

**PROCESOS GEODINÁMICOS Y PELIGROS GEOLÓGICOS EN  
LOS DEPÓSITOS MORRÉNICOS DE LA LAGUNA DE  
PALCACOCHA, CORDILLERA BLANCA – ANCASH**

# CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>1. CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES</b> .....	<b>2</b>
1.1. Introducción .....	2
1.2. Ubicación del Área de Estudio .....	3
1.3. Accesibilidad .....	3
1.4. Problemática .....	4
1.5. Hipótesis .....	4
1.6. Objetivos .....	5
1.6.1. Objetivos Generales .....	5
1.6.2. Objetivos Específicos .....	5
1.7. Metodología de Trabajo .....	5
1.7.1. Etapa de Gabinete I .....	5
1.7.2. Etapa de Campo .....	6
1.7.3. Etapa de Gabinete II .....	6
1.8. Hidrografía, Clima y Vegetación .....	6
1.8.1. Hidrografía .....	6
1.8.2. Clima y Vegetación .....	7
<b>2. CAPÍTULO II: GEOMORFOLOGÍA</b> .....	<b>8</b>
2.1. Geomorfología Regional .....	8
2.2. Geomorfología Local .....	10
2.2.1. Unidad de Glaciares .....	10
2.2.2. Unidad de Lagunas Glaciares .....	11
2.2.2.1. Laguna Palcacocha .....	11
2.2.2.2. Lagunas Perolcocha y Cojup .....	12
2.2.3. Unidad de Depósitos Morrénicos .....	13
2.2.3.1. Subunidad de Depósitos Morrénicos de Fondo de Valle Glaciar .....	14
2.2.3.2. Subunidad de Depósitos Morrénicos Colgantes .....	16
2.2.4. Unidad de Valle Glaciar .....	16
2.2.5. Unidad de Cono Aluvial .....	17



5.2. Clasificación de Movimientos en Masa .....	41
5.2.1. Caída de Rocas (Detritos) .....	41
5.2.2. Deslizamientos de Detritos .....	42
5.2.3. Flujo de Detritos .....	42
5.2.4. Flujo de Lodo .....	42
5.2.5. Avalancha de Hielo .....	42
5.2.6. Avalancha de Detritos .....	42
5.2.7. Avalancha de Rocas .....	43
5.2.8. Cárcavas .....	43
5.2.9. Agrietamiento (Cracking) .....	43
5.2.10. Grietas de Hielo .....	43
5.3. Geodinámica Externa en las Morrenas de la Laguna Palcacocha .....	43
5.3.1. Avalancha de Hielo .....	44
5.3.2. Grietas de Hielo .....	44
5.3.3. Flujo de Detritos .....	45
5.3.4. Caída de Detritos .....	46
5.3.5. Avalancha de Rocas y Detritos .....	46
5.3.6. Cárcavas .....	47
<b>6. CAPÍTULO VI: GEOFÍSICA .....</b>	<b>49</b>
6.1. Introducción .....	49
6.2. Ground Penetrating Rada (GPR) .....	49
6.3. Aplicación del GPR en las Morrenas de la Laguna Palcacocha .....	51
6.3.1. LL_1 .....	52
6.3.2. LL_2 .....	53
6.3.3. LL_3 .....	55
6.3.4. LL_4 .....	57
6.3.5. LT_1 .....	58
<b>7. RIESGOS GEOLÓGICOS EN LA CIUDAD DE HUARAZ .....</b>	<b>61</b>
7.1. Procesos de Aluvionamiento .....	61
7.2. Aluvión del 13 de Diciembre de 1941 .....	61
7.3. Deslizamiento del 19 de Marzo del 2003 en la Laguna Palcacocha .....	65
7.4. Otros Eventos Aluviónicos .....	66

7.5. Futuros Peligros en la Laguna Palcacocha .....	67
7.6. Riesgos Geológicos en la Ciudad de Huaraz .....	68
7.6.1. Zona de Peligro Muy Alto .....	71
7.6.2. Zona de Peligro Alto .....	71
7.6.3. Zona de Peligro Medio .....	71
7.6.4. Zona de Peligro Bajo .....	71
7.7. Enfoque Integrado para la Evaluación de la Vulnerabilidad .....	72
7.7.1. Vulnerabilidad Física .....	72
7.7.2. Magnitud de Flujo .....	72
7.7.3. Flujo de Trayectoria .....	73
7.7.4. Densidad Poblacional .....	74
7.7.5. Vulnerabilidad Social .....	74
7.7.5.1. Preparación .....	74
7.7.5.2. Prevención.....	75
7.7.5.3. Responsabilidad .....	76
7.7.6. Resultados: Estrategias de la Reducción de Vulnerabilidad .....	76
7.8. Zonas Críticas ante Desastres .....	80
7.8.1. Zona de Riesgo Muy Alto .....	80
7.8.2. Zona de Riesgo Alto .....	81
7.8.3. Zona de Riesgo Medio .....	81
7.8.4. Zona de Riesgo Bajo .....	81
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>82</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>85</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>86</b>
<b>PÁGINAS WEB DE REFERENCIA .....</b>	<b>87</b>



## RESUMEN

La Cordillera Blanca es considerada como uno de los glaciares tropicales más grandes del mundo, muchas lagunas que se forman en ésta cordillera contienen diques naturales consistentes de material morrénico, los cuales representan un cierto peligro para las ciudades que se sitúan cercanas a ellas, 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 se realizó el estudio de éstas geoformas glaciares, enfocadas en el área de la laguna Palcacocha, para ver qué áreas de las morrenas laterales podrían ser propensas a convertirse en deslizamientos. Este objetivo se logró realizar con la ayuda de estudios geofísicos, utilizando el método del georadar 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 geológica 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 glacial 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 sacadas en el presente año, con la finalidad de ver la rapidez del retroceso de la lengua glacial en la laguna Palcacocha.

Se hace también una breve descripción de los aluviones ocurridos en la ciudad de Huaraz, para poder dar un mejor panorama acerca de los peligros geológicos a los cuales está expuesta la ciudad.

# **CAPITULO I**

## **ASPECTOS GENERALES**

### **1.1 INTRODUCCION:**

La ciudad de Huaraz, capital de la región Ancash, es una de las ciudades más importantes del 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 glaciar, 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 enorme aluvión que destruyó casi la mitad de la pequeña Huaraz de entonces.

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 un deslizamiento-avalancha ocurrido en una de las paredes morrénicas de la laguna, generó un aluvión de pequeñas dimensiones pero grandes consecuencias. El aumento de la turbidez y sólidos concentrados en las aguas del valle Cojup (originados por el aluvión aguas arriba) 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 Pacacocha y

si estos futuros eventos afectarían el suministro de agua de calidad a la planta de tratamiento de la ciudad de Huaraz.

## **1.2 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:**

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.

Las coordenadas geográficas de la laguna Palcacocha son:

Latitud Sur : 9° 23'41''

Longitud Oeste : 77°22'44''

## **1.3 ACCESIBILIDAD:**

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.



**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).

#### **1.4 PROBLEMÁTICA:**

Los glaciares tropicales de la Cordillera Blanca son escenarios de los más grandes aluviones registrados en la historia del Perú. La mayoría de los 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.

#### **1.5 HIPÓTESIS:**

Las morrenas laterales, que albergan a la Laguna Palcacocha podrían ser un gran peligro para la ciudad de Huaráz, en forma indirecta; debido a la posible existencia de zonas de debilitamiento; en especial en la morrena lateral izquierda.

## **1.6 OBJETIVOS:**

### **1.6.1 Objetivos Generales:**

El objetivo general del estudio es evaluar los procesos geodinámicos externos que se desarrolla en los depósitos morrénicos que contienen las aguas de la Laguna Palcacocha, así como la estabilidad de los mismos, para ver el grado de peligrosidad que representa a la ciudad de Huaraz.

### **1.6.2 Objetivos Específicos:**

- 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 geodinámicos que se desarrollan en las morrenas de la laguna Palcacocha.
- Conocer si existen estructuras de debilidad y deformación precedentes a deslizamientos y/o avalanchas mediante el método de GPR (Ground Penetrating Radar).
- Encontrar estructuras de debilidad en los depósitos morrénicos laterales.
- Analizar cuál es el grado de peligrosidad que representan estos para la laguna Palcacocha.

## **1.7 METODOLOGÍA DE TRABAJO:**

El estudio de las morrenas de la Laguna Palcacocha, se desarrolló en tres etapas, las cuales se describen a continuación:

### **1.7.1 Etapa de Gabinete I:**

Se realizó una revisión bibliográfica correspondiente a la zona de estudio así como de trabajos similares, también se realizó la interpretación de fotografías aéreas del año 1997, revisión de mapas topográficos a escala 1:25,000; imágenes satelitales Spot a escala 1:5,000 y 1:25,000 con 3 tipos de bandas: rojo, verde y azul; tomadas el año 2007; así como la recopilación de información respecto al manejo del georadar (GPR) para la prospección geofísica en la zona de estudio.

### **1.7.2 Etapa de Campo:**

El trabajo de campo, se enfocó en la identificación y cartografiado de los movimientos en masas emplazados en los flancos internos de las morrenas laterales de la laguna Palcacocha a escala 1:5000. Posteriormente se desarrolló el barrido geofísico utilizando el método de GPR en líneas pre-establecidas en gabinete. Paralelamente, se realizó el reconocimiento de la composición litológica y geológica de las morrenas de la laguna Palcacocha.

### **1.7.3 Etapa de Gabinete II:**

Consistió en el procesamiento de datos recolectados en campo, como la digitalización de los mapas, la interpretación de los datos geofísicos tomados en las morrenas, para finalmente realizar la redacción de la presente tesis.

## **1.8 HIDROGRAFÍA, CLIMA Y VEGETACIÓN:**

### **1.8.1 Hidrografía:**

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 km<sup>2</sup>; su caudal en épocas normales transporta volúmenes de agua al rededor de 0.4 a 1.5 m<sup>3</sup>/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 km<sup>2</sup>, ya que abarca las quebradas de Cojup, Quillcayhuanca y Shallap; tiene un caudal medio de volumen de 7.09 m<sup>3</sup>/seg, una longitud de 28 km, con una pendiente de 6° y cuenta con 22 lagunas dentro de su área.

### 1.8.2 Clima y Vegetación:

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).

<b>Clima</b>	<b>Alt. (m)</b>	<b>Temp. (°C)</b>	<b>Precip. (mm)</b>	<b>Humedad Relativa (%)</b>	<b>Características</b>
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.

## **CAPITULO II GEOMORFOLOGÍA**

### **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 glaciar. 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).

Actualmente en los depósitos fluvio-glaciares se desarrollan actividades agrícolas, así como turismo de aventura; como por ejemplo caminata o trekking y cabalgata.

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.

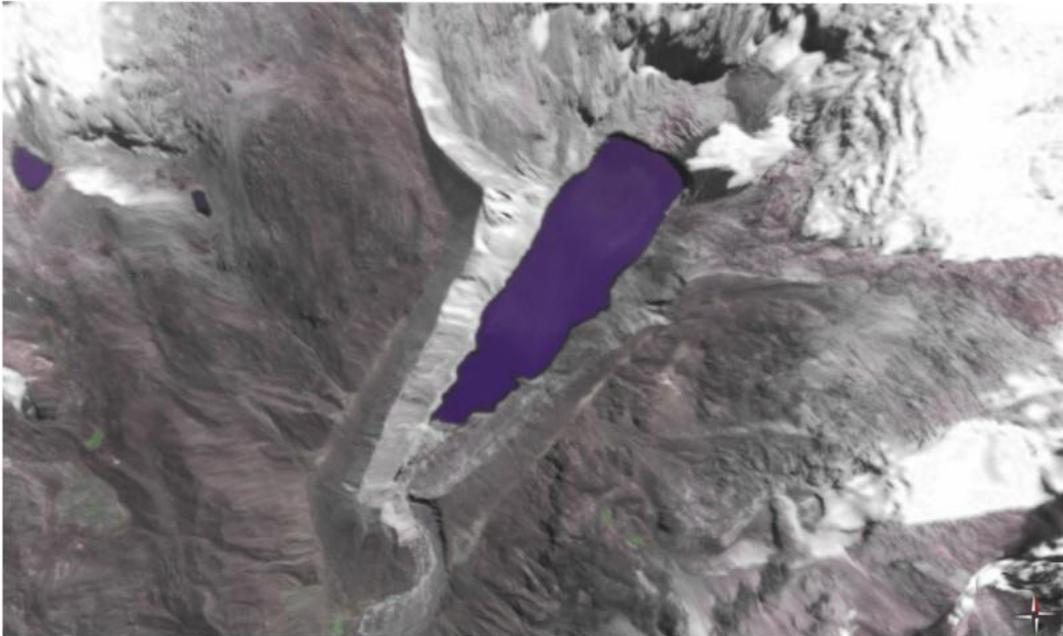
En el flanco Oeste de la Cordillera Blanca y a lo largo de ella se encuentra la denominada Falla de la Cordillera Blanca, con una longitud aproximada de 210 km; ésta falla normal exhibe continuas evidencias geomorfológicas de repetidos desplazamientos del Pleistoceno tardío y Holoceno (Schwartz, 1988).

La Cordillera Blanca, por tener una magnificencia única en el mundo, es atractiva para muchas actividades turísticas como el andinismo, rapelismo, esquí, entre otras actividades para poder disfrutar del paisaje y el ambiente natural que ofrece la cordillera.

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, salvo en los meses de precipitaciones pluviales (Diciembre a Marzo), en los cuales se cubre por el granizo y la 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 por último la unidad de cono aluvial.



**Fig. 2.1: Imagen Spot de la Laguna Palcacocha**

### 2.2.1 UNIDAD DE GLACIARES:

La unidad de glaciares 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.



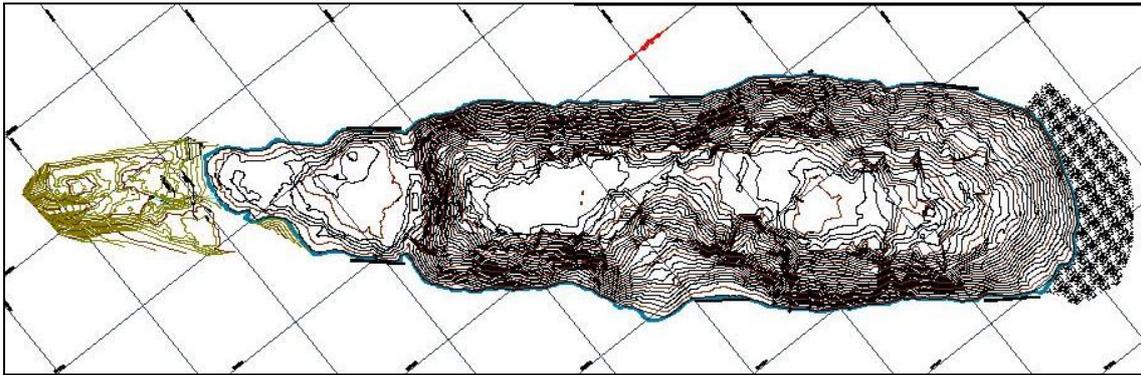
**Foto 2.1: Vista de los Nevados Palcaraju a la izquierda y Pucaranra a la derecha.**

## **2.2.2 UNIDAD DE LAGUNAS GLACIARES:**

### **2.2.2.1 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 17'325,206.57m<sup>3</sup>. (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.

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.



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



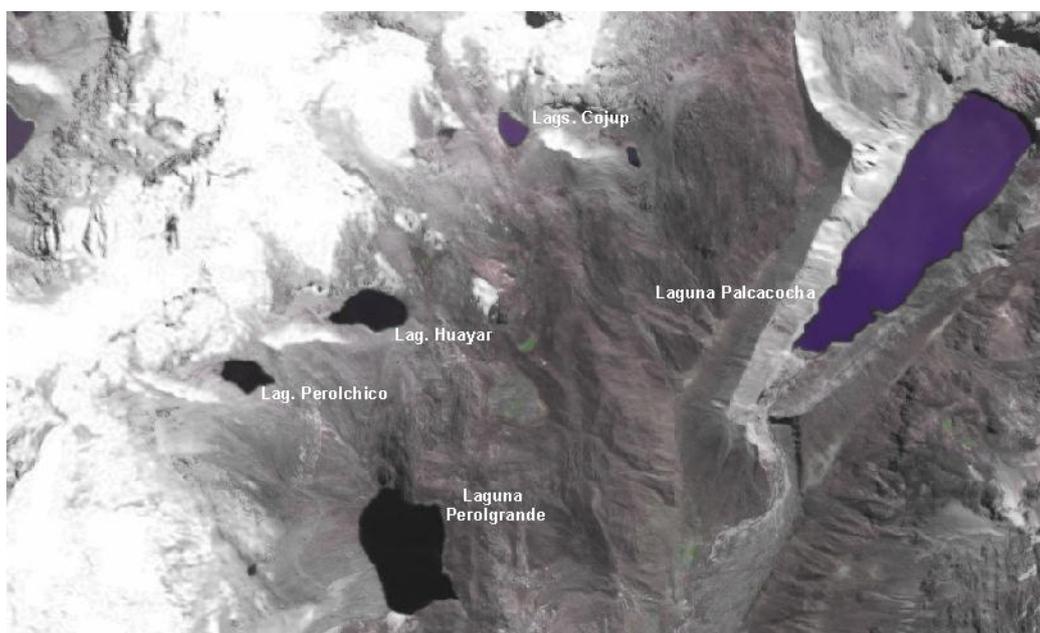
**Foto 2.2: Laguna Palcacocha, al fondo se observa el contacto que existe entre la laguna y la lengua glaciaria.**

#### **2.2.2.2 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.



**Fig 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.**

### **2.2.3 UNIDAD DE DEPÓSITOS MORRÉNICOS:**

Estos depósitos son característicos de la sedimentación glaciar 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.

### **2.2.3.1 Sub unidad de Depósitos Morrénicos de Fondo de Valle Glaciar:**

Se denomina depósitos morrénicos de fondo de valle glaciar 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.

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.



