



Informe Técnico Nº A6444

Represamiento del río Chaquil y Peligros Geológicos Asociados

Distrito de Limatambo - Región Cusco

POR:
CARLOS BENAVENTE ESCOBAR
FABRIZIO DELGADO MADERA
LIONEL FIDEL SMOLL

ENERO 2011

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	3
1. INTRODUCCIÓN	6
2. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	7
2.1. ALTIPLANICIES	7
2.2. CORDILLERA ORIENTAL	9
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	9
3.1. GRUPO YUNCAYPATA	9
3.2. FORMACIÓN QUILLQUE Y CHILLCA	11
3.3. GRUPO SAN JERÓNIMO	11
3.4. FORMACIÓN SAN SEBASTIÁN	12
3.5. DEPÓSITOS GLACIARES	12
3.6. DEPÓSITOS ALUVIALES Y FLUVIALES	12
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	13
4.1. EL EVENTO Y SUS CONSECUENCIAS	14
4.2. MOVIMIENTOS EN MASA	19
4.2.1. REPRESAMIENTO DEL RÍO CHAQUIL	20
4.2.2. OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS	26
5. PELIGRO SÍSMICO	33
6. CONCLUSIONES	38
7. RECOMENDACIONES	39
8. REFERENCIAS	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación, el rectángulo en rojo representa el área de estudio.

Figura 2: Mapa Geomorfológico. Modificado del Boletín N°65 de la serie A-Carta Geológica nacional.

Figura 3: Mapa geológico. Base geológica tomada del Boletín N°65 de la serie A-Carta Geológica Nacional.

Figura 4: Vista de la formación Maras en la cabecera de la quebrada Chaquil, litológicamente está compuesta por intercalaciones de lutitas rojas con limos mezclados de manera caótica junto con yesos.

Figura 5: Formación Kayra, esta esencialmente constituida por areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas

Figura 6: Primera comisión que llevo a verificar la zona de represamiento, el día Domingo 24 de enero del 2010. Al fondo se observa el represamiento del río Chaquil. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.

Figura 7: Vista aérea del derrumbe del cerro HUAHUACHAYOC y consecuente represamiento del cerro Chaquil.

Figura 8: Material de escombros antes del desemvalse y puntos de surgencia, producto de la infiltración de las precipitaciones que saturaron e incrementaron la masa del derrumbe. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.

Figura 9: Vista aérea de la zona de ruptura del dique natural, que genero el flujo de detritos el día 25 de enero del 2010. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.

Figura 10: Río Colorado, en la fotografía se observa la reactivación de deslizamientos y el puente Huertahuycco destruido. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.

Figura 11: Se observa una casa en la localidad de Saucedo completamente inundada. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.

Figura 12: Se observa la enorme dificultad con la que los vehículos tratan de sortear el desborde del río Colorado. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.

Figura 13: Vivienda afectada en el poblado e Limatambo. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.

Figura 14: Personal de la PNP realizando trabajos con la finalidad de calcular la batimetría de la laguna. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.

Figura 16: Derrumbe en el cerro Huahuachayoc, ocurrido el 22 de enero del 2010, este represo el río Chaquil.

Figura 17: Aquí se observa en la avalancha de escombros, los bloques de areniscas angulosos en una matriz de lutitas marrones que envuelve todo el material desprendido.

Figura 18: En esta imagen se puede apreciar la distancia entre el espejo de agua y la altura máxima del dique natural. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.

Figura 19: Represamiento del río Chaquil, Las flechas rojas indican el nivel que alcanzo el agua.

Figura 20: En las figuras A y B se puede observar el flanco derecho de la avalancha de escombros antes y después del desfogue. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.

Figura 21: Las líneas rojas indican la zona de hundimiento del dique natural en forma retrogresiva por efectos de la tubificación.

Figura 22: Véase deslizamiento y procesos de reptación dentro de la masa de un antiguo deslizamiento que afecta la trocha carrozable en la quebrada Caracarayoc.

Figura 23: Estratificación del Grupo San Jerónimo en el cerro Tastajasa.

Figura 24: Se observa el socavamiento causado por el río Samas en ambas márgenes, producto de este debilitamiento en la base del talud se dan los colapsos y deslizamientos.

Figura 25: Intercalación entre areniscas y limonitas del Grupo San Jerónimo.

Figura 26: Erosión de terrazas aluviales en la quebrada Samas.

Figura 27: Reactivaciones en la base de antiguos deslizamientos en la parte media de la quebrada Samas debido al socavamiento causado por el río.

Figura 28: Reactivación de deslizamiento donde se aprecian las grietas tensionales y los desniveles, en la cabecera de la quebrada Samas.

Figura 29: Se observa procesos de reptación, erosión lateral, al Noroeste del cerro Huilcaray, en la margen izquierda de la quebrada Chaquil.

Figura 30: Se observa la erosión causada por el río en las terrazas aluviales provenientes de la cabecera de la quebrada Chaquil.

Figura 31: Grietas tensionales del deslizamiento ubicado en el cerro Ticlla ubicado en la margen derecha del río Chaquil.

Figura 32: Grietas tensionales con desniveles en la superficie de hasta 1 m en el cerro Ticlla.

Figura 33: Mapa de ubicación de las fallas geológicas activas en la región del Cusco, las líneas rojas gruesas indican las fallas potencialmente activas. Tomado de Benavente et al., 2010.

Figura 34: Falla Tambochay, vista al norte. En la fotografía se puede observar el escarpe de falla y como la dirección de los drenajes son alterados por la actividad de rumbo de la falla.

Figura 35: Falla activa Qoricocha, ubicada al norte de la ciudad del Cusco.

Figura 36: Segmento de falla del Sistema Pachatusan, esta falla afecta morrenas glaciares y a los volcánicos cuaternarios Rumicolca.

Figura 37: Curvas de intensidades máximas de Escala de Mercalli modificada.

Figura 38: Mapa de Zonificación Sísmica del Perú

1. INTRODUCCIÓN

En el mes de enero del 2010, intensas lluvias afectaron la región del Cusco, originando avenidas extraordinarias en los ríos y sobresaturación de los suelos de las laderas de los cerros, generando erosión lateral y desestabilización, lo que produjo la reactivación y/o formación de deslizamientos y derrumbes, afectando viviendas, la carretera asfaltada Cusco – Abancay – Lima (única vía de conexión para Limatambo), puentes, entre otras obras de ingeniería. Así mismo, el fuerte caudal desestabilizó el flanco este del cerro Huahuachayoc (margen derecha del río), generando un derrumbe que represo el río Chaquil (Figura 1).

