Informe Técnico Nº A6634

Deslizamiento de Cerro Quemado -Quebrada Quitaracsa

Distrito de Huallanca, Provincia de Huaylas, Región Ancash



POR: PATRICIO VALDERRAMA LIONEL FIDEL

JULIO-2013



CONTENIDO

1.0	INTRODUCCIÓN				
2.0	ANTECEDENTES				
3.0	ASPECTOS GENERALES				
4.0	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS Y GEOLÓGICOS				
5.0	EVALUACIÓN INGENIERO – GEOLÓGICA				
	5.1	PELIGROS GEOLÓGICOS	10		
	5.2	MOVIMIENTOS EN MASA EN LAS LADERAS DEL RÍO QUITARACSA	16		
	5.3	DESLIZAMIENTO DE CERRO QUEMADO – QUITARACSA	18		
6.0	MODELAMIENTO DE FLUJOS DE DETRITOS (TR: 1000 AÑOS) EN LA QUEBRADA QUITARACSA				
	6.1	MARCO TEÓRICO	24		
	6.2	PARÁMETROS Y CALIBRACIÓN DEL MODELO	24		
	6.3	PARÁMETROS TOPOGRÁFICOS	26		
	6.4	PARÁMETROS HIDROLÓGICOS	27		
	6.5	RESULTADOS	28		
	6.6	DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS	28		
	6.7	CONCLUSIONES DEL MODELAMIENTO REALIZADO	38		
CONC	CLUSIC	DNES	38		
RECC	OMEND	ACIONES	40		
BIBLI	OGRA	FÍA	41		

DESLIZAMIENTO DE CERRO QUEMADO – QUEBRADA QUITARACSA

(Distrito de Huallanca, provincia de Huaylas, región Ancash)

1.0 INTRODUCCIÓN

El Gerente Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente del Gobierno Regional de Ancash, mediante Oficio Nº 191-2013-REGIIÓN ANCASH/GRRNYGMA, se dirige a esta dependencia solicitando el apoyo para realizar el Estudio Geológico y de Riesgos - Río Quitaracsa - Huallanca; asimismo el Alcalde Distrital de Huallanca - Huaylas - Ancash, con Oficio Nº099-2013-MDH/HY, se dirige a la Presidencia del Consejo Directivo de INGEMMET solicitando asistencia técnica por emergencia ante el evento, además de mencionar la perforación de un túnel del proyecto hidroenergético QUITARACSA I (ENERSUR S.A.) como posible causa del evento. El 5 de junio del presente el Secretario de Gestión de Riesgos de desastres de la PCM, con e-mail múltiple convoca a una reunión de trabajo. En esta reunión se acuerda la participación del ANA e INGEMMET con sus equipos técnicos para realizar los estudios correspondientes. Posteriormente, el 20 de junio del presente, el Gerente Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente del Gobierno Regional de Ancash, mediante Oficio Nº 242-2013-REGIIÓN ANCASH/GRRNYGMA reitera la solicitud de apovo para los estudios. Luego de las coordinaciones realizadas por el Director de la Dirección de Geología Ambiental y Riego Geológico (DGAR), con los directivos de la Empresa ENERSUR S.A., y con conocimiento de la Presidencia del Consejo Directivo de INGEMMET, se designó al Ing. Lionel Fídel y al Msc. Patricio Valderrama, para que realicen los trabajos de inspección técnica correspondiente.

Los trabajos de campo se realizaron entre el 24 y 25 de junio del presente año, en coordinación con el Ing. Julio Gutierrez de ENERSUR S.A. y acompañados también por Jefe de Defensa Civil de la Municipalidad de Huaylas. Es importante agradecer a la empresa ENERSUR S.A. por las facilidades brindadas para realizar un sobrevuelo en helicóptero por el área evaluada.

Este informe que se pone en consideración de la PCM, Gobierno Regional de Ancash, Municipalidad Provincial de Huaylas, Municipalidad Distrital de Huallanca y Empresa ENERSUR S.A.; se basa en las observaciones realizadas en campo, la interpretación de fotos aéreas e imágenes satelitales, así como de la información alcanzada y la disponible en el estudio "Riesgos Geológicos en la Región Ancash" realizada por INGEMMET en el año 2009; así como estudios realizados anteriormente en el área.

2.0 ANTECEDENTES

Para la evaluación del área evaluada y su zona de influencia, se cuenta con la siguiente información:

Informe de evaluación geológica y análisis de impactos de las obras de construcción de la CH Quitaracsa y sobre la inestabilidad y derrumbes producidos en el cañón del río Quitaracsa. ENERSUR. Junio 2013. Informe Técnico Preliminar

- Informe de diagnóstico sobre inspecciones ladera izquierda río Quitaracsa Cerro Quemado. Tractebel Engineering. Junio 2013
- En el Estudio "Riesgo Geológicos en la Región Ancash, Boletín Nº 38 Serie C INGEMMET (2009); la zona de estudio se ubica en la Zona de Alta a Muy Alta Susceptibilidad a los Movimientos en Masa, es decir la ocurrencia de deslizamientos, caídas de rocas, derrumbes y huaicos es muy probable.
- En el estudio de ELECTROPERU (1984) "Estudio integral para el aprovechamiento de la cuenca del río Santa" Texto; en la página 3.117 se daba cuenta de las fracturas paralelas al talud en la zona del cañón del río Quitracsa y que textualmente dicen: "Por otro lado, este tipo de estructura geológica puede facilitar deslizamientos de bloques rocosos, principalmente en caso de sismos".

3.0 ASPECTOS GENERALES

La cuenca del río Quitaracsa se halla emplazada en la margen derecha del río Santa en la región septentrional de la Cordillera Blanca, el cual nace en los grandes macizos montañosos de esta, destacando los nevados Pucahirca, Alpamayo, Tayapampa, entre otros. Políticamente la zona de evaluación se ubica en el el distrito de Huallanca, provincia de Huaylas, región Ancash. El área de evaluación corresponde a la cuenca baja de este río.

El acceso al área evaluada, se realiza desde la ciudad de Lima por la Carretera Panamericana Norte hasta tomar la carretera Pativilca – Huaraz – Caras; para de esta localidad continuar la trocha carrozable hasta Huallanca, donde se toma un desvío a través de una vía afirmada hasta las instalaciones de la firma DUKE ENERGY.