**Foto 2.3: morrena lateral derecha.**



**Foto 2.4: Morrena lateral izquierda.**

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 2.5: Vista de la morrena frontal en el fondo del valle glaciario; 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.**

### 2.2.3.2 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 turificación en las morrenas.

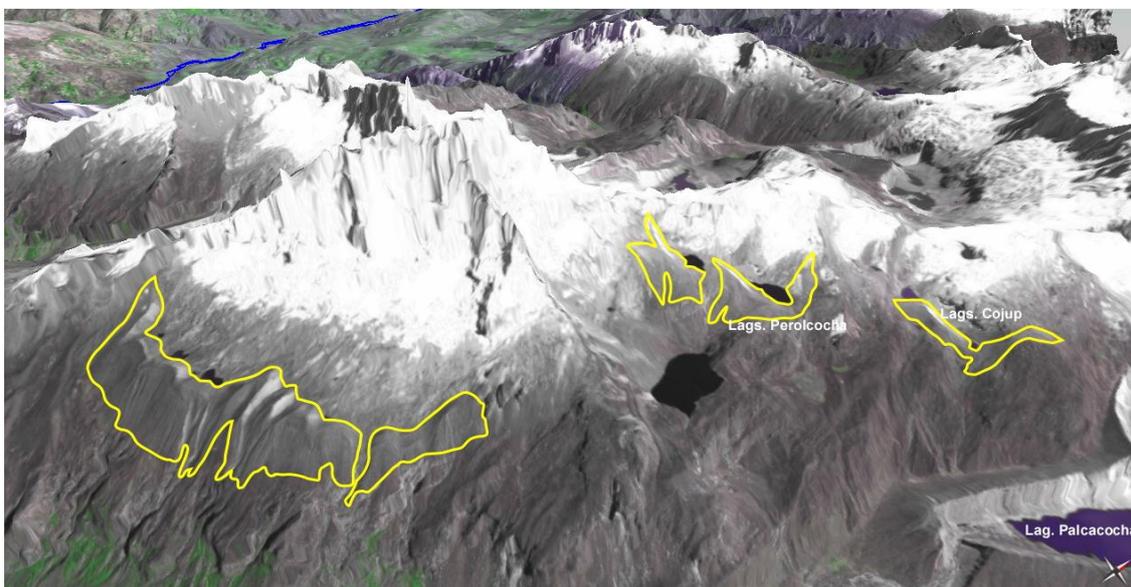


Fig. 2.4: Imagen en 3D mostrando las morrenas colgantes en el valle glaciar Cojup, cercanas a las cumbres del valle glaciar.

### 2.2.4 UNIDAD DE 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 realzó 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).



**Foto 2.6:** Valle Glaciar Cojup, muestra la forma en “U” debido a la erosión glaciar de los nevados.

### **2.2.5. UNIDAD DE 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.**

## **CAPITULO III GEOLOGÍA**

### **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. Además de los datos tomados en campo.

#### **3.1.1 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 ( $145.5 \pm 4.0$  M.A.).

#### **3.1.2 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 ( $142.2 \pm 4.0$  M.A.).

#### **3.1.3 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.

### **3.1.3.1 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 ( $140.2 \pm 3.0$ ).

### **3.1.3.2 FORMACION 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 ( $\pm 133.9$  M.A.).

### **3.1.4 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.

### **3.1.5 ROCAS INTRUSIVAS**

#### **3.1.5.1 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  $2.7 \pm 0.4$  M.A, con una agrupación de 9 M.A. (Stewart et al, 1974).

## **3.2 GEOLOGÍA LOCAL**

### **3.2.1 BATOLITO DE LA CORDILLERA BLANCA**

El Batolito de la Cordillera Blanca está comprendido básicamente de granodiorita y tonalita 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.



**Foto3.1: Bloques del Batolito de la Cordillera Blanca en la morrena lateral derecha. (Foto: Valderrama, 2008).**

### 3.2.2 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.



**Foto 3.2: Izquierda: Morrena lateral izquierda compuesta principalmente por la Fm. Chicama. Derecha: Bloques de pizarras envueltas en una matriz arenopizarrosa.**

### 3.2.3 DEPÓSITOS DEL CUATERNARIO:

En la zona de estudio los depósitos del cuaternario son de alta importancia, ya que debido al bajo grado de consolidación que poseen, tienden a producir movimientos en masa que presentan un gran riesgo para la seguridad de la ciudad de Huaraz. Los depósitos aluviales y morrénicos serán tratados con detalle en éste capítulo.

#### 3.2.3.1 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.

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.**

### **3.2.3.2 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.

La composición en las morrenas de fondo de valle glaciar tanto laterales, como frontales, es básicamente granítica pero guarda una cierta diferencia entre ambas morrenas. La morrena lateral derecha presenta bloques de granito que son angulosos a subredondeados, con diámetros aproximados de 0.5 a 3 metros, envueltos en matriz granítica, mientras que la morrena lateral izquierda está conformada por detritos y bloques también de granito pero acompañado de pizarras, esto debido a la intrusión del Batolito de la Cordillera Blanca en la Formación Chicama la cual data del Jurásico Superior ( $\pm 156$  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 el 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 glaciar, propiciando así numerosos procesos geodinámicos.

### **3.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL**

#### **3.3.1 FALLA DE LA CORDILLERA BLANCA**

La Falla de la Cordillera Blanca está compuesta 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.

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.

#### **3.3.2 SISMICIDAD:**

Los datos tomados pertenecen al Proyecto INDECI – PNUD de Ciudades Sostenibles.

**3.3.2.1 ANTECEDENTES:** La particular ubicación del territorio peruano dentro del contexto geotectónico mundial (“Cinturón de Fuego Circunpacífico”), le confiere una alta actividad sísmica, traducida en los innumerables eventos catastróficos que se ha dado en su historia y con probabilidades de generación de otros en el futuro.

El movimiento tectónico de la placa Oceánica bajo la placa Continental genera la actividad sísmica en el sector occidental de la Cordillera de los Andes, una zona

marcadamente sísmica, siendo el sismo del 31 de Mayo de 1,970 el evento catastrófico más devastador en la historia moderna del país.

Para el área de Huaraz y para la región del departamento de Ancash en general, la mayor actividad sísmica se concentra en el Océano Pacífico, en una línea paralela a la costa, a una distancia media de 80 Km, correspondiendo a la traza del contacto entre las placas tectónicas marina y continental. Ahí se da una gran concentración de sismos, apreciándose la subducción de la Placa de Nazca, aumentando la profundidad focal de los sismos hacia el continente, donde se producen a profundidades superficiales a intermedias y que podrían estar relacionadas a fallamientos activos.

### **3.3.2.2 Sismo del 31 Mayo de 1970: Origen y Efectos en la Ciudad de Huaraz:**

El terremoto ocurrido en esta fecha tuvo una magnitud MS de 7.7 en la escala de Richter, se produjo a las 20h 23m 28.7s (3.23 p.m. hora local), frente a la costa norte del Perú y cuyos parámetros epicentrales, según el USGS fueron:

Longitud = 9.176 S

Latitud = 78.823 W

Profundidad = 43 Km.

Magnitud = 6.6 MB – 7.8 Ms

Intensidad = VIII MMI

Debido a su distancia epicentral, a Huaraz le correspondía una intensidad de VII MM, pero el centro urbano de la ciudad alcanzó una intensidad de VIII MM, debido a la amplificación sísmica causada por las condiciones locales del suelo, que según Martínez A. (1975-1976), puede atribuirse a la presencia del nivel freático muy superficial. Este hecho también podría deberse al “rebote” que experimentaron las ondas sísmicas al encontrarse con el cuerpo granítico de la batolito de la Cordillera Blanca, dando lugar a un fenómeno de “reflexión de ondas” que contribuyeron a intensificar la actividad sísmica en la ciudad.

Según los estudios sismológicos efectuados por Lomnitz (1970), no se registraron cambios geofísicos en gran escala, debido a que la magnitud del sismo no llegó a un mayor valor.

En relación con estudios geológicos/estructurales (Plafker et al, 1971), se constató que la serie de fallas geológicas que existen en el valle del Santa no fueron reactivadas por este sismo de mayo,70.

### **3.3.2.3 Historia Sísmica**

Se puede resumir la historia sísmica de mayor incidencia en la Región.

#### **3.3.2.3.1 Sismos Históricos**

##### **Sismo del 14 de Febrero de 1619, a las 11:30 horas:**

Terremoto que destruyó la ciudad de Trujillo, fue sentido hasta 200 Km. al norte y a más de 600 Km. al Sur en la Ciudad de Lima se le sintió como fuerte temblor que causó la salida de la gente de sus casas.

##### **Sismo del 06 de Enero de 1725, a las 23:25 horas:**

Terremoto que ocasionó diversos daños en la Ciudad de Trujillo; en los nevados de la Cordillera Blanca originó la rotura de una launa glacial, la cual desbordó y arrasó un pueblo cercano a Yungay, muriendo 1500 personas; el sismo fue sentido en Lima.

##### **Sismo del 28 de Octubre de 1746, a las 22.30 horas:**

Terremoto que causó muchos daños y 1141 muertos en Lima; hubo Tsunami en el Callao, probable intensidad de X -MMI en Lima, fue sentido desde Guayaquil, marañón hasta el Cuzco y Tacna.

##### **Sismo del 14 de Marzo de 1747, a las 13.30 horas:**

Sismo destructor en Tauca, Conchucos, causó muertos y se registraron daños en Corongo.

##### **Sismo del 14 de Octubre de 1791, a las 21.17 horas:**

Fuerte temblor en la Villa de Pasco, acompañado de gran ruido, apreciándose una dirección NE-SO.

#### **3.3.2.3.2 Sismos (Verificados Instrumentalmente)**

##### **Sismo del 02 de Enero de 1902, a las 09:08 horas:**

Fuerte y prolongado movimiento de tierra en Casma y Chimbote, donde causó alarma, se sintió desde Paita hasta Lima.

**Sismo del 04 de Marzo de 1904, a las 5:17 horas:**

Fuerte movimiento sísmico en la ciudad de Lima (Intensidad aproximada: VIII MMI), fue sentido en Casma, Trujillo, Huanuco, Pisco y Ayacucho.

**Sismo del 20 de Mayo de 1917, a las 23:45 horas:**

Fuerte temblor en la ciudad de Trujillo, causó daños en edificios públicos, el sismo se sintió fuerte en Chimbote y Casma.

**Sismo del 11 de Marzo de 1926, a las 6:20 horas:**

Fuerte sismo en la ciudad de Lima, se produjo derrumbes en la ruta del ferrocarril Central.

**Sismo del 19 de Enero de 1932, a las 21:33 horas:**

Violento sismo que causó muchos daños en Trujillo y Lima. Se estima una intensidad de VII MMI en Lima.

**Sismo del 05 de Marzo de 1935, a las 17:35 horas:**

Fuerte sismo sentido en la Costa Peruana, entre las latitudes 5° y 11°, causó muchos daños en Trujillo, ligeros daños en Cutervo, Cajamarca, Chimbote y Casma; sentido en todas las poblaciones del Callejón de Huaylas hasta Chiquián, lo mismo que en Celendín, San Marcos y Pomabamba.

**Sismo del 24 de Diciembre de 1937, a las 1:23 horas:**

Terremoto en las vertientes orientales de la Cordillera Central; en el Valle de Chontabamba. Fueron 34 casas completamente destruidas, el movimiento sísmico fue sentido en San Ramón, La Merced, Pozuzo y Tarma.

**Sismo del 24 de Mayo de 1940, a las 11:35 horas:**

Terremoto de grado VIII MMI en Lima, fue sentido desde Guayaquil en el Norte y Arica en el Sur, hubo tsunami, causó 179 muertos y 3500 heridos, tuvo una intensidad de VI MMI en el Callejón de Huaylas.

**Sismo del 10 de Noviembre de 1946, a las 12:53 horas:**

Terremoto ocurrido en la provincia de Pallasca y Pomabamba, asociado a un visible caso de dislocación tectónica, causó 1396 víctimas, el movimiento sísmico tuvo un área de percepción de 450,000 Km<sup>2</sup>. La región epicentral situada entre las coordenadas: 8.10° a 8.26° de Latitud Sur y 77.27° a 77.52° de longitud Oeste fue el escenario de grandes efectos destructores, en donde ocurrieron transformaciones topográficas y derrumbes en la parte alta del Pueblo de Quiches, donde se produjo una escarpa de falla de 10 Km. De longitud con rumbo promedio de N 42° W con buzamiento del plano de dislocación de 58° SW. Grandes derrumbes se produjeron en las quebradas de Pelagatos,

Shuitococha, Llama y San Miguel, que ocasionaron represamientos. Se produjeron numerosos agrietamientos en el terreno cerca de Quiches, Maya, Huancabamba, Conchucos y Citabamba. su efecto en las construcciones fueron grandes, en el material de adobes y tapial de las edificaciones de Quiches, Sihuas, Maya y Conchucos.

**Sismo del 23 de Junio de 1951, a las 20:37 horas:**

Originado en el Océano frente a las Costas del Litoral Norte, causo una intensidad de V MMI en Pacasmayo: Sentido en Cajamarca y en todo el Callejón de Huaylas.

**Sismo del 17 de Febrero de 1956, a las 20:37 horas:**

Temblor sentido en todas las poblaciones de los Departamentos de la Libertad y Ancash, fue sentido con una intensidad de V MMI en la ciudad de Chimbote.

**Sismo del 18 de Febrero de 1956, a las 12:49 horas:**

Sismo destructor sentido en todo Callejón de Huaylas, causando daños en Carhuaz y los caseríos de Amashca, Shilla, Shipa y Hualcán.

**Sismo del 18 de Abril de 1962, a las 14:15 horas:**

Movimiento destructor que causó numerosos agrietamientos en las construcciones de adobe de la ciudad de Casma y deterioros en la Catedral de Huaraz y deslizamiento en el asiento minero de Quiruvilca.

**Sismo del 17 de Setiembre de 1963, a las 00:05 horas:**

Movimiento destructor prolongado y ruidoso sintiéndose a lo largo de la costa, entre Cañete y Trujillo, y en las poblaciones del Callejón de Huaylas.

**Sismo del 24 de Setiembre de 1963, a las 11:30 horas:**

Movimiento sísmico destructor en los pueblos de la Cordillera Negra, causo fuertes daños en los pueblos de Huayllacayán, Cajacay, Malvas, Cotaparaco, Cajamarquilla, Ocros, Raquia, Congas, Llipes, muchas averías en los canales de regadío. En Huaraz se produjeron daños en varias construcciones, con caídas de tejas y cornisas, destruyó viviendas antiguas en el Puerto de Huarmey, algunas rajaduras en inmuebles antiguos del Norte de la ciudad de Lima, sentido con fuerte intensidad en Chimbote y Salaverry.

**Sismo del 17 de Octubre de 1966, a las 16:41 horas:**

Fue uno de los más destructores ocurridos después del sismo de 1940. Fue destructor a lo largo de la franja litoral entre Lima y Supe. La intensidad máxima se estimo en VIII MMI. La aceleración producida en Lima fue de 0.4 seg.

### **Sismo del 31 de Mayo de 1970, a las 15:23 horas:**

Fue uno de los mas catastróficos ocurridos en el Perú, murieron 50,000 personas, desaparecieron 20,000 y quedaron heridos 150,000 según informe de CRYRZA (COMISION DE REHABILITACION Y RECONSTRUCCION DE LA ZONA AFECTADA.)

Con la evaluación de daños que esta entidad realizó podemos tener una idea de la catástrofe:

- 60.00 viviendas necesitan reconstrucción.
- 38 poblaciones fueron afectadas, 15 quedaron con viviendas destruidas en más del 80%, el resto sufrió daños de consideración.
- En 18 ciudades con un total de 309,000 habitantes los alcantarillados quedaron destruidas.
- 6,730 aulas fueron destruidas.
- La capacidad de energía eléctrica de Ancash y la Libertad quedó reducida en un 10% por la serie de daños causados en la Central Hidroeléctrica de Huallanca.
- Quedaron dañadas las facilidades para irrigar 110 mil hectáreas.
- El 77% de los caminos de la Libertad y Ancash se interrumpieron así como el 40 % de los existentes en Chancay y Cajatambo.

Dentro de las características del sismo, se puede mencionar que en la zona de la costa cercana al epicentro, se produjeron fenómenos de licuefacción; deslizamientos de taludes de la Cordillera Blanca, y el gran aluvión que arrasó con la ciudad de Yungay al desprenderse la cornisa norte del Nevado Huascarán, arrastrando piedras, nieve y lodo. En el Callejón de Huaylas los deslizamientos y escarpas fueron muchos, a la altura de Recuay se represo el río Santa. En la zona de la costa se agrieta el suelo con eyección de agua, arena y lodo, hasta una altura de un metro.

El sismo fue sentido desde Tumbes hasta Ica y desde la costa hasta Iquitos, produciéndose intensidades de IX en Casma y Chimbote y VIII en el Callejón de Huaylas.

### **Sismo del 04 de Mayo de 1971, a las 12:00 horas:**

Violento sismo local que sacudió la provincia de Sihuas. Por los deslizamientos a consecuencia del sismo, en Chingalpo y en Quiches murieron 5 personas y 30 quedaron heridas. El sismo tuvo su origen en el mismo foco del terremoto de 1946. Es el último

sismo significativo en el Perú y tuvo una intensidad de VI a IX MMI y una magnitud de 6.6 en la ciudad de Lima, el sismo se sintió con grado IX y tuvo una duración de 35 segundos ocasionando daños materiales. De la cronología sísmica se deduce que la zona de estudio es altamente sísmica.

