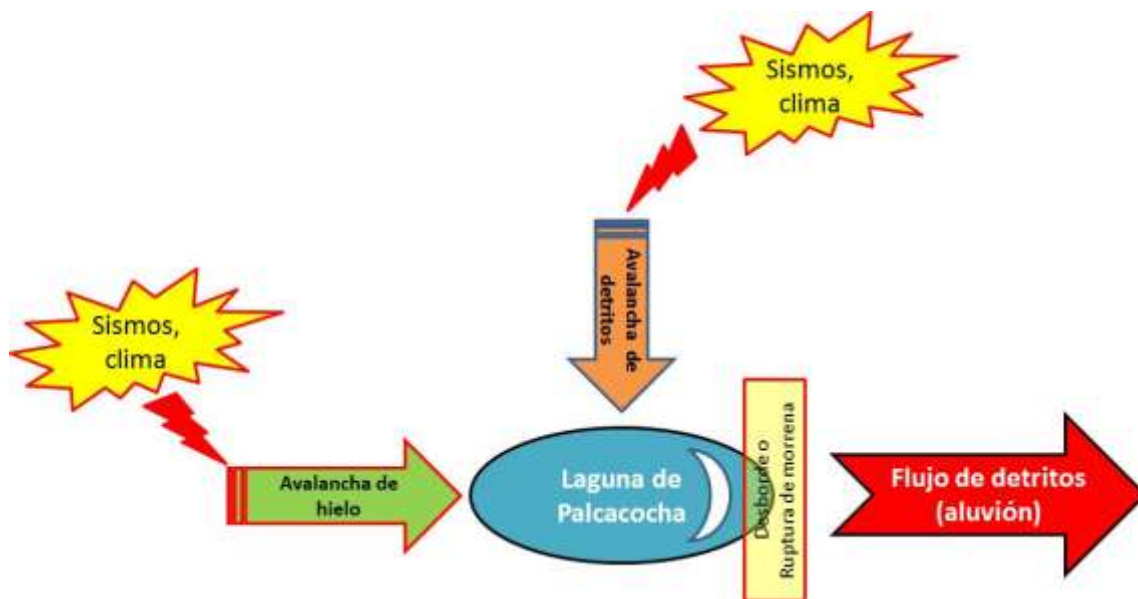


Figura 8.2: Muestra los procesos que inciden en la inestabilidad de la laguna Palcacocha

8.4 ZONAS CRÍTICAS ANTE FLUJOS DE DETRITOS DE GRAN MAGNITUD (ALUVIONES)

Zona de Riesgo Muy Alto: Conformados por las áreas conocidas con la denominación “Cono Aluviónico” y “Río Santa”, amenazadas por avalanchas, aludes e inundaciones (con o sin la ocurrencia de un sismo). En este caso se estima que la gravedad del peligro es tal, que difícilmente podría ser contrarrestada en base a una reducción de la vulnerabilidad.

Las primeras zonas en ser afectadas son los que están localizados en las confluencias de los ríos Cojup y Quillcayhuanca, como se muestran en las fotos 8.1 y 8.2.



Foto 8.1: Confluencias de los ríos Cojup (izq.) y Quillcayhuanca (der.) (Foto: Valderrama, 2008).



Foto 8.2: Sector del barrio Nueva Florida. (Foto: Valderrama, 2008).

Zona de Riesgo Alto: Conformado por parte de los Barrios de Cascapampa y Palmira. También esta zona está integrada por áreas comprometidas con inundaciones y de manera indirecta, con la posibilidad de ocurrencia de aluviones o avalanchas, las que podrían provocar las inundaciones, aunque la causa más probable

continúe siendo la de lluvias extraordinarias por efecto de un fenómeno de El Niño intenso.

Zona de Riesgo Medio: Conformadas por los barrios de Palmira, zona norte y Quinuacocha, ya que se encuentran en las orillas del río Santa, siendo afectada de manera indirecta en la ocurrencia de un aluvión.

Zona de Riesgo Bajo: Conformada por el barrio de Vichay, el cual sufriría en menor cuantía, presentando posible inundaciones en las viviendas aledañas al río Santa.

CAPÍTULO IX

ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD

En Huaraz, la vulnerabilidad alta es encontrada en los alrededores de la rivera del río Quillcay, para tomar medidas efectivas para la reducción de vulnerabilidad, las causas fundamentales dentro de las zonas altamente vulnerables tienen que ser analizadas: El centro de la ciudad es probablemente que sea afectado por un potencial desembalse de la laguna Palcacocha y al mismo tiempo muestra una alta densidad poblacional, del cual resulta una alta vulnerabilidad física. En adición a la densidad poblacional en las manzanas cercanas a la Av. Antonio Raymondi y alrededor del centro de la ciudad existe una gran concurrencia poblacional ya que es un gran foco del comercio.



