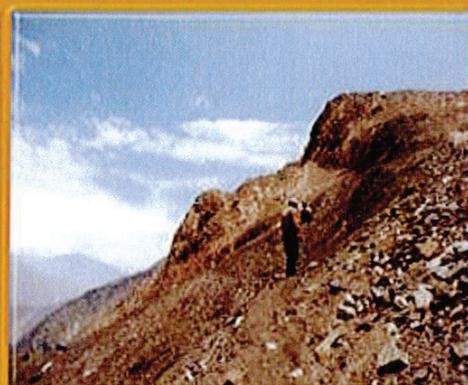
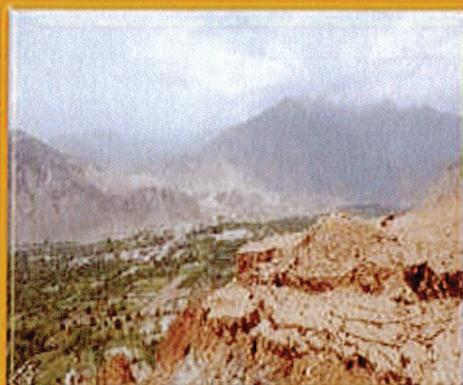
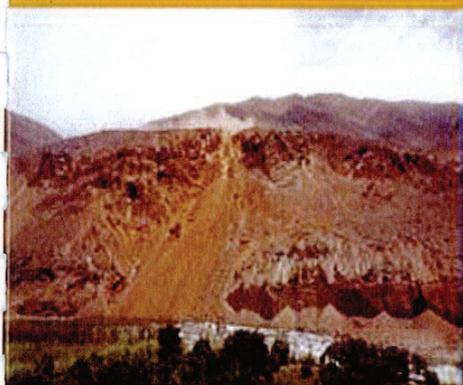


Informe Técnico N° A6622

Deslizamiento del Cerro San Francisco Orcco

Distrito de Zúñiga, Provincia Cañete

Región Lima



POR:
ING° MANUEL VILCHEZ MATA
ING° FABRIZIO DELGADO MADERA

FEBRERO 2013

SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET

INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

DESLIZAMIENTO DEL CERRO SAN FRANCISCO ORCCO

Distrito de Zúñiga, Provincia Cañete, Región Lima

CONTENIDO

1.0	INTRODUCCIÓN	3
2.0	ANTECEDENTES	3
3.0	ASPECTOS GENERALES	4
4.0	ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS	6
5.0	PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA	15
	5.1	15
	5.2	30
6.0	CONDICIONES ACTUALES DEL SITIO	32
7.0	CONCLUSIONES	33
8.0	RECOMENDACIONES	34
9.0	REFERENCIAS	36

DESLIZAMIENTO DEL CERRO SAN FRANCISCO ORCCO

Distrito de Zúñiga, Provincia Cañete, Región Lima

1. INTRODUCCIÓN

El Gerente de Secretaría General de la Municipalidad Provincial de Cañete, mediante Oficio N° 1128-2012-SG-MPC, de fecha 11 de diciembre del 2012, se dirige a la Presidenta del Consejo Directivo del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), solicitando apoyo técnico en Riesgos Geológicos, debido a los constantes deslizamientos que se vienen produciendo frente a la comunidad de Zúñiga, de la provincia de Cañete, región Lima. El Director del área de Geología Ambiental y Riego Geológico (DGAR), designó al Msc. Manuel Vilchez Mata y al Ing. Fabricio Delgado Madera, para que realicen los trabajos de evaluación del peligro geológico en dicha zona.

Los trabajos de campo se realizaron el día 18 diciembre del 2012 y se contó con la presencia del Sr. Miguel Rivadeneira Ávalos (Secretario Técnico de Defensa Civil) y la Srta. Marisol Valencia (tesorera), de la municipalidad distrital de Zúñiga.

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Distrital de Zúñiga y de la Municipalidad Provincial de Cañete. Se basa en las observaciones realizadas en campo, la interpretación de fotos aéreas e imágenes satelitales de diferentes años, así como de la información disponible en el "Estudio de Riesgos Geológicos del Perú, Franja N° 3" del año 2003 y de trabajos realizados anteriormente en el área.

2. ANTECEDENTES

Dentro de los trabajos de estudio de peligros geológicos por movimientos en masa que incluyen el área de Zúñiga, se tiene:

- "Estudio Riesgos Geológicos del Perú – Franja N° 3, elaborado por INGEMMET (1967), donde se describe a escala regional la geología, los rasgos geomorfológicos y los peligros geológicos de tipo movimientos en masa y geohidrológicos, que ocurren en la zona de estudiada; así se tiene:

En el mapa de peligros múltiples, el poblado de Zúñiga se encuentra dentro del área denominada como de grado de peligro Muy Alto. En estas áreas se conjugan numerosos peligros geológicos; principalmente huaicos, caídas, deslizamientos, movimientos complejos, inundaciones, erosión fluvial y en algunas áreas aluviones. Terrenos con fuerte a muy fuerte pendiente. Áreas propensas a sufrir eventos naturales severos, en las cuales debe evitarse actividades de desarrollo. De implementarse estas actividades, por el requerimiento de la población, deberán tener estudios geológicos-geotécnicos al detalle, previos.

La base de datos de Inventario de Peligros Geológicos de Perú, tiene identificado para este sector del río Cañete seis ocurrencias de peligros geológicos, las cuales se resumen en el cuadro N° 2.1.

Cuadro 2.1: Peligros geológicos identificados en los alrededores de Zúñiga (Estudio de Riesgos Geológicos del Perú-Franja N° 3, 2003)

SECTOR	TIPO DE PELIGRO	DESCRIPCIÓN Y DAÑOS
Quebrada Pampa Grande	Flujo de detritos (huaicos)	Puede afectar tramo de 200 m de la carretera Lunahuaná-Yauyos.
Cerro Apotara	Derrumbe	Puede afectar canal de regadío ubicado en la parte media de la ladera.
Quebrada Apotara	Flujo de detritos	Afecta la carretera Lunahuaná-Yauyos en un tramo de 50 m. La carretera cruza la quebrada.
Quebrada Picamarán	Flujo de detritos	Afecta la carretera que conduce al poblado de Picamarán, la carretera cruza la quebrada tres veces. Puede afectar tramo de la carretera Lunahuaná-Yauyos, al poblado de Zúñiga y sus terrenos de cultivo desarrollados sobre el abanico proluvial de la quebrada Picamarán, producto del material depositado por huaicos anteriores.
Paraje Campanahuasi	Flujo de detritos	Afecta la carretera Lunahuaná-Yauyos, a la altura del km 60,9, viviendas y terrenos de cultivo.
Quebrada Machuranga	Flujo de detritos	Puede afectar tramo de carretera Lunahuaná-Yauyos, a la altura del km 61,1.

3. ASPECTOS GENERALES

Políticamente la zona inspeccionada se ubica dentro del distrito de Zúñiga, provincia de Cañete, región Lima (figura 1), cuyas coordenadas centrales UTM (WGS-84) son:

Poblado de Zúñiga: Norte: 8578106
Este: 389059
Altitud: 800 m.s.n.m.

Deslizamiento del Cerro San Francisco: Norte: 8577154
Este: 389086
Altitud: 900 m.s.n.m.

Morfológicamente, la zona se localiza en el flanco andino occidental, con altitudes que varían entre los 4400 m.s.n.m., en las cabeceras de la quebrada Picamarán,

a los 750 m.s.n.m., en el valle del río Cañete, que drenan sus aguas hacia el océano Pacífico. El río Cañete tiene una longitud total de 900 km, y es muy torrencioso. El caudal promedio en el periodo de lluvias supera los 80 m³/s, y es mayor a 10 m³/s en la estación de invierno.

El acceso hacia la zona estudiada se realiza por vía terrestre, desde Lima, utilizando la carretera Panamericana Sur, hasta la localidad de San Vicente de Cañete, se continua desde ahí hacia las localidades de Imperial, tomando la carretera que conduce a Yauyos, pasando por las localidades de La Florida, Paullo, Lunahuaná, Catapalla, Pacaran y finalmente Zúñiga.