4.0 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS Y GEOLÓGICOS

Geomorfológicamente el área de estudio se enmarca en la Unidad Geomorfológica **Montañas con laderas de moderada a fuerte pendiente**, mostrando laderas o vertientes de pendiente pronunciada a fuerte, en donde la equidistancia de las curvas de nivel es menor. Generalmente las pendientes se encuentran por encima de 30° hasta mayores de 70°. Indistintamente están compuestas mayormente por rocas intrusivas del batolito de la costa, de resistencia diferencial a la erosión (Ver Foto 1). Los movimientos en masa asociados son generalmente caídas de rocas, derrumbes, deslizamientos y avalancha de rocas; y también se originan algunos huaicos o flujos de detritos.

En esta Unidad destaca la geoforma Valle Cañón del río Quitaracsa (ubicada en la cuenca baja), con laderas de fuertes pendientes labradas en rocas intrusivas del Batolito de la Cordillera Blanca. Ver Foto 2.

El substrato rocoso está compuesto por rocas de naturaleza intrusiva del tipo granodioritas con estructura genésica (debido a la foliación del borde del batolito), de color gris blanquecino, de grano grueso, pertenecientes al Batolito de la Cordillera Blanca (Wilson et al, 1967). El macizo rocoso se encuentra fracturado con estructuras tensionales con rumbo paralelo al talud y buzamientos a favor de la

pendiente. Este tipo de estructuras puede facilitar deslizamientos de bloques rocosos principalmente con sismos. Ver Fotos 3 y 4.

En la Figura N° 1, podemos observar el arreglo estructural de la zona evaluada, evidenciando la presencia de tres (3) Sets de familias principales y tres (3) Sets de familias secundarias. En el cuadro siguiente presentamos las familias y Sets de discontinuidades (fracturas, fallas, diaclasas, foliación, entre otras) cartografiadas en la zona de estudio y expresadas en buzamiento y dirección de buzamiento:

FAMILIAS	SETS	BUZ	DIRBUZ
	1	80	311
Principales	2	51	066
	3	86	219
	4	80	326
Secundarias	5	20	059
	6	75	204

En el valle del río Quitaracsa se ubican depósitos recientes y antiguos pertenecientes al cuaternario como depósitos a) fluviales; b) proluviales y c) coluviales.

Lo depósitos fluviales constituyen los materiales ubicados en el cauce o lecho de los ríos Santa y Quitaracsa, formando terrazas bajas inundables. Son depósitos heterométricos constituidos por bolos, cantos y gravas subredondeadas en matriz arenosa o limosa; son depósitos inconsolidados o poco consolidados hasta sueltos, fácilmente removibles y permeabilidad alta. Son susceptibles a la erosión fluvial e inundaciones periódicas. Ver Foto 5.

Los depósitos proluviales forman conos deyectivos o abanicos. Se originan a partir de la existencia de material detrítico suelto acumulado y cuando ocurren precipitaciones pluviales intensas se saturan, pierden su estabilidad y se movilizan torrente abajo por las quebradas en forma de flujos de detritos o huaicos. Sus depósitos llegan a confundirse muchas veces con las terrazas aluviales; el material que los constituye es heterométrico y está mal clasificado, por lo general son subangulosos a subredondeados, englobados en una matriz fina, permeables, medianamente consolidados; son susceptibles a la erosión fluvial, los derrumbes y los deslizamientos. Es notoria la presencia de estos materiales adosados a las laderas del río Quitaracsa, producto de flujos de detritos y/o aluviones en el pasado. Ver Foto 6.

En las laderas y zonas adyacentes podemos distinguir depósitos cuaternarios productos del acarreo gravitatorio como deslizamientos y caídas de roca (depósitos coluviales) y del acarreo proluvio – deluvial (pequeños conos deyectivos). Ver Fotos 7 y 8.



Figura 1: Análisis estereográfico de discontinuidades (fallas, fracturas, diaclasas) observadas en Cerro Quemado. A) Polar, B) Frecuencia y C) Planos o sets principales.



Foto 1: Unidad Geomorfológica Montañas con laderas de moderada a fuerte pendiente. Vista valle del río Quitaracsa, a la izquierda ladera que marca la traza de falla de la Cordillera Blanca.



Foto 2: Cañón del río Quitaracsa, obsérvese las laderas de fuerte pendiente del valle (30° - 70°).



Foto 3: Rocas intrusivas de tipo granodioritas, masivas, de resistencia media a dura, falladas y fracturadas. Margen derecha del rio Quitaracsa.



Foto 4: Granodiorita fallada y fracturada, con rumbo paralelo al talud y buzamiento favorable a la pendiente del talud. Obsérvese las estrías de falla (en círculo rojo). Vista del Cerro Quemado (zona no deslizada recientemente) en la margen izquierda del rio.



Foto 5: Depósitos proluviales, producto de antiguos flujos de detritos (huaicos) o aluviones que se produjeron en el río Quitaracsa. Margen derecha del rio.

Foto 6: Depósitos fluviales y zona de inundación del río Quitaracsa. Aguas arriba de Cerro Quemado. Campamento de ENERSUR



Foto 7: Depósitos coluviales producto de caídas de rocas en la margen izquierda del río Quitaracsa. Obsérvese la pendiente de la ladera y la roca intrusiva muy fracturada.



Foto 8: Depósitos coluviales en la base de la ladera encañonada del río Quitaracsa (margen izquierda), producto de las constantes caídas de rocas del talud.

5.0 EVALUACIÓN INGENIERO – GEOLÓGICA

5.1 PELIGROS GEOLÓGICOS¹

En la cuenca del río Quitaracsa existen evidencias de ocurrencias de movimientos en masa tales como deslizamientos, avalanchas y aluviones.