Foto N°7.7: Boulevard Pastorita Huaracina, ubicado en la rivera del río Quillcay.

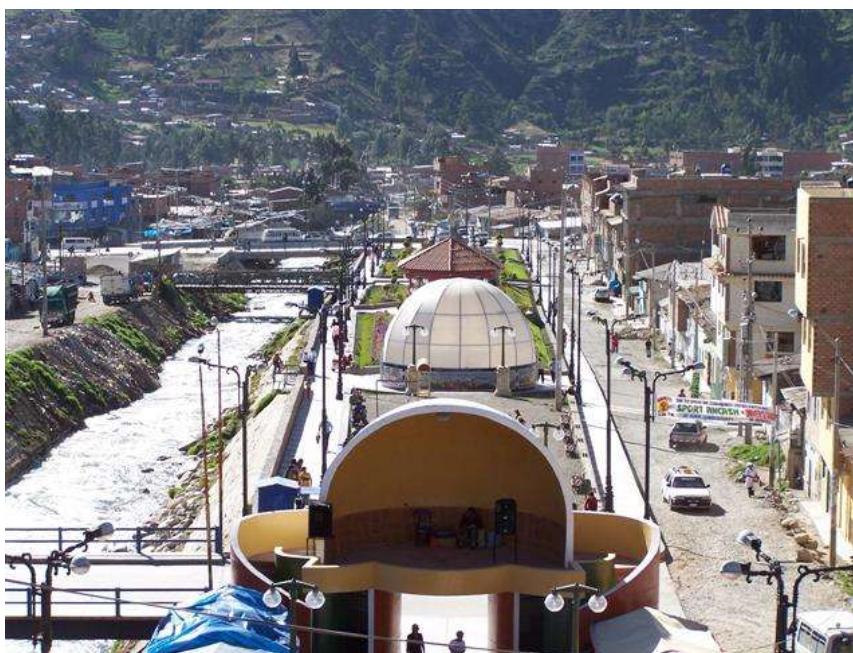


Foto N° 7.8: Vista de frente del boulevard Pastorita Huaracina.

Según INDECI – PNUD (2002), los rangos de vulnerabilidad social en Huaraz, va de medio a alto, con la falta de prevención, deficiente respuesta, y la falta de preparación y organización de los gobiernos locales y regionales. Mientras que la preparación individual varía, dependiendo del grado de pobreza, el factor edad y el grado de educación. En cuanto a la vulnerabilidad integrada, las áreas más vulnerables se encuentran donde la exposición de la densidad poblacional alta, pobreza y la edad vulnerable son coincidentes.

Por lo tanto, la reducción de la vulnerabilidad, debe enfocarse en el fortalecimiento de éstos aspectos. Mejorando el planeamiento urbano, podría evitarse la coincidencia de exposición y una alta densidad poblacional. Sin embargo, dadas las situaciones actuales en la ciudad de Huaraz, la gente ubicada en las cercanías del cauce del río Quilcay, tendría que ser reubicados.

Para una futura implementación del planeamiento urbano, las construcciones de viviendas en las zonas más propensas a riesgos, podrían ser prohibidas. Sin embargo la implementación de zonas de riesgo, requiere el entendimiento, aceptación y participación de la población, en conjunto con una adecuada educación de medidas de prevención.

Al respecto, INGEMMET, INDECI el Gobierno regional de Ancash y otras instituciones prepararon materiales de difusión que fueron distribuidos, previas charlas, en algunos sectores de Huaraz.

Guía visual de los peligros geológicos en Huaraz



en Huaraz

Cuenca media

Esta zona es una zona geológica compleja, con un relieve muy accidentado y una gran actividad tectónica. En la zona se encuentran los cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



1. Cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



2. Derrumbes de tierra en 1971, en la zona de cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



4. Derrumbes de tierra en la zona de cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



5. Cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



6. Derrumbes de tierra en la zona de cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



7. Cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



3. Cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.

Zona Glaciar

En la zona más grande de los cerros de la zona media, se encuentran los cerros de la zona glaciar, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona glaciar son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.