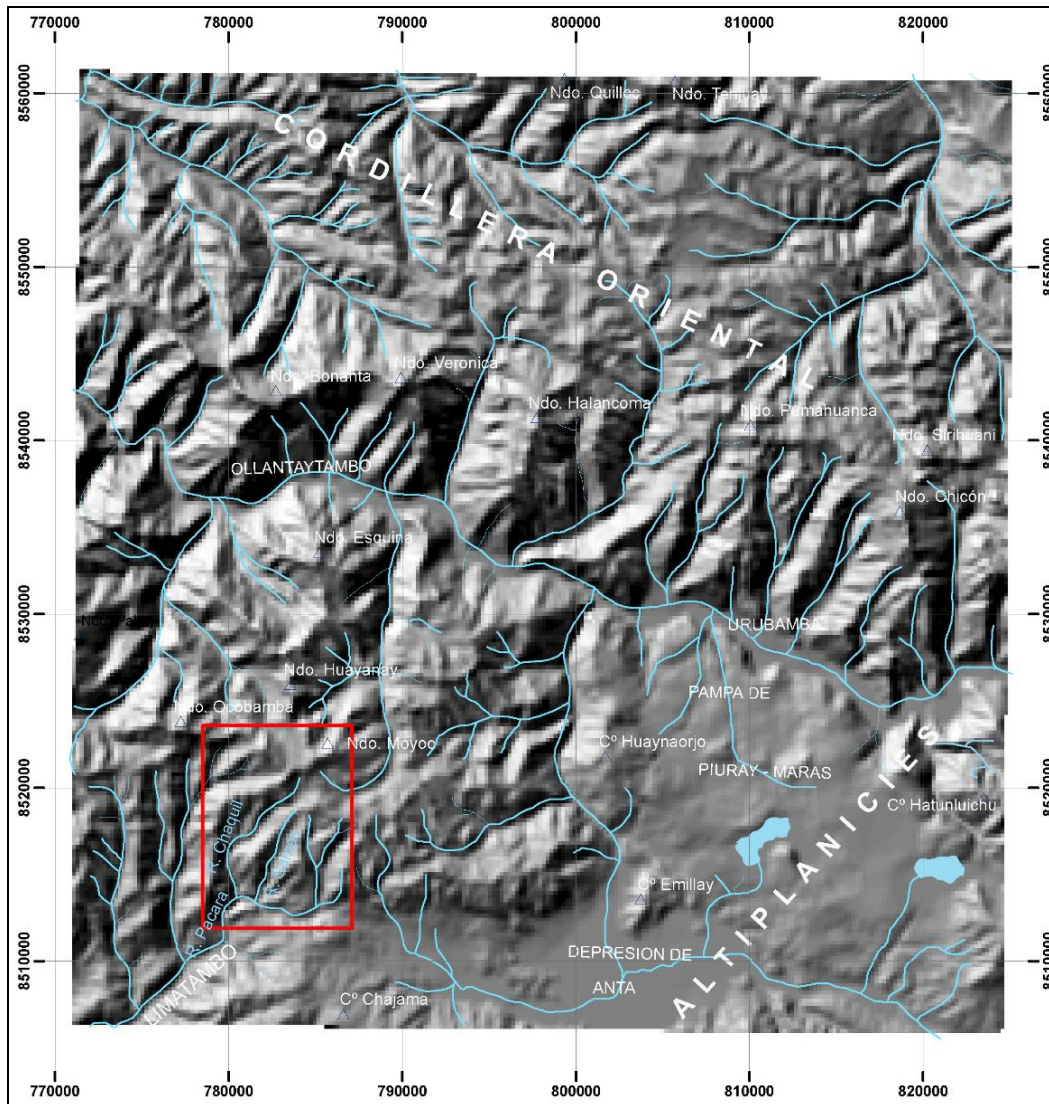


Figura 1: Mapa de ubicación, el rectángulo en rojo representa el área de estudio.

El presente informe se realizó atendiendo el Oficio N° 5091-2010-INDECI/10.2 donde el Director Nacional de Prevención del INDECI, a solicitud de la Municipalidad Distrital de Limatambo de la provincia de Anta – región de Cusco;

solicita la evaluación técnica de la confluencia de los ríos Chaquil y Puitoq. Dicho documento fue derivado a la Dirección de Geología Ambiental y Riesgos para atender la solicitud, delegando a los profesionales Carlos Benavente y Fabrizio Delgado a realizar la evaluación solicitada.

Los trabajos de campo se realizaron del 29 de noviembre al 1 de diciembre del 2010. En dicha evaluación se conto con la participación de Huilberto Parihuana de la Municipalidad Distrital de Limatambo, así como de dos pobladores del lugar.

El distrito de Limatambo es uno de los nueve distritos de la Provincia de Anta, ubicado en el Departamento de Cusco, distrito limítrofe con la región Apurímac. El centro poblado de Limatambo se ubica a 70 km al oeste de la ciudad del Cusco, en la ruta de la carretera Cusco – Abancay – Nazca – Lima. Se emplaza en la margen izquierda del río Colorado, que discurre con una dirección NE-SO, teniendo como principales afluentes los ríos Chaquil y Samas, ubicados al NE del poblado de Limatambo (Figura 1).

Para llegar a la zona del represamiento del río Chaquil, nos dirigimos de Limatambo hacia el poblado de Pampaconga, lugar donde termina la trocha carrozable, para de este punto caminar en dirección norte, a lo largo de 8 km por la quebrada Samas. Luego cruzamos el cerro Huilcaray para llegar a la quebrada Chaquil, por donde se continúa la caminata aguas abajo. Luego de 4 km más de recorrido se llega a la zona de represamiento del río.

2. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Entre Cusco, Limatambo y el área de estudio se reconocen dos unidades geomorfológicas: Altiplanicies y Cordillera Occidental, además de unidades locales que se ubican dentro de estas (Figura 2).

2.1. ALTIPLANICIES:

Esta unidad corresponde a zonas con relieves planos con altitudes que varían entre 4200 y 4300 msnm. Estas están mejor desarrolladas al sur de la zona de estudio.

En esta unidad se han diferenciado las siguientes geoformas: la Depresión de Anta, la Pampa de Maras, las Montañas del Cusco y la Depresión de Limatambo. Estas geoformas están separadas en algunos casos por fallas de dirección NO-SE.

La Depresión de Limatambo constituye el límite occidental entre las Altiplanicies y la Cordillera Oriental. Por esta depresión, algo escarpada, discurre el río Colorado con dirección NE-SO. Sus altitudes dentro de la zona de estudio varían entre 3600 y 2400 msnm.

Los afluentes principales del río Colorado presentan un drenaje subparalelo a dentrítico.

"Represamiento del río Chaquil y peligros geológicos asociados
Distrito de Limatambo, Provincia de Anta-Región Cusco"

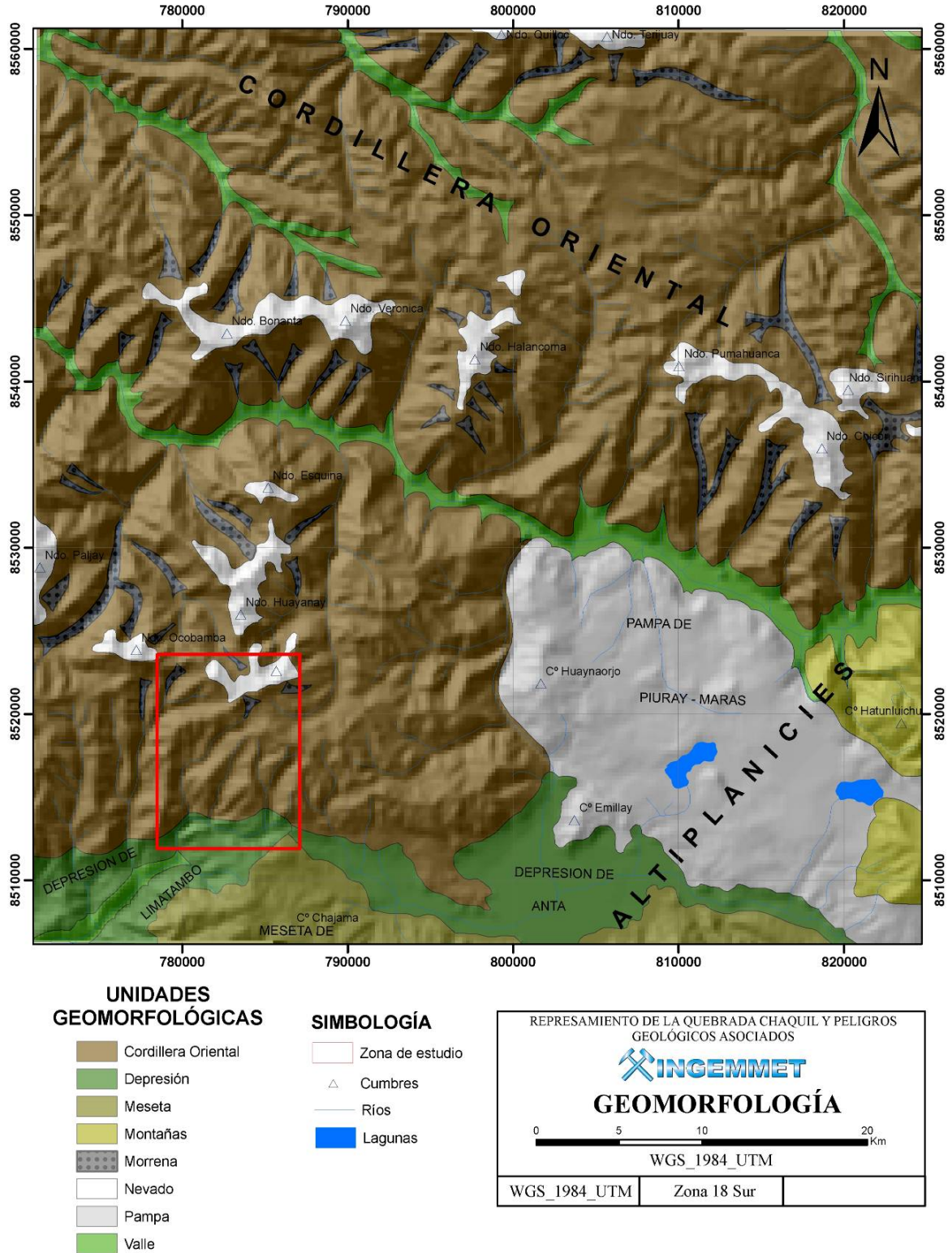


Figura 2: Mapa Geomorfológico. Modificado del Boletín N°65 de la serie A – Carta Geológica nacional.

2.2. CORDILLERA ORIENTAL

En esta Unidad los sectores más elevados se hallan con glaciares, que muestran signos de retroceso. El límite inferior de las nieves se halla por lo general a 4800 msnm. Además de los glaciares se aprecian, geofomas de origen glaciar como “circos glaciares”, valles en “U” y morrenas.