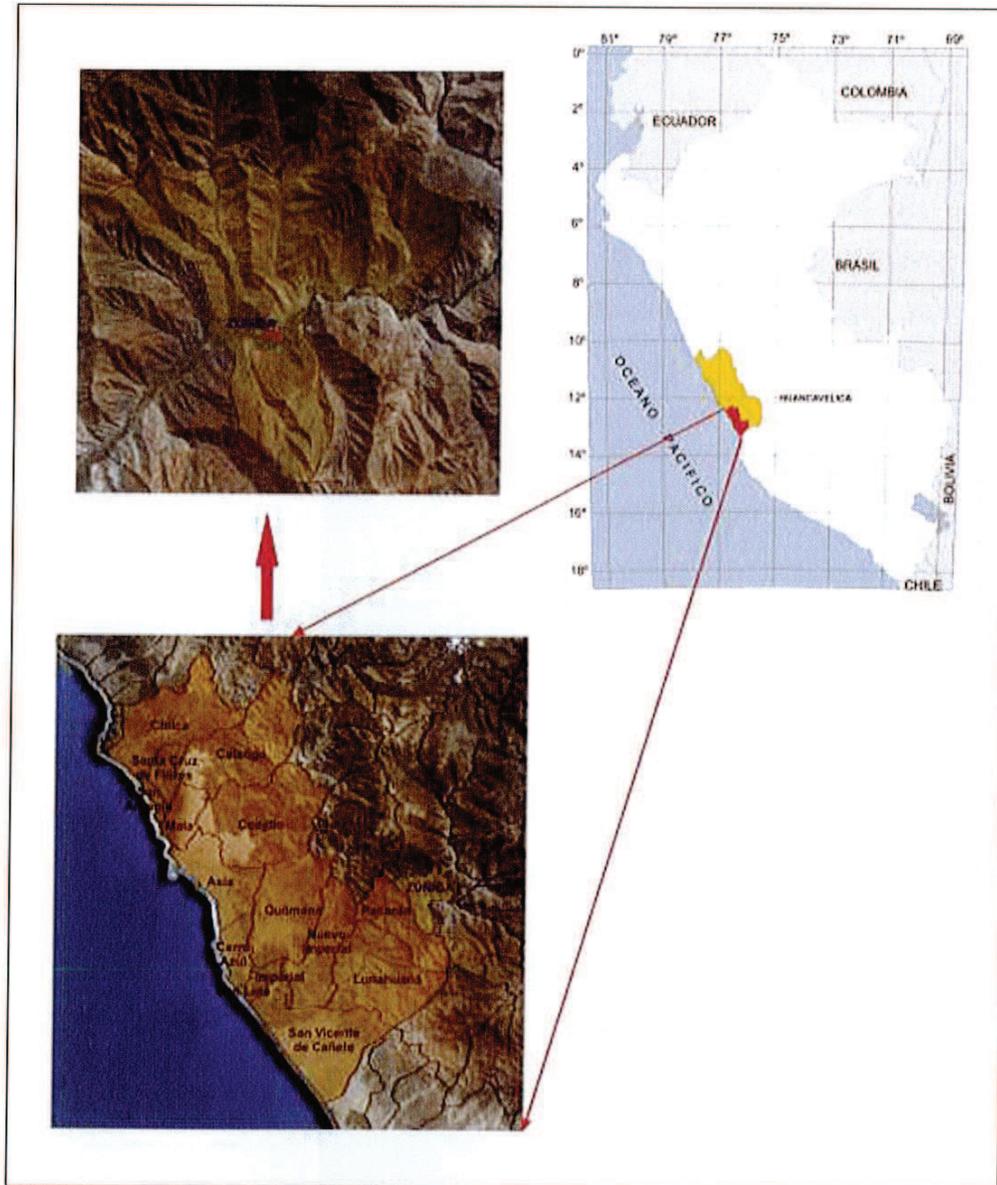


Figura 1: Ubicación de la zona de estudio.

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), en la zona estudiada la precipitación pluvial acumulada durante el periodo lluvioso normal

(setiembre – mayo) es de 50 mm y para el período de precipitación acumulado en el evento del fenómeno “El Niño” 1997/1998, fue de 400 mm.

Según el mapa de clasificación climática del Perú (SENAMHI, 1988), entre los 0 y 2000 m.s.n.m. (altitudes entre las que se encuentra la zona de estudio), se presenta los siguientes climas:

E(d)B₁H₃: Zona de clima árido, semicálido y húmedo, con deficiencia de lluvia en todas las estaciones. Este tipo de clima se encuentra entre los 0 y 2000 m.s.n.m., corresponde a las laderas superiores del valle del río cañete.

C(o,i,p)B₂H₃: Zona de clima semiseco, templado y húmedo, con otoño, invierno y primavera seca; corresponde a las laderas superiores del valle del río Cañete, sobre los 2000 m.s.n.m.

Los tipos de vegetación presentes en la zona son (INRENA, 1996):

- Desierto costero (Dc): Este tipo de vegetación se extiende a lo largo de la región costera, ocupando áreas planas u onduladas y las primeras estribaciones del flanco andino occidental, corresponde desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 1500 m.s.n.m., el clima se caracteriza por ser árido y cálido en verano (diciembre-marzo) y con neblinas en el invierno (mayo-setiembre), provenientes del mar, las cuales se disipan al chocar con las primeras elevaciones cordilleranas, aproximadamente entre los 700 y 1000 m.s.n.m., dando origen la vegetación de lomas, también se puede presentar un tapiz herbáceo de unos pocos centímetros de altura.

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

4.1 GEOLOGÍA

Regionalmente el substrato rocoso está compuesto por rocas de naturaleza sedimentaria y volcánica sedimentaria del Mesozoico, con edades desde el Jurásico superior al Cretáceo, también se tienen rocas intrusivas (Salazar, H. & Landa, C., 1993); así se tienen las siguientes formaciones geológicas (Figura 2):

a) Jurásico

Formación Asia (JsKi-a): Conformado por una secuencia con predominio de lutitas grises y algunas intercalaciones de areniscas finas y ocasionalmente horizontes calcáreos y volcánicos (Foto 1), expuesta a manera de faja adyacente al Batolito Costanero, entre los valles de Mala y Asia; así como los afloramientos aislados ubicados en la zona baja del flanco occidental andino, en la zona interna del batolito entre los valles de Omas y Cañete. En Santa Cruz el valle de Pócoto y Pacarán del valle de Cañete se han reconocido exposiciones de areniscas y lutitas pizarrosas; esta formación infrayace en forma transicional al Grupo Morro Solar. De edad Jurásico Superior a Cretáceo Inferior.



Foto 1: Afloramientos de andesitas color gris verdosas, fracturadas y en algunos sectores muy alterados.

Grupo Morro Solar (Ki-ms): Reconocido parcialmente en el área de estudio, en el sector valle de Pócoto (Santa Cruz) y valle de Cañete (Pacarán, Zúñiga), la secuencia se presenta plegada y fallada, se tiene una gruesa secuencia predominantemente lutácea. La litología reconocida consta de cuarcitas grises con intercalaciones de lutitas pizarrosas negras y areniscas grisáceas; lutitas negras friables, con ocasionales horizontes delgados de arenisca cuarcítica gris, encima se tienen areniscas de color gris verdosas, con algunas capas de areniscas y lutitas pizarrosas negras, termina este miembro lutitas pizarrosas negras, friables y de laminación fina, ocasionalmente con delgadas capas de cuarcitas y areniscas finas; finalmente se tiene areniscas cuarzosas blanquecinas y grisáceas, en la parte media margas grises, caliza negra y arenisca cuarzosa gris en capas delgadas. De edad Cretáceo Inferior (Foto 2).

Formación Pamplona (Ki-pa): Conformado por una intercalación de calizas gris negruzcas, margas y lutitas margosas en capas delgadas. De edad Cretáceo Inferior.

Grupo Imperial (Ki-i): Conformado por calizas marmolizadas alternando con calizas silicificadas gris negruzcas, en capas delgadas y medianas, en menor proporción se tienen lutitas y limolitas. De edad cretáceo Inferior.