Ciudad Huaraz

La ciudad de Huaraz es una zona geológica compleja, con un relieve muy accidentado y una gran actividad tectónica. En la zona se encuentran los cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



8. Derrumbes de tierra en la zona de cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



9. Derrumbes de tierra en la zona de cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



10. Cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



11. Cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



12. Cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



13. Cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



14. Cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



15. Cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



16. Cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



17. Cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



18. Cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



19. Cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.



20. Cerros de la zona media, que son muy altos y están muy cercanos a la ciudad de Huaraz. Los cerros de la zona media son muy peligrosos y pueden generar grandes deslizamientos y derrumbes.

LEYENDA	
	Vista panorámica
	Vista aérea
	Derrumbes
	Cerros media
	Glaciar



La ciudad de Huaraz, capital de la región Ancash, está emplazada en un gran abanico de origen glaciar y está expuesta a numerosos peligros geológicos.

Aluviones en la ciudad de Huaraz

¿Que son los aluviones?



¿Alguna vez Huaraz se vio afectado por Aluviones?

En la ciudad de Huaraz se ha registrado el mayor número de aluviones, desde la fundación de la ciudad, en el año 1534. Los aluviones más recientes se registraron en el año 2011, cuando se registró un aluvión de gran magnitud que afectó a gran parte de la ciudad, causando la muerte de 15 personas y el desplazamiento de más de 100 familias.

El Aluvión del 12 de Diciembre de 1997

En la ciudad de Huaraz se registró el mayor número de aluviones, desde la fundación de la ciudad, en el año 1534. Los aluviones más recientes se registraron en el año 2011, cuando se registró un aluvión de gran magnitud que afectó a gran parte de la ciudad, causando la muerte de 15 personas y el desplazamiento de más de 100 familias.



¿Podían volver a ocurrir aluviones que afecten la Ciudad de Huaraz?

Siempre existirá el riesgo de que ocurran aluviones que afecten a la ciudad de Huaraz, debido a su ubicación geográfica y a su historia de aluviones.

Sismos en la ciudad de Huaraz

¿Que son los sismos?



¿Alguna vez Huaraz se vio afectado por un sismo?

Siempre existirá el riesgo de que ocurran sismos que afecten a la ciudad de Huaraz, debido a su ubicación geográfica y a su historia de sismos.

Sismo del 21 de Mayo de 1970

El sismo del 21 de Mayo de 1970, con una magnitud de 8.0, causó la muerte de más de 80,000 personas y el desplazamiento de más de 1 millón de personas.



Una calle destruida por el sismo de 1970 (en primer plano) y el sismo de 1990 (en segundo plano).

¿Podían volver a ocurrir Sismo que afecte la Ciudad de Huaraz?

Siempre existirá el riesgo de que ocurran sismos que afecten a la ciudad de Huaraz, debido a su ubicación geográfica y a su historia de sismos.



¿Cómo podemos estar preparados ante un Sismo?

Existen varias medidas que podemos tomar para estar preparados ante un sismo, como: tener un plan de evacuación, hacer ejercicios de evacuación, etc.

Antes de un sismo

- Conocer el terreno y el tipo de suelo.
- Evitar construir en zonas de riesgo.
- Evitar construir en zonas de riesgo.
- Evitar construir en zonas de riesgo.

Durante un sismo

- Protegerse al estar en interiores.
- Protegerse al estar en exteriores.
- Protegerse al estar en vehículos.
- Protegerse al estar en zonas de riesgo.

Después de un sismo

- Evitar volver a entrar en edificios dañados.
- Evitar volver a entrar en edificios dañados.
- Evitar volver a entrar en edificios dañados.
- Evitar volver a entrar en edificios dañados.

Peligros geológicos en Huaraz



Deslizamientos en la ciudad de Huaraz

¿Que son los Deslizamientos?



¿Alguna vez Huaraz se vio afectado por un Deslizamiento?

Siempre existirá el riesgo de que ocurran deslizamientos que afecten a la ciudad de Huaraz, debido a su ubicación geográfica y a su historia de deslizamientos.

¿Podrían volver a ocurrir Deslizamientos que afecten la Ciudad de Huaraz?

Siempre existirá el riesgo de que ocurran deslizamientos que afecten a la ciudad de Huaraz, debido a su ubicación geográfica y a su historia de deslizamientos.



Un deslizamiento de tierra que afectó a la ciudad de Huaraz, en el año 2011.

¿Cómo podemos estar preparados ante un deslizamiento?

Existen varias medidas que podemos tomar para estar preparados ante un deslizamiento, como: tener un plan de evacuación, hacer ejercicios de evacuación, etc.

Antes de un deslizamiento

- Conocer el terreno y el tipo de suelo.
- Evitar construir en zonas de riesgo.
- Evitar construir en zonas de riesgo.
- Evitar construir en zonas de riesgo.