En la zona de estudio, la Cordillera Oriental comprende tres cadenas de nevados, la Meseta de Colquepata y los Valles Interandinos. Distinguiéndose la Cadena de Nevados Huayanay – Paljay, que se ubican al sur del río Urubamba y están conformados por los nevados de Huayanay, Cielo Rumiyoc, Moyoc, Chaquile, Ocobamba, Esquina y Paljay. Esta cadena montañosa está formada por rocas intrusivas del Batolito de Machupicchu, rocas metamórficas del Paleozoico inferior y en su borde sur por rocas sedimentarias del grupo Yuncaypata y el grupo San Jerónimo.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

En el área donde se realizaron la evaluación geológica afloran diferentes unidades litoestratigráficas (Figura 3), las que describimos a continuación tomando como base el Boletín N° 65 de la Carta Geológica Nacional del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

3.1. GRUPO YUNCAYPATA

El grupo Yuncaypata aflora en el sector sur de los cuadrángulos de Calca y Urubamba. Este grupo ha sido dividido en cuatro secuencias estratigráficas: formaciones: Paucarbamba (no aflora en el área de estudio), Maras, Ayavacas (no aflora en el área de estudio) y Púquin.

La formación Maras, con exposición en los alrededores Limatambo y en la zona de trabajo, está compuesta por secuencias intercaladas de lutitas rojas con limos mezclados de manera caótica con yesos. En los niveles rojos, predominan las lutitas y limoarcillitas. Por su composición y calidad, en esta formación se desarrollan movimientos en masa (deslizamientos y derrumbes). Ver Figura 4.

La formación Púquin, aflora al norte de Limatambo - Zurite y está constituido por areniscas cuarzosas de grano fino con niveles de arcillitas. Las areniscas cuarzosas, lateralmente, pueden pasar a cuarcitas en estratos delgados de color blanquecino, que en algunos casos conforman farallones que destacan en el paisaje. También se encuentran capas de margas y brechas calcáreas. Hacia la parte media se cuenta con areniscas cuarzosas de grano fino y arcillitas negras a rojiza. En la parte superior de esta formación se presentan arcillitas y limolitas rojas con niveles de calizas y nódulos calcáreos, capas lenticulares de yeso (en volumen muy reducido), además se encuentra areniscas con arcillitas amarillentas. Por su composición y calidad, en esta formación se desarrollan movimientos en masa (deslizamientos, derrumbes).

"Represamiento del río Chaquil y peligros geológicos asociados
Distrito de Limatambo, Provincia de Anta-Región Cusco"

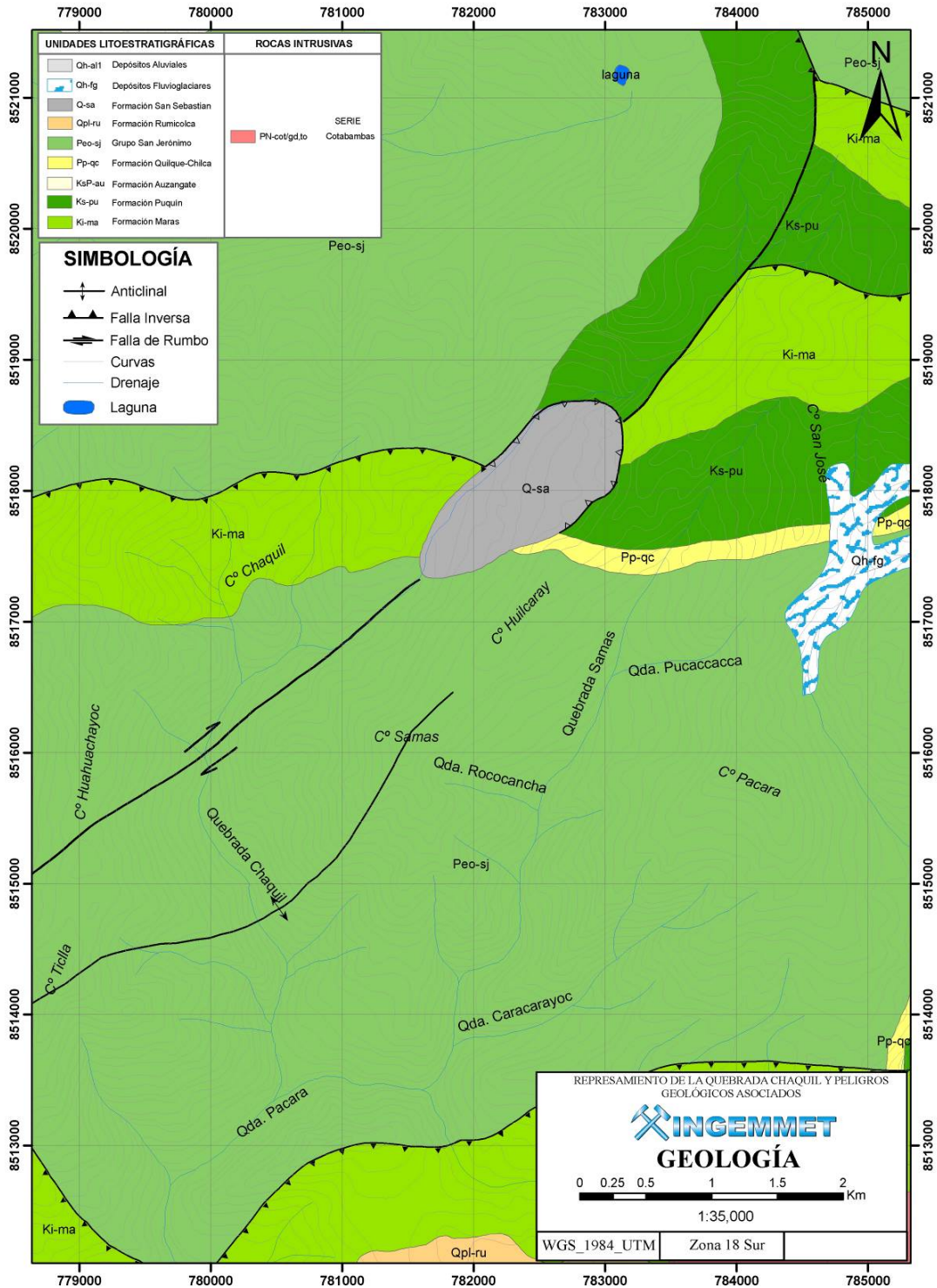


Figura 3: Mapa geológico. Base geológica tomada del Boletín N°65 de la serie A- Carta Geológica Nacional.



Figura 4: Vista de la formación Maras en la cabecera de la quebrada Chaquil, litológicamente está compuesta por intercalaciones de lutitas rojas con limos mezclados de manera caótica junto con yesos.

3.2. FORMACIÓN QUILLQUE Y CHILLCA

La formación Quillque aflora al NE del represamiento en la quebrada Samas. Trata de secuencias de limoareniscas y limoarcillas con estratificación laminar intercaladas con delgados estratos de arenas grises de grano medio. Mientras que la formación Chillca, se distingue por su coloración rojiza y está constituida por lutitas rojas con láminas de yeso, margas y areniscas calcáreas, que pasan gradualmente a areniscas rojas feldespáticas (Capas Rojas). Esta formación por su composición y calidad es susceptible a desarrollar movimientos en masa.

3.3. GRUPO SAN JERÓNIMO

Es una gruesa serie roja de origen continental que aflora ampliamente en la zona, se divide en dos formaciones: Kayra y Soncco. La formación Kayra, esta esencialmente constituida por areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas (Figura 5); siendo la parte media – superior más gruesa y compuesta por areniscas, microconglomerados con clastos volcánicos y cuarcitas, la formación acaba con facies arenosas (Córdova 1986).

La formación Soncco, sobreyace concordantemente a la formación Kayra y está compuesta por lutitas rojas, intercaladas con niveles de arena fina (con mineralización de cobre) hacia la base, mientras que la parte superior esta compuesta por areniscas con clastos blandos y conglomerados con clastos volcánicos (Córdova 1986).



Figura 5: Formación Kayra, esta esencialmente constituida por areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas

3.4. FORMACIÓN SAN SEBASTIÁN

Litológicamente está constituido por depósitos de gravas y arenas correspondientes a conos de deyección y flujos de barro; así como también diatomitas, limos y arcillas extendidas en toda la unidad litoestratigráfica, intercalados con horizontes de paleosuelos y turba.

Esta formación, por su ambiente de sedimentación pertenece a una cuenca lagunar con influencia de sedimentación fluvial, donde en sus bordes se acumularon sedimentos organógenos como la turba que en muchos casos fueron sepultados por depósitos de conos de deyección. Estos depósitos son de muy mala calidad y susceptible a desarrollar movimientos en masa (deslizamientos y derrumbes).