Formación Huaranguillo (Kis-hr): Gruesa secuencia volcánico sedimentaria, conformado por tres miembros, el miembro inferior presenta lutitas pizarrosas laminadas, lutitas y cenizas volcánicas, que se alternan

con horizontes andesíticos y metavolcánicos, ocasionalmente calizas. El miembro superior consiste de calizas negras, hacia el tope se intercalan horizontes de lutitas pizarrosas y lechos de volcánicos. De edad Cretáceo Inferior a Superior.

Formación Tantará (Ti-t): Gruesa secuencia volcánica, compuesta por derrames andesíticos, riódasíticos y dacíticos de color gris a pardo violáceo. De formas subordinada se tiene intercalaciones de brechas andesíticas a dacíticas y tobas andesíticas a riolíticas, también se encuentran delgados horizontes de limolita, areniscas con material volcánico y aglomerados volcánicos. De edad Neógeno (Eoceno-Oligoceno).



Foto 2: Vista panorámica de las laderas superiores al distrito de Zúñiga, donde ha separado con líneas los depósitos coluviales (Qr-col), depositados al pie de las laderas, las formaciones Asia y Morro Solas (JsKi-a, ms), así como intrusivos de tipo tonalita-granodirita (K-tgd-i).

b) Depósitos superficiales (recientes)

Deposito coluvial (Qr-co): Son depósitos de talud y de ladera, se componen de gravas y bloques subangulos a anguloso, con una matriz areno-limosa a limo-arcillosa, nada consolidada (Foto 2).

Depósito aluvial (Qr-al): Corresponde a los depósitos del cuaternario, que se distribuyen en toda la zona de estudio, se componen de gravas y bloques, subangulos a subredondeados, dispuestos de manera masiva, envueltos en una matriz limo-arenosa, formando terrazas aluviales en el valle del río Cañete (Foto 3).

Depósitos proluvial (Qh-pr): Conformdo por fragmentos rocosos heterométricos (cantos, bolos, bloques, etc.), con relleno limoarenoso-arcilloso depositado en el fondo de valles tributarios y conos deyección en

la confluencia con el río Cañete. Material arrastrado y lavado por la lluvia (Foto 3 y 4).



Foto 3: Panorámica donde se ha señalado con líneas rojas, el abanico conformado por material proluvial dejado por los constantes huaicos que acarrea la quebrada Picamarán, en cuya superficie se ha asentado el distrito de Zúñiga.

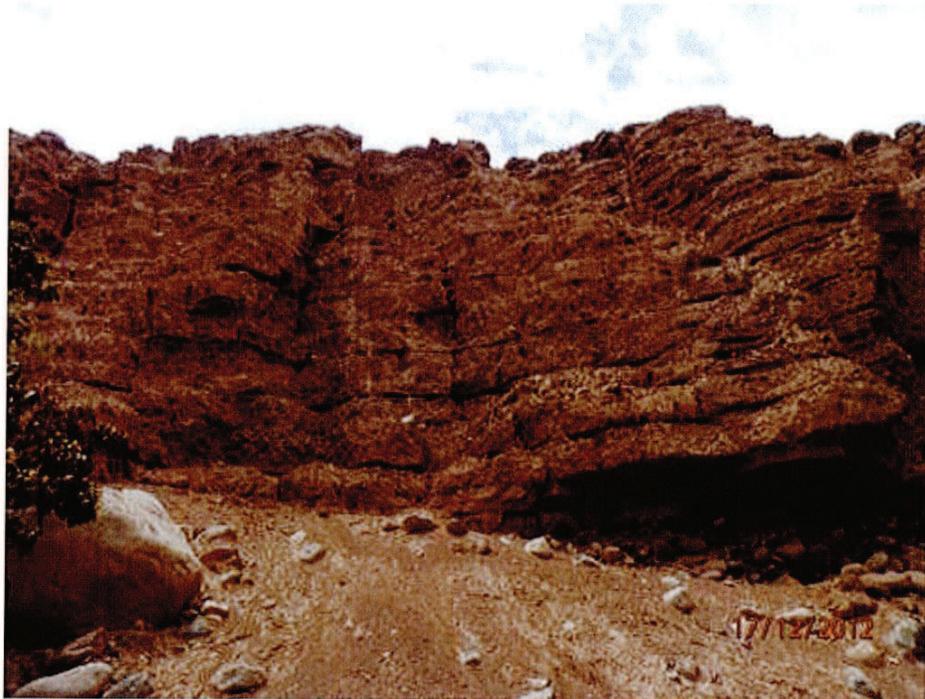


Foto 4: Imagen en la que se puede diferenciar los diferentes depósitos dejados por los huaicos que se forman en las laderas de la margen izquierda del río Cañete, frente a Zúñiga; el material proluvial está compuesto fragmentos de roca desde bolos, bloques, cantos y gravas, envueltos en una matriz areno-limosa.

c) Rocas intrusivas

El Batolito de la Costa está representado por un conjunto de intrusiones cuya composición varía de gabro a granito. Los afloramientos de roca intrusiva tienen, en general, forma alargada en sentido NO-SE, alcanzando

una anchura de 70 km en el río Cañete. Así se tiene en la zona evaluada las siguientes superunidades de roca intrusiva:

Superunidad Incahuasi (K-tgd-i): Compuesta principalmente por tonalita y granodiorita, en algunos sectores cuarzo-dioritas.

Superunidad Tiabaya (K-tgd-t / K-tdi-t): Los cuerpos de roca intrusiva más importantes son: 1) Tonalita-granodiorita cartografiada entre Lunahuaná y la quebrada Cabracancho (Foto 2) y 2) Tonalita-granodiorita entre el cerro Caltopa y Lomas de Lunahuaná.

4.2 GEOMORFOLOGÍA

El poblado de Zúñiga se encuentra ubicado en la margen derecha del valle del río Cañete, que en su recorrido corta la Cordillera Occidental de los Andes en sentido Este-Oeste, el valle presenta en esta zona una etapa tipo cañón cerca del lecho del río y valle en "V" en los flancos. El curso del río Cañete se encuentra disectando secuencias de rocas volcánico-sedimentarias e intrusivas. El área estudiada presenta una topografía accidentada, donde se tienen las siguientes geoformas:

- Geoformas de carácter tectónico-degradacional y erosional, representadas por relieves montañosos modelados en rocas sedimentarias, volcánico-sedimentarias e intrusivas, que pueden alcanzar pendientes superiores a los 30° (Foto 5).

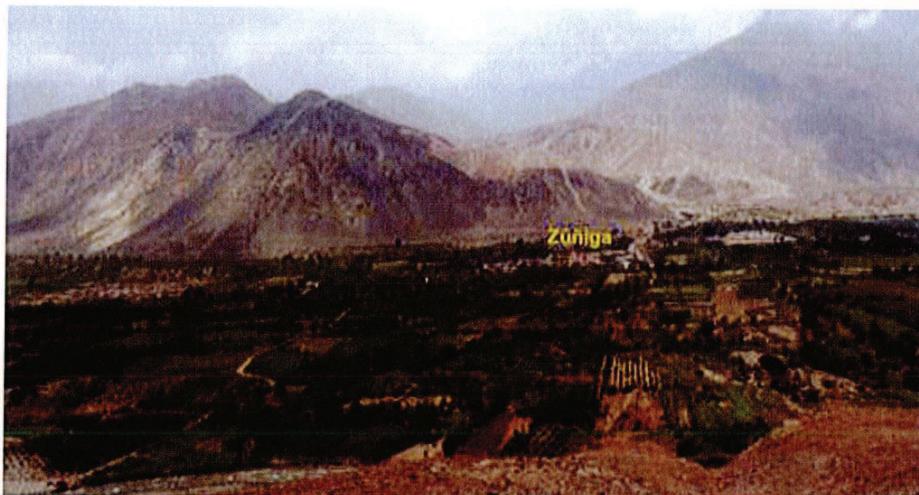
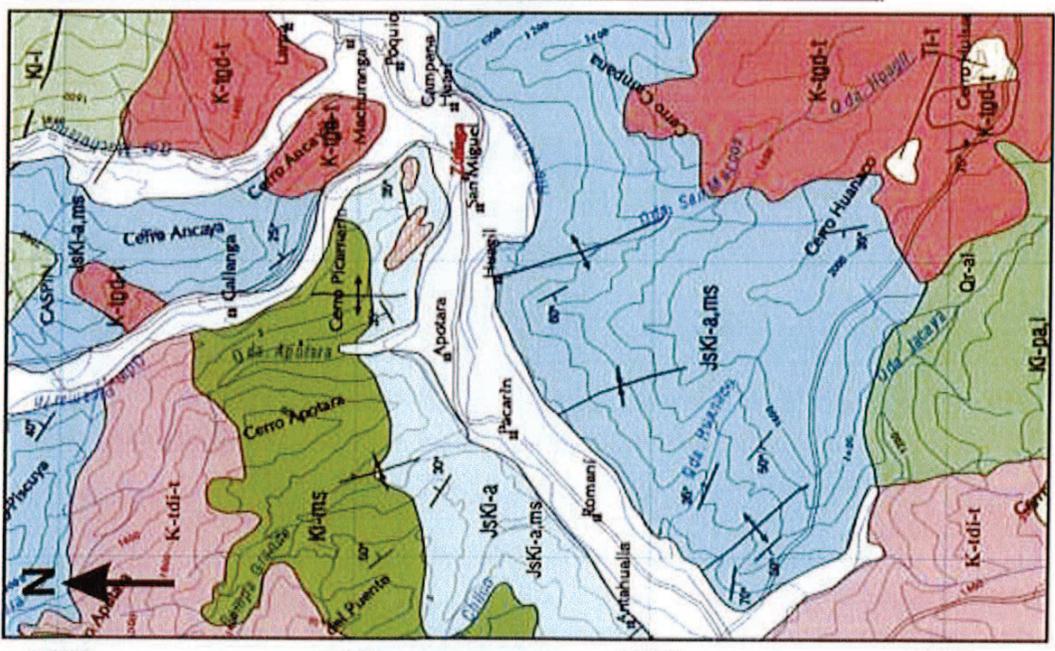