Durante un deslizamiento

- Protegerse al estar en interiores.
- Protegerse al estar en exteriores.
- Protegerse al estar en vehículos.
- Protegerse al estar en zonas de riesgo.

Después de un deslizamiento

- Evitar volver a entrar en edificios dañados.
- Evitar volver a entrar en edificios dañados.
- Evitar volver a entrar en edificios dañados.
- Evitar volver a entrar en edificios dañados.

CONCLUSIONES

1. La composición litológica de los clastos y matriz de los depósitos glaciares (morrenas) que bordean y forman la laguna de Palcacocha, presentan diferencias debido a la composición litológica del substrato rocoso. En la margen derecha, por la presencia del Batolito de la Cordillera Blanca, tenemos clastos graníticos con matriz arenosa; y en margen izquierda, clasto graníticos y pizarras (provenientes de la Fm. Chicama) en matriz areno arcillosa.
2. Las morrenas de la laguna Palcacocha indican hasta qué punto avanzó la lengua glaciar, se presume que éstas morrenas, fueron originadas en la pequeña edad de hielo entre los años 1490 y 1880.
3. Las aguas de la laguna Palcacocha se ha ido incrementando en forma acelerada debido el retroceso de la lengua glaciar.
4. Como consecuencia del retroceso glaciar, numerosos bloques de hielo van cayendo en dirección a la laguna provocando oleajes tsunami cuyo impacto en las morrenas ocasionan el debilitamiento de las mismas.
5. La morrena lateral derecha, por su composición litológica, se desarrollan movimientos en masa del tipo caídas de detritos; así como erosión por cárcavas.
6. La morrena lateral izquierda es más inestable presentándose movimientos en masa de tipo caídas de detritos, derrumbes y/o avalanchas, los cuales pueden provocar el desborde de la laguna y/o ruptura del dique (morrena frontal), con graves en la ciudad de Huaraz.
7. El estudio geofísico realizado en las morrenas de la laguna de Palcacocha, permitió identificar zonas susceptibles a colapsar: a) en LL_1: cerca de la cumbre de la morrena lateral derecha, por la presencia de numerosas grietas; b) en LL_2: reacomodo de clastos en la morrena lateral derecha; c) en LL_3: posibles derrumbes y/o avalanchas en la morrena lateral izquierda superior cerca de la cumbre; d) en LL_4: zonas con asentamientos en la morrena lateral izquierda con caídas hacia el lado opuesto a la laguna; e) en LT_1: la morrena lateral izquierda presenta zonas donde los asentamientos con dirección de caída hacia la laguna.
8. El asentamiento que presenta LT_1, es parte del sistema de la avalancha del 2003, confirmando así la inestabilidad de la morrena lateral izquierda.
9. La morrena lateral derecha presenta ligera estabilidad en comparación con la izquierda.
10. La laguna Palcacocha, está expuesta, no solo a la inestabilidad de sus morrenas, sino también a la posible caída de bloques de hielo de los glaciares que la rodean; así como al desprendimiento de bloques de rocas de las laderas que la rodean. Estos pueden ser “detonados” por sismos, intensas precipitaciones pluviales y clima (aumento de temperaturas relacionados con el cambio climático)
11. La caída de un bloque de hielo a la laguna Palcacocha, ocasionó la ruptura de la morrena frontal de la laguna, ocasionando un aluvión de grandes proporciones, destruyendo casi la mitad de la ciudad de Huaraz el año 1941.

12. El año 2003, ocurre un deslizamiento – avalancha en la morrena lateral izquierda ocasionando olas tsunami en la laguna, provocando que las aguas del río Cojup se enturbiaran, ocasionando el cierre por una semana la planta de tratamiento de agua para la ciudad de Huaráz por el lapso de casi una semana.
13. En el mes de Septiembre del 2008, debido al desborde de una laguna, situada al lado Este de la laguna Palcacocha, ocasionó el arranque de bloques de roca y remoción de suelo haciendo que se cerrara la planta de tratamiento de aguas de la ciudad de Huaraz por un día.
14. La constante caída de bloques de hielo a la laguna Palcacocha, se hace cada vez más frecuente, aumentando la peligrosidad. Fenómeno asociado al retroceso de la lengua glaciar.
15. En la ciudad de Huaráz las zonas más vulnerables, son las que están ubicados en las riveras del rio Quillcay, así como en la confluencia de los ríos Cojup y Quillcayhuanca.