3.5. DEPÓSITOS GLACIARES

Los depósitos glaciares (morrenas), se ubican al pie de la cadena de nevados observados en la Cordillera Oriental de la zona de estudio.

3.6. DEPÓSITOS ALUVIALES Y FLUVIALES

Dentro de estos depósitos, hemos considerado los conos de deyección. Estos se localizan principalmente en la desembocadura de las quebradas adyacentes a los valles. Los depósitos fluviales han sido reconocidos en el fondo de los valles, donde están constituidos por bancos de gravas y arenas, formando hasta tres terrazas aluviales de tipo encajonado.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

En el área evaluada se identificaron diferentes tipos de procesos de movimientos en masa, entre los más importantes tenemos:

Las caídas de bloques de suelo o roca o derrumbes: Son fenómenos asociados a la inestabilidad de las laderas de los cerros, consiste en el desprendimiento y caída repentina de una masa de suelo o rocas o ambos, que pueden rodar o caer directamente en forma vertical con ayuda de la gravedad. Fenómenos ocasionados por sismos, erosión (socavamiento de la base en riberas fluviales o áreas costeras o acantilados rocosos), efecto de la lluvia (saturación de suelos incoherentes, en laderas de valles de moderada a fuerte pendiente), y la actividad humana (acción antrópica: cortes de carreteras o áreas agrícolas). Movimientos con velocidades muy rápidas a extremadamente rápidas. Este tipo de proceso generó el represamiento del río Chaquil.

Deslizamientos: Consiste en un desplazamiento de tierra, rocas y suelo, pendiente abajo a lo largo de una superficie plana, circular o cóncava. Suceden debido a las características y/o propiedades del suelo o rocas o ambos (suelos inconsolidados, rocas muy alteradas o meteorizadas y muy fracturadas), fuerte pendiente, presencia de manantiales, entre otros. Estos fenómenos pueden ser “detonados” por sismos y fuertes precipitaciones pluviales.

Asimismo, se ha identificado la presencia de huaycos (debris flow) y aluviones (debris avalanche). Los **huaycos** son movimientos rápidos de suelos, rocas y escombros saturados de agua, que ocurren en cauces y quebradas (canalizados). Movimientos que se caracterizan por rápido, lento, saturado, o en algunos casos, secos.

Los **aluviones** son desplazamientos violentos de una gran masa de agua, con mezcla de sedimentos de variada granulometría y bloques de rocas de dimensiones grandes, estas se emplazan con gran velocidad a través de quebradas o valles debido a la ruptura de diques naturales (producidos por deslizamientos y avalanchas que represan valles) y/o artificiales (ruptura de represas) o desembalse súbito del represamiento de un río; fenómeno que puede suceder en el caso de estudio.

La **reptación de suelos**, se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

Finalmente, observamos **erosión de las riberas**, que es el desgaste por erosión o socavamiento en las márgenes o terrazas, que produce las fuerzas hidráulicas de una corriente fluvial, que actúan principalmente por el incremento del caudal y descargas de los ríos por fuertes precipitaciones pluviales que ocurren en sus cuencas altas. Este fenómeno es dependiente de la acción directa de los componentes de la fuerza erosiva de la corriente, del grado de la resistencia de las rocas y suelos que componen las márgenes de los ríos y de la geomorfología del valle.

Las lluvias acontecidas en el mes de enero del 2010 originaron y reactivaron varios de estos procesos de movimientos en masa, los que describiremos a

continuación, tomando como referencia el informe realizado por el Sr. Huilberto Parihuana del Comité de Defensa Civil del Municipio Distrital de Limatambo.

4.1. EL EVENTO Y SUS CONSECUENCIAS

En el mes de enero del 2010, intensas lluvias afectaron muchas localidades de la región del Cusco, entre ellas, la localidad de Limatambo. Estas lluvias produjeron crecidas de los ríos, así como también la desestabilización de laderas produciendo movimientos en masa como derrumbes y deslizamientos (por erosión del pie de los taludes y saturación de los suelos). Procesos que generaron muchos daños en viviendas, carreteras (carretera Cusco – Abancay – Lima), puentes, entre otras obras de infraestructura.

El 22 de enero del 2010 un derrumbe de gran magnitud ocasiono el represamiento del río Chaquil al noreste de Limatambo con origen en el cerro HUAHUACHAYOC. El movimiento en masa se precipitó sobre el río en horas de la tarde produciendo un fuerte sonido ensordecedor (comunicación de pobladores). Este hecho fue comunicado a las autoridades de la localidad, llegándose a formar una comisión (Figura 6) compuesta por autoridades municipales, policiales y pobladores de la zona, que viajaron el día 24 de enero a la zona del represamiento. Es aquí donde constataron la gravedad del fenómeno, siendo reportado posteriormente a INDECI-CUSCO con la finalidad de tomar las precauciones del caso, ante un posible desembalse rápido de la laguna.



Figura 6: Primera comisión que llegó a verificar la zona de represamiento, el día Domingo 24 de enero del 2010. Al fondo se observa el represamiento del río Chaquil. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.

Día martes 23 de enero del 2010, una brigada encabezada por Huilberto Parihuana García y el responsable de INDECI Sr. Raúl Quispe Castro emprendieron el viaje al lugar del represamiento, con la finalidad de verificar las dimensiones del represamiento (Figura 7), siendo estas:

Las dimensiones del vaso del represamiento son:

Largo : ~120 m

Ancho máximo	: ~100 m
Ancho promedio	: ~60 m
Altura máxima	: ~45 m
Altura promedio	: ~25 m
Volumen aproximado de agua represada	: ~180 000 m ³

Las dimensiones iniciales del dique natural aproximadamente son las siguientes:

Largo	: ~300 m
Ancho	: ~100 m
Altura máxima	: ~75 m
Altura promedio	: ~68 m
Volumen aproximado de material en el dique	: ~1 550 400 m ³



Figura 7: Vista aérea del derrumbe del cerro HUAHUACHAYOC y consecuente represamiento del cerro Chaquil.

El día 25 de enero del 2010, en horas de la madrugada, producto de la ruptura de parte del dique natural formado por el derrumbe del cerro HUAHUACHAYOC (Figura 8), un aluvión arrastró grandes bloques de rocas y lodo, llegando al río Colorado y afectando la localidad de Huertahuayco y poblados adyacentes a Limatambo.

La ruptura del dique, generó el desfogue de parte del agua estancada, arrastrando aproximadamente 102 000 m³, cifra calculada a partir del producto del largo promedio de la apertura de desfogue (75 m), por el ancho (20 m) y la altura promedio del dique respecto al piso del valle (68 m), siendo ésta aproximadamente la décima parte del material acumulado en la represa natural (Figura 9).

El aluvión generó ingentes daños en la cuenca del río Colorado desde el kilómetro 768+000 hasta el kilómetro 791+000 de la carretera Cusco – Limatambo – Abancay, afectando viviendas en las localidades de Huertahuaycco, Sondorf, Limatambo, Huayroncca y Saucedá; destrucción de áreas de cultivos, destrucción de puentes como de Huertahuaycco, Sondorf, Huayroncca; canales de riego, tuberías de agua, y la destrucción de la carpeta asfáltica de la vía que une las localidades de Cusco – Abancay – Lima en un tramo de 20 Km (Figuras 10, 11, 12 y 13).



Figura 8: Material de escombros antes del desembalse y puntos de surgencia, producto de filtraciones en la masa del derrumbe. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.



Figura 9: Vista aérea de la zona de ruptura del dique natural (por filtraciones), que generó el aluvión del 25 de enero de 2010. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.

*“Represamiento del río Chaquil y peligros geológicos asociados
Distrito de Limatambo, Provincia de Anta-Región Cusco”*



Figura 10: Río Colorado, en la fotografía se observa la reactivación de deslizamientos y el puente Huertahuycco destruido. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.



Figura 11: Se observa una casa, en la localidad de Saucedá, completamente inundada. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.



Figura 12: Se observa la enorme dificultad con la que los vehículos tratan de sortear el desborde del río Colorado. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.



Figura 13: Vivienda afectada en el poblado e Limatambo. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.

A partir de esta fecha se realiza un continuo monitoreo batimétrico, a cargo de la Policía Nacional, que consiste en verificar la variación del nivel del agua del represamiento y del dique natural (Figura 14), ya que un posible desembalse afectaría poblaciones como:

Poblado	Número de familias y otros
Huertahuayco	70 familias
Florida	20 familias
Sondorf	10 familias
Tarahuasi	10 familias
Puente Tarahuasi	300 familias (único puente por el que transitan los pobladores de las comunidades de Sondorf, Molinopata, Usutacancha Lecheria, Parcco, Mamacu, Tomacaya)
Yerbabuenayoc	20 familias
Limatambo parte baja	10 familias



Figura 14: Personal de la PNP realizando trabajos con la finalidad de calcular la batimetría de la laguna. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.