Foto 5: Vista hacia el norte donde se puede ver la unidad geomorfológica de montañas (M), modeladas en rocas volcánico-sedimentarias e intrusivas, al pie se observa al poblado de Zúñiga asentado sobre el abanico proluvial de la quebrada Picamaran.

LEYENDA

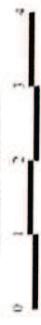
ERA	SIST	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	ROCAS INTRUSIVAS
CENOZOICA	CUATERNARIO	Reciente	Depósitos aluviales Qp-al	BATOLITO DE LA COSTA
		Oligoceno Eoceno	Fm. Tantarà Tt-4	
MESOZOICA	CRETACEO	Superior	Fm. Huranguillo Kx-hr	Taibaya K-tdt-1 Tonallita - Duerita
		Inferior	Gpo. Imperial Kc-1	Tonallita - Gramoduerita K-tdt-2
			Fm. Pamplona Kj-pa	Incahuasi K-tdt-3 Tonallita - Gramoduerita
			Gpo. Morro Solar Kj-ms	
JURASICO	Superior	Fm. Asia Jsk-a		
			Gpo. Morro Solar Jsk-ms	
			Fm. Asia Jsk-a	



SÍMBOLOS

- Falla
- Falla Probable
- Anticlinal
- Rumbos y Bazamiento
- Contacto

Escala Gráfica



Base: Geología del cuadrángulo de Lumbahuasi (Salazar, H. & Landa C., 1993)

Figura 2: Mapa geológico del área de Zúñiga.

- Geformas de carácter deposicional y agradacional, representadas por la formas de terreno resultados de la acumulación de material proveniente de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geformas anteriores, aquí se tiene:

a.- Depósitos de piedemontes (P), localizados al pie de las laderas, resultantes de la acumulaciones de material caído desde las partes altas, por acción de la gravedad, también por flujos de detritos no canalizados, o una combinación de ambos procesos (Foto 6).

b.- Abanicos aluvio-torrenciales (A), localizados en las desembocaduras de quebradas hacia cauces principales; son el resultado de la acumulación de material que fue movilizado a manera de flujos de detritos (huaicos) (Foto 7), los cuales modifican localmente la dirección del curso del río Cañete. Es el caso del abanico proluvial depositado por la quebrada Picamarán, que tiene un ancho máximo de 2,2 km y ha desplazado al curso del río Cañete en promedio unos 550 m hacia su margen izquierda, produciendo erosión fluvial en esa margen.

c.- Terrazas fluviales (T), localizadas a diferentes niveles en ambas márgenes de ríos (Foto 8).

d.- Llanura de inundación (Lli), son superficies bajas, adyacentes a los fondos de valles principales y el mismo curso fluvial, sujetas a inundaciones recurrentes, ya sean estacionales o excepcionales (Foto 9). Morfológicamente se distinguen como terrenos planos compuesto de material no consolidado, removible.

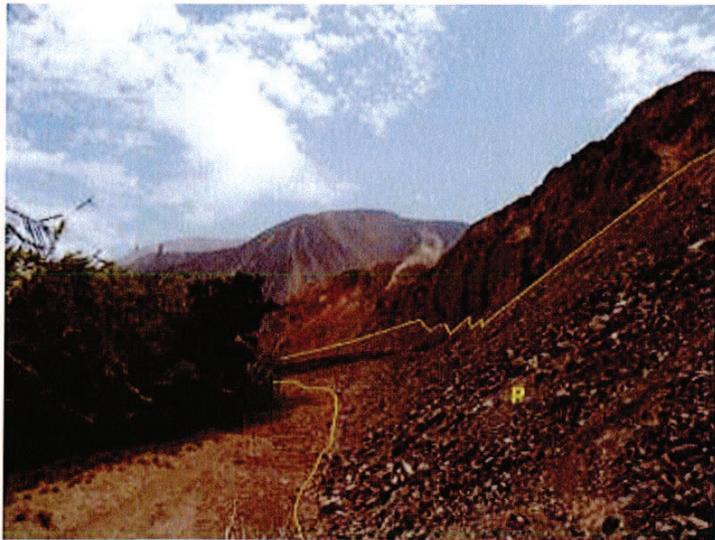


Foto 6: Piedemontes al pie de las laderas localizadas en la margen izquierda del río Cañete, cerca de la zona de deslizamiento.



Foto 7. Abanico aluvio-torrencial formado por la acumulación de huaicos, ubicados en la desembocadura de torrenteras que cortan el deslizamiento del cerro San Francisco.

e.- Islas (Is); esta unidad corresponde a superficies planas a semiplanas, que resultan de la acumulación a manera de islas del material suelto acarreado por la corriente del río Cañete; se ubican en medio de los cauces (Foto 8). Geomorfológicamente están asociados a las Llanuras de inundación y el lecho del río, son susceptibles a procesos de erosión fluvial.

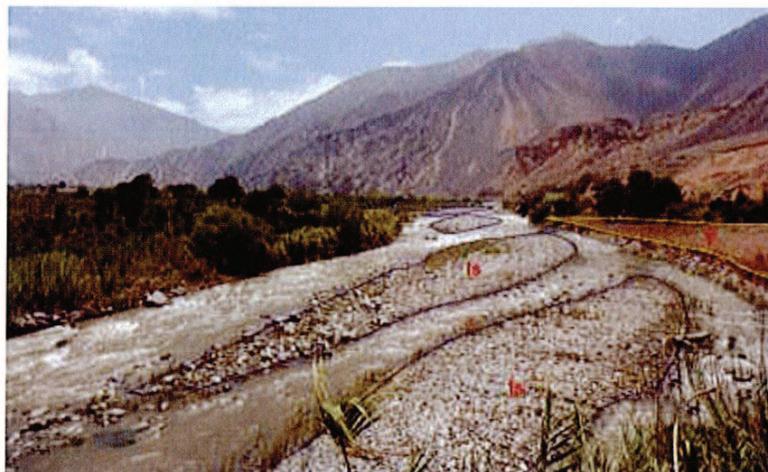


Foto 8: Vista aguas arriba, terrazas (T) aluviales localizadas en la margen izquierda del río Cañete y las islas (Is) en el cauce del río cañete, formados por el material que acarrea.

f.- Monte isla (Mi), paisaje resultado del aplanamiento de cordilleras, que configura cerros aislados. Para el caso particular de la zona evaluada, se tiene la presencia de un promontorio de roca volcánica, tipo andesita, denominado Cerrito Chunta, con un diámetro promedio de 30 m y una altura aproximada de 10 m, originado por la erosión de la ladera (cerro San Francisco Orcco) localizado en la margen izquierda del río Cañete, conformado por rocas de tipo andesita (fracturado y muy alterado), como

resultado de la desviación del cauce del río con el material acumulado por los huaycos que bajan de la quebrada Picamarán (foto 10).