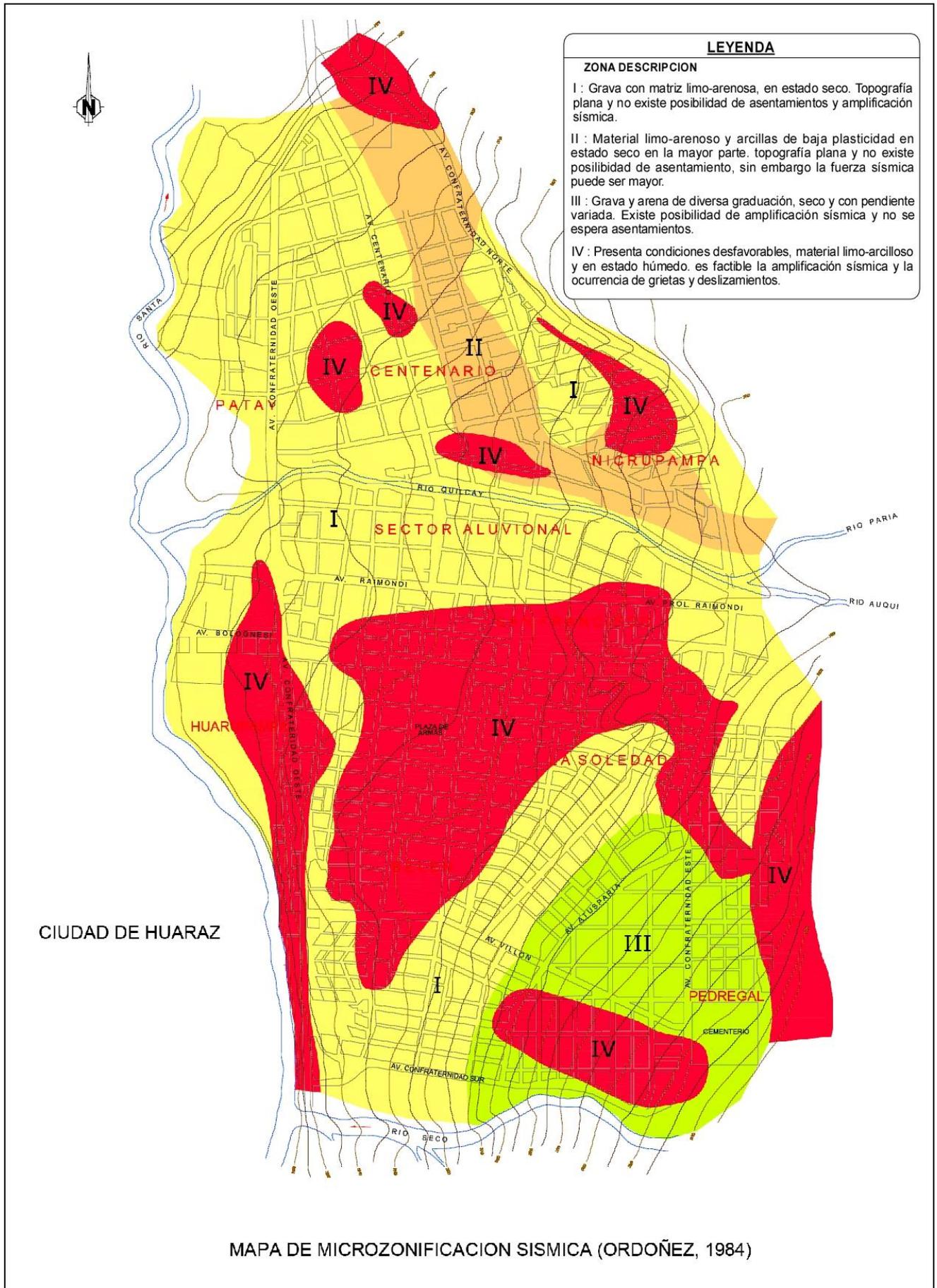


Fig N° 3.1: Mapa de Zonificación Sísmica en la Ciudad de Huaraz. (Fuente: Alva J., et al, 2000)



**Foto 3.6: Vista del salto de la Falla de la Cordillera Blanca entre los valles glaciares de Llaca y Cojup. (Foto: Valderrama, 2008)**

## **CAPITULO IV GLACIOLOGIA**

### **4.1 GLACIARES TROPICALES:**

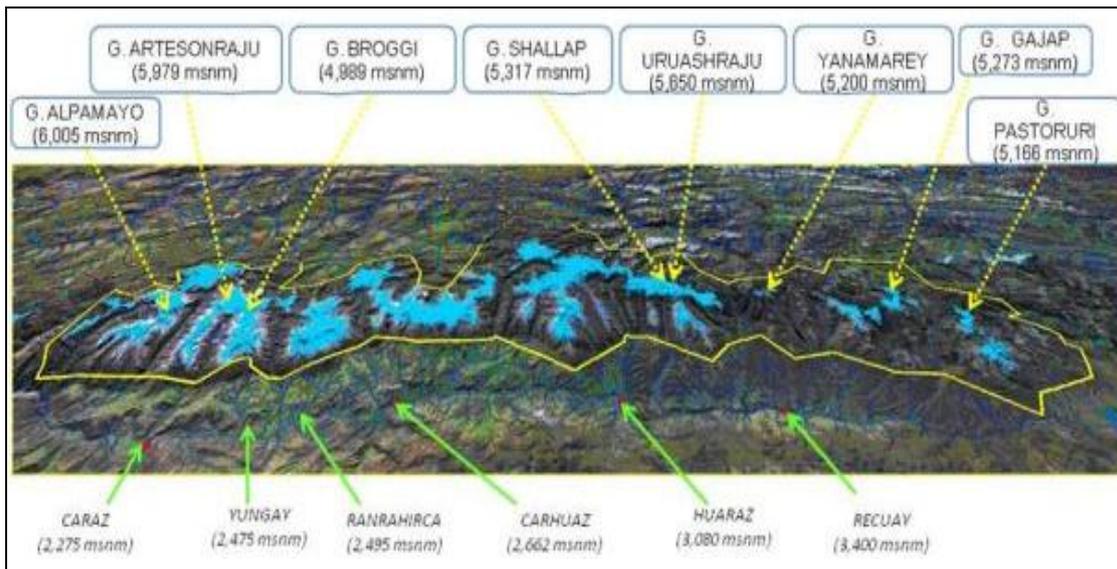
Los glaciares tropicales son excelentes indicadores de la evolución del clima por su extrema sensibilidad a las variaciones de los parámetros meteorológicos como la temperatura, radiación y precipitación.

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.

Las investigaciones más importantes de la Cordillera Blanca comenzaron en 1932 con la primera expedición club alpina austro-alemana que llegó al Perú, con el fin de estudiar tanto en el campo geográfico, glaciológico y topográfico dirigida por el Dr. Philip Borchers y el geógrafo H. Kinzl.

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 glaciaria de 723.37 Km<sup>2</sup> (UGRH, 2008), y en 1997 se determinaron 611.48 Km<sup>2</sup> (INAGGA), teniéndose una pérdida del área glaciaria de 111.89 Km<sup>2</sup> 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.



**Fig. 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 un inicio 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, 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 glaciaria que experimentó la Laguna Palcacocha.

En la fotografía del año de 1948 muestra un retroceso glaciario no muy severo, en comparación al que hubo en 1970 el cual tuvo un desarrollo mucho más pronunciado.

Este retroceso de la lengua glaciaria se debió a variaciones de temperatura. Según Hansen (1999) las variaciones de temperatura comenzaron a incrementarse en  $0.7^{\circ}\text{C}$  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).

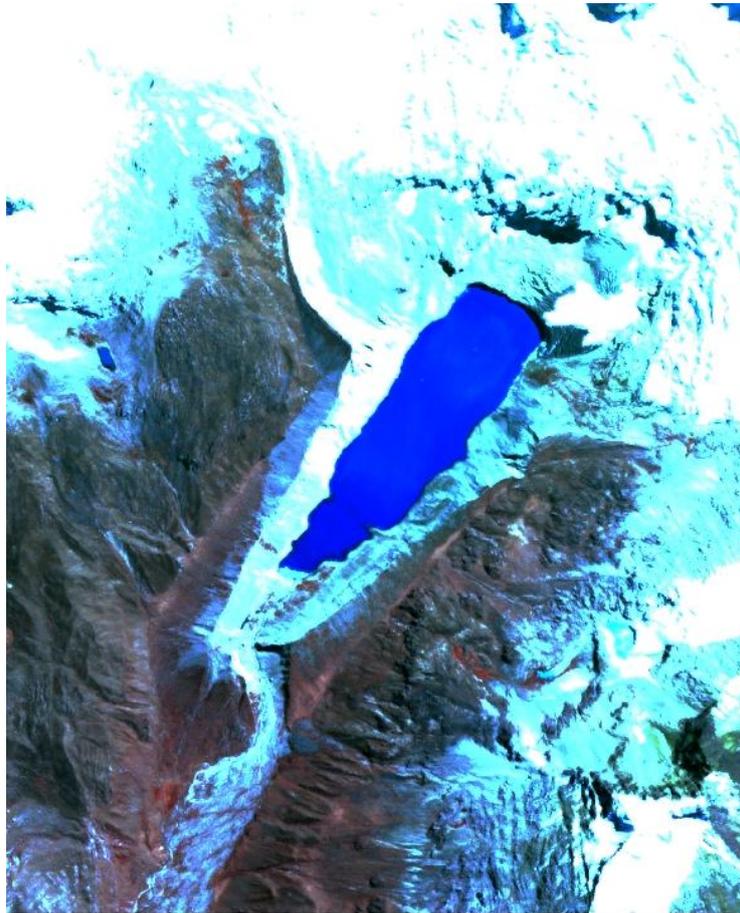
Sin embargo los Andes Peruanos experimentaron un incremento de temperatura de 3 a  $5^{\circ}\text{C}$  entre los años de 1880 y 1940 (Evans y Clague (1994) en Vilímek, et al, 2005).



**Fig. 4.2: Laguna Palcacocha en 1932, la lengua glaciaria está en un período de desarrollo total, aún no hay fusión del glaciario. (Foto: H. Kinzl)**



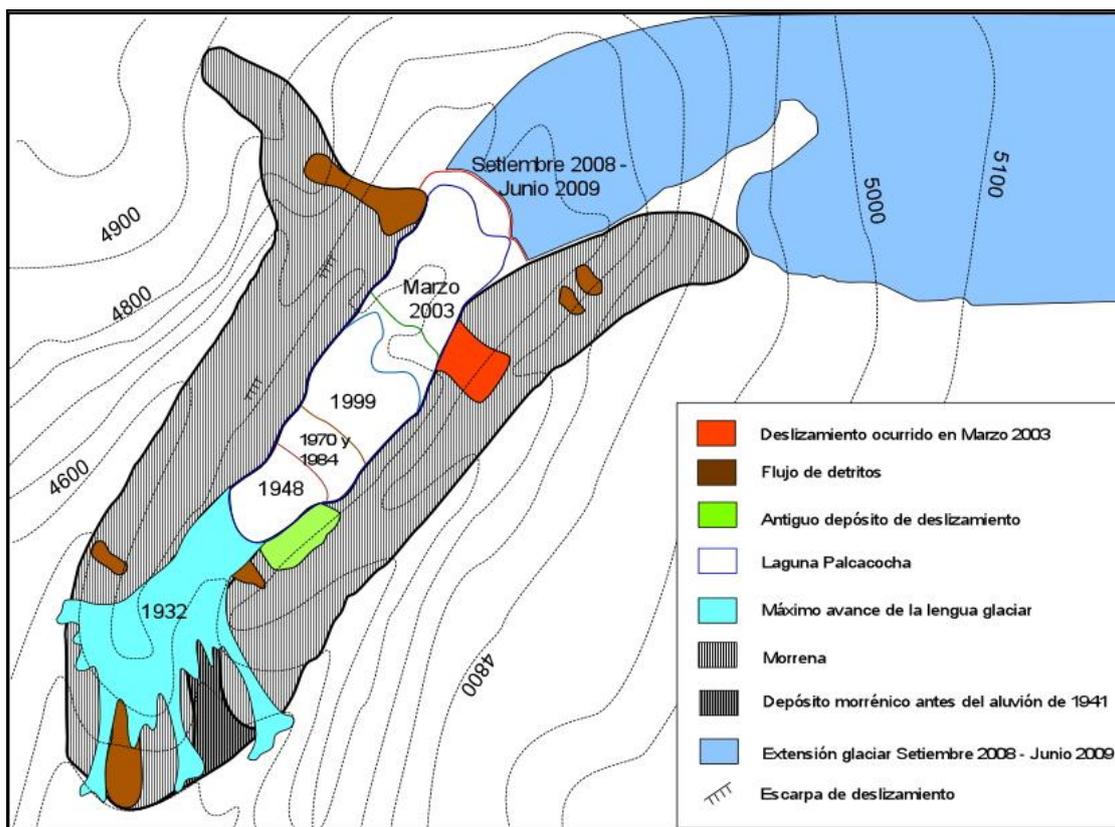
**Fig. 4.3: Fotografía aérea tomada en 1948, muestra la evolución de la lengua glaciar de la laguna Palcacocha (Foto: Servicio Aerofotográfico Nacional, SAN)**



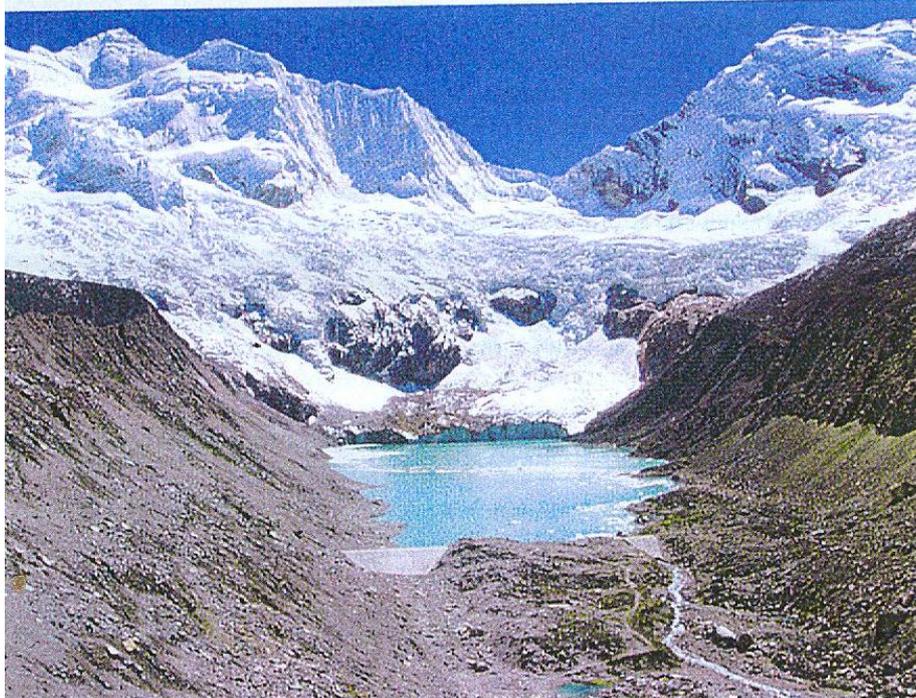
**Fig. 4.4: Imagen Spot de la Laguna Palcacocha, 2007.**

En base a fotografías tomadas por H. Kinzl 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 m<sup>3</sup>. (Vilímek et al, 2005).

En el año de 1948 a 1970 el retroceso de la lengua glaciara 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 glaciara fue en un estimado de 25%, el 2003 se tiene casi la totalidad del retroceso glaciara. 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 glaciara pero en forma mínima, debido a un nuevo periodo de calentamiento.



**Fig. 4.5:** Evolución Glaciara 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).



**Fig. 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.

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).

## **CAPITULO V GEODINAMICA**

Los procesos geodinámicos que se desarrollan en las morrenas tanto laterales como en la morrena frontal de la Laguna Palcacocha son originados ya sea por la gravedad o por precipitaciones pluviales.

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

### **5.1 MOVIMIENTOS EN MASA:**

Los movimientos en masa se producen a través de la actuación de la gravedad sobre las rocas sólidas y no sólidas movibles. La mayoría de los movimientos en masa están asociados o se producen por:

- El efecto de procesos de congelación y descongelación de las rocas o en el material no compactado.
- La existencia de inhomogeneidad, condicionadas por las rocas.
- Las distintas características de las masas de rocas sólidas y no sólidas.

### **5.2 CLASIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA:**

#### **5.2.1 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.

### **5.2.2 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.

### **5.2.3 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)

### **5.2.4 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).

### **5.2.5 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.

### **5.2.6 Avalancha de detritos**

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

### **5.2.7 Avalancha de rocas:**

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

### **5.2.8 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).

### **5.2.9 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.

### **5.2.10 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.

## **5.3 GEODINÁMICA EXTERNA EN LAS MORRENAS DE LA LAGUNA PALCACOCHA.**

Debido a que el material morrénico es no consolidado, la geodinámica que se desarrolla es relativamente activa, teniendo así numerosos movimientos en masa. La erosión a la que es expuesta es tanto gravitacional como pluvial.

### 5.3.1 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.

### 5.3.2 Grietas de Hielo:

Estas grietas se ubican en la lengua glaciar 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 glaciar que aún están en contacto con la laguna.

Según se va desarrollando cada vez más las grietas, se va produciendo la separación de una parte de la lengua glaciar, para luego fusionarse.



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

### **5.3.3 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.**

### 5.3.4 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 mayores a 1 metro; así como material fino.



**Foto 5.4:** En la morrena lateral izquierda se aprecia las caídas de detritos. Las coloraciones oscuras pertenecen a caídas relativamente antiguas de detritos, mientras que las coloraciones claras pertenecen a caídas recientes de detritos. (Foto: Valderrama, 2008).

### 5.3.5 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.**

### **5.3.6 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, cada morrena lateral tiene su propia predominancia de movimientos en masa, en la morrena lateral derecha predominan las caídas de detritos y las cárcavas, mientras que en la morrena lateral izquierda la predominancia recae en las avalanchas de detritos, caídas de detritos y antiguas escarpas de deslizamientos.



**Fig N° 5.7: Vista panorámica de la geodinámica desarrollada en la morrena lateral derecha (Foto: Valderrama 2008).**



**Foto N° 5.8: 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 N° 7.

## **CAPITULO VI GEOFISICA**

### **6.1 INTRODUCCION:**

Dada la complejidad de la composición litológica de las morrenas de la laguna Palcacocha, su ubicación en los confines glaciares de la Cordillera Blanca y su gran historia aluviónica, que comprendió graves efectos para la ciudad de Huaraz, se dio la necesidad de realizar estudios de seguridad nunca antes hechos en territorio peruano.