4.2. MOVIMIENTOS EN MASA

En esta parte describiremos las observaciones técnicas-geológicas realizadas entre el 29 de noviembre y el 1 de diciembre de 2010.

4.2.1. REPRESAMIENTO DEL RÍO CHAQUIL

Los tipos de movimientos en masa que han originado represamientos en mayor número han sido derrumbes, avalanchas de rocas y de detritos, los hundimientos de roca y los de suelo y los flujos de detritos, de lodo o de tierra (Costa & Schuster, 1988). El represamiento del río Chaquil se debe a un derrumbe con origen en el cerro Huahuachayoc.

Los represamientos se originan con mayor frecuencia en valles estrechos y de laderas empinadas, condiciones muy comunes en áreas de actividad geológica donde ocurren sismos, erupciones volcánicas o donde hubo fuerte incisión glacial. En muchos casos estas áreas contienen abundancia de materiales con posibilidad de deslizarse y concurrencia de factores disipadores de deslizamientos (Manual de estabilidad de taludes, 1998). Siendo este el caso del evento de Chaquil.

El trabajo consistió en la evaluación el derrumbe que provocó el represamiento del río Chaquil, asimismo se aprovechó para cartografiar los peligros geológicos a lo largo de la ruta, evidenciando una alta actividad de geodinámica externa. El cartografiado se realizó en mapas topográficos a escala 1:25 000 (Figura 15).

En la margen derecha del río Chaquil, a 2.2 Km de su confluencia con el río Pacara, se observa un derrumbe de gran magnitud en la falda del cerro Huahuachayoc (Figuras 13 y 14), que movilizó un volumen de suelo y rocas aproximado de 2 584 000 m³. El material removido, está compuesto por bloques de areniscas y limolitas (Figura 16). Todo este material represó el cauce del río, formando rápidamente una laguna, con una profundidad promedio de 25 m, un espejo de agua de 120 m de longitud y un ancho promedio de 60 m. El valor aproximado del volumen de agua estancada fue de 180 000 m³.

El represamiento del río Chaquil es del tipo II, según la clasificación de Hermannss et al., (2002) y Costa & Schuster (1988), y se caracteriza por ser represas grandes y abarcan todo el piso del valle, en algunos casos se deposita material en las partes altas del otro margen (Figura 17).

La altura del espejo de agua con respecto al tope del dique natural es de 15 m (Figura 18) y para medir la profundidad se hicieron 06 pruebas de batimetría las que arrojaron que la altura máxima del represamiento viene a ser 45 m.

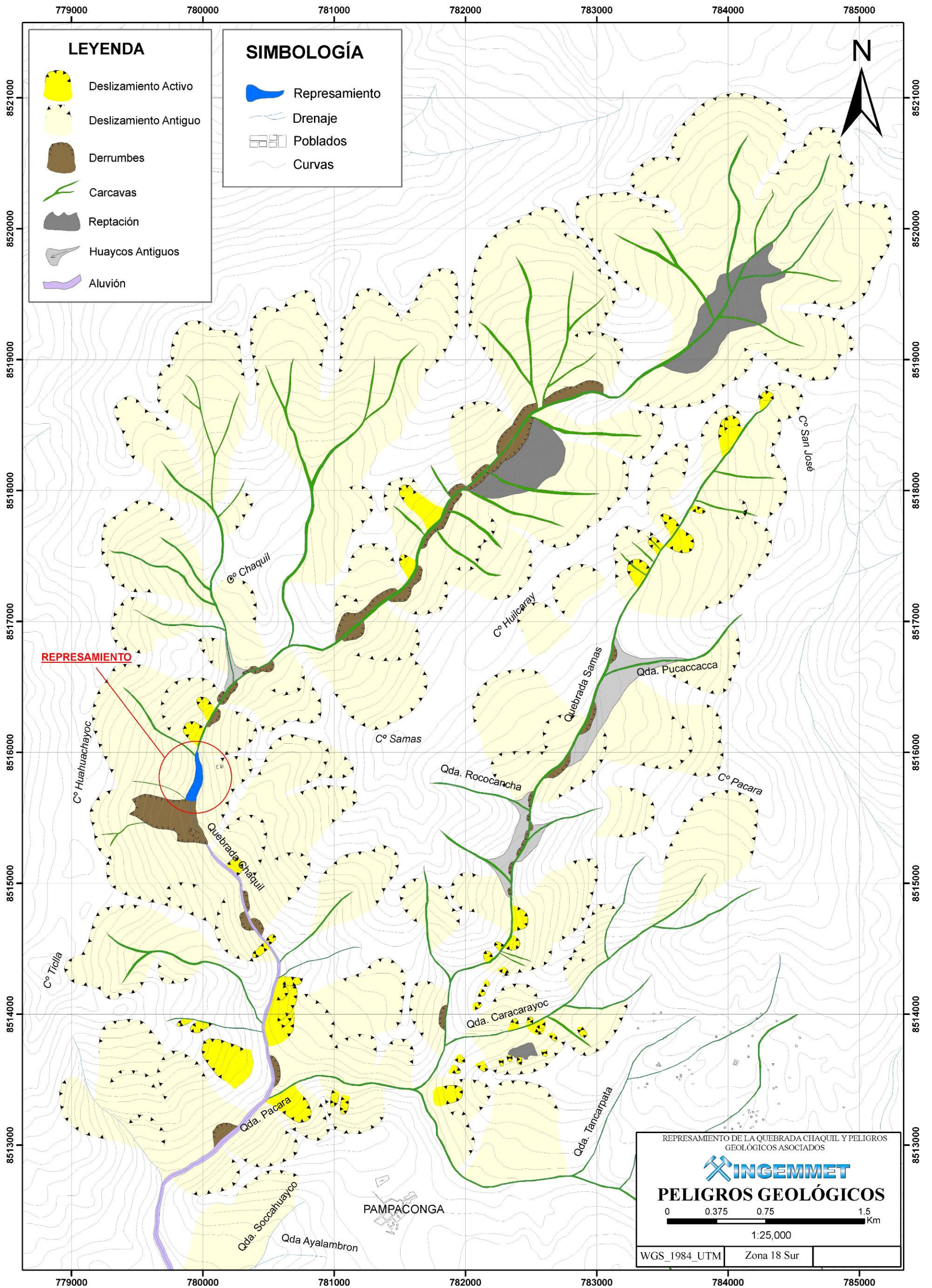


Figura 15: Mapa de peligros geológicos del área evaluada.



Figura 16: Derrumbe en el cerro Huahuachayoc, ocurrido el 22 de enero del 2010, este represo el río Chaquil.



Figura 17: Aquí se observa en la avalancha de escombros, los bloques de areniscas angulosos en una matriz de lutitas marrones que envuelve todo el material desprendido.



Figura 18: En esta imagen se puede apreciar la distancia entre el espejo de agua y la altura máxima del dique natural. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.

El agua represada en tiempo de sequías se mantiene estable, ya que el nivel del espejo de agua desciende por las filtraciones existentes, en cambio en tiempo de lluvias este se incrementa llegando a alcanzar los 45 m.

El caudal de agua que ingresa al represamiento, cuando el clima es estable, arroja una descarga mayor en 117 lt/seg. Los aforos se vienen realizando continuamente por parte de técnicos de la región Cusco.

El nivel máximo del represamiento quedó registrado en ambas márgenes de la quebrada (Figura 19), también se puede apreciar pequeños derrumbes y deslizamientos en las laderas del vaso del represamiento, producto del vaciado violento de la represa (ruptura de parte del representamiento).

Para el desfogue de una parte del agua represada se hizo uso de tres motobombas de 4” de propiedad de la Municipalidad Distrital de Limatambo, los cuales son insuficientes para el desembalse del represamiento.



Figura 19: Represamiento del río Chaquil, Las flechas rojas indican el nivel que alcanzo el agua.

La dimensión del dique natural en un inicio fue aproximadamente de 100 m de ancho, 300 m de largo y de 75 m de altura; en la parte media la pendiente es de 45°, luego cambia a una pendiente de 85° al llegar hacia el cauce del río. El dique está compuesto por lutitas, areniscas y limolitas muy meteorizadas, alteradas e inconsolidadas, presentando filtraciones en la base del derrumbe hacia la margen derecha del río. Sector que indica la fragilidad del dique que a su vez genera inestabilidad.

El represamiento muestra una escarpa de derrumbe en el flanco derecho, producto del desfogue el 25 de enero del 2010 (Figura 20), que ocasiono el aluvión (Figura 9). Este debilitamiento del flanco derecho fue producto de la saturación de agua dentro del material por la percolación del agua estancada y la presión que ejerce la masa de agua contra el dique natural, debilitándolo y así generando la inestabilidad de este; el volumen de material arrastrado entre material de cobertura, troncos y bloques de roca es de aproximadamente 102 000 m³.