En la zona del Nevado Pucahirca una eventual avalancha de volúmenes mayores que las normales seguramente comprometería al dique natural morrénico, especialmente de las lagunas Pucacocha y Quitaracsa con un posible desborde; el flujo (aluvión) generado se desplazaría aguas abajo hasta la cubeta de Huillca, donde depositaría la mayor parte de su carga sólida, aguas debajo de este punto su evolución estaría limitada por la poca pendiente del valle que discurre en forma de zig-zag en varios tramos, suponiéndose de esta forma que el flujo llegaría al sector Quitaracsa Pueblo con un pico de avenida, con poco material sólido².

La zona de evaluación es geodinamicamente activa, distinguiéndose peligros geológicos de tipo movimientos en masa (caídas de rocas, derrumbes, deslizamientos, avalanchas y flujos), sismos (subducción y por fallas activas); así como erosión de laderas.

Para describir adecuadamente la tipología de los eventos, describiremos las características de cada uno de los peligros geológicos identificados en la zona de evaluación y su área de influencia (Información tomada de Zavala et al, 2005):

MOVIMIENTOS EN MASA³

El término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o tierras (suelos) por efectos de la gravedad. Algunos de los movimientos en masa, como la reptación de suelos, son lentos, a veces imperceptibles y difusos, en tanto que otros, como algunos deslizamientos pueden desarrollar velocidades altas y pueden definirse con límites claros, determinados por superficies de rotura. (PMA:GCA, 2007)

La identificación, descripción y la cartografía de los movimientos en masa se basa en la clasificación sobre deslizamientos y en general de movimientos en masa descritos en "Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas" (PMA:GCA, 2007)

CAÍDAS: La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido el materia cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del

¹ "Riesgo Geológicos en la Región Ancash, Boletín N° 38 Serie C INGEMMET (2009)

² ELECTROPERU (1984) "Estudio integral para el aprovechamiento de la cuenca del río Santa"

³ PMA:GCA – Proyecto Multinacional Andino : Geociencias para las Comunidades Andinas (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas

material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a 5 x 10^1 mm/s (Figura 1).

En función de su mecanismo principal de ruptura, morfología de las zonas afectadas por el movimiento, así como del tipo de material involucrado, se subdividieron en tres tipos principales: aludes o avalanchas de hielo, caída de rocas y colapsos o derrumbes. Se presentan en forma moderada dentro de la región asociadas a taludes y cortes naturales, representando un 21% del total de los movimientos en masa.

Caídas o desprendimientos de rocas: Ocurren en laderas de montañas escarpadas o de fuerte pendiente, colinas agudas, frentes rocosos escarpados de montañas volcánicas, laderas de montañas estructurales y en general en taludes de cortes de carretera pronunciados, asociados a litologías de diferente naturaleza (intrusivas en la zona de evaluación), sujetas a fuerte fracturamiento o diaclasamiento. Su ocurrencia es importante en la zona de evaluación, afectando trochas carrozables, viviendas e infraestrutura.

Colapsos o derrumbes: Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, que ocurren a lo largo de varias superficies irregulares o anisotropías, con arranque o desplome visible de material como una sola unidad. Se presentan con dimensiones y longitudes variables, desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros; principalmente están asociados a taludes rocosos, aunque suelen presentarse en suelos poco consolidados.

DESLIZAMIENTOS: Es un movimiento ladera bajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de un delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Estos se clasifican, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en **traslacionales** y **rotacionales**. Los deslizamientos traslacionales a su vez pueden ser planares y o en cuña.

Deslizamiento traslacional: La masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden y Varnes, 1996). En un macizo rocoso, este mecanismo de falla ocurre cuando una discontinuidad geológica tiene una dirección aproximadamente paralela a la de la cara del talud y se inclina hacia ésta con un ángulo mayor que el ángulo de fricción (Hoek y Bray, 1981).

En los casos en que la traslación se realiza a través de un solo plano se denomina deslizamiento planar (Hoek y Bray, 1981) (Figura 5). El deslizamiento en cuña (wedge slide), es un tipo de movimiento en el cual el cuerpo del deslizamiento está delimitado por dos planos de discontinuidad que se intersectan entre si e intersectan la cara de la ladera o talud, por lo que el cuerpo se desplaza bien siguiendo la dirección de la línea de intersección de ambos planos, o el buzamiento de uno de ellos.

La velocidad de los deslizamientos puede variar desde rápida a extremadamente rápida.

FLUJO: Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). En el área evaluada se observan los siguientes tipos:

Flujo de detritos (Huaicos): Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos (Figura 8, foto 2). Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de "u", trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales. Tiene un alto potencial destructivo.

La mayoría de los flujos de detritos alcanzan velocidades en el rango de movimiento extremadamente rápido, y por naturaleza son capaces de producir la muerte de personas (Hungr, 2005).

Avalancha de rocas: Las avalanchas de rocas son flujos de gran longitud extremadamente rápidos, de roca fracturada, que resultan de deslizamientos de roca de magnitud considerable (Hungr et al., 2001). Pueden ser extremadamente móviles y su movilidad parece que crece con el volumen. Sus depósitos están usualmente cubiertos por bloques grandes, aun cuando se puede encontrar bajo la superficie del depósito material fino derivado parcialmente de roca fragmentada e incorporada en la trayectoria. Algunos depósitos de avalanchas pueden alcanzar volúmenes del orden de kilómetros cúbicos y pueden desplazarse a grandes distancias.

Las avalanchas de rocas pueden ser muy peligrosas, pero afortunadamente no son muy frecuentes incluso en zonas de alta montaña. Algunas avalanchas de roca represan ríos y pueden crear una amenaza secundaria asociada al rompimiento o colmatación de la presa. Las velocidades pico alcanzadas por las avalanchas de rocas son del orden de 100 m/s, y las velocidades medias pueden estar en el rango de 30–40 m/s.

Esta diferenciación está aplicada a flujos de detritos (huaicos) o flujos canalizados, sin embargo se consideran además: avalanchas de detritos, avalanchas de rocas y flujos de lodo

PELIGRO SÍSMICO⁴

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

La historia sobre los acontecimientos sísmicos ocurridos en Perú ha sido descrita con detalle en el trabajo de Silgado (1978), quien presenta una vasta información de los sismos históricos importantes que produjeron diversos niveles de daño en las ciudades y localidades ubicadas en esta región.