RECOMENDACIONES

1. Se debe realizar un continuo monitoreo del comportamiento de las morrenas de la laguna Palcacocha.
2. Realizar mejoramiento en las presas artificiales construidas en la laguna, si es posible, aumentar el tamaño de los diques artificiales para eventuales olas tsunami.
3. Realizar un monitoreo de los glaciares que circundan a la laguna Palcacocha; es decir, monitorear el retroceso glaciar.
4. Se debe realizar charlas de prevención a la ciudad de Huaraz, en especial a las zonas urbanas instaladas cerca del río Quillcay, puesto que son las que se encuentran en mayor riesgo.
5. Las organizaciones como Defensa Civil de Ancash, la Municipalidad de Huaraz y el Gobierno Regional de Ancash, deben implementar el Sistema de Alerta Temprana ante flujos de detritos, inundación de detritos (aluviones).
6. Como complemento del Sistema de Alerta Temprana, realizar el mapa de evacuación de la ciudad de Huaraz en caso de aluvión. Sobre todo en las viviendas ubicadas en las cercanías del río Quillcay.
7. Reubicación de las viviendas ubicadas en las riveras del río Quillcay, así como los que se encuentran en la confluencia de los ríos Cojup y Quillcayhuanca.
8. Se recomienda realizar estudios geofísicos del tipo GRP, en las demás morrenas que circundan lagunas identificadas como peligrosas en la Cordillera Blanca. Como el caso de la laguna Parón, en la ciudad de Caraz.

BIBLIOGRAFÍA:

Chang L., Alva J. (1991). Deslizamientos y Aluviones en el Perú. Lima, Perú: 162, pp 67-68

Cobbing E., Sánchez A., Martínez W., Zárate H. (1996). Geología de los Cuadrángulos de Huaráz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca. Boletín N°76. Serie A. Carta Geológica Nacional (hoja 20 h, 20 i). INGEMMET. Lima p64-89.

Hegglin E., Huggel C., (2008). "An Integrated Assessment of Vulnerability to Glacial Hazards". Mountain Research and Development. Vol 28. N°3/4. 300 – 307 pg.

Alva J., Huamán C., Bustamante A., (2000). "Estudios de la Microzonificación Sísmica de Huaráz". VIII congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Civil. Pg. 21.

Marquez A., Francou B. (1995). "Cordillera Blanca, Glaciares en la Historia." Bull. Inst. fr. études andines 24(1): 28, p54.

Portocarrero, C. (1995). "Restroceso de los Glaciares en el Perú: Consecuencias Sobre los Recursos Hídricos y los Riesgos Geodinámicos." Bull. Inst. fr. études andines 24(3): 10, p.700.

Proyecto INDECI – PNUD PER/02/051. (2002) Ciudades Sostenibles: "Mapa de Peligros de la Ciudad de Huaraz y sus Áreas de Expansión", 39 – 45 pg.

Pulgar V. (1996). "Geografía del Perú: Las Ocho Regiones Naturales. La Regionalización Transversal. La Sabiduría Ecológica Tradicional", PEISA p. 113-119

PMA:GCA (2007). Movimientos en Masa de la Region Andina, 04, 404, p. 1 -30

Schwartz P (1988). "Paleoseismicity and neotectonics of the Cordillera Blanca fault zone, northern Peruvian Andes", Journal of Geophysical Research, vol. 93, no. b5, 4712–4730p.

UGRH, INGEMMET. (2003) "Informe de Evaluación del Estado de los Glaciares en la Cabecera de la Laguna Palcacocha".

Véliz J., (1967). "Geología del área de Yungay, departamento Ancash y el Alúd de Ranrahírca". Tesis en Bach. en Geología. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, p48 .

Veliz Y., Macharé J. (1994). "Reconstrucción de Fluctuaciones Glaciales 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.

Wilson J., Reyes L., Garayar J. (1995). "Geología de los Cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari". Boletín N°60 Serie A: Carta Geológica Nacional (Hoja 19h).INGEMMET. Lima.p16-20, 26.

Zavala B., Valderrama P., Luque G., Barrantes R., Pari W., (2007) "Riesgo Geológico en la Región Ancash" INGEMMET, p51-52.

Páginas Web de Referencia:

- INRENA. "Glaciares, Lagunas Altoandinas, Deglaciación y Cambio Climático." from http://www.inrena.gob.pe/irh/irh_proy_glaciares.htm
- Institution of Engineering and Technology, "Ground-penetrating radar." From http://en.wikipedia.org/wiki/Ground-penetrating_radar.