Figura 20: En las figuras A y B se puede observar el flanco derecho de la avalancha de escombros antes y después del desfogue. Tomada del registro fotográfico de la Municipalidad de Limatambo.

La dirección del flujo del agua que pasa dentro del material de represamiento, provoca el lavado de materiales finos, generando erosión interna (cárcavas) y consecuentes derrumbes y desplomes retrogresivos en el represamiento (Figura 21). Problema que se tiene que solucionar ya que podría ocasionar un desembalse rápido del vaso del represamiento, con los consiguientes problemas aguas abajo.



Figura 21: Las líneas rojas indican la zona de hundimiento del dique natural en forma retrogresiva por efectos de la tubificación.

Aguas abajo del represamiento del río Chaquil se pueden observar depósitos dejados por el aluvión del 25 de enero del 2010, además de otras evidencias de flujos más antiguos y de mayores dimensiones. Estos procesos, más la constatación de la erosión del río, desestabilizan ambos márgenes originando y/o reactivando derrumbes y deslizamientos, procesos geológicos que podrían formar futuros represamientos.

4.2.2. OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS

La finalidad del estudio es evaluar el derrumbe que provocó el represamiento del río Chaquil, pero al mismo tiempo aprovechamos en cartografiar los peligros geológicos a lo largo de todo el recorrido realizado, ya que la zona evaluada presenta una alta actividad de geodinámica externa (Figura 15).

Existen evidencias (cicatrices de derrumbes y deslizamientos) de antiguos derrumbes y deslizamientos que represaron el río en épocas pasadas, proporcionando información de la intensa actividad geodinámica del área.

Es así, que en la quebrada Caracarayoc, lugar donde termina la trocha carrozable de Pampaconga, se observaron deslizamientos y procesos de reptación de suelos, siendo estas reactivaciones dentro de la masa deslizada de un antiguo deslizamiento (Figura 22), estas reactivaciones se deben a la saturación de agua de las limolitas rojas.

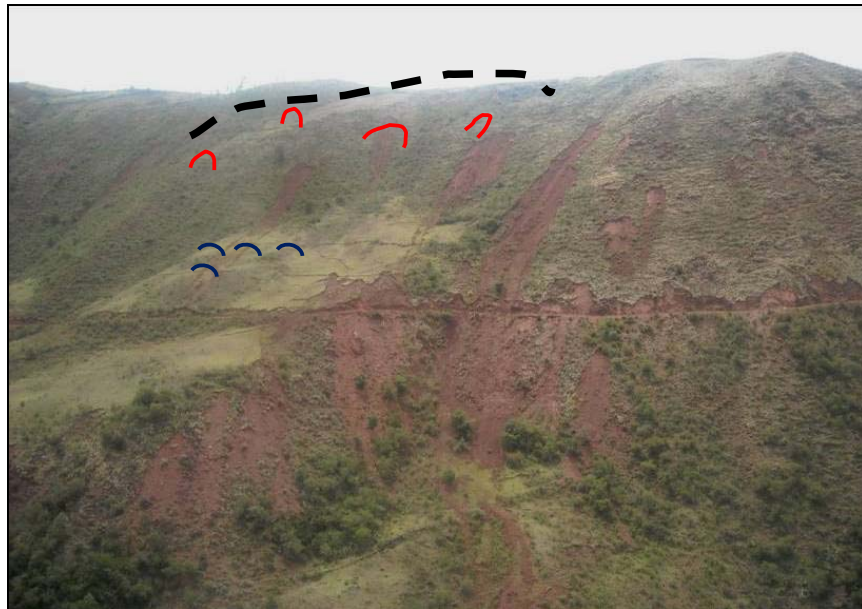


Figura 22: Véase deslizamiento y procesos de reptación dentro de la masa de un antiguo deslizamiento que afecta la trocha carrozable en la quebrada Caracarayoc.

En las quebradas Caracarayoc y Samas las rocas del grupo San Jerónimo tienen un rumbo N10°E y buzamiento 85° SE (Figura 23). En

la quebrada Samas, se observan cicatrices de antiguos deslizamientos, con reactivaciones en el material deslizado en ambas márgenes. El incremento del caudal del río Samas, en tiempo de lluvias, produce erosión lateral en ambas márgenes del río, inestabilizando las laderas. El buzamiento casi vertical de la estratificación, el fracturamiento y la mala calidad el macizo rocoso son factores determinantes en los procesos de movimientos en masa de la zona, ya que estos sirven como planos de despegue de los deslizamientos.



Figura 23: Estratificación del Grupo San Jerónimo en el cerro Tastajasa.

Se observan también, en ambas márgenes del río, terrazas erosionadas, deslizamientos y derrumbes reactivados, los que se ubican mayormente en los niveles limolíticos del grupo San Jerónimo. Además se pueden observar evidencias de antiguos huaycos, los que en algún momento colmataron el río represándolo (Figura 24), en la actualidad estos depósitos aluviales fueron erosionados por el curso del río, formando terrazas por efecto de la incisión.



Figura 24: Se observa el socavamiento causado por el río Samas en ambas márgenes, producto de este debilitamiento en la base del talud se dan los colapsos y deslizamientos.

Al Noroeste de la quebrada Caracarayoc se observa claramente la estratificación y las intercalaciones entre areniscas y limolitas de coloración rojiza. En esta zona la estratificación tiene un rumbo N30°E buzamiento de 50°SE. La posición de las estructuras en relación con la orientación de la ladera, hacen que estas se comportan como medianamente estables (Figura 25).



Figura 25: Intercalación entre areniscas y limonitas del Grupo San Jerónimo.

Además se pueden observar materiales limo – arenosos y bloques angulosos a subangulosos de hasta 3 m de diámetros, correspondientes a antiguos abanicos aluviales, siendo el cerro Samas la zona de aportes. Por la forma muy empinada del cerro creemos que estos depósitos fueron depositados de forma violenta (huaycos) en la desembocadura de Rococancha. Estos depósitos se encuentran erosionados por acción fluvial, formando terrazas aluviales encajonados (Figura 26).



Figura 26: Erosión de terrazas aluviales en la quebrada Samas.

En la desembocadura de la quebrada Pucaccacca, ubicada en la margen izquierda de la quebrada Samas, se aprecia un cono aluvial erosionado por el río Samas, formando terrazas. Se observa además, reactivaciones de antiguos deslizamientos en ambas márgenes del río Samas, producto de la erosión fluvial (Figura 27).



Figura 27: Reactivaciones en la base de antiguos deslizamientos en la parte media de la quebrada Samas debido al socavamiento causado por el río.

Ascendiendo el cerro Huilcaray, lugar donde se encuentra el criadero de vicuñas, se observan escarpas de antiguos deslizamientos, destacando el ubicado en la cabecera de la quebrada Samas. Este muestra evidencias de reactivación, ya que en su flanco derecho se observan grietas tensionales con 300 m a 50 m de longitud y desniveles en la superficie de hasta 10 m (Figura 28). La reactivación de este deslizamiento, puede ser atribuida a la presencia de agua subterránea.



Figura 28: Reactivación de deslizamiento donde se aprecian las grietas tensionales y los desniveles, en la cabecera de la quebrada Samas.

Del cerro Huilcaray se observan las escarpas de antiguos deslizamientos donde los materiales desplazados se encuentran depositadas en la base de la quebrada, éstas modificaron el curso normal del río; sobre estos depósitos se dan algunos procesos de reptación y erosión en cárcavas. En ambas márgenes del río existe evidencia de erosión lateral producto del socavamiento del río (Figura 29).



Figura 29: Se observa procesos de reptación, erosión lateral, al Noroeste del cerro Huilcaray, en la margen izquierda de la quebrada Chaquil.

En la margen derecha del río Chaquil se observa una falla inversa regional que pone en contacto la formación Maras sobre el grupo San Jerónimo, las rocas de toda esta zona se encuentran fracturadas y diaclasadas, lo que facilita el origen y reactivación de procesos de movimientos en masa, además, las intensas lluvias, aguas de los glaciares, filtraciones y los ríos constituyen factores que condicionan la actividad geodinámica de la cuenca. Es así que en este sector existe la presencia de grandes deslizamientos activos, depósitos de flujos de detritos, evidencias de erosión lateral y procesos de carcavamiento (Figura 30).



Figura 30: Se observa la erosión causada por el río en las terrazas aluviales provenientes de la cabecera de la quebrada Chaquil.