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

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

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

FALLAS ACTIVAS: Son fallas que registran antecedentes históricos o sismológicos de actividad y que tiene una expectativa de recurrencia en un intervalo de tiempo futuro que afecta al desarrollo de la sociedad. Falla que ha tenido suficiente desplazamiento reciente y que, en la opinión de expertos, es probable que pueda tener más desplazamientos a futuro.

⁴ ZAVALA, B., VALDERRAMA, P. LUQUE, G., PARI, W. & BARRANTES, R. (2005). Riesgo Geológicos en la Franja N° 4. Boletín N° 29 Serie C. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

Se consideran como Fallas Activas, aquellas con movimiento histórico o del último Pleistoceno/Holoceno (menos de 15,000 años); y con tasas de desplazamiento mayor o igual a 0,2 mm/a.

Los estudios sobre la neotectónica del país (Sebrier et al., 1982), así como la elaboración del Mapa Neotectónico (Machare et al., 1991) y Sismotectónico de Perú (Tavera et al., 2001) han permitido identificar la presencia sobre nuestro territorio de un importante número de fallas activas, muchas de las cuales producen sismos continuamente.

En la región Ancash se han identificado dos fallas activas:

Falla de la Cordillera Blanca: Está limitando el borde oeste de la cordillera Blanca. Tiene rumbos entre N100°E y N150°E, con buzamientos entre 55° y 75° hacia el suroeste. Sus movimientos son normales a ligeramente sinestral. El sistema de fallas tiene una longitud de 190 km y cada una de las fallas que lo conforman no tiene más de unos 8 km. Los saltos verticales son variables y están comprendidos entre 1 y 50 m (Foto 9). Esta falla cruza la zona evaluada y su movimiento ha generado el intenso fracturamiento de las rocas intrusivas del área.

Falla de Quiches: Está ubicada entre Quiches y Chingalpo, al oeste del cañón del río Marañón. Tiene un rumbo promedio andino con buzamientos fuertes hacia el suroeste y también al noreste. Estas fallas se formaron durante el sismo de 1946, produciendo saltos hasta de 3 m sobre tramos que alcanzaban 5 Km. Esta falla se localiza a 640 Km al NE de la zona evaluada.



Foto 9: Plano de falla de la Falla Activa de la Cordillera Blanca. Esta cruza la zona evaluada con un rumbo NW-SE. Obsérvese el salto de falla producto de una reciente reactivación de la misma (flecha roja).

5.2 MOVIMIENTOS EN MASA EN LAS LADERAS DE LA QUEBRADA QUITARACSA

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre y en la interface entre esta, la hidrósfera y la atmósfera.

Estos procesos geológicos involucran masas rocosas (fracturadas y/o meteorizadas), depósitos inconsolidados (suelos de diferente origen). Su ocurrencia en la zona de evaluación está estrechamente ligada a factores detonantes como lluvias (de gran intensidad o gran duración) y sismicidad asociada tanto a la subducción como fallas activas (en el caso de la zona de evaluación las fallas de la Cordillera Blanca y Quiches). Como factores condicionantes o intrínsecos destacan la litología: rocas de buena a regular calidad, de resistencia a la compresión buena a media; pero falladas y fracturadas (con fracturas paralelas al talud y buzamientos a favor de la pendiente); muy fuerte a fuerte pendiente de las laderas; la morfología (zona encañonada); así como la falta de cobertura vegetal.

En el Boletín Riesgos Geológicos en la Región Ancash (Zavala et al, 2005), la cuenca baja del río Quitaracsa (zona evaluada) presenta Alta a muy Alta Susceptibilidad a los Movimientos en Masa. Entendiéndose la susceptibilidad como la propensión de una zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento de masa), expresada en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos pueden ser intrínsecos (tipo de roca, fracturamiento, pendiente, entre otros) o externos (sismos y/o intensas precipitaciones pluviales). Ver Figura 1

En el estudio de ELECTROPERU (1984), "Estudio integral para el aprovechamiento de la cuenca del río Santa" Texto; se advertía la presencia de fracturas paralelas al talud en la zona del cañón del río Quitaracsa, y la posibilidad de colapsar por movimientos en masa que en su cinemática se involucre estas estructuras y el talud.

Los movimientos en masa presentes en el área evaluada se presentan como caídas de rocas, derrumbes de rocas y suelos; deslizamientos, flujos de detritos y avalanchas. Estos han sido identificados en trabajos y/o estudios anteriores, en el recorrido aéreo y en el trabajo de campo realizado. Poniendo en evidencia antiguos represamientos en el cauce del río, depósitos coluviales; y depósitos proluviales; como resultado de procesos antiguos y recientes de deslizamientos, caídas de roca y flujos (aluviones, huaicos).



Figura 2: Sector del Mapa de Susceptibilidad a los Movimientos en Masa. En círculo negro el área evaluada en el río Quitaracsa, ubicada en la Zona de Alta a Muy Alta Susceptibilidad a los Movimientos en Masa: deslizamientos, derrumbes, caídas de roca, avalanchas, aluviones, flujos (huaicos).

5.3 DESLIZAMIENTO DE CERRO QUEMADO – QUITARACSA

Para evaluar y caracterizar el evento ocurrido, es necesario definir el tipo de peligro geológico de acuerdo a sus características cinemáticas.

En el caso del evento de Cerro Quemado, margen izquierda del río Quitaracsa, corresponde a un movimiento en masa de tipo **deslizamiento traslacional**; mecanismo de falla que ocurre cuando una discontinuidad geológica tiene una dirección aproximadamente paralela a la cara del talud y se inclina hacia ésta con un ángulo mayor que el ángulo de fricción (Hoek y Bray, 1981 en PMA:GCA, 2007). En este caso, los deslizamientos traslacionales involucran a un solo sistema o Set de discontinuidades, denominándose en este caso **deslizamiento planar** (rotura planar). Figura 3. De esta manera el evento de Cerro Quemado se denomina **Deslizamiento traslacional – planar**.



Figura 3: Tipo de ruptura del **deslizamiento traslacional – planar** del Cerro Quemado, obsérvese: A) plano de resbalamiento (plano de falla o fractura); B) grietas de tracción que ayudan al desplazamiento del bloque; y el espacio dejado por los bloques deslizados (zona blanquecina). S1, S2, S3, S6 familias de discontinuidades.