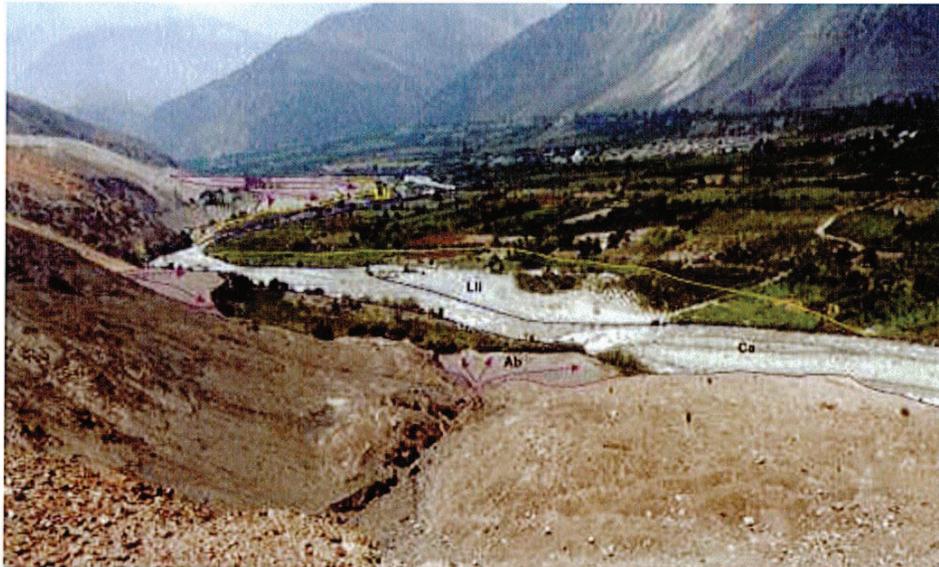


Foto 9: Vista del río Cañete aguas abajo, frente al poblado de Zúñiga donde se diferenciado el cauce actual del río (línea color azul), la llanura inundable (línea color amarilla) y los abanicos aluvio-torrenciales (líneas color lila).



Foto 10 Cerrito Chunta (actualmente ubicado en la margen derecha del río Cañete) circunscrito al abanico aluvio-torrencial de la quebrada Picamaran, que formó parte en el pasado del promontorio denominado cerro San Francisco Orcco, localizado en la margen izquierda.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA

La información disponible de ocurrencias de movimientos en masa en estudios anteriores, así como los trabajos de campo en el sector de Zúñiga, nos permitió determinar que los peligros geológicos por movimientos en masa que ocurren en la zona son de tipo flujos de detritos (huaicos) (Figura 3), asociados a procesos de erosión en cárcavas y deslizamientos; con recurrencias registradas en los últimos 3 años.

5.1 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 una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Varnes (1978), clasifica los deslizamientos, 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 rotacional

En este tipo de deslizamiento, la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla, curva cóncava. Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. Pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1 m/s.

Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuña

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 buza 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). 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.

Los trabajos de campo en la zona de Mayunmarca permitieron identificar tres zonas afectadas por deslizamientos activos, dos localizados en las

márgenes del río Mantaro y una dentro del área de influencia del evento Mayunmarca.

5.1.1 DESLIZAMIENTO ROTACIONAL "D1"

Deslizamiento de tipo rotacional, localizado en coordenadas centrales UTM, WGS-84, 8577120 N y 388900 E, a 850 m.s.n.m., al cual se ha denominado como deslizamiento "D1" y se encuentra localizado al costado del evento actual (deslizamiento del cerro San Francisco Orcco "D2")

Antecedentes del evento: En base a la interpretación de fotos aéreas del año 1962 e imágenes satelitales de diferentes años (2010 y 2012), disponibles en el Google Earth, se puede identificar la presencia de este proceso que produce asentamientos de terreno.

Se describe a continuación el evento D1:

- Deslizamiento tipo rotacional, con superficie de rotura cóncava (Foto 11 y 12).
- Forma de la escarpa: Elongada y recta (Foto 13 y 14).
- Ancho de la escarpa: 180 m (Foto 13)
- Salto principal: 6 m (Foto 11 y 12)
- Saltos secundarios: 0,20 - 2 m (Foto 15)
- Diferencia de altura de la corona a la punta del deslizamiento: 100 m
- Dirección (azimut) del movimiento: N 331°
- Longitud horizontal de la corona a la punta: 270 m
- Longitud total (inclinada): 290 m
- Área del deslizamiento: 45 900 m²
- Espesor estimado del deslizamiento: 4 m
- Volumen de material: Se estima un volumen aproximado de 183 600 m³ de material comprometido en el deslizamiento.
- Sistema de fracturas: Presencia de varias familias de fracturas, que afectan afloramiento rocoso, dejándolo triturado.
- Depósito conformado por material areno-limoso con gravas; clastos de volcánicos andesíticos alterados; de coloración gris verdosa.
- Estado del evento: Se considera en estado activo, con reactivaciones en la escarpa principal y en el cuerpo del deslizamiento (Foto 15).
- Presencia de grietas abiertas localizadas en el cuerpo del deslizamiento, de hasta 0,20 m, con desplazamientos verticales de 0,40 m (Foto 16 y 17).
- Estilo: presencia de escarpa única, con reactivaciones en el cuerpo.
- Distribución: Ensanchando
- No ha represado el río Cañete.

El deslizamiento "D1" ha sido identificado en fotos aéreas de mayo de 1962, por lo que asume que su presencia se remonta a varios años más atrás, en la actualidad se encuentra activo, se ha ensanchado hacia su lado izquierdo, cruzando una torrentera seca (Foto 14), además se puede observar

agrietamientos y asentamientos en el cuerpo del deslizamiento (Figura 4). Se observa también en las fotos aéreas que la zona donde se ubica el actual deslizamiento del cerro San Francisco Orcco "D2", ya existía inicialmente como un derrumbe que afectaba el acantilado, además se acumulaba el material suelto caído desde lo alto del acantilado formando conos de talus al pie.

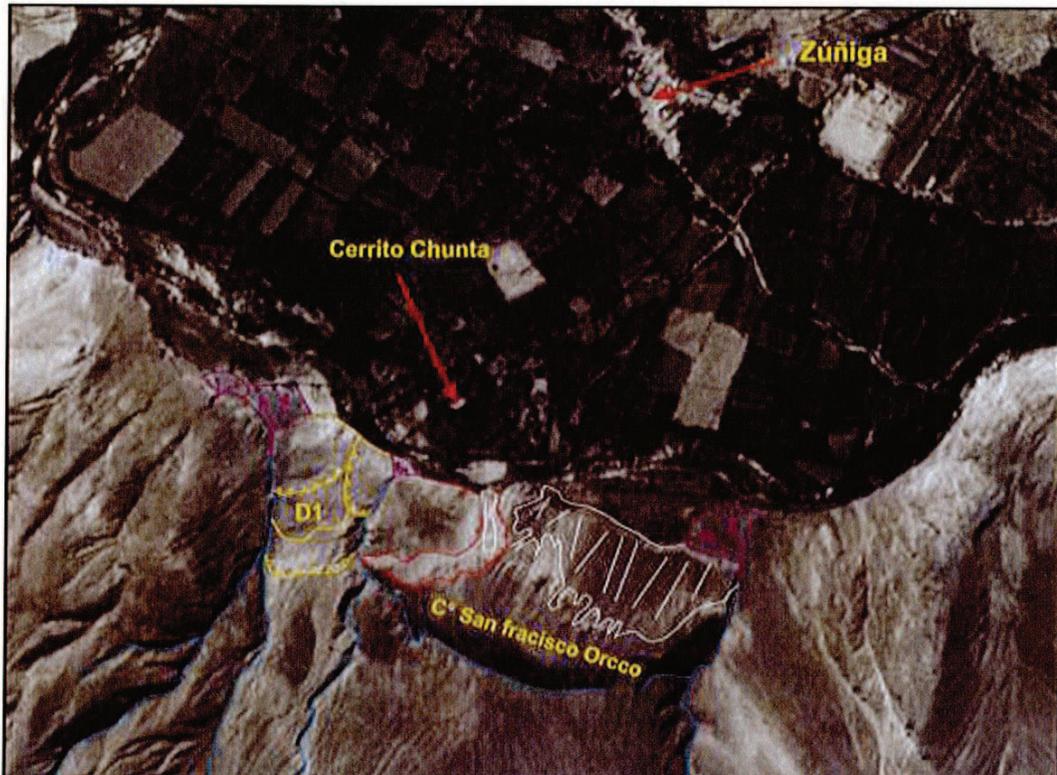


Figura 4: Foto aérea USAF, del 29 de mayo de 1962, donde se ha identificado el deslizamiento "D1" (línea amarilla), también se puede distinguir en líneas rojas el derrumbe que se ha reactivado como el deslizamiento del Cerro San Francisco Orcco "D2" actual.