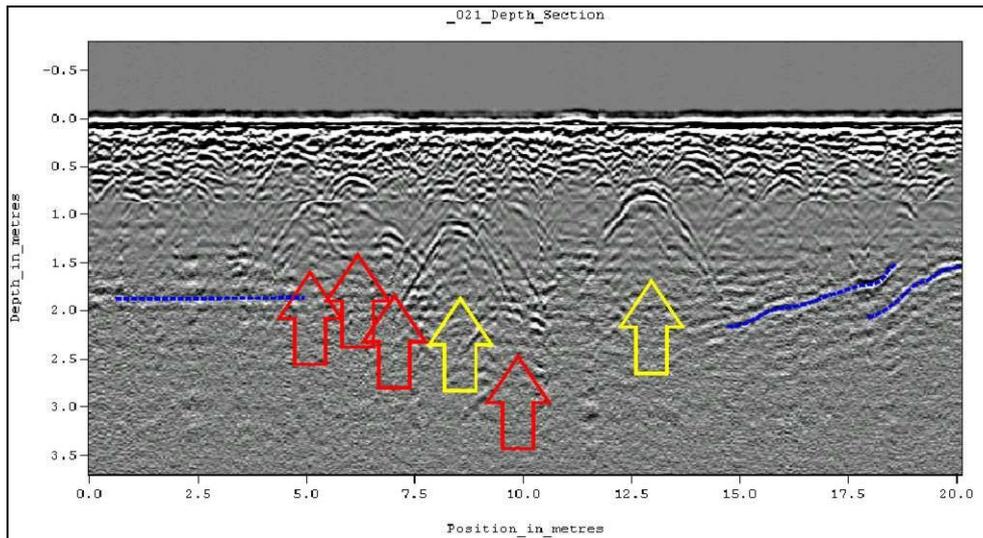
Se decidió por el método geofísico de Ground Penetrating Radar (GPR) por ser de fácil utilización para ubicar zonas de fracturas, mediante su pantalla receptora se puede visualizar de manera simple las zonas de estudio y es fácilmente portable.

### **6.2 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 subsuperficiales.

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.

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.



**Fig. 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.



**Antenas de Frecuencia**



**Pantalla del Computador**

**Fig 6.2 Equipos de GPR**



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

### **6.3 APLICACIÓN DEL GPR EN LAS MORRENAS DE LA LAGUNA PALCACOCHA:**

El estudio mediante el GPR en las morrenas de la Laguna Palcacocha, se realizó haciendo cuatro líneas longitudinales, y una línea transversal.

Debido a que la morrena lateral izquierda tiene menor consistencia por estar constituido por granito y pizarras, se realizó tres líneas tendidas: dos paralelas y una transversal. Se utilizó antenas de frecuencia de 50 MHz.

El objetivo de realizar la prospección geofísica en las morrenas de la Laguna Palcacocha, es encontrar zonas de debilidad; que puedan originar deslizamientos en dirección a la laguna.

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

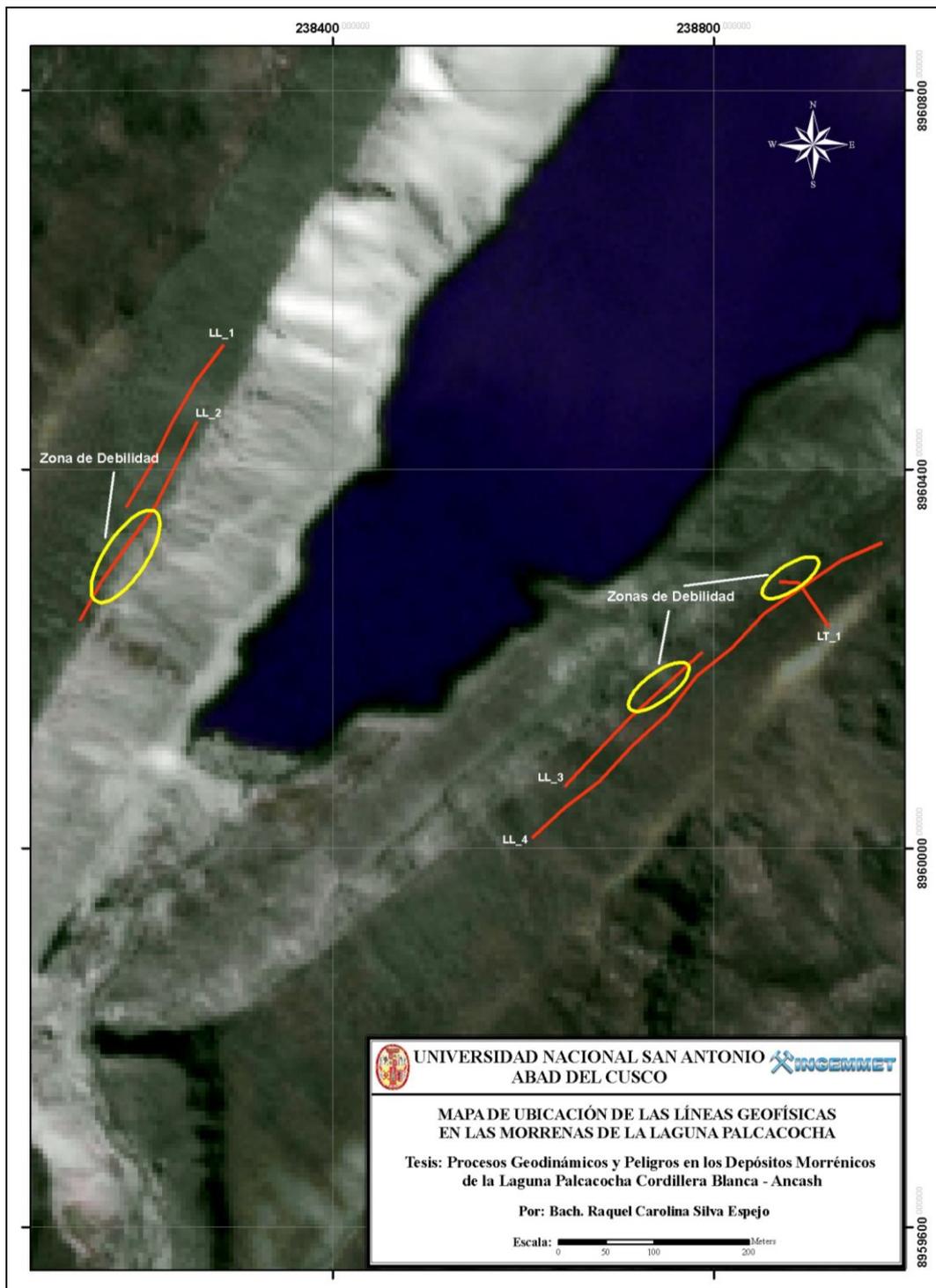
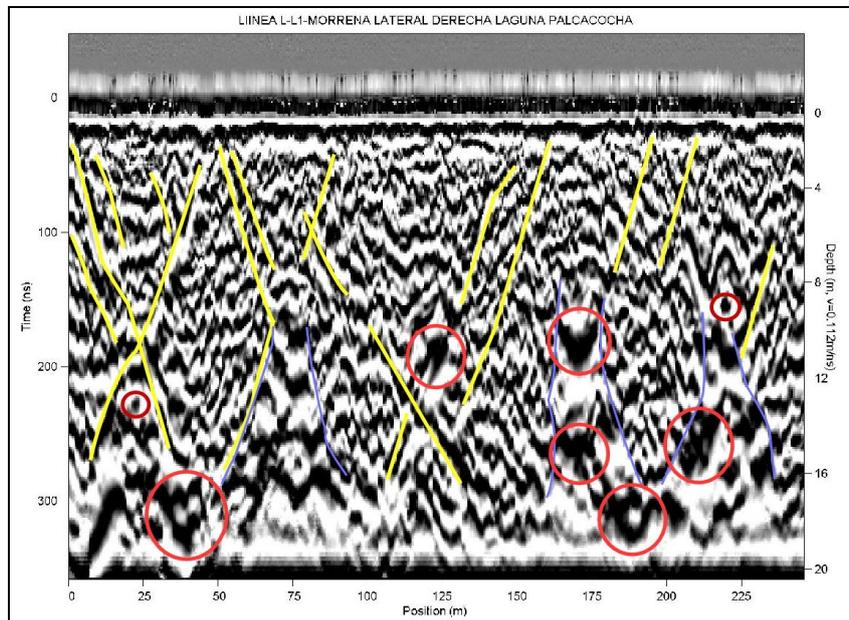


Fig.6.3: Ubicación de las líneas geofísicas en las morrenas laterales de la Laguna Palcacocha.

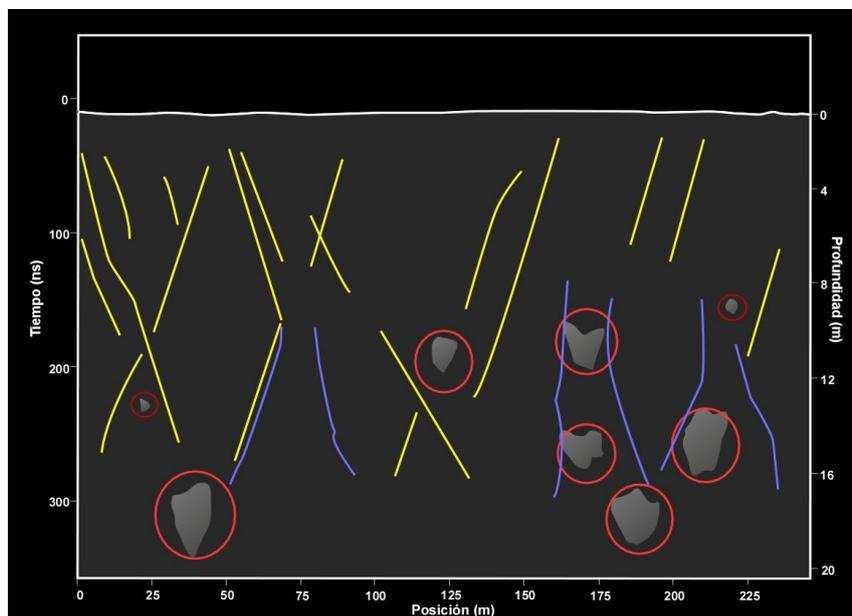
### 6.3.1 LL\_1:

El radargrama de la lectura LL\_1 (fig. 6.2), 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 metro; en ésta área

existen ciertas oquedades, los cuales estarían probablemente ocupados por bloques de hielo que posteriormente fueron derritiéndose para luego filtrar por medio de la morrena. Las oquedades se ubican a una profundidad entre los 9 y 18 metros.



**Fig. 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).**



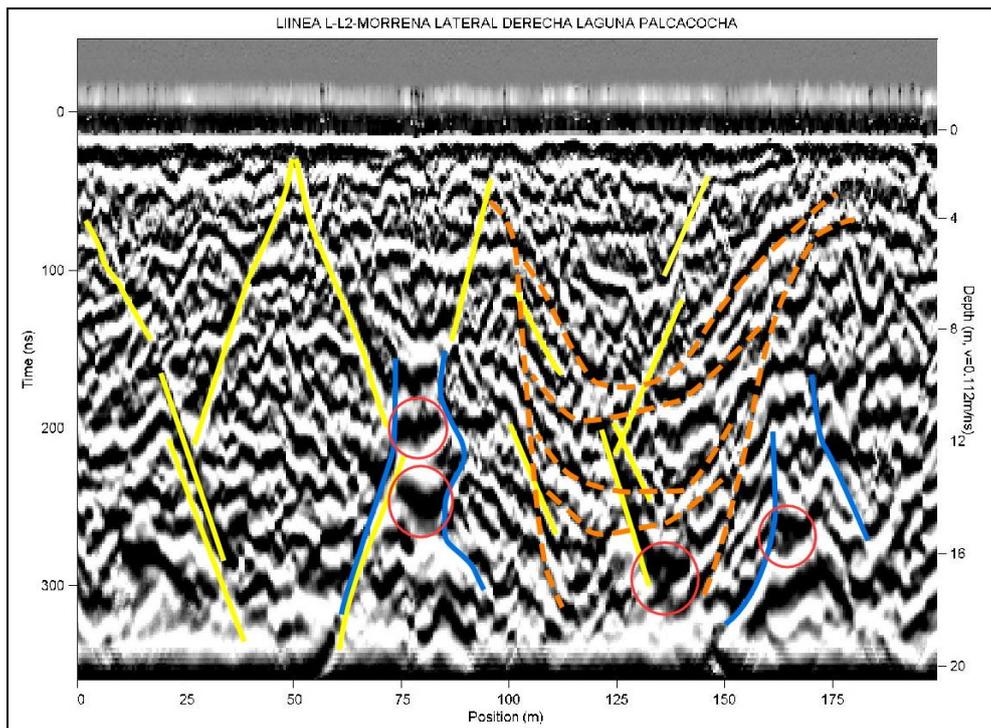
**Fig. 6.5 Digitalización del Radargrama LL\_1 con fines didácticos.**

### 6.3.2 LL\_2:

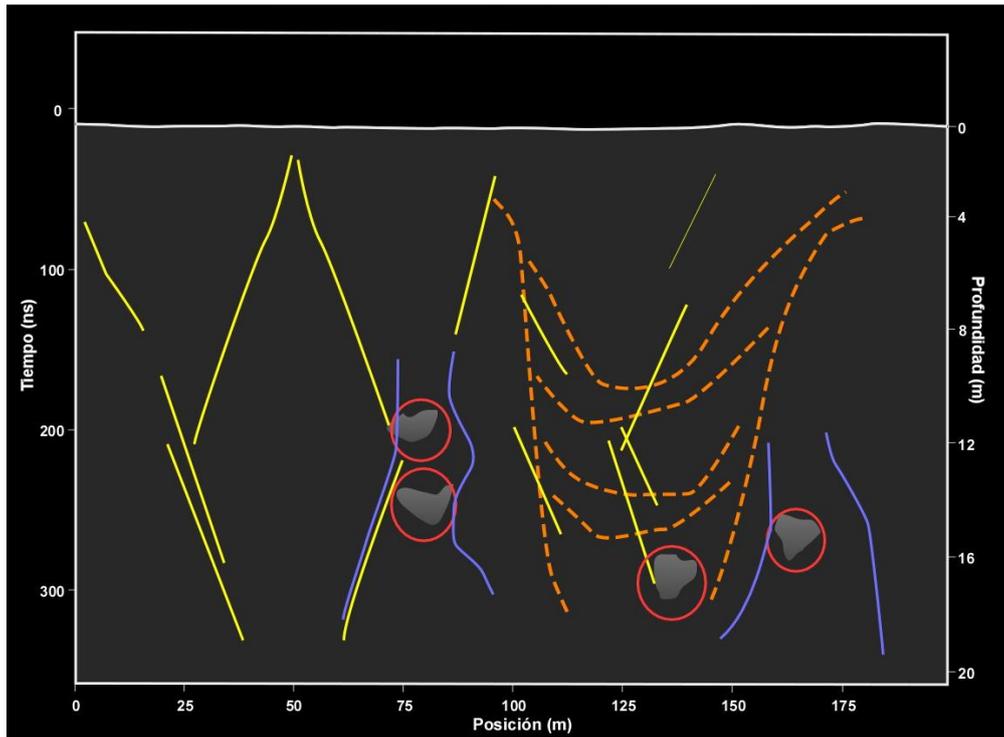
El radargrama LL\_2, está ubicado a 10 metros debajo de la primera línea geofísica en la morrena lateral derecha; muestra grietas similares al anterior, éstas se encuentran en forma entrecruzada así como paralelas, presentan oquedades en áreas

donde existe acumulación de rocas mayores a 1 metro de diámetro, presentándose a una profundidad de 10 a 18 metros (fig. 6.4).

Se muestra una zona de asentamiento del terreno, probablemente sólo por acción de la gravedad (reacomodo de material), o por movimientos sísmicos, está a una profundidad que va de 4 a 18 metros con un ancho de 50 metros aproximadamente. Este asentamiento está controlado por grietas, como se muestra en el radargrama (fig. 6.4).