El análisis cinemático realizado corrobora el tipo de ruptura, ya que el Set de fracturas/fallas principales (Set 1) es paralela al Talud (T) y su buzamiento a favor de la pendiente del mismo, con ángulo menor a este y mayor al ángulo de fricción (Ø=45°) (ELECTROPERU, 1984).

En la Figura 4, observamos el análisis cinemático del macizo rocoso involucrado y el tipo de ruptura presente.

El represamiento por deslizamiento provocado por el evento es de Tipo II, es decir represó por completo el río con su respectivo "run up". Ver Figura 5.



Figura 4: Análisis cinemático de las estructuras (fracturas y/o fallas) de Cerro Quemado, margen izquierda del río Quitaracsa. Sets 1 y 4, con rumbo paralelo al talud (T), rompiendo con los Sets 2, 3, 5 y 6 (fracturas de tracción). Dirección de deslizamiento al NW (fecha roja).



Figura 5: El deslizamiento traslacional – planar de Cerro Quemado ocasionó el represamiento del río Quitaracsa, categorizado por Costa & Shuster (1998) como de Tipo II.



El macizo rocoso se encuentra afectado por diversos procesos físico mecánicos como el relajamiento de esfuerzos en las laderas del cañón (paleo esfuerzos), variaciones de temperatura (día y noche), efectos cíclicos de humedecimiento (lluvias) y desecación (períodos secos); verticalidad de los planos de deslizamiento (fracturas fallas) que disminuyen los esfuerzos de fricción (ángulo de fricción) en las discontinuidades; así como los vientos concentrados en cañones estrechos.

Es así que se producen los siguientes eventos (TRACTEBEL ENGINEERING, 2013; y comunicaciones orales):

23/04/2013: Se produjo un **deslizamiento traslacional - planar** que involucro al macizo rocoso de Cerro Quemado (granodioritas), que embalso (Tipo II) el río Quitaracsa por cerca de 2 horas (de madrugada). El desagüe del embalse fue paulatino y sin efectos aguas abajo.

27/05/2013: A las 15:30 horas se produjo otro **deslizamiento traslacional planar** en Cerro Quemado, represando parcialmente el río Quitarcsa (disminución del 90% del caudal). A las 19:00 horas se presentó un (flujo/aluvión) producto de la ruptura del represamiento que elevó los niveles del río cerca de 4 m sobre el nivel normal en el sitio de las obras. Hay que tener en cuenta que el volumen del flujo está compuesto por el volumen del material desprendido y por los materiales incorporados por este en su caída (antiguos depósitos coluviales o relictos de antiguos deslizamientos y/o represamientos). Ver Foto 11.

28/05/2013: Se producen continuos deslizamientos y/ caídas de rocas, trayendo como consecuencia pequeñas variaciones del caudal, luego de lo cual se regularizan.

La inestabilidad de la ladera es progresiva y en el futuro un deslizamiento de mayor volumen a los ocurridos puede provocar un represamiento y formar un embalse con un potencial flujo (aluvión o huaico) de mayores volúmenes.

El evento del 27 de mayo, afecto instalaciones ribereñas de pobladores (caminos, canales, etc.), del Contratista JME y de la central DUKE.

El deslizamiento de Cerro Quemado, no es un evento aislado, ni producto de los trabajos (tunelería) para el afianciamiento hidroeléctrico de la región (Proyecto Quitaracsa 1). Existe suficiente evidencia, local y regional, que indican la presencia de eventos similares en las laderas del río, mucho antes que se iniciaran los trabajos para la central hidroeléctrica. En las siguientes fotos explicaremos con detalle estas evidencias.

En la Figura 6, presentamos la sección geológica del área del deslizamiento, apreciándose las estructuras a favor de la pendiente y el bloque desprendido.

PERFIL RIO QUITARACSA



Figura 6: Perfil de la zona del deslizamiento de Cerro Quemado, obsérvese el fracturamiento intenso del macizo rocoso con estructuras a favor de la pendiente, favoreciendo de esta manera la inestabilidad del talud. Depósitos coluviales, producto de deslizamientos antiguos, en el área, justo debajo del deslizamiento, margen derecha del río Quitaracsa.



Foto 10: Antiguo deslizamiento traslacional – planar (círculo rojo) a pocos metros del deslizamiento de los días 27 y 28 de mayo (flecha roja). Obsérvese las estrías de falla con dirección a la pendiente (líneas en negro).



Foto 11: Obsérvese los depósitos coluviales antiguos (deslizamientos y caídas de rocas) formados pre evento (flechas rojas). Parte de ellos fueron incorporados en el represamiento, posterior colapso y flujo/aluvión.



Foto 12



Foto 13

Fotos 12 y 13: Obsérvese parte del Cerro Quemado, origen del deslizamiento traslacional planar de mayo del presente. La Foto 12, es de antes del evento, la zona a deslizarse es de color beige claro producto de la alteración de la granodiorita, color diferente al resto del macizo, indicando un deslizamiento anterior al evento. En la Foto 13, se observa la zona de ruptura del deslizamiento de mayo del presente en color blanco. Fotos proporcionados por ENERSUR.



Fotos 14 y 15: Área de ruptura del deslizamiento del Cerro Quemado, antes (Foto 14) y después (Foto 15). (Foto 14: Luis Pahuara en Google Earth)

6.0 MODELAMIENTO DE FLUJO DE DETRITOS (TR: 1000 AÑOS) EN LA QUEBRADA QUITARACSA

Participaron en este modelamiento los profesionales de la DGAR – INGEMMET, Msc. Patricio Valderrama y Bachiller Pool Vasquez.

6.1 MARCO TEÓRICO

El movimiento de un fluido tan complejo como el que forma los flujos de detritos (aluviones/huaicos), no puede representarse por medio de los métodos que se aplican comúnmente para fluidos como el agua. Esto se debe a que la alta concentración de materia sólida en estos fluidos, se comporten como fluidos no-newtonianos, en los que es necesario que actúe un esfuerzo superior a un esfuerzo crítico dado, para que el fluido se ponga en movimiento. Por el contrario, si el esfuerzo actuante es inferior al esfuerzo crítico, el fluido se detiene (Valderrama, 2006).