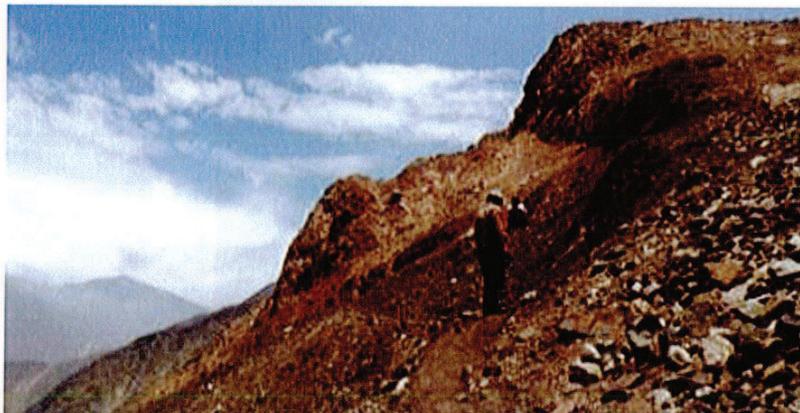


Foto 11: Vista lateral, donde es posible observar el salto principal del deslizamiento D2, de aproximadamente 6 m, también se puede observar parte de la superficie de falla del deslizamiento.



Foto 12: Otra vista de la superficie de deslizamiento principal, donde se observa una grieta abierta con desplazamiento horizontal actual.



Foto 13: Vista lateral abajo del deslizamiento "D1", se ha resaltado con línea azul la escarpa y el cuerpo del deslizamiento, se señala también con una línea roja la dirección del movimiento; el ancho máximo del deslizamiento es de 180 m.



Foto 14: Vista donde se ha resaltado con líneas amarillas la escarpa del deslizamiento "D1", que se ha ensanchado y pasa hacia la margen izquierda de torrentera seca.

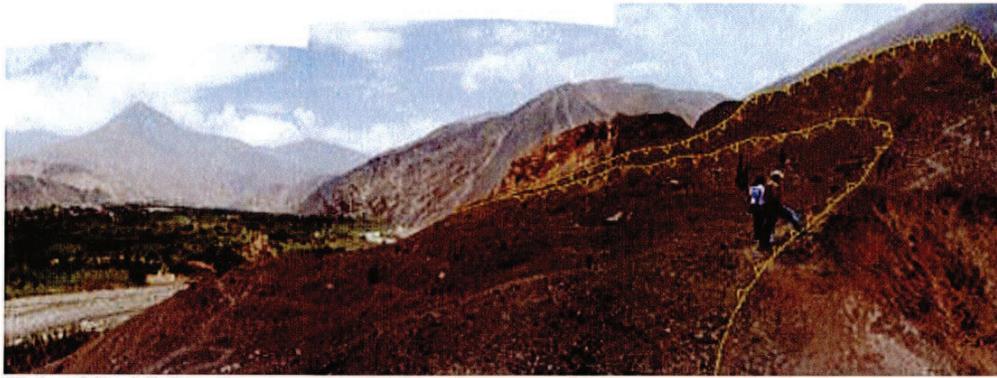


Foto 15: Vista donde se puede observar la escarpa principal y la escarpa secundaria (en líneas amarillas) de reactivaciones posteriores.



Foto 16: Grietas abiertas (líneas amarillas) en el cuerpo del deslizamiento D1, que evidencia el estado activo del deslizamiento.



Foto 17: Grietas con aberturas de hasta 0,20 cm en el cuerpo del deslizamiento D1.

Factores condicionantes y detonantes: Usualmente, en los Andes, los movimientos en masa son detonados por el clima (fuertes lluvias), movimientos sísmicos o por causas antrópicas (malas técnicas en riego, cortes inadecuados, deforestación, etc.). Las condiciones naturales del terreno (suelo o roca), expresadas en su grado de fracturamiento, alteración o meteorización y pendiente de las laderas, se ven afectadas por lluvias cortas e intensas o prolongadas, por la vibración sísmica originada por sismos (locales o por subducción), o la modificación del talud para efectuar un corte para un canal o carretera (Zavala, 2011).

El deslizamiento "D1" se asume que fue condicionado por:

- La pendiente promedio de la ladera, desde donde se inició el deslizamiento supera los 35°.
- El substrato rocoso presente en la zona: La ladera donde arrancó el deslizamiento está conformado por rocas volcánicas, de tipo andesitas, fracturadas y muy alteradas, presenta coloraciones anaranjadas y rojizas (Foto 18).
- Presencia de un suelo areno-limoso con gravas, por donde se infiltra rápidamente el agua de precipitación pluvial.
- El fracturamiento presente en las rocas, le da una condición de triturada.
- Los detonantes pueden haber sido las precipitaciones pluviales intensas que se producen en la zona entre los meses de diciembre-abril, o algún movimiento sísmico.



Foto 18: Roca volcánica andesítica fracturada, con coloraciones rojas, anaranjadas y amarillentas debido a la alteración hidrotermal.

5.1.2 DESLIZAMIENTO DEL CERRO SAN FRANCISCO ORCCO "D2"

Este deslizamiento afecta la ladera norte del sitio denominado cerro San Francisco Orcco, que es una colina que alcanza los 160 m de altura, respecto a su nivel de base que es el cauce del río Cañete. Este evento

tiene como coordenadas centrales UTM, WGS-84: 8577167 N y 389124 E, a 900 m.s.n.m.

Antecedentes del evento: Como se había indicado líneas arriba en la descripción del deslizamiento "D1"; la zona en donde se viene produciendo el deslizamiento (Cerro San Francisco Orcco), ya presentaba actividad geodinámica para mayo de 1962; esta historia geodinámica se resume a continuación:

- 29 de mayo de 1962 (Foto aérea USAF): En la zona donde se desarrolla el deslizamiento actual del cerro San Francisco, se tiene un derrumbe que produjo el asentamiento de la ladera (Figura 5), conformada por rocas volcánicas, de tipo andesitas fracturadas y muy alteradas. El derrumbe presenta una zona arranque irregular de unos 165 m de ancho y 120 de altura; así también, en su lado derecho, se tiene la presencia de un cono de talus, formado por los materiales sueltos que caen desde el acantilado dejado por el derrumbe, estos materiales se depositan al pie. Se evidencia erosión fluvial en la margen izquierda (líneas amarilla).