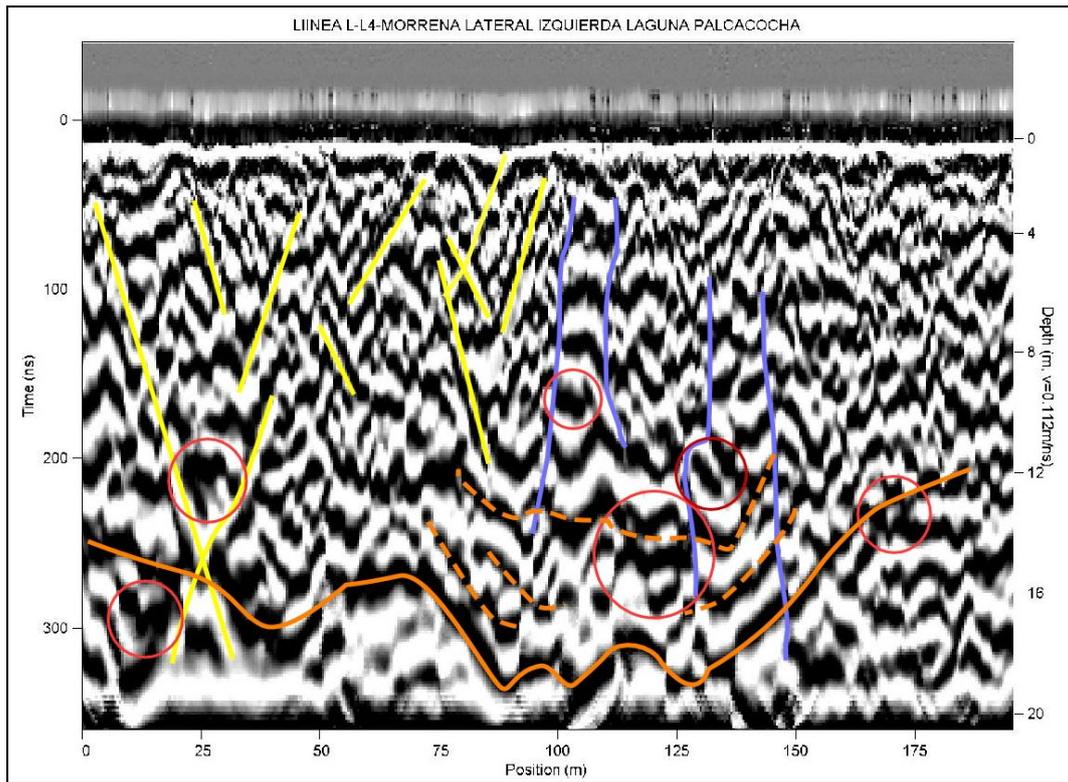
**Fig. 6.6 Radargrama de la lectura LL\_2 muestra las grietas entrecruzadas, así como las oquedades en medio de material grueso (limitadas por las líneas azules).**



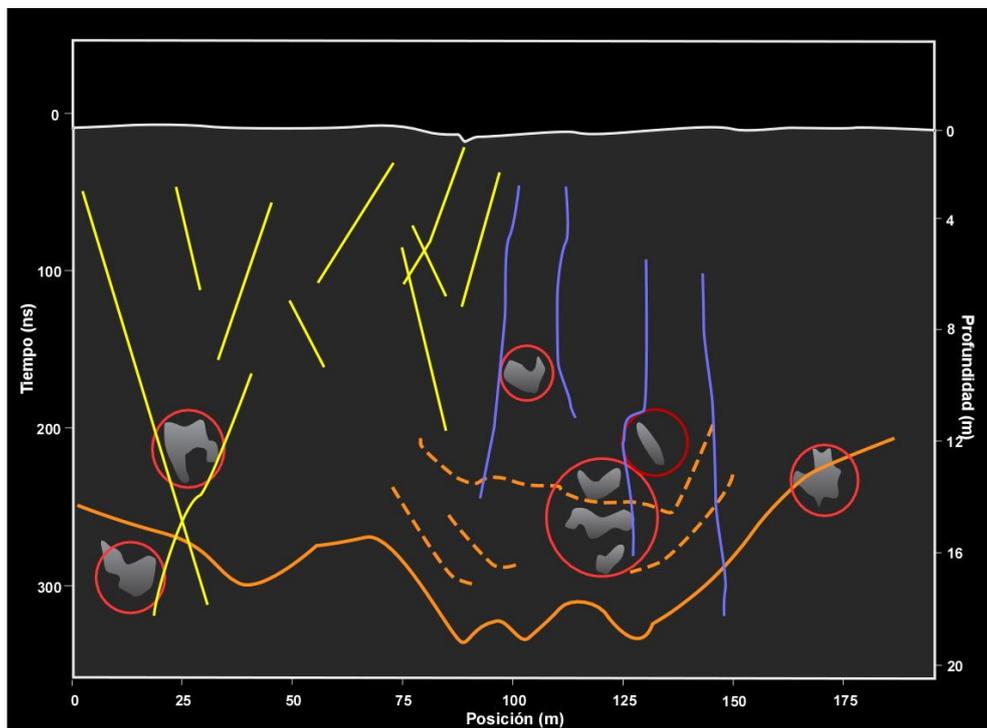
**Fig. 6.7 Perfil correspondiente a LL\_2, muestra las grietas, así como el área de asentamiento del material (líneas azules).**

### 6.3.3 LL\_3:

El radargrama de la tercera lectura (fig. 6.6), 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.



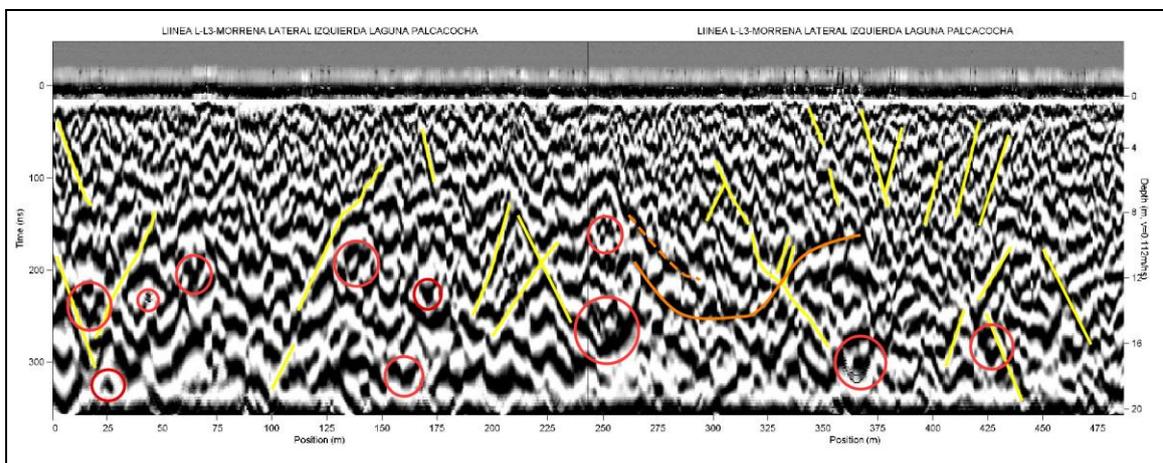
**Fig. 6.8 Radargrama de la línea LL\_3.**



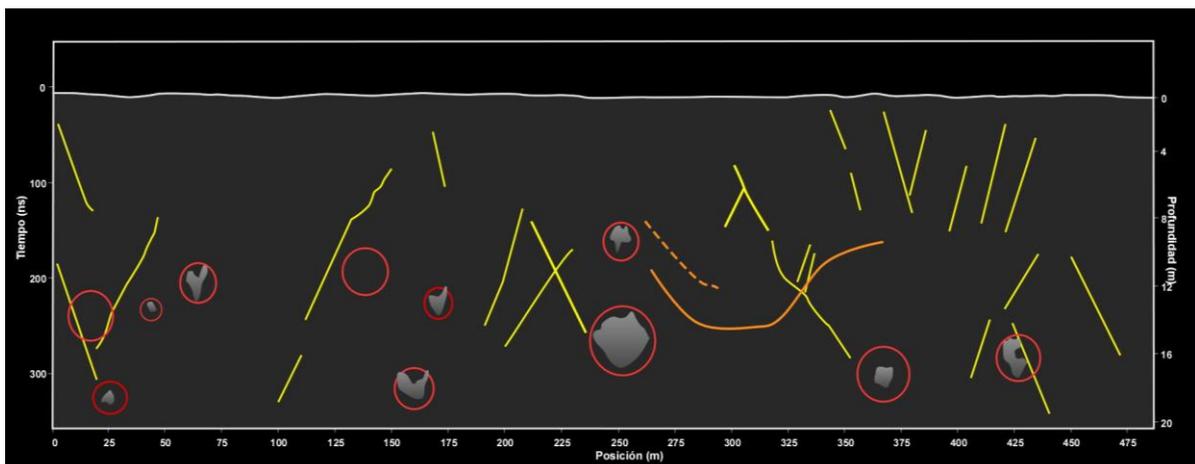
**Fig. 6.9 Perfil de la línea LL\_3 mostrando el área de asentamiento del terreno, así como las oquedades a una profundidad de 8 a 18 metros.**

### 6.3.4 LL\_4:

La línea tendida para éste radargrama fue de 475 metros (fig. 6.8), 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 de 8 y 18 metros.



**Fig. 6.10 Radargrama de la línea LL\_4, mostrando las grietas (color amarillo) así como el área de asentamiento.**



**Fig. 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.**

### 6.3.5 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 6.10 y 6.11. 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.

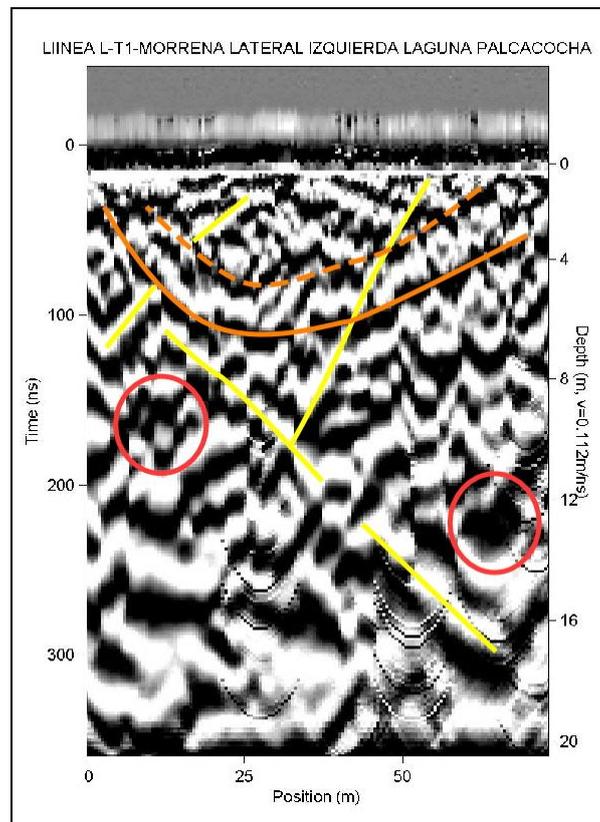
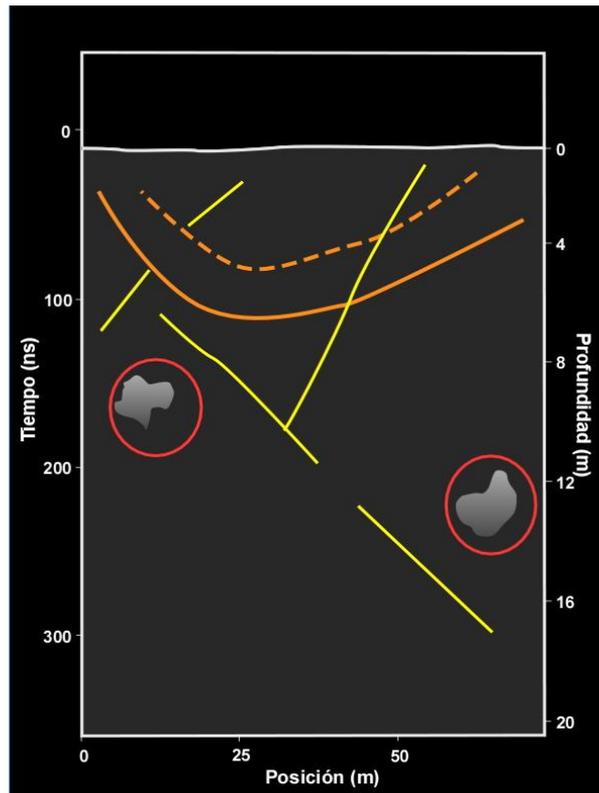


Fig. 6.12 Radargrama de la línea LT\_1 mostrando el área de asentamiento cerca de la superficie.



**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.**

Se debe tener en cuenta que las morrenas laterales tienen diferente composición litológica; siendo que en la morrena lateral derecha está constituida por material netamente granítico propio del Batolito de la Cordillera Blanca, lo cual hace que sea ciertamente más estable, en cambio en la morrena lateral izquierda está conformada no sólo por granito sino también por pizarras haciéndola más inestable por tal motivo la geodinámica de ésta morrena es mayor.

Las grietas que presentan ambas morrenas nos dan una idea del lugar más próximo a sufrir deslizamiento. 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 y por consiguiente la seguridad de la ciudad de Huaraz.

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 deslizamientos 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 un deslizamiento o una avalancha, acarreado consigo bloques mayores a 1.5 metros de diámetro, pudiendo ocasionar un nuevo aluvión.

## **CAPITULO VII**

### **RIESGOS GEOLÓGICOS EN LA CIUDAD DE HUARAZ**

Los eventos aluviónicos ocasionados en la Cordillera Blanca trajo consigo la muerte de miles de personas en el Callejón de Huaylas, entre los que resaltan el aluvión de Yungay y Ranrahirca en los años 1962 y 1970, debido principalmente a la caída de bloques de hielo y roca hacia las lagunas glaciares.

#### **7.1 Procesos de Aluvionamiento:**

La mayor parte de los glaciares de la Cordillera Blanca se hallan ubicados detrás de lagunas y morrenas muy grandes 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.

#### **7.2 Aluvión 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 m<sup>3</sup> 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.

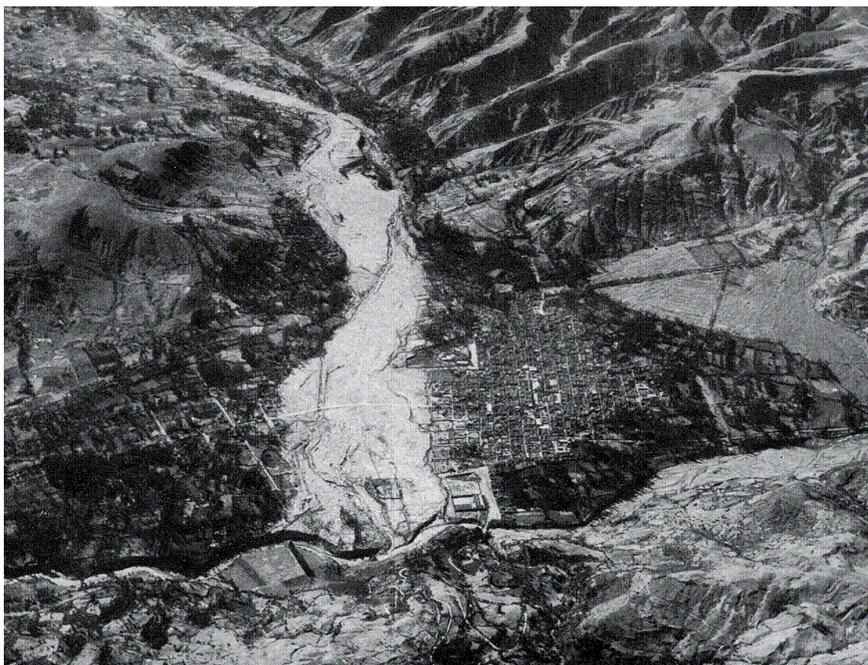
El impacto del flujo produjo la ruptura del dique natural de ésta última laguna desalojando el total del agua que estaba contenida en ella, recorriendo con gran velocidad debido a la mayor fluidez que contenía el flujo para luego ingresar al Río Quillcay causando la destrucción de casi la mitad de la 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 m<sup>3</sup> (Chang, 1991).



**Fig 7.1: Dique morrénico de la Laguna Palcacocha. Arriba: Morrena frontal intacta antes del aluvión de 1941 (foto Kinzl) Abajo: Ruptura de la morrena frontal después del aluvión de 1941 (foto Fernández). (Fuente: Ames, 1995).**



**Fig. 7.2:** Recorrido del aluvión del 13 de Diciembre de 1941, a lo largo de la quebrada Cojup. Se muestran los nevados Palcaraju y Pucaranra.



**Fig. 7.3:** Huaraz cubierto por el aluvión de 1941, se observa el ingreso del aluvión al río Quillcay y como consecuencia la destrucción de la ciudad de Huaraz, viéndose mayormente afectadas las viviendas que estaban ubicadas 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 m<sup>3</sup>.

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. 7.1:** 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).

### **7.3 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 m<sup>3</sup>. 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).



**Foto 7.2: 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).**

#### **7.4 Otros eventos aluviónicos:**

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 cause que poseía.



**Foto 7.3: Ubicación de la laguna que se desbordó el mes de Setiembre del 2008.**



**Foto 7.4: Flujo de detritos como consecuencia del desborde de la laguna situada a la margen izquierda de Palcacocha.**

### **7.5 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 morrena lateral 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 aledaños 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 aluviones como el que ocurrió el 13 de Diciembre de 1941.

En el mapa de riesgos (mapa N°8), se aprecia las zonas de alto, medio y bajo riesgo, en relación a un posible desembalse de la laguna Palcacocha. El escenario podría ser muy semejante al aluvión de 1941, y quizás aun mayor debido al volumen actual que presenta la laguna.

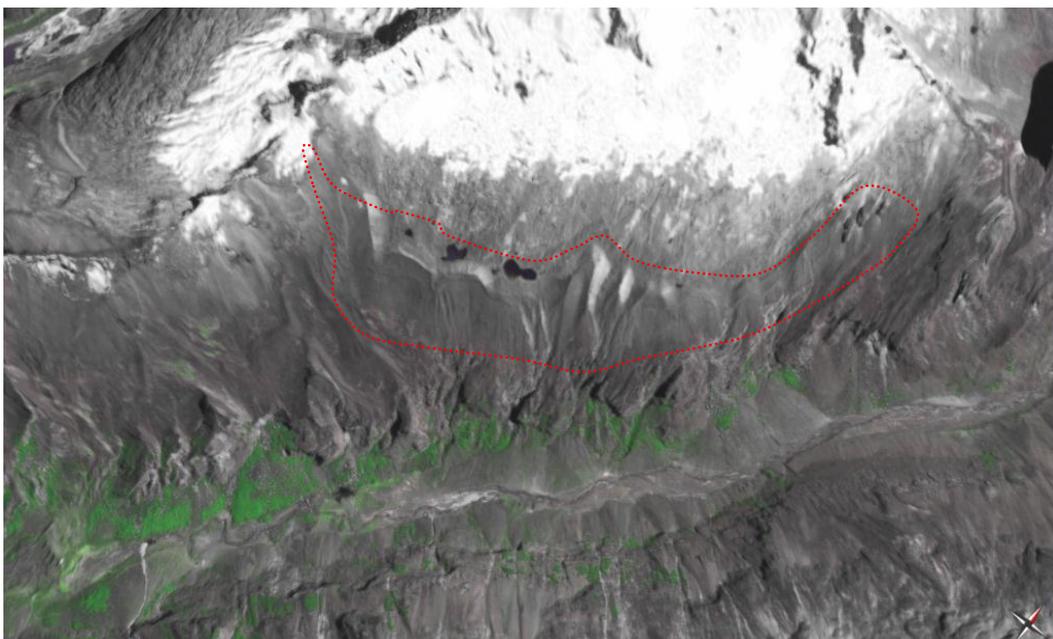
## **7.6 Riesgos Geológicos en la Ciudad de Huaraz.**

La ciudad de Huaraz por estar ubicado en un gran cono aluvial, ha sido objeto de eventos aluviónicos con origen en los valles glaciares. No sólo el valle glaciar de Cojup ha sido el causante de estos eventos, también se tienen 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; la confluencia de éstos eventos con los posibles embalses de las lagunas como la de Palcacocha, Cuchilla, Shurup y Shallap podrían acrecentar el riesgo que corre algunos sectores de la ciudad de Huaraz; además de la existencia de morrenas colgantes que se ubican en las zonas altas de los valles.