El método de modelamiento FLO 2D (O' Brien, 2000), simula flujo de fluidos no-newtonianos, como flujos de detritos en conos aluviales. El modelo permite simular flujos en topografías complejas, tales como áreas urbanizadas y planicies de inundación, así como el intercambio de fluido entre los canales y la planicie de inundación. Puede modelarse flujo de agua, flujos hiperconcentrados de sedimentos (flujos de detritos) y flujos de barro.

Este método de modelamiento ha sido comprobado y validado en ambientes peruanos con topografías y reologías complejas como Quebrada Runtumayo Cusco, Perú (Valderrama & Cárdenas, 2005) Generación de mapas de peligros por aluviones en las ciudades de Urubamba y Ollantaytambo Cusco, Perú (Valderrama et al. 2007), generación de mapas de rutas de evacuación en la ciudad de Huaraz, Perú (Valderrama, 2007), reconstrucción del GLOF de la Laguna 513, Cordillera Blanca, Perú (Valderrama & Vilca, 2012) y otros

6.2 PARÁMETROS Y CALIBRACIÓN DEL MODELO

Se aplicó el modelo bidimensional FLO-2D para la simulación del flujo hiper concentrado de barro y escombros (pudiendo ser bloques rocosos, árboles arrastrados por el flujo, etc.), utilizando las ecuaciones que gobiernan el movimiento en su expresión más completa (onda dinámica). Para la simulación se consideraron concentraciones de sedimentos que varían entre 50% y 65 %, dado que estas son las características de aluviones de magnitudes similares (Valderrama, 2006). Se asume la rugosidad "n" de Manning igual a 0,055 debido a las características geológicas y la zona y a datos recolectado en el campo. Los parámetros reológicos de la mezcla (viscosidad y esfuerzo de cedencia) se encuentran en función de muestras experimentales analizadas por O'Brien y Julien (1988). Ellos proponen diversas ecuaciones para diferentes tipos de muestra. La muestra utilizada para la modelación y que se ajusta al desarrollo del flujo es una muestra tipo Aspen Pit 1, cuyo resultado es conservador. Por lo tanto las ecuaciones de viscosidad y esfuerzo de cedencia utilizadas para el modelo son:

$$\eta = 0.0360e^{22.1C_{v}}$$

$$\tau_{v} = 0.181e^{25.7C_{v}}$$

La Gravedad específica (Gs) del sedimento ha sido considerado en 2,50 que es el valor que el FLO 2D le asigna por defecto, según el porcentaje de concentraciones de sedimentos. Se asume una resistencia del canal de la quebrada al flujo laminar (K) igual a 4000, también valor por defecto, según la pendiente promedio de la quebrada. Ingresados los parámetros se analiza un tiempo de simulación de 120 horas en donde se desarrolla el flujo en toda la quebrada según el hidrograma (Figura 7).



Figura 7: Desarrollo del flujo de detritos en la quebrada Quitaracsa en el módulo Flow Depth del FLO2D

El punto inicial del flujo de detritos se estableció el la base de Cerro Quemado, lugar en donde ocurrieron el deslizamiento traslacional de roca ocurrido durante los meses de abril y mayo del 2013. Este modelo representa el Peor Escenario Posible ante un evento de este tipo (*WCS: Worse Case Scenario*).

6.3 PARÁMETROS TOPOGRÁFICOS

Los parámetros topográficos fueron extraídos de un modelo topográfico (Figura 8) proporcionado por ENERSUR S.A. exclusivamente para estos fines. Con curvas topográficas cada 5 metros nos permite realizar un modelamiento con una precisión entre el 88 y 95% por lo que los resultados obtenidos son muy confiables.



Figura 8: Modelo Digital de Elevación del Terreno (DEM) generado a partir de los datos topográficos proporcionados por ENERSUR S.A.

6.4 PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

Los parámetros hidrológicos fueron extraídos de: ESTUDIO INTEGRAL PARA EL ARPOVECHAMIENTO DEL LA CUENCA DEL RÍO SANTA elaborado por HIDROSERVICE en 1984 ya que estos cuentan con generación de escenarios extremos para todas las cuencas del río Santa, incluyendo la Cuenca del río Quitaracsa.

Debido a que se quiere generar un evento excepcional, se consideró un hidrograma de caudal con un Tiempo de Retorno (TR) de 1000 años con características acordes a la quebrada en estudio (Figura 9).





6.5 **RESULTADOS**

Terminado el proceso de simulación los resultados para un evento de flujo de detritos extraordinario con un TR de 100 años para la quebrada Quitaracsa se presentan en la Tabla 1:

Tabla 1
Resultados del modelamiento de un flujo de detritos para
un TR de 1000 años en la quebrada Quitaracsa

Detalle	Cantidad
Volumen del flujo de detritos (agua y mezcla con sedimentos)	211 878.38 m ³
Volumen almacenado en el área inundada	147 439.36 m ³
Volumen no almacenado (infiltración, evaporación escorrentía)	64 439.02 m ³
Área total inundada	182 975.00 m ²

6.6 DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS:

Mapa de Alturas Máximas de Flujo: Este mapa muestra el desarrollo del flujo de detritos a lo largo de la quebrada, en el cual se aprecian sobreelevaciones (*Run Up*) y erosión lateral de los causes. Según los resultados (Figura 10) el flujo de detritos alcanza picos de 4.1 metros de altura durante el movimiento generando varias zonas de represamiento (debido a la estrechez del cause) y finalmente depositando una cantidad importante de material en la confluencia de la quebrada Quitaracsa con el río Santa.

Un análisis más detallado de las partes alta y media de la quebrada muestran las zonas de represamientos naturales de flujos (Figura 11) las que con las obras civiles correspondientes servirían de aliviaderos ante flujos y así disminuir drásticamente la velocidad y turbulencia de un flujo.

En la confluencia de la quebrada Quitaracsa y el río Santa (Figura 12), el modelo muestra que ocurren *Run Up* considerables y fuertes erosiones laterales que podrían causar daños a las estructuras y obras civiles de la zona (carreteras, puentes, etc.)