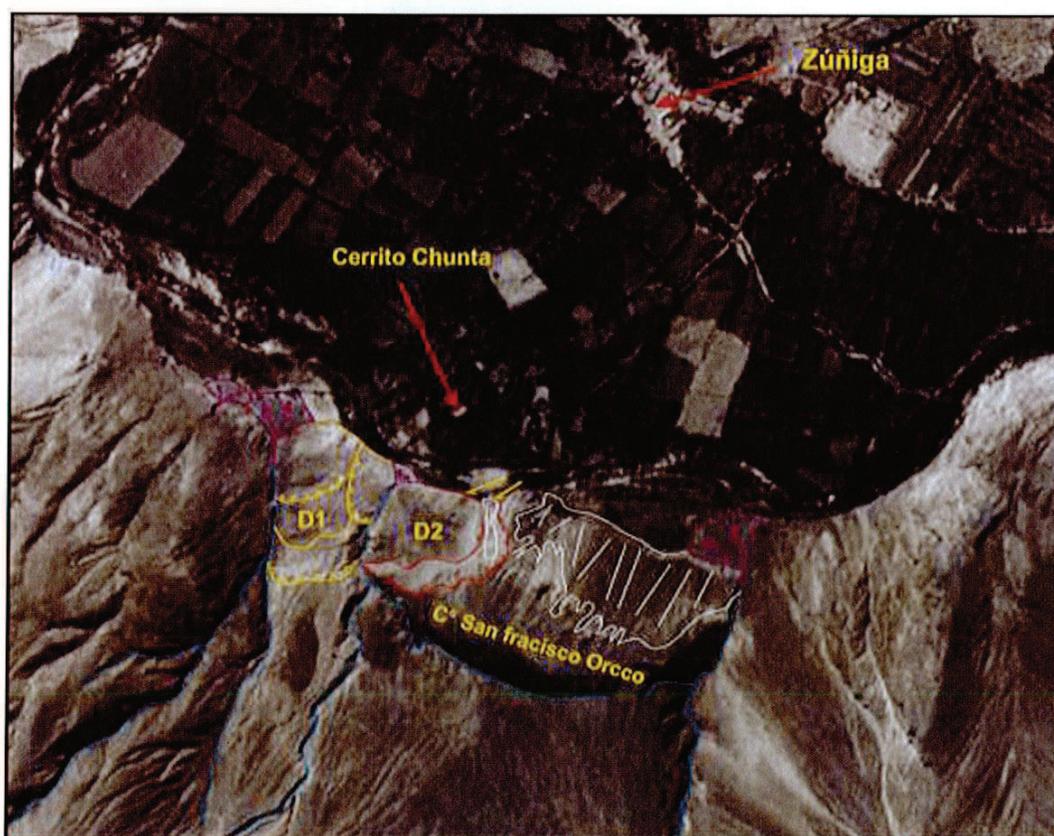


Figura 5: Foto aérea USAF del 29 de mayo de 1962, en donde se ha señalado con línea roja, el derrumbe que afectó inicialmente el cerro San Francisco, con línea blanca se destaca los conos de talud.

- 23 de mayo del 2010 (Imagen satelital Google Earth): 20 años después, en la imagen de alta resolución (Figura 6), es posible distinguir que la zona de

derrumbe (línea roja), aparentemente no ha sufrido movimientos nuevos. En el cono de talus el material se sigue acumulando por efecto de la acción de la gravedad. El proceso de erosión fluvial continua al pie del derrumbe (líneas azules)

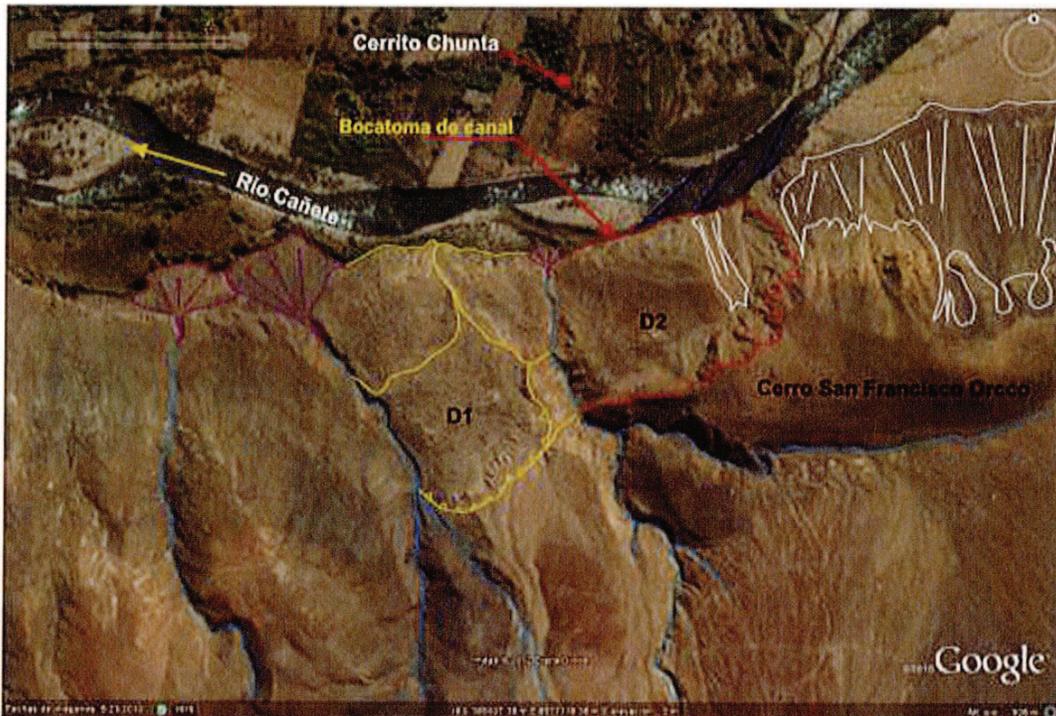


Figura 6: Imagen satelital disponible en Google Earth (Mayo del 2010), en líneas rojas la zona de derrumbes, aparentemente sin movimientos nuevos.

- 11 de octubre de 2012 (Imagen satelital Google Earth): se evidencia la aparición de una grieta por detrás de la zona de derrumbe, a 35 m de distancia del borde de la zona de arranque (Figura 7), se considera que esta es la etapa inicial de la formación del deslizamiento rotacional, al que denominamos deslizamiento del Cerro San Francisco "D2". La erosión fluvial continúa al pie del derrumbe.

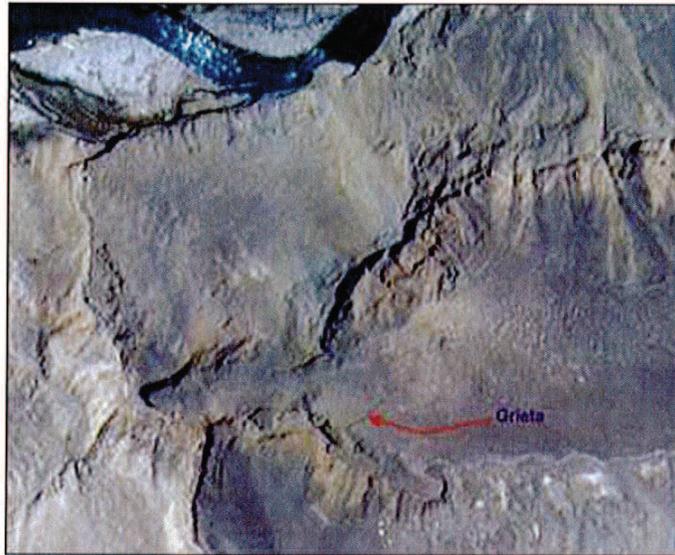


Figura 7: Un acercamiento de la zona de derrumbe, donde se indica con flecha roja, la aparición de una grieta encima de la zona de arranque de derrumbe, es el inicio del deslizamiento del cerro San Francisco.

- 17 de diciembre del 2012: fecha en la que se realizó los trabajos de inspección de campo; se pudo evidenciar la actividad del deslizamiento, hay una constante caída de material desde la parte alta del cerro, que generan intensas polvaredas de coloraciones amarillo, anaranjado y rojo, debido a que la roca volcánica tipo andesita comprometida en el deslizamiento se encuentra muy alterada, lo que le da las diferentes coloraciones al terreno (Foto 19).

Según versión de los pobladores de Zúñiga, el colapso de la ladera se inició a mediados del mes de noviembre, se tiene hasta la actualidad un avance de 50 m por detrás de la antigua zona de arranque de derrumbe (Figura 8). Los movimientos en la masa deslizada, no presentan la misma velocidad, siendo mayores los avances en el flanco izquierdo del deslizamiento, donde se tienen asentamientos del orden de 2 m, con aberturas de 3-4 m, formación de horst (bloques levantados) y gravens (bloques hundidos) (Fotos 20 y 21), los bloques se encuentran basculados hacia la cara libre, la ladera se encuentra abombada (Foto 22), se produce la caída de material hacia el cauce del río Cañete (Foto 23).