En el cerro Tíclla, ubicado en la margen derecha del río Chaquil, se observan cicatrices de antiguos deslizamientos. En la masa deslizada de estos, se observan reactivaciones en forma de deslizamientos superficiales o reptación de suelos, así como erosión fluvial. En la margen izquierda se puede observar una zona de alto riesgo, producto de la reactivación de un gran deslizamiento, observándose grietas de 130 m de longitud, 50 cm de apertura y hasta 1 m de desnivel de la superficie (Figuras 31 y 32). Este deslizamiento se ubica en la confluencia de los ríos Chaquil y Pacara, los que podrían ser represados ante una posible reactivación.



Figura 31: Grietas tensionales del deslizamiento ubicado en el cerro Tíclla ubicado en la margen derecha del río Chaquil.



Figura 32: Grietas tensionales con desniveles en la superficie de hasta 1 m en el cerro Ticlla.

La quebrada Chaquil desemboca en la quebrada Pacara. Está, en la margen izquierda muestra una gran actividad geodinámica, con evidencias de antiguos deslizamientos y reactivaciones como es el caso del año 2003, donde un derrumbe represo el río del mismo nombre. En esta zona las unidades litoestratigráficas tienen buzamiento fuerte, casi vertical, lo que contribuye a la actividad geodinámica, ya que los estratos de areniscas sirven como planos de deslizamiento de rocas más débiles (limolitas).

5. PELIGRO SÍSMICO

La amenaza producida por los terremotos, constituye un factor de riesgo sísmico al cual se encuentra sometido un territorio; de ahí que los daños que provoquen dependerán de su magnitud y la capacidad de respuesta de las estructuras a la aceleración a la cual son sometidas. La correcta equivalencia entre estos dos factores permitirá reducir los daños causados por este tipo de desastres.

En el Perú se producen sismos interplaca e intraplaca, los primeros son producto del contacto de la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana, estos puede tener magnitudes >7 , mientras que los sismos intraplaca se originan por los esfuerzos que produce la subducción de la Placa de Nazca por debajo de la Placa continental Sudamericana.

Del mismo modo, a lo largo de todos los Andes peruanos se observan fallas activas, uno de los sistemas de fallas más importantes del Perú se encuentra en la Cordillera Oriental, exactamente en la región del Cusco (Figura 33), ubicado en el sur del Perú, entre las fallas más importantes y cercanas al área evaluada tenemos:

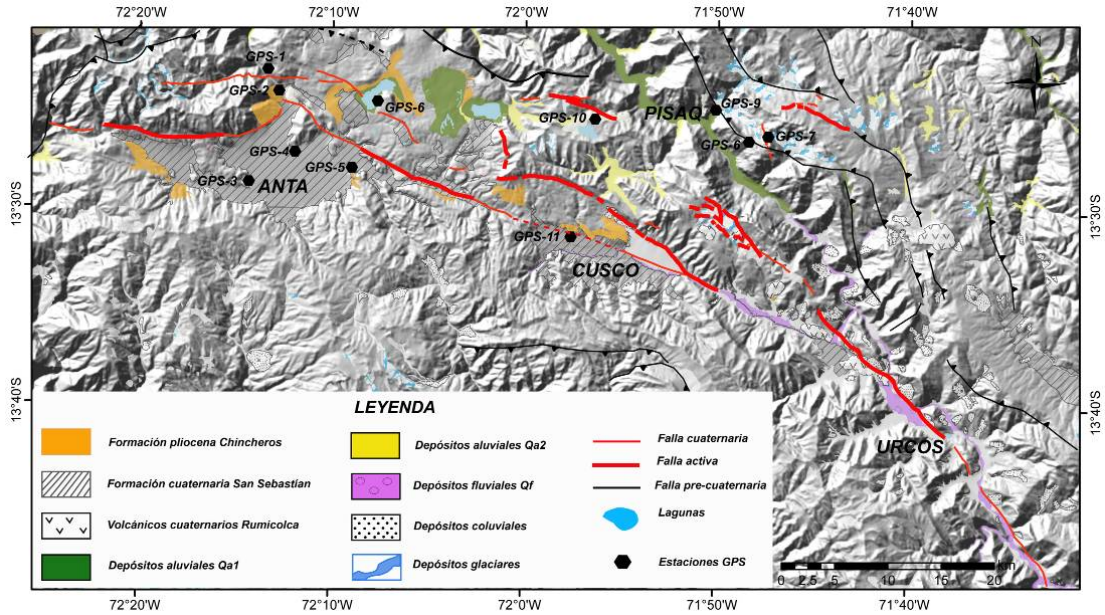


Figura 33: Mapa de ubicación de las fallas geológicas activas en la región del Cusco, las líneas rojas gruesas indican las fallas potencialmente activas. Tomado de Benavente et al., 2010.

La falla Zurite; se ubica al NO del Cusco, tiene 24 km de longitud y está compuesta por pequeños segmentos con rumbos entre N100°E y N115°E es una falla de tipo normal y afecta depósitos aluviales y morrénicos de edad cuaternaria.

La falla de Tambomachay; ubicada en el borde norte de la ciudad del Cusco, ocupando una longitud aproximada de 17,5 Km. La falla tiene una tendencia E-O, pero hacia el este cambia a rumbo a NO-SE, estando su buzamiento comprendido entre 60° y 70° al sur. La cinemática de esta falla es normal con un salto vertical máximo de 8 m (Figura 34).



Figura 34: Falla Tambochay, vista al norte. En la fotografía se puede observar el escarpe de falla y como la dirección de los drenajes son alterados por la actividad de rumbo de la falla.

La falla Tambomachay es una estructura geológica con una amplia actividad a lo largo del tiempo geológico, su escarpe de falla se encuentra bien conservado a lo

largo de 8 km aproximadamente, este posiblemente constituye la última reactivación de la falla.

La falla Qoricocha; ubicada en la Meseta de Chincheros al este de la laguna de Qoricocha, de ahí su nombre. Tiene una longitud de 10 km y una orientación NO-SE e inclinación hacia el sur (Figura35).

El sismo de 1986 estuvo asociado a la reactivación de esta falla con un desplazamiento de 40 cm (Cabrera, 1988). La falla corta depósitos palustres, volcánicos y aluviales de edad cuaternaria.



Figura 35: Falla activa Qoricocha, ubicada al norte de la ciudad del Cusco.

El sistema de fallas Pachatusan ubicadas en la Meseta del Pachatusan al norte de la ciudad del Cusco, esta meseta se encuentra entre el valle del Cusco y el valle del Vilcanota. Este sistema consiste en una estructura principal de 10 km de longitud con una orientación NO-SE y de segmentos más pequeños hacia los extremos entre 3 km a 4 km de longitud con orientaciones E-O y NE-SO (Figura 36).



Figura 36: Segmento de falla del Sistema Pachatusan, esta falla afecta morrenas glaciares y a los volcánicos cuaternarios Rumicolca.

Existe información sobre sismos con diferentes magnitudes en el Cusco, tal como los que describen en crónicas históricas Esquivel y Navia (1775) y Silgado (1978), ellos mencionan la ocurrencia de sismos muy devastadores en la ciudad del Cusco entre los años 1581, 1590, 1650, 1707, 1744, 1746, 1905, 1928, 1941, 1943, 1950, 1965, 1980 y 1986. Estos sismos estuvieron asociados a las fallas geológicas descritas anteriormente.

En cuanto al peligro sísmico, el área de estudio y alrededores, se ubica en la zona de intensidades máximas de IX a VII MM, según el mapa de intensidades máximas elaborado por Hurtado y Meneses (1984) dentro del proyecto SISRA-CERECIS. (INGEMMET, 2003). Ver Figura 37.

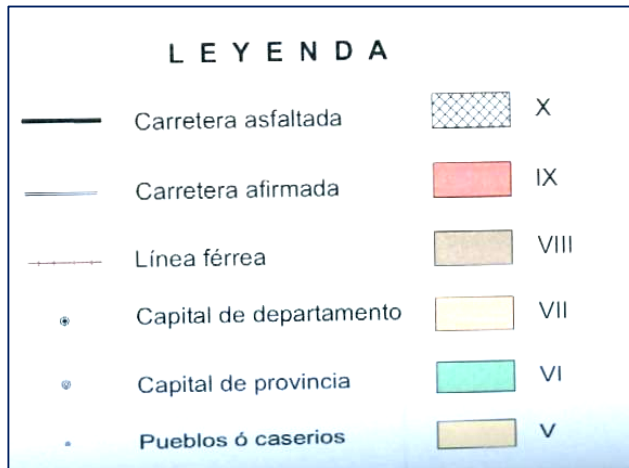
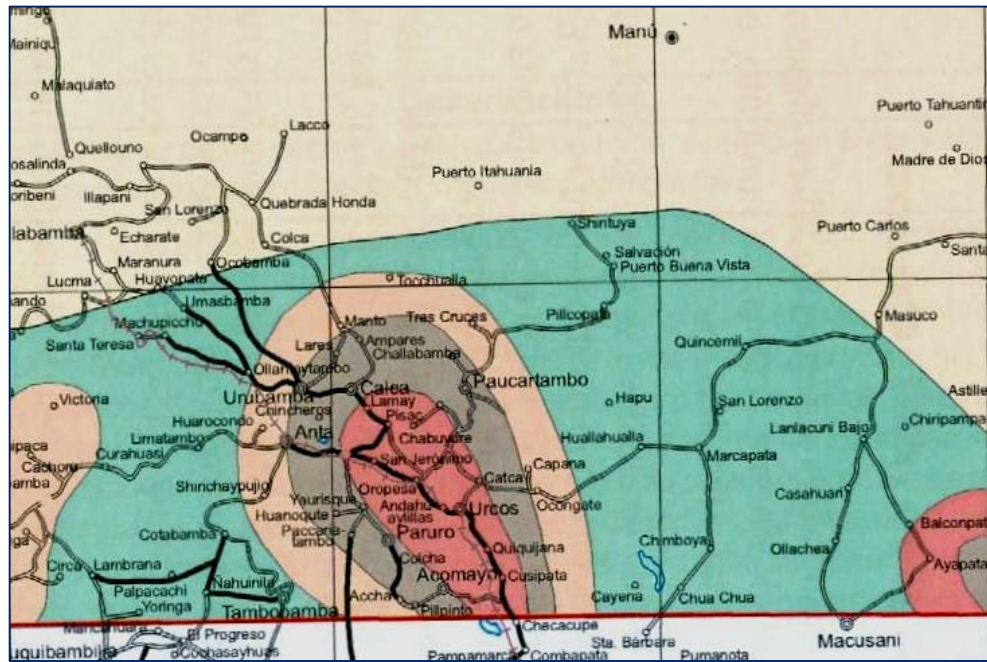


Figura 37: Curvas de intensidades máximas de Escala de Mercalli modificada.

Según la Norma Técnica de Edificación E.30 DISEÑO SISMORESISTENTE (2003), la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos, la atenuación de estos con la distancia epicentral y la información neotectónica, el área evaluada corresponde a la Zona 2: Zona de sismicidad media, donde el factor es de 0.3, este factor se interpreta con la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida sus 50 años (Figura 38).



Figura 38: Mapa de Zonificación Sísmica del Perú

6. CONCLUSIONES

- En el área de estudio afloran mayormente rocas del grupo San Jerónimo compuestas por intercalaciones de areniscas feldespáticas y limolitas de color rojo. Estas rocas se encuentran deformadas, fracturadas y diaclasadas producto de la tectónica, lo que facilita el origen y/o reactivación de procesos de remoción en masa, como deslizamientos, caída de detritos o derrumbes, flujos de detritos (huaycos), avalanchas; así como también erosión fluvial.
- Las intensas lluvias que se precipitaron sobre la región del Cusco en el mes de enero del 2010, generaron el incremento del caudal de todos los ríos de la región, uno de estos fue el río Chaquil ubicado en el distrito de Limatambo, este desestabilizó la ladera este del cerro Huahuachayoc, generando un derrumbe y consecuente represamiento del mismo.
- Las máximas dimensiones alcanzadas por la laguna represada tienen 25 m de profundidad promedio, un espejo de agua de 120 m y un ancho promedio de 60 m. El valor aproximado del volumen de agua estancada es de 180 000 m³. El nivel máximo del agua represada quedó registrado en ambos márgenes de la quebrada, el descenso de este nivel produjo en el vaso del represamiento, deslizamientos, derrumbes y asentamientos de menor escala debido a la pérdida de presión de poros del material de las laderas.
- Las dimensiones del dique natural son aproximadamente: 300 m de longitud, 120 m de ancho y 68 m de altura promedio; en la parte media la pendiente es de 45°, luego cambia a una pendiente de 85° para llegar hacia el cauce del río. El material que forma el represamiento (cuerpo del deslizamiento), por la naturaleza de su formación, se presenta inconsolidado, es así que existen filtraciones de agua por la margen derecha del río. Indicando una circulación normal del agua a través del material, que puede provocar el debilitamiento del dique y su posterior colapso. Este proceso genera mayor inestabilidad ya que la resurgencia discurre por la base del derrumbe. Lo mencionado líneas arriba, fue corroborado el 25 de enero de 2010, cuando parte del dique colapsó generando un aluvión que afectó las poblaciones ubicadas aguas abajo: Huertahuaycco, Sondorf, Limatambo, Huayroncca y Sauceda. Los daños en estos poblados fueron altos, ya que el volumen colapsado fue de aproximadamente la décima parte del material depositado.
- El peligro sísmico en el área evaluada es alto, debido a la presencia de fallas geológicas activas como son: Zurite, Chincheros-Qoricocha, Tambomachay y Pachatusan.
- Por lo expresado líneas arriba, el represamiento del río Chaquil, constituye **peligro inminente** para los centros poblados y obras de infraestructura localizados aguas abajo del represamiento.

7. RECOMENDACIONES

Con la finalidad de salvaguardar la seguridad de los poblados de Huertahuaycco (70 familias), Florida (20 familias), Sondorf (10 familias), Tarahuasi (10 familias), Tarahuasi (300 familias), Yerbabuenayoc (20 familias) y Limatambo bajo (10 familias) del distrito de Limatambo se deben iniciar trabajos de prevención y mitigación ante un posible desembalse rápido del represamiento que provocaría un aluvión de grandes magnitudes. Estos pueden ser:

- Implementar un sistema de alerta temprana, con personal y equipos de comunicación, monitoreando y controlando el represamiento las 24 horas del día.
- Se debe iniciar las obras de desembalse del represamiento, para ello se debe realizar un canal que sirva para el desfogue del agua. Este canal debe de ser de geometría recta y ubicada en la margen izquierda del río, ya que esta zona es más estable y compacta. El desfogue debe ser de manera lenta y avisando a los pobladores para la evacuación respectiva.
- Por la naturaleza del material a cortar y la fuerte pendiente de las laderas, no es recomendable construir una trocha carrozable para acceder a la zona del embalse. La construcción de esta puede provocar la inestabilidad de las laderas generando derrumbes y deslizamientos. Si se toma la decisión de hacerla, tienen que trabajar con especialistas en la materia y tomar todas las precauciones del caso.
- Los centros poblados ubicados aguas abajo del represamiento, deben construir gaviones o enrocados para protegerse de desbordes e inundaciones futuras., como consecuencia de posibles represamientos y aluviones.
- Capacitar y preparar a los pobladores de los pueblos que podrían ser afectados, mediante simulacros ante un desembalse, delimitando las zonas seguras.
- Tener un control permanente de la quebrada Samas y la quebrada Chaquil para prevenir y mitigar futuros represamientos producto de deslizamientos o derrumbes que puedan afectar estas quebradas, ya que son geodinámicamente muy activas.
- Finalmente la reconstrucción y nuevas regulaciones territoriales tendrán que considerar parámetros adicionales para evitar desarrollos urbanos en áreas vulnerables. En las áreas afectadas por los flujos de detritos y en otras áreas vulnerables, es necesario, como una de las más importantes actividades, realizar la cartografía y sectorización de zonas de amenaza. Será necesario iniciar un proceso de educación y campañas informativas no solo para la población sino para los líderes nacionales tomadores de decisiones.

8. REFERENCIAS

- ALVA H. & MENESES J. (1985). Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú. CERESIS-Proyecto SISRA, Lima.
- BENAVENTE C. & TAPE E. (2010) : Monitoreo de fallas activas en la región del Cusco. Informe interno del INGEMMET, 50 p.
- CABRERA J. (1988). Néotectonique et sismotectonique dans la cordillere Andine au niveau du changement de géométrie de la subduction: La Région de Cuzco (Pérou). Thesis, pp. 268., Univ. Paris-Sud, Orsay, 1988.
- CARLOTTO, V; GIL, W; CÁRDENAS, J & CHAVEZ, R; (1996). *Geología de los Cuadrángulos de Urubamba y Calca*. Lima. Boletín N° 65 Serie A, INGEMMET, 245 p.
- COSTA J. & SCHUSTER R. (1988). The formation and failure of natural dams. Geological Society of American Bulletin, v. 100, p. 1054-1068.
- HERMANN S., NIEDREMANN S., GONZÁLES F., FAUQUE L. (2002). Landslide dams in the Argentine Andes. Geological Survey of Canada.
- Manual de estabilidad de taludes – Geotecnia vía (1998). Instituto Nacional de vías – Ministerio de Transportes de Colombia.
- PARIHUANA H. (2010). Cronología del represamiento Chaquil-Limatambo, antecedentes históricos sobre emergencia del mes de enero producto de las lluvias excepcionales. Municipalidad Distrital de Limatambo.