**Foto 7.5: Caída de rocas en el valle glaciario de Shallap, ocurrido meses antes del aluvión de 1941 (Foto: Valderrama, 2008).**

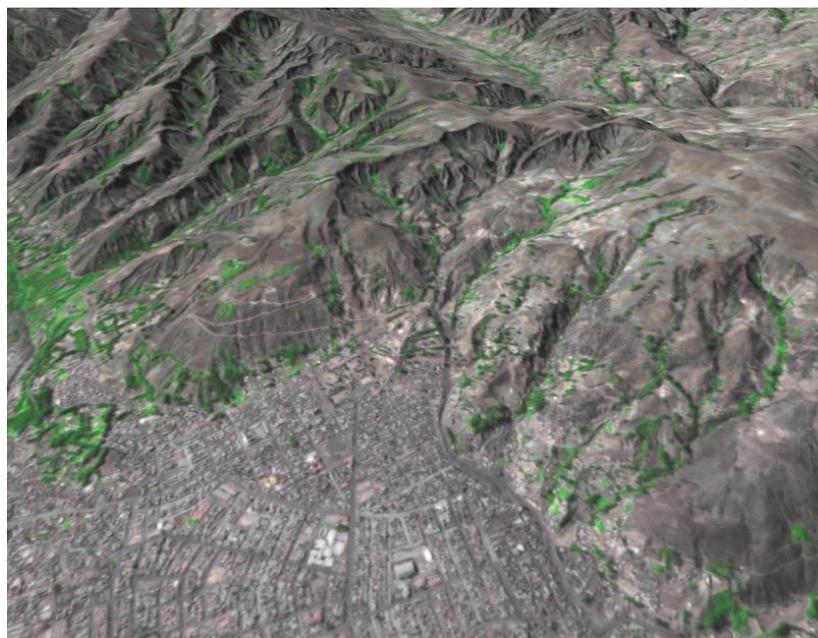


**Fig. xx: Imagen Spot 5 mostrando los depósitos morrénicos colgantes, marcado con líneas entrecortadas, ubicados en el valle glaciario de Cojup. Estos depósitos albergan lagunas jóvenes que representan un peligro para su estabilidad y por consiguiente para la ciudad de Huaraz.**

La población desordenada que sufre la ciudad la hace más propensa a ser más vulnerables ante los eventos antes mencionados, debido a la existencia de 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.



**Foto 7.6: Fotografía aérea, de la ciudad de Huaráz, tomada por el SAN en 1942.**



**Fig 7.4: Imagen Spot 5 del año 2007, mostrando el crecimiento de la población en la ciudad de Huaraz, en comparación con la anterior fotografía.**

En la ciudad de Huaraz fueron identificados cuatro niveles de peligro, que se detallan en los siguientes párrafos:

#### **7.6.1 Zona de Peligro Muy Alto:**

Consiste básicamente en la zona amenazada por el peligro del aluvión que podría bajar por el curso del Río Quillcay y la zona amenazada por las crecidas del Río Santa, ambos ubicados hacia el Sector Sur de la ciudad.

#### **7.6.2 Zona de Peligro Alto:**

Está formada, de una parte por áreas con suelos de muy baja resistencia, de conformación granular, con la napa freática alta, propensa a licuación de suelos en caso de sismos severos, y susceptibles a procesos de amplificación de las ondas sísmicas. De otra parte, está formada por el curso de quebradas que, no presentando el grado de peligrosidad del Río Quillcay, es necesario dejar libre para permitir la evacuación de aguas pluviales durante la ocurrencia de fenómenos de El Niño excepcionales o en épocas de particular abundancia de lluvias.

#### **7.6.3 Zona de Peligro Medio:**

Está conformada por el área restante del Sector Sur de la ciudad y por franjas aledañas a las zonas de peligro alto y muy alto, además de la mayor parte de las laderas de cerros en la vertiente de la Cordillera Blanca, así como algunos lugares en donde existen focos de peligro local.

#### **7.6.4 Zona de Peligro Bajo:**

Está conformada por el resto de la ciudad, compuesta principalmente por los Barrios del Norte y los de la Cordillera Negra, además del Barrio El Pinar en el Este, que no se ubica en ladera de cerro.

## **7.7 Un Enfoque Integrado para la Evaluación de la Vulnerabilidad.**

### **7.7.1 Vulnerabilidad Física:**

Dos variables son importantes para la evaluación de un probable desembalse de la laguna: En primer lugar, la probabilidad de un detonante que puede provocar un desbordamiento de la laguna, y en segundo lugar las características de las presas.

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 el dique morrénico, pudiendo producir la ruptura del dique en forma parcial o total para un posterior vaciado de la laguna. Las avalanchas de hielo, huaycos, caída de rocas o deslizamientos pueden actuar como detonantes, tan bien como una repentina afluencia, debido a eventos extremos del temporal como las lluvias o desembalse de la laguna localizada en las cabeceras de las cuencas.

La vulnerabilidad física, describe la exposición de un lugar ante un posible evento. Esta exposición depende de los riesgos, que están definidos por los procesos físicos (En nuestro caso, el desembalse de la laguna, con la ruptura del dique morrénico), la magnitud y la probabilidad de una ocurrencia de evento.

La probabilidad del desembalse es calculado por la suma de las características del dique más el detonante. Los resultados fueron que la ocurrencia del desembalse de la laguna Palcacocha, alcanza probablemente un rango de 2 (alta vulnerabilidad). Teniendo en cuenta que los rangos van de 0 a 2 (0: baja vulnerabilidad, 1: mediana vulnerabilidad, 2: alta vulnerabilidad).

### **7.7.2 Magnitud del flujo:**

La magnitud incluye la descarga de agua ( $Q_{max}$ ) y el alcance del flujo de desembalse, expresado por el promedio de gradiente del flujo de trayectoria ( $\alpha_{av}$ ).  $Q_{max}$  dependiendo del volumen de la laguna. Para el peor de los escenarios, la ruptura de dique y el completo vaciado de la laguna, tiene que ser asumido.

El  $\alpha_{av}$  del desembalse de flujo está en relación a la concentración de sedimentos. Basándonos en los eventos de desbordamiento de la laguna glacial sucedidos en los Alpes, Himalayas, y los Andes (A. Ames, Huggel et al 2003b; Hegglin 2006), una relación entre el volumen de la laguna y su correspondiente  $\alpha_{av}$  fue establecida, teniendo en cuenta la tabla N°1.

La laguna Palcacocha figura en el más alto rango con su actual volumen de más de 3 millones de  $m^3$  (para el año 2008), que quiere decir que un desbordamiento podría alcanzar a Huaraz con un mínimo dado de  $\alpha_{av}$  de  $3^\circ$  (ver tabla 1).

<b>Volumen de la Laguna</b>	<b>Mínimo <math>\alpha_{av}</math> para flujos de desembalse</b>
> 1 millones $m^3$	$3^\circ$
0.5 – 1 millones $m^3$	$5^\circ$
0.1 – 0.5 millones de $m^3$	$6^\circ$
0.02 – 0.1 millones de $m^3$	$8^\circ$
< 0.02 millones de $m^3$	No considerado

**Tabla N° 1: Relación de volumen de lagunas y su mínimo  $\alpha_{av}$  para flujos de desembalse, basados en datos empíricos de los Alpes Europeos, Himalayas y los Andes (Fuente: A. Ames; Huggel et al 2002; Hegglin 2006; en Hegglin et al, 2008).**

### **7.7.3 Flujo de trayectoria:**

El flujo de trayectoria puede tener una acentuación o disminución de los efectos del flujo, dependiendo de la incorporación o depositación del material. La incorporación del material depende, entre otras cosas, de la inclinación de la trayectoria, material de superficie, y de la vegetación. Como un cuarto indicador, son los posibles efectos secundarios para ser observados, como la planta de tratamiento de agua de la ciudad de Huaraz que está ubicado en el trayecto del flujo en la quebrada Cojup, puede acrecentar el volumen de inundaciones (como el incidente ocurrido el año 1941), y la obstrucción puede conducir a un segundo desembalse. Los deslizamientos secundarios pueden ser provocados por las caídas de rocas, o de detritos a lo largo de la quebrada Cojup.

De acuerdo a sus características, la trayectoria fue evaluada como decreciente (-1), neutro (0), o creciente (1); el efecto del flujo. La trayectoria de Palcacocha – valle glacial de Cojup, fue calificada como neutra y por consiguiente 0.

#### **7.7.4 Densidad Poblacional:**

La densidad poblacional es un indicador para estimar un número de personas que puedan ser afectadas, así como los daños que puedan sufrir las infraestructuras de sus viviendas.

En Huaraz, la densidad poblacional fue analizado para los 28 barrios de la ciudad, calculando el área por persona, teniendo 3 clases: 0 baja densidad poblacional, 1: mediana densidad poblacional y 2: alta densidad poblacional.

#### **7.7.5 Vulnerabilidad Social:**

Con el objetivo de determinar la capacidad de la comunidad para responder ante un eventual riesgo geológico, se dividió la vulnerabilidad social en tres factores: Preparación, prevención y responsabilidad.

##### **7.7.5.1 Preparación:**

La preparación se refiere a la población que está siendo preparada para un desastre natural. La preparación depende en gran medida de las autoridades por un lado, así como de cada persona por otro lado. La última medida está principalmente formada por las estructuras económicas. Con respecto a las organizaciones del lugar de preparación se distinguen:

- Sistema de alerta temprana,
- Planes de emergencia,
- Sistemas de seguridad.

Otros de los indicadores para la preparación individual de cada poblador son:

- Grado de estudios,
- Edad,
- Pobreza.

El mapa de la vulnerabilidad social fue a nivel de la ciudad de Huaraz, teniendo en cuenta los factores de pobreza, edad y grado de estudios, evaluados en cada barrio de la ciudad.

Las personas cuyas edades son inferiores a 15 años y superiores a 64 años fueron consideradas como un grupo de edad vulnerable alta. La relación pobreza- edad muestra tres clases de vulnerabilidad que van de 0 para baja vulnerabilidad y 2 para alta vulnerabilidad.

Las medidas de prevención, como por ejemplo el sistema de alerta temprana, planes de emergencia y sistemas de seguridad, debieran ser buenas. De acuerdo a la clasificación que va de 0 a -1 fue elegido por esos aspectos donde 0 es una baja reducción de vulnerabilidad y -1 significa medidas efectivas y alto conocimiento de prevención y una correspondiente reducción de vulnerabilidad. Sin embargo, existe una gran carencia de información confiable por parte de muchas entidades del gobierno, pese a que se realizan estudios, no llega la información a la población como se debiera.

El sistema de alerta temprana y la seguridad social no existe, mientras que los planes de emergencia existen pero son conocidas en forma escasa por los pobladores.

#### **7.7.5.2 Prevención:**

La prevención se refiere a las medidas tomadas para evitar o minimizar los impactos adversos de riesgos y poder ser divididos dentro de las medidas estructurales. Las medidas de prevención son consideradas como: prevención en conexión con información y conocimiento está ya incluido en el factor de preparación.

Huaráz carece de medidas de prevención y planeamiento urbano, (no prevención → alta vulnerabilidad). Los planes urbanos existen en papel pero no está suficientemente implementado.

### **7.7.5.3 Responsabilidad:**

Se refiere a la capacidad de responder ante un desastre natural, incluyendo una posterior reacción inmediata. Con una organización de operaciones de rescate pueden reducir drásticamente el impacto de desastre.

La existencia e implementación de los procedimientos de emergencia para los equipos de rescate, la capacidad de salvamento, las distancias a los hospitales más cercanos y su capacidad, son buenos, pero la respuesta ante un pequeño desembalse de la laguna Palcacocha, ocurrido en el año 2003; dio una impresión poco satisfactoria de la organización de rescate. La evaluación en conjunto de respuesta, resultó de una manera mediana, debido a la complicada y carente organización de rescate, salvo los servicios de los hospitales y la falta de organización de reconstrucción.

El mapa de vulnerabilidad integrada resultó eventualmente desde las superposiciones de los mapas de vulnerabilidad física y social. Basados en las evaluaciones empíricas, se realizó la reclasificación de los mapas en 3 clases antes combinadas siempre que los resultados más cercano, en particular por la falta de experiencia de las personas, autoridades gubernamentales, etc. La combinación fue luego calculada por promedios, resultados en 4 clases de vulnerabilidad integrada (baja, media, alta y muy alta).

### **7.7.6 Resultados: 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.



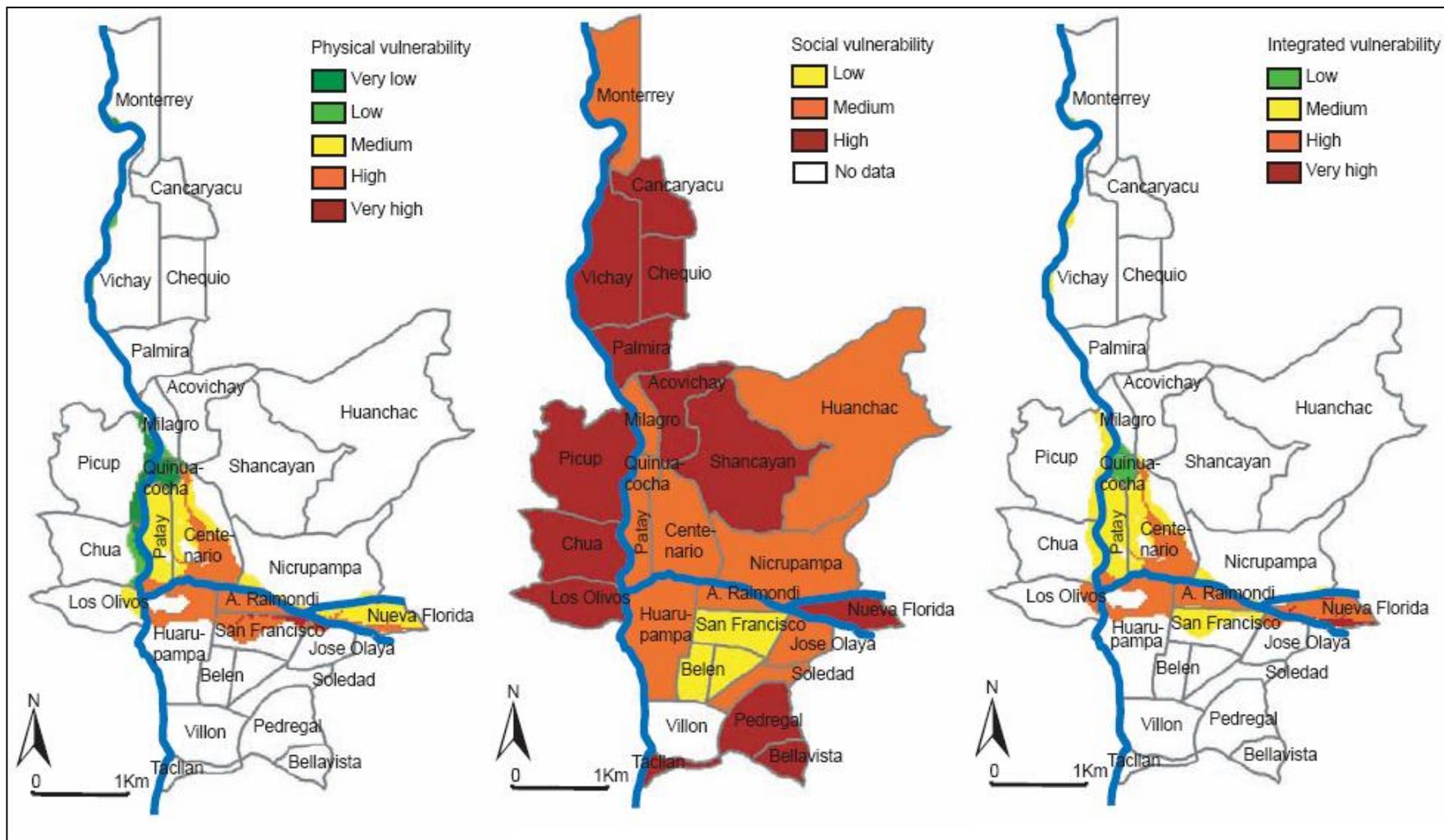
**Foto N°7.7: Boulevard Pastorita Huaracina, ubicado en la rivera del rio Quillcay.**



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

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 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.



**Fig. Mapa de Vulnerabilidad de Huaráz: Combinación del mapa de vulnerabilidad física (izquierda), mapa de vulnerabilidad social (medio). Resultados: un mapa de vulnerabilidad integrada a los peligros de la Laguna Palcacocha (derecha). (Fuente: Hegglin, et al, 2008).**

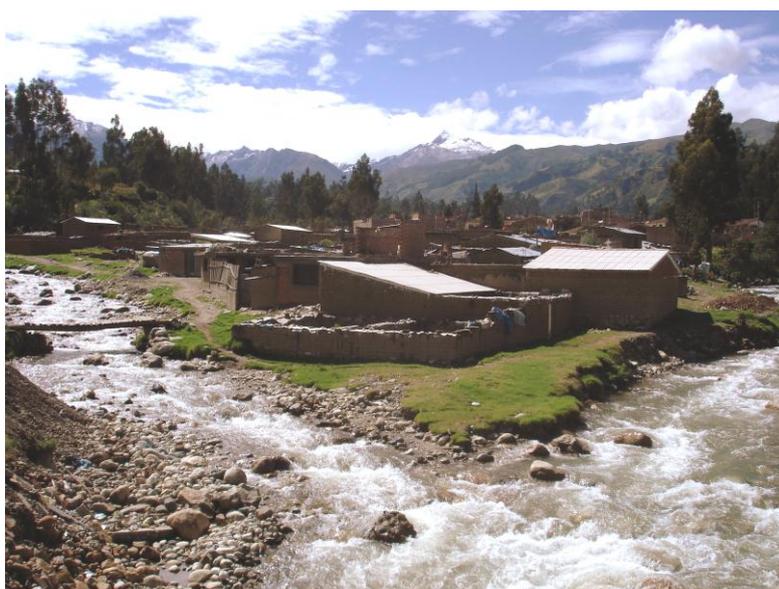
## **7.8 Zonas Críticas ante Desastres:**

A partir de la Evaluación de Peligros, Vulnerabilidad y Estimación del Riesgo, en la ciudad de Huaraz se han identificado los siguientes sectores críticos:

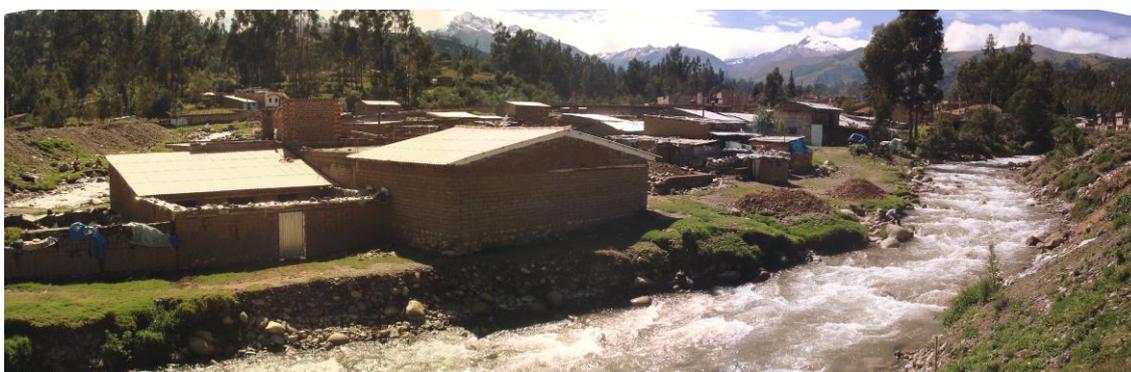
### **7.8.1 Zona de Riesgo Muy Alto:**

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 7.9 y 7.10.



**Foto 7.9 Confluencias de los ríos Cojup (izq.) y Quillcayhuanca (der.) (Foto: Valderrama, 2008).**



**Foto 7.10 Sector del barrio Nueva Florida. (Foto: Valderrama, 2008).**

### **7.8.2 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.

### **7.8.3 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.

### **7.8.4 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.

## CONCLUSIONES

1. La Laguna Palcacocha está situada al NW de la ciudad de Huaráz, cuyas morrenas que la albergan están constituidas por granito propio del Batolito de la Cordillera Blanca.
2. La geomorfología local que presenta la zona de estudio, está constituido básicamente por glaciares, lagunas, depósitos morrénicos, valle glaciar y un cono aluvial.
3. La composición litológica que presentan las morrenas laterales guardan una cierta diferencia, mientras que en la morrena lateral derecha está constituido básicamente por granito, propio del Batolito de la Cordillera Blanca, la morrena lateral izquierda está constituido no sólo por granito sino también por pizarras provenientes de la Fm. Chicama.
4. 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.
5. Las aguas de la laguna Palcacocha se ha ido incrementando en forma acelerada debido el retroceso de la lengua glaciar, ocasionado por el cambio climático que se está experimentando en la actualidad.
6. 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.
7. La geodinámica que presentan las morrenas de la laguna Palcacocha, están en actividad relativamente constante.
8. La morrena lateral derecha por estar compuesta principalmente de granito del Batolito de la Cordillera Blanca, el tipo de movimientos en masa que se desarrolla en su mayoría es caída de detritos y pocas zonas de cárcavas.
9. La morrena lateral izquierda por estar constituida no sólo por granito sino también por pizarra, tiene mayor ocurrencia de movimientos en masa, es así que aparte de las caídas de detritos que existe también se desarrolla los deslizamientos – avalancha, los cuales algunas veces ocasionarían perjuicios para la ciudad de Huaraz.
10. Mediante el estudio geofísico se pudo observar las zonas propensas a deslizamientos.

11. La lectura LL\_1 nos muestra que el área más propensa a sufrir deslizamiento se ubica cerca de la cumbre de la morrena lateral derecha, por la presencia de numerosas grietas de manera entrecruzada.
12. La lectura LL\_2 nos muestra un reacomodo de granos en la morrena lateral derecha, indicándonos que una parte de ésta morrena presenta una regular estabilidad.
13. La lectura LL\_3 nos muestra de que la morrena lateral izquierda tiene áreas propensas a sufrir deslizamientos en la parte superior cerca de la cumbre.
14. La lectura LL\_4 indica que la morrena lateral izquierda tiene zonas de asentamiento, así como zonas de debilidad; es decir propensas a deslizamiento pero la ventaja es que si esto ocurre, no afectaría hacia el lado que da a la laguna Palcacocha, sino al lado opuesto de la morrena, pero la ocurrencia no sería de gran importancia, ya que tenemos a favor la pendiente más suavizada de la morrena.
15. La lectura LT\_1, nos mostraría que la morrena lateral izquierda presenta zonas donde los asentamientos ya no estarían a favor de la estabilidad de la morrena, sino a su debilitamiento ya que está controlado por fracturas. La dirección del asentamiento va hacia el lado de la laguna Palcacocha.
16. El asentamiento que presenta LT\_1 estaría cerca del deslizamiento – avalancha, ocurrido el año 2003, confirmando así la inestabilidad que presenta la morrena lateral izquierda.
17. Los estudios geofísicos nos demuestran que la morrena lateral derecha por estar constituida por material granítico presenta una mayor estabilidad que la morrena lateral izquierda constituida no sólo por granito sino también por pizarras en gran proporción.
18. Las morrenas de la laguna Palcacocha, sí representan un peligro para la ciudad de Huaraz en forma indirecta, ya que debido a la continua erosión y filtración de agua, el material morrénico va sufriendo diversos movimientos en masa, y más aun no está libre de una nueva oleada por efecto de una caída de bloque de hielo.
19. Debido a 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.
20. 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.

21. 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.
22. La caída constante de bloques de hielo a la laguna Palcacocha, se hace cada vez más peligrosa, debido al retroceso de la lengua glaciar que aún sigue en contacto con la laguna, ya que ésta sirve como una superficie de amortiguamiento a las caídas de éstos bloques de hielo antes de llegar a la laguna.
23. 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. Así como en éste trabajo se realizó estudios geofísicos a las morrenas que albergan a la laguna Palcacocha, se recomienda hacer lo mismo para otros casos similares, que comprometan la seguridad de los poblados cercanos a las lagunas, caso de la laguna Parón, en la ciudad de Caraz.
4. Realizar un monitoreo de los glaciares que circundan a la laguna Palcacocha; es decir, monitorear el retroceso glaciar que están sufriendo ya que los bloques de hielo caen en dirección a la laguna.
5. 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 frente a un posible peligro geológico por proceso glaciar.
6. Las organizaciones como Defensa Civil de Ancash, la Municipalidad de Huaraz y el Gobierno Regional de Ancash, deben realizar sistemas de prevención ante algún fenómeno de aluvionamiento para poder prevenir a la población con anticipación para que puedan realizar las medidas del caso.
7. Realizar un mapa de evacuación de la ciudad de Huaraz, sobre todo en las viviendas ubicadas en las cercanías del río Quillcay.
8. 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.

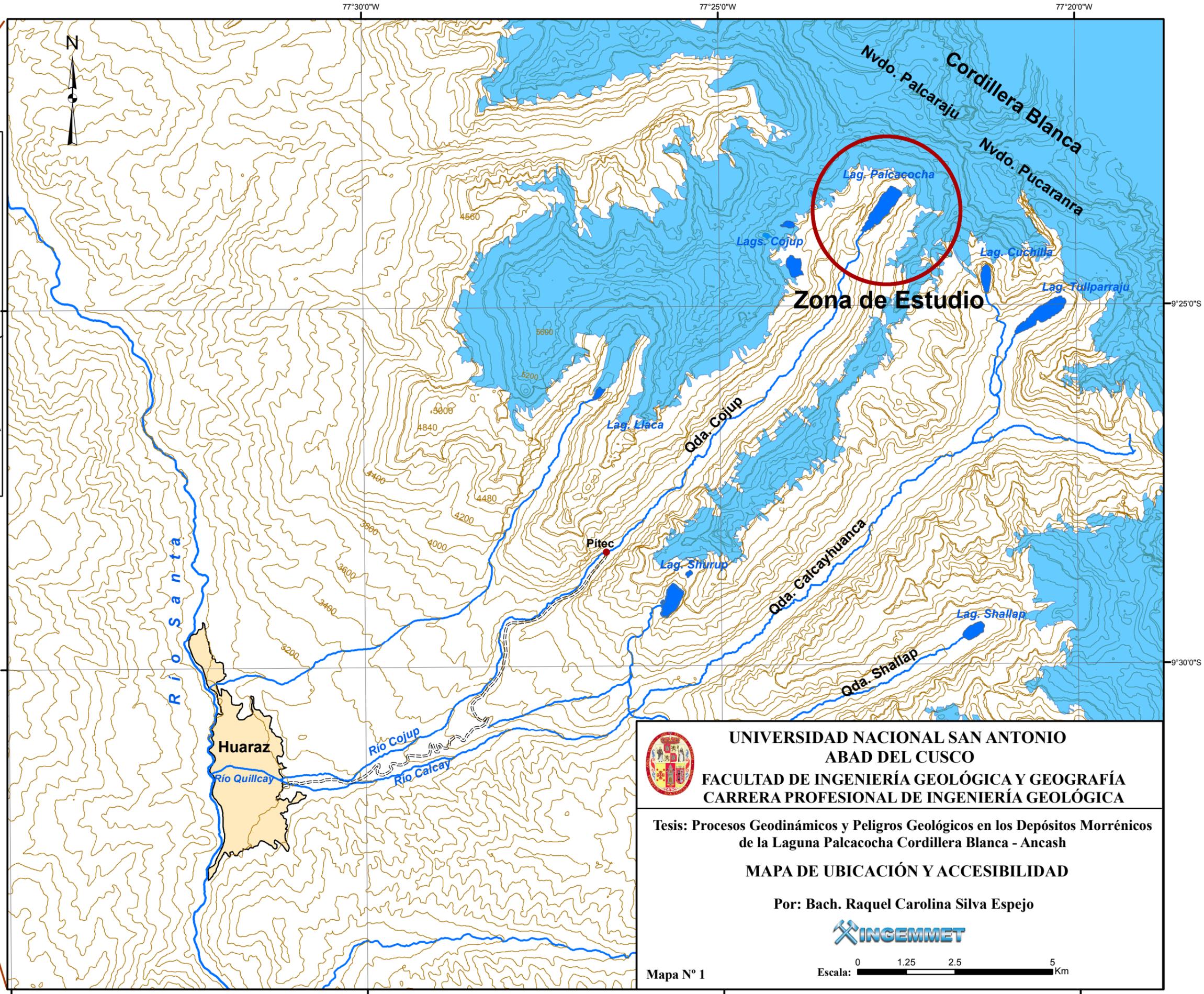
## BIBLIOGRAFÍA:

- 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.

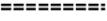
- Vilímek V., Zapata M., Klimes J., Patzelt Z., Santillán N. (2005). "Influence of glacial retreat on natural hazards of the Palcacocha Lake area, Peru". *Landslides* (2005) 2:107-115p.
- Wilson J., Reyes L., Garayar J. (1995). "Geología de los Cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, 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](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](http://en.wikipedia.org/wiki/Ground-penetrating_radar).



**LEYENDA**

-  Zona de Estudio
-  Río Santa
-  Ríos Afluentes
-  Areas nevadas de la Cordillera Blanca
-  Carretera Huaraz - Caserío Pítec
-  Ciudad de Huaraz
-  Caserío Pítec

  
**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO**  
**ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOGRAFÍA**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

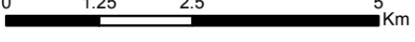
**Tesis: Procesos Geodinámicos y Peligros Geológicos en los Depósitos Mórrenicos de la Laguna Paicacocha Cordillera Blanca - Ancash**

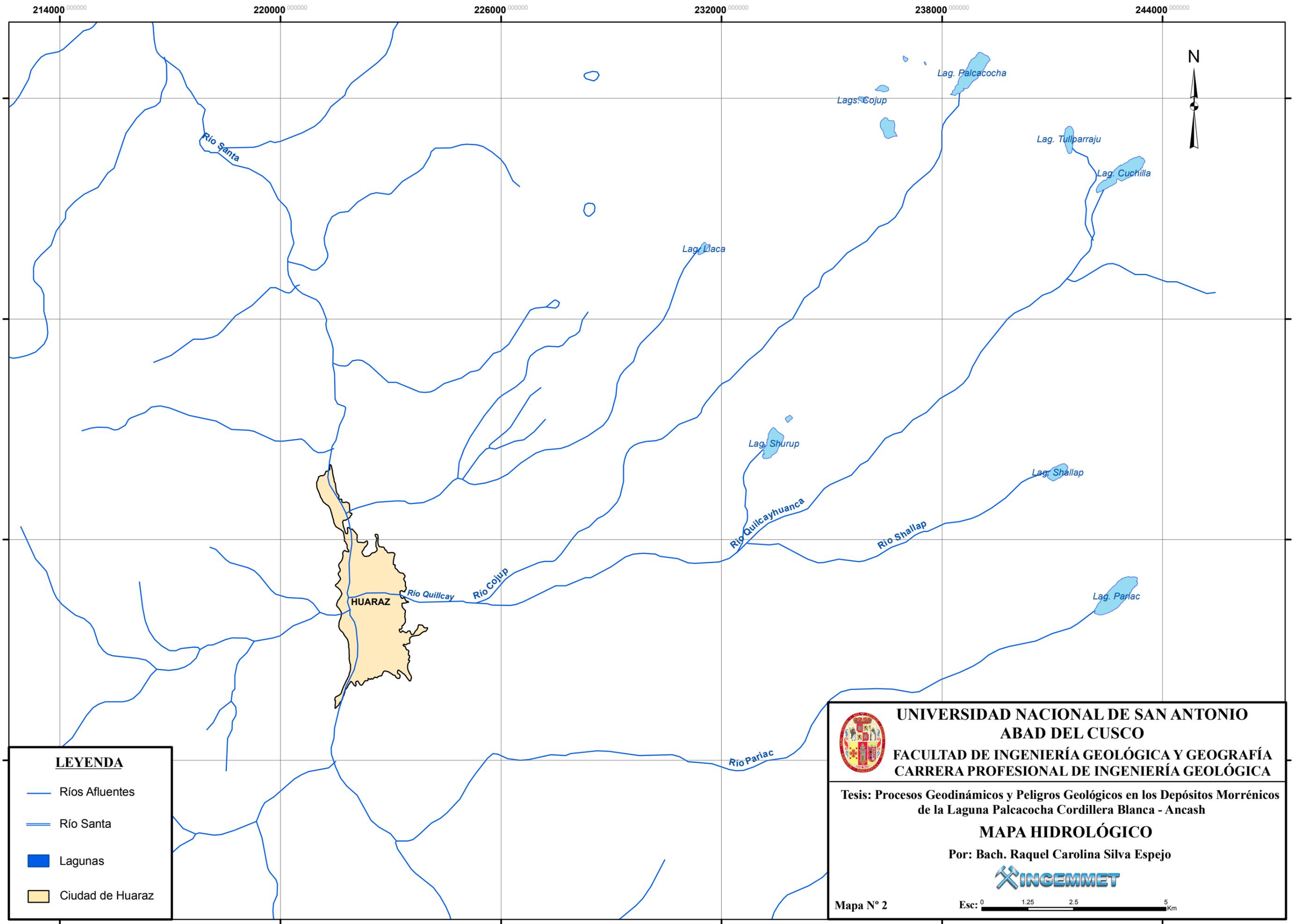
**MAPA DE UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD**

Por: Bach. Raquel Carolina Silva Espejo



Mapa N° 1

Escala:  Km



**LEYENDA**

- Ríos Afluentes
- Río Santa
- Lagunas
- Ciudad de Huaraz



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOGRAFÍA  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

---

**Tesis: Procesos Geodinámicos y Peligros Geológicos en los Depósitos Morrénicos de la Laguna Palcacocha Cordillera Blanca - Ancash**

**MAPA HIDROLÓGICO**

**Por: Bach. Raquel Carolina Silva Espejo**



Mapa N° 2

Esc: 0 1.25 2.5 5 Km



8960000  
8954000  
8948000  
8942000

100000.000000

140000.000000

180000.000000

220000.000000

260000.000000

300000.000000



908000.000000

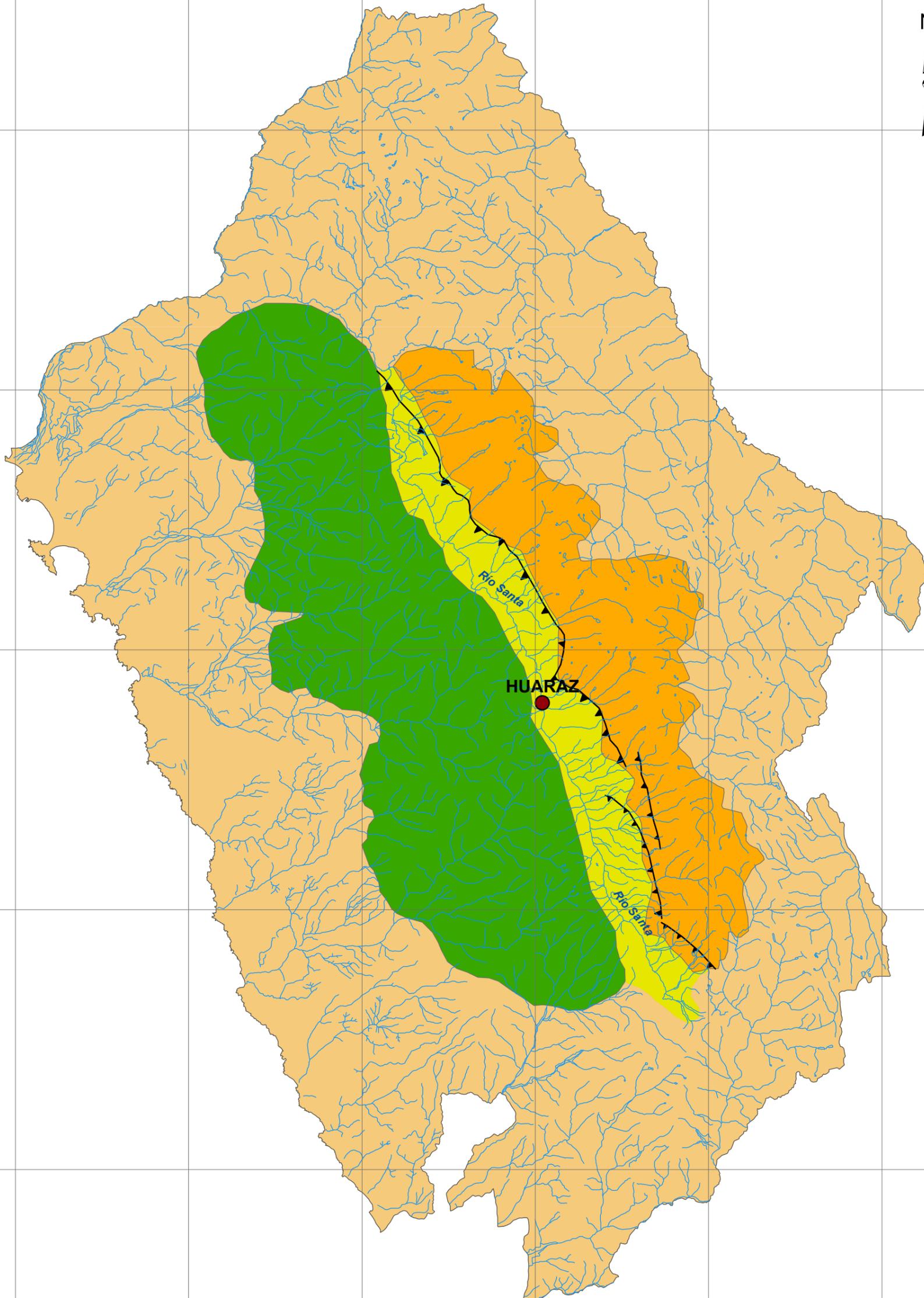
902000.000000

896000.000000

890000.000000

884000.000000

878000.000000



**LEYENDA**

- |   |                     |   |                               |
|---|---------------------|---|-------------------------------|
|  | Cordillera Blanca   |  | Ríos                          |
|  | Cordillera Negra    |  | Falla de la Cordillera Blanca |
|  | Valle del Río Santa |  | Huaráz                        |



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOGRAFÍA  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

Tesis: Procesos Geodinámicos y Peligros Geológicos en los Depósitos  
Morrénicos de la Laguna Palcacocha

**MAPA GEOMORFOLÓGICO REGIONAL**

Bach. Raquel Carolina Silva Espejo

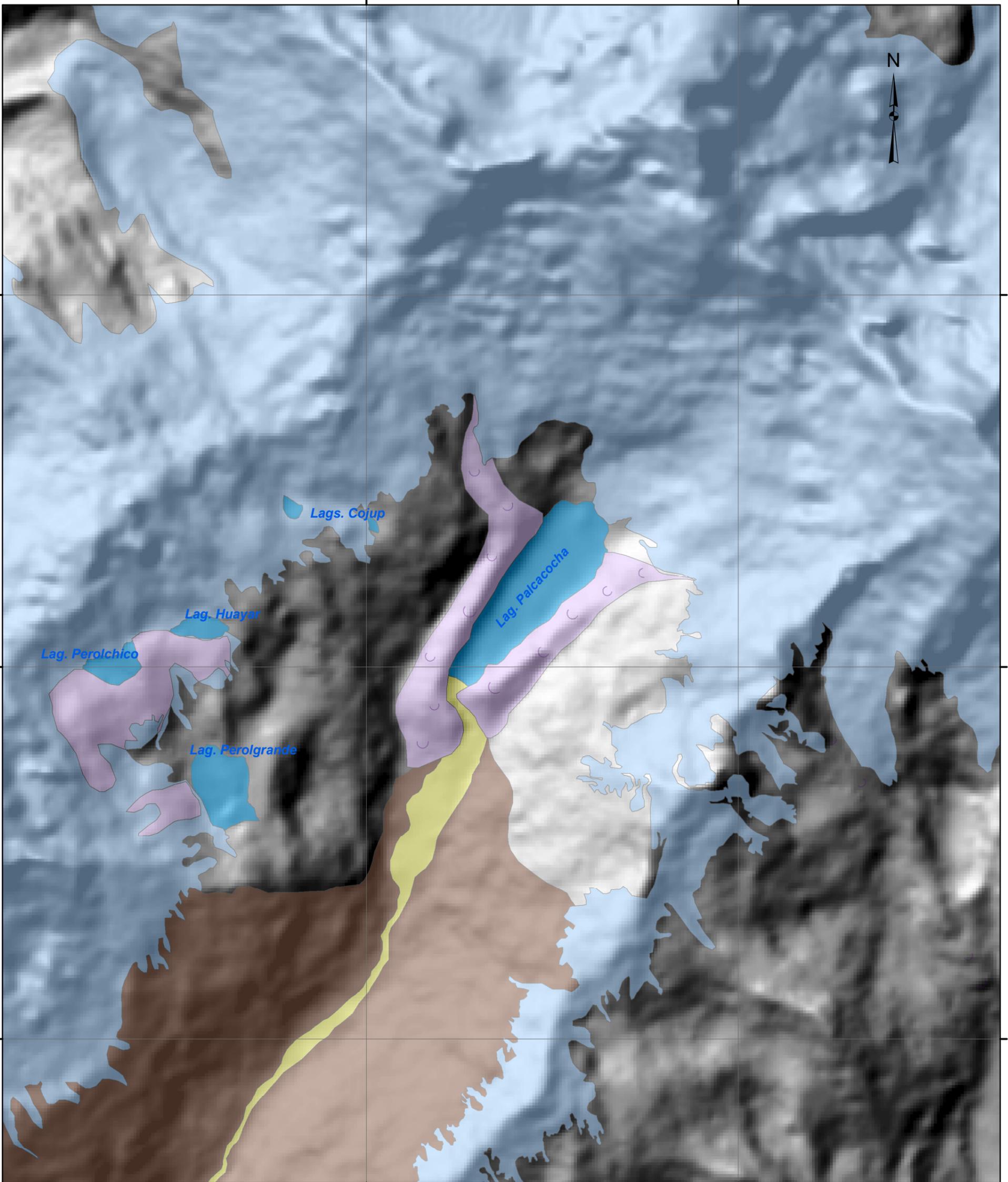


Mapa N° 3

Esc: 0 12.5 25 50 Km

237500 000000

240000 000000



8962500 000000

8960000 000000

8957500 000000

**LEYENDA**

- |   |  |
|---|--|
|  Depósito de flujo del Aluvión de 1941 |  Zona Periglaciár                   |
|  Lagunas                               |  Morrenas de Fondo de Valle Glaciár |
|  Zona Glaciár                          |  Morrenas Colgantes                 |



**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO  
ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOGRAFÍA  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

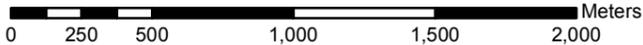
**Tesis: Procesos Geodinámicos y Peligros Geológicos en los Depósitos Morrénicos de la Laguna Palcacocha Cordillera Blanca - Ancash**

**MAPA GEOMORFOLÓGICO LOCAL**

**Por: Bach. Raquel Carolina Silva Espejo**



Mapa N° 4

Escala:  Meters

160<sup>000</sup> 190<sup>000</sup> 220<sup>000</sup> 250<sup>000</sup> 280<sup>000</sup>



### LEYENDA

- Provincias
- Rios
- ▼ Falla Cordillera Blanca
- Zona de Estudio



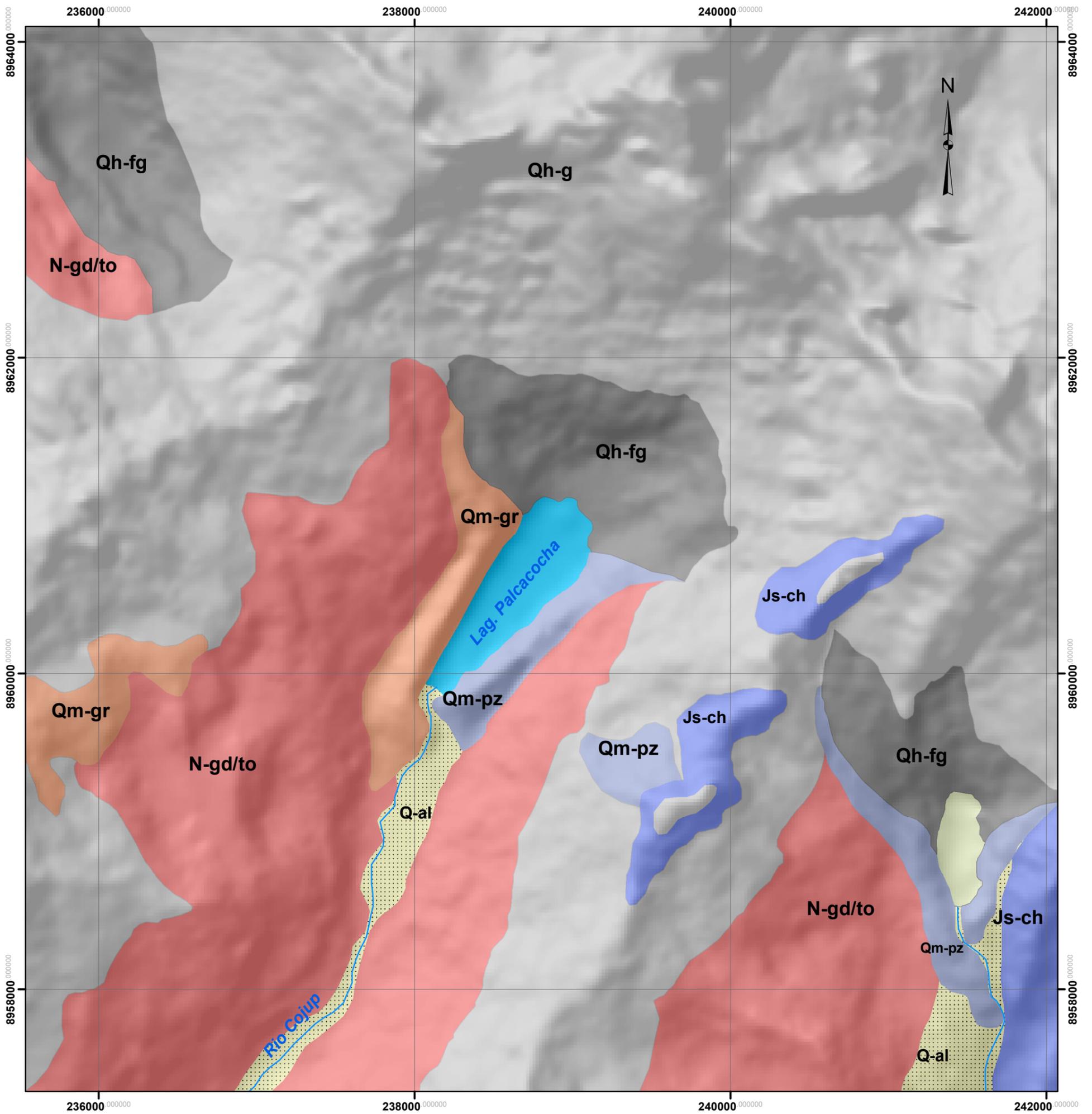
ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	ROCAS INTRUSIVAS
CENOZÓICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Dep. Cuaternarios Qh-c	Batolito de la Cordillera Blanca N-gd/to
		NEÓGENO	PLIOCENO	
	MIOCENO		Fm. Yungay Np-v	
	PALEOCENO		Gpo. Calipuy	
Inferior PN-mgr/gr				
MESOZÓICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	Gpo. Goyllarquizga Fm. Carhuaz Kis-m	
		INFERIOR	Ki-mc	
	JURÁSICO	SUPERIOR	Fm. Oyón KsP-c Fm. Chicama Js-m	

### MAPA GEOLÓGICO ESTRUCTURAL REGIONAL

Esc: 0 5 10 20 Km

Mapa N° 5

905<sup>0000</sup>  
902<sup>0000</sup>  
899<sup>0000</sup>  
896<sup>0000</sup>  
893<sup>0000</sup>  
890<sup>0000</sup>  
887<sup>0000</sup>



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


**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO  
ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOGRAFÍA  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**Tesis: Procesos Geodinámicos y Peligros Geológicos de los Depósitos  
Morrénicos de la Laguna Palcacocha Cordillera Blanca - Ancash**

**MAPA GEOLÓGICO LOCAL**  
 Por: Bach. Raquel Carolina Silva Espejo



Mapa N° 6      Escala:  Meters

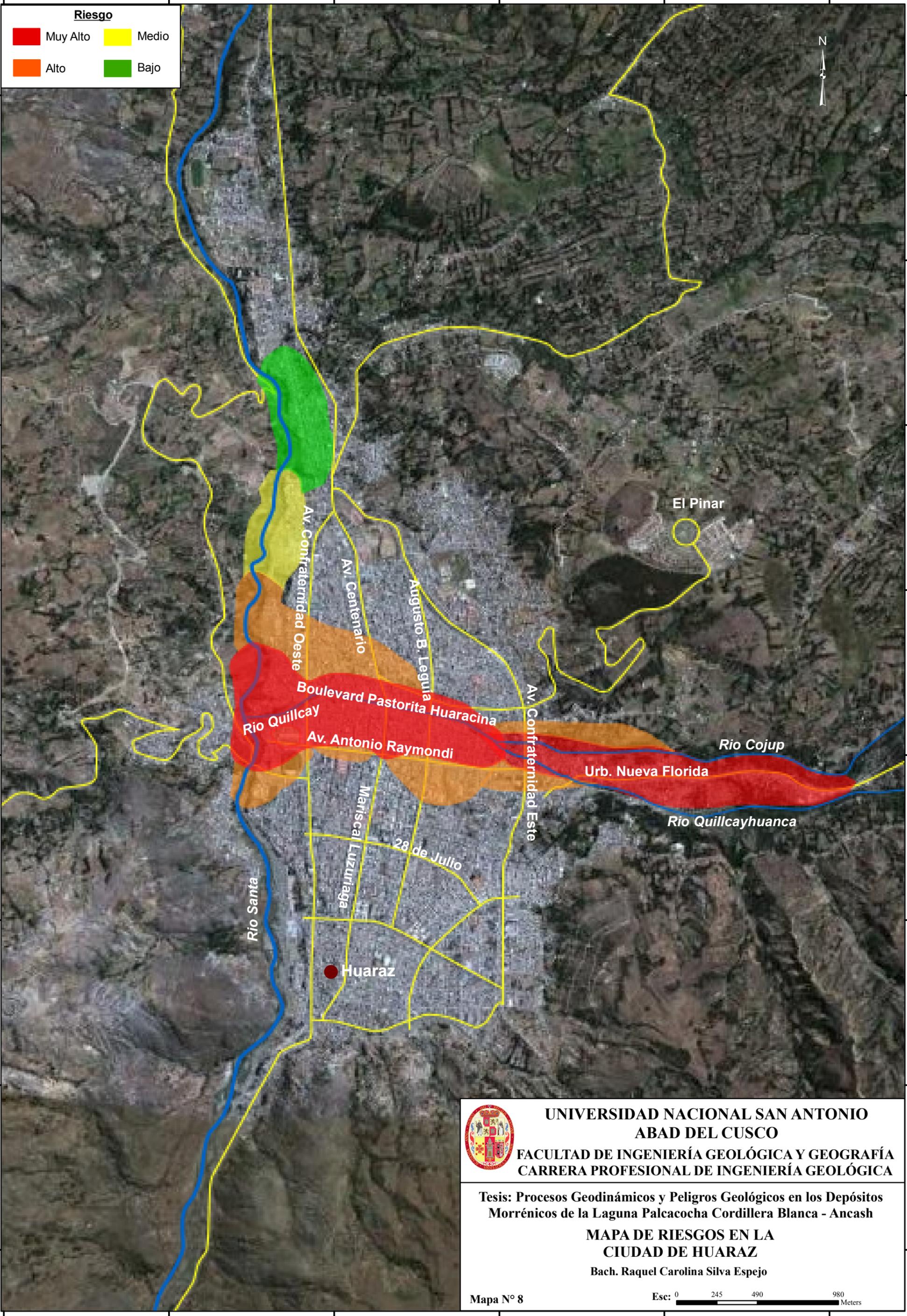
220000 000000 221000 000000 222000 000000 223000 000000 224000 000000 225000 000000

**Riesgo**

	Muy Alto		Medio
	Alto		Bajo



8950000  
8949000  
8948000  
8947000  
8946000  
8945000  
8944000  
8943000



**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO  
 ABAD DEL CUSCO**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOGRAFÍA  
 CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis: Procesos Geodinámicos y Peligros Geológicos en los Depósitos  
 Morrénicos de la Laguna Palcacocha Cordillera Blanca - Ancash

**MAPA DE RIESGOS EN LA  
 CIUDAD DE HUARAZ**

Bach. Raquel Carolina Silva Espejo

Mapa N° 8

Esc: 0 245 490 980 Meters