Figura 8: Imagen satelital disponible en el Google Earth, de noviembre del 2012, donde se indica con línea amarilla gruesa, los límites actuales del deslizamiento de Cerro San Francisco Orcco "D2", así como el ensanchamiento sufrido por el deslizamiento "D1".

En el flanco izquierdo del deslizamiento los desplazamientos son menores, aquí el terreno presenta grietas paralelas, con aberturas de 0,50 m y saltos del orden de 0,20 - 0,30 m (Fotos 24-28).

El cono de talus, localizado en el lado izquierdo de derrumbe antiguo, presenta mayor acumulación de material de gravas arenas y limos, producto de los asentamientos producidos por el deslizamiento.

El deslizamiento "D1", se reactiva y se ensancha por detrás de la torrentera que limitaba su flanco izquierdo, se producen asentamientos y agrietamientos nuevos dentro del cuerpo de este deslizamiento.

Continúa el proceso de erosión fluvial en la margen izquierda al pie del deslizamiento.

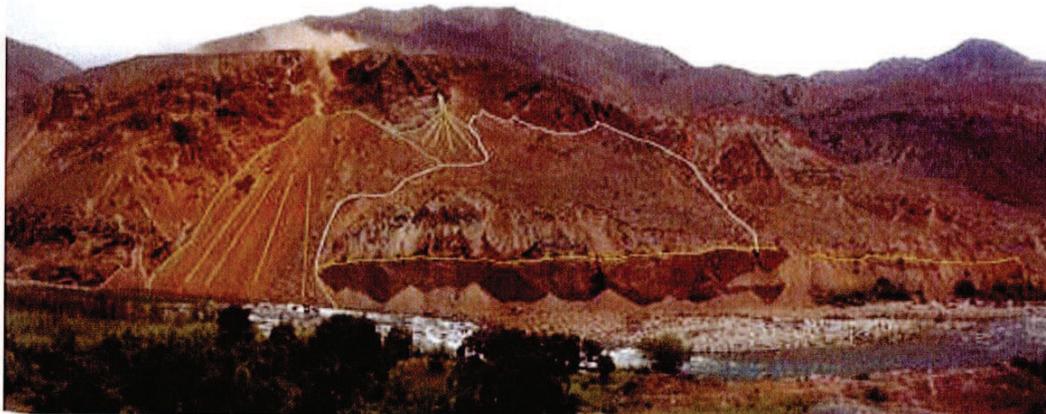


Foto19: Vista frontal del deslizamiento del Cerro San Francisco Orcco "D2", se ha señalado con línea blanca el cuerpo del derrumbe antiguo, así mismo se ha diferenciado con líneas amarillas la superficie inferior del derrumbe, también se señala con líneas color verde claro los conos de talus que se forman por el material que se colapsa. Es posible ver una polvareda de color anaranjado en el lado izquierdo de la foto en la parte superior del acantilado.

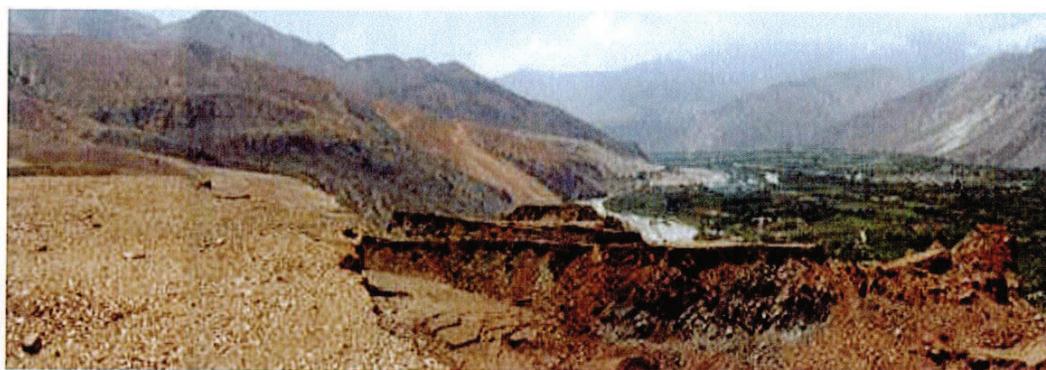


Foto 20: Vista con dirección hacia el Oeste, donde se puede ver el salto principal del deslizamiento en su flanco izquierdo, el asentamiento y basculamiento del terreno con la formación de horts y graves.



Foto 21: Vista hacia el Este, donde se muestra el asentamiento del acantilado.



Foto 22: Abombamientos en el flanco izquierdo del deslizamiento del Cerro San Francisco Orcco "D2", es posible bloques colgados producto del basculamiento.



Foto 23: Material suelto que forma cono de talus, al pie de la ladera, incluso alcanza el cauce del río Cañete.



Foto 24: Vista hacia el Este del flanco derecho del deslizamiento del Cerro San Francisco Orcco "D2", la escarpa tiene saltos verticales de menor desplazamiento.



Foto 25: Escarpa principal del deslizamiento, con aberturas del 0,30 m.



Foto 26: Agrietamientos paralelos en el flanco derecho del deslizamiento.



Foto 27: Otra vista de la escarpa principal del deslizamiento en el flanco derecho del deslizamiento.

Descripción del deslizamiento: En forma general se puede clasificar este tipo de movimiento en masa como un deslizamiento rotacional, que compromete un substrato de roca muy alterada y fracturada (Foto 28). El deslizamiento presenta una zona de arranque de forma recta, donde el plano de falla es vertical en la corona y según profundiza en el terreno se hace circular-cóncava (Figura 9). El material colapsado se deposita en el cauce del río Cañete, estos volúmenes de material, hasta el momento no son lo suficientemente grandes como para represar río, muy por el contrario parte del material es lavado y removido por el caudal actual del río. Las dimensiones del deslizamiento son:

- Deslizamiento tipo rotacional, con superficie de deslizamiento cóncava.
- Forma de la escarpa: recta.
- Ancho de la escarpa: 250 m
- Salto principal: 3 m
- Saltos secundarios: 0,50 – 1,0 m
- Diferencia de altura de la corona a la punta del deslizamiento: 150 m
- Dirección (azimut) del movimiento: N 329°
- Longitud horizontal de la corona a la punta: 200 m
- Longitud total (inclinada): 250 m
- Área del deslizamiento: 48 000 m²
- Espesor estimado del deslizamiento: 5 m
- Volumen de material: Se estima un volumen aproximado de 240 000 m³ de material comprometido en el deslizamiento.
- Sistema de fracturas: Presencia de varias familias de fracturas, que afectan afloramiento rocoso, se presenta triturado.
- Tipo de suelo: areno-limoso, con gravas

- Depósito de deslizamiento conformado por material areno-limoso con gravas; clastos de volcánicos andesíticos de coloración gris verdosa, los afloramientos alterados presentan coloraciones amarillas, anaranjadas y rojizas.
- Estado del evento: Se considera en estado activo, reactivado en una ladera afectada por un derrumbe antiguo.
- Presencia de grietas abiertas con aberturas de 0,50 m, localizadas en la corona y cuerpo del deslizamiento, con desplazamientos verticales de 0,30 m.
- Estilo: presencia de escarpa única.
- Distribución: Retrogresivo
- Por el momento no se ha producido un represamiento total del río Cañete, solo se observa la acumulación de material en parte del cauce, el cual es removido por el caudal del río. La formación de un represamiento y que además forme un embalse, dependerá de la cantidad de material que se colapse de la ladera y del caudal que discurra en esos instantes por el río. Por la condición morfológica del sitio, es posible que de producirse el colapso de un gran volumen de material hacia el río, este tienda a erosionar hacia su margen derecha, socavando y erosionando el depósito de abanico aluvio-torrencial, depositado por la quebrada Picamaran, con la consecuente afectación de terrenos de cultivo y las viviendas aisladas que se encuentran en esa zona.
- Las posibilidades del colapso de un gran volumen de terreno aumentan con la proximidad de la temporada de lluvias en la zona.