Figura 10: Alturas Máximas de un flujo de detritos en la quebrada Quitaracsa.



Figura 11: Las zonas verdes-amarillas muestran acumulaciones mayores del flujo, lo que genera represamientos naturales que disminuyen la turbulencia del flujo.



Figura 12: Parte baja de la quebrada Quitaracsa, las zonas de Run Up están resaltadas con líneas entrecortadas rojas.

Si se superpone los resultados del modelo a una imagen de satélite de lata resolución (Figura 13), se aprecia que el flujo afectaría la carretera que va rumbo a la casa de máquinas e incluso ocurriría un rebalse hacia el río Santa en una zona de debilidad.

Especial atención hay que darle a la importante cantidad de material que se acumula en la desembocadura de la quebrada Quitaracsa (Figura 14) que podría inclusive represar el río Santa con una altura mayor a 3.5 m, sin embargo, no se esperan daños en las instalaciones de la margen izquierda del río Santa (Instalaciones de Duke Energy).

Mapa de Velocidades Máximas de Flujo

Este mapa muestra los vectores y tirantes de velocidad (Figura 15) predominantes en la dinámica del flujo conforme discurre por el cauce de la quebrada Quitaracsa. Los resultados arrojan picos de velocidades de flujo de hasta 23.9 m/s en la desembocadura de la quebrada, pero esto son debido a lo rotura de la represa generada por el mismo flujo. A lo largo de la quebrada, la velocidad promedio del flujo es relativamente baja con promedios de 5.3 m/s, sin embargo en zonas donde ocurrió un represamiento, la velocidad tiende a subir

Analizando al detalle la parte media y alta de la Quebrada Quitaracsa, se ve claramente, las zonas de represamiento del flujo en donde ocurren picos de velocidad (producto de la rotura de la presa), y a lo largo de la quebrada la velocidad es constante y relativamente baja (Figura 16).

Al analizar al detalle la desembocadura de la quebrada Quitaracsa al río Santa (Figura 17) se aprecia como la generación y posterior rotura de la represa del flujo genera grandes picos de velocidad, sin embargo, esta no significaría peligro a las obras ubicadas en la margen izquierda del río Santa.



Figura 13: Resultados del modelo con una imagen satelital de fondo, se aprecia (1) como los *Run Up* llegarían a la carretera (con alturas menores a 1 m) y (2) como ocurriría un rebalse hacia el río Santa.



Figura 14: Represamiento que se formaría en el cause del río Santa, que sin embargo no significa peligro alguna para las instalaciones ubicadas en la otra orilla.



Figura 15: Mapa de velocidades máximas de flujo donde se aprecia picos muy altos en la parte de la desembocadura y aumentos considerables en las zonas de represamientos a lo largo de la quebrada.



Figura 16: Las mayores velocidades en la parte media y alta de la quebrada se ubican en las zonas potenciales a un represamiento de flujo.



Figura 17: Distribución de velocidades en la parte baja de la quebrada Quitaracsa y confluencia con el río Santa.

6.7 CONCLUSIONES DEL MODELAMIENTO REALIZADO

- A. El modelo se realizó considerando un escenario extremo, con un TR de 1000 años, es decir la probabilidad de que ocurra un fenómeno de estas características es 1 cada 1000 años.
- B. Según los resultados obtenidos, algunas obras civiles se verían afectadas moderadamente por erosión lateral y por *Run Up* por un flujo de detritos de gran magnitud que discurra por la quebrada Quitarcsa, principalmente obras de infraestructura, canales, bocatomas y trochas carrozables.
- C. Conocidos los resultados del modelo, las obras civiles ubicadas en la margen izquierda del río Santa (frente a la desembocadura de la quebrada Quitaracsa) no correrían riesgo de ser afectadas por un flujo de detritos provenientes de la quebrada Quitaracsa, con los volúmenes asumidos,
- D. El modelo muestra zonas de represamientos a lo largo de la quebrada, y además una acumulación de material en su desembocadura con el río Santa.

CONCLUSIONES

- Geomorfológicamente, el área de estudio se enmarca en la Unidad Geomorfológica Montañas con laderas de moderada a fuerte pendiente. La zona muestra laderas con pendientes pronunciada a fuerte, en donde la equidistancia de las curvas de nivel es menor. En esta Unidad destaca la geoforma <u>Valle Cañón</u> del río Quitaracsa, con laderas de fuertes pendientes labradas en rocas intrusivas del Batolito de la Cordillera Blanca
- 2. El substrato rocoso está compuesto por rocas intrusivas de tipo granodioritas, con estructura genésica (debido a la foliación del borde del batolito), color gris blanquecino, de grano grueso, pertenecientes al Batolito de la Cordillera Blanca. El macizo rocoso se encuentra fracturado con estructuras tensionales con rumbo paralelo al talud y buzamientos a favor de la pendiente. Este tipo de estructuras puede facilitar deslizamientos de bloques rocosos principalmente con sismos y/o fuertes precipitaciones pluviales (rotura planar en macizos rocosos).
- La zona de evaluación es geodinamicamente activa, distinguiéndose peligros geológicos de tipo movimientos en masa (caídas de rocas, derrumbes, deslizamientos, avalanchas y flujos), sismos (subducción y por fallas activas); así como erosión de laderas (cárcavas).
- 4. El evento evaluado corresponde a un Deslizamiento traslacional planar; movimiento en masa que se desplaza a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden y Varnes, 1996). En un macizo rocoso, este mecanismo de falla ocurre cuando una discontinuidad geológica tiene dirección aproximadamente paralela a la cara del talud y se inclina hacia ésta con un ángulo mayor que el ángulo de fricción (Hoek y Bray, 1981).

En este caso la traslación se realiza a través de un solo plano denominándose por esta razón deslizamiento planar.

- 5. Según trabajos de INGEMMET la cuenca baja del río Quitaracsa (zona evaluada) presenta Alta a muy Alta Susceptibilidad a los Movimientos en Masa.
- 6. Los movimientos en masa presentes en el área evaluada se presentan como caídas de rocas, derrumbes de rocas y suelos; deslizamientos, flujos de detritos y avalanchas. Estos han sido identificados en trabajos y/o estudios anteriores.
- El análisis cinemático realizado corrobora el tipo de ruptura (deslizamiento traslacional – planar), ya que el Set principal de fracturas/fallas es paralela al Talud y su buzamiento a favor de la pendiente del mismo, con ángulo menor a este y mayor al ángulo de fricción.
- 8. El macizo rocoso se encuentra afectado por diversos procesos fisicomecánicos como el relajamiento de esfuerzos en las laderas del cañón (paleo esfuerzos), variaciones de temperatura (día y noche), efectos cíclicos de humedecimiento (lluvias) y desecación (períodos secos); verticalidad de los planos de deslizamiento (fracturas fallas) que disminuyen los esfuerzos de fricción (ángulo de fricción) en las discontinuidades; así como los vientos concentrados en cañones estrechos.
- 9. Entre abril y mayo del presente año se produjeron eventos de movimientos en masa en el Cerro Quemado, que comprometieron instalaciones ribereñas de pobladores (caminos, canales, etc.), del Contratista JME y de la central DUKE: a) el 23/04/2013: se produjo un **deslizamiento traslacional planar** que involucro al macizo rocoso (granodioritas), embalso el río Quitaracsa, siendo su desembalse paulatino y sin efectos aguas abajo; b) el 27/05/2013, se produjo otro evento similar en el mismo lugar, represando parcialmente el río Quitarcsa, para luego colapsar violentamente elevando los niveles del río cerca de 4 m sobre el nivel normal en el sitio de las obras; c) el 28/05/2013, se producen continuos deslizamientos y/ caídas de rocas, trayendo como consecuencia pequeñas variaciones del caudal, luego de lo cual se regularizan.
- 10. Hay que tener en cuenta que el volumen del flujo comprende: el volumen del material desprendido y los materiales incorporados por este en su caída (antiguos depósitos coluviales o relictos de antiguos deslizamientos y/o represamientos).
- 11. La inestabilidad de la ladera es progresiva y en el futuro, un deslizamiento de mayor volumen a los ocurridos, puede provocar un represamiento y formar un embalse cuya ruptura generaría un potencial flujo (aluvión o huaico) de mayores volúmenes.
- 12. El deslizamiento de Cerro Quemado, no es un evento aislado, ni producto de los trabajos (tunelería) para el afianciamiento hidroeléctrico de la región (Proyecto Quitaracsa 1). Existe suficiente evidencia, local y regional, que indican la presencia de eventos similares en las laderas del río, mucho antes que se iniciaran los trabajos para la central hidroeléctrica.

RECOMENDACIONES

- Utilizando los datos obtenidos por el modelamiento, aprovechar las zonas de represamiento a lo largo de la quebrada, para la construcción de aliviaderos de flujos, ya que estas cuentan con óptimas características para este fin. Además, se recomiendo una permanente limpieza del cause de la desembocadura de la quebrada Quitaracsa hacia el río Santa para evitar la acumulación de material que pueda modificar la dinámica del río en este sector.
- 2. Implementar un sistema de alerta temprana que involucre a los pobladores y empresas que operan en el área.

BIBLIOGRAFÍA

GONZALES DE VALLEJO, L.; FERRER, M. & OTEO, C. (2002). Ingeniería Geológica. Pearson Educación. 744 p

ELECTROPERU (1984). Estudio integral para el aprovechamiento de la cuenca del río Santa. 1ra Etapa Informe de Inventario – HIDROSERVICE. 6 tomos.

ENERSUR (2013). Informe de evaluación geológica y análisis de impactos de las obras de construcción de la CH Quitaracsa y sobre la inestabilidad y derrumbes producidos en el cañón del río Quitaracsa. Junio 2013. Informe Técnico Preliminar

INGEMMET (2009). Síntesis Descriptiva del Mapa Neotéctónico del Perú versión 2008. Boletín Serie C. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.

JIMENEZ SALAS, J.A. & DE JUSTO, J.L. (1975). Geotécnia y Cimientos I. Propiedades de los Suelos y de las Rocas. Editorial Rueda, Madrid

O' BRIEN J. S., JULIEN. P. (1988). Laboratory analysis of mudflow properties. Journal of Hydrology. Eng., ASCE, 114(8), pp. 877-887.

O' Brien J. S. (2000). FLO-2D User's Manual. Versión 2006.10, Nutrioso, Arizona.

PMA:GCA – Proyecto Multinacional Andino : Geociencias para las Comunidades Andinas (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Multinacional N°4, 432p.

TRACTEBEL ENGINEERING (2013). Informe de diagnóstico sobre inspecciones ladera izquierda río Quitaracsa – Cerro Quemado. Junio 2013

VALDERRAMA, P. & CÁRDENAS, J. (2005). Geología, Geodinámica y Peligros en la Quebrada Runtumayo (Cusco): Avalancha y Aluvión del 12 de octubre del 2005. Resúmenes del XIII Congreso Peruano de Geología.

VALDERRAMA, P. (2006). Geología, Geodinámica y Simulaciones de Flujo en las ciudades de Ollantaytambo y Urubamba, Cusco. Tesis de Ingeniero Geólogo. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

VALDERRAMA, P. (2007). Peligros geológicos asociados al cambio climático en la ciudad de Huaraz, Ancash. 1° Congreso Internacional de Ingeniería. Perú. Resúmenes extendidos: 178-180.

VALDERRAMA, P. CÁRDENAS, J. & CARLOTTO, V. (2007). Simulaciones FLO 2D en las ciudades de Urubamba y Ollantaytambo, Cusco. Sociedad Geológica del Perú. Boletín 102: 43-62.

VALDERRAMA, P., & VILCA, O. (2012). Dinámica e Implicancias del aluvión de la Laguna 513, Cordillera Blanca, Ancash Perú. Revista de la Asociación Geológica Argentina 69(3): 400-406.

Wilson J., Reyes L. & Garayar J. (1967). Geología de los cuadrángulos de Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuas y Huari. Boletín 60 Serie A: Carta Geológica Nacional Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.

ZAVALA, B., VALDERRAMA, P. LUQUE, G., PARI, W. & BARRANTES, R. (2005). Riesgo Geológicos en la Franja N° 4. Boletín N° 29 Serie C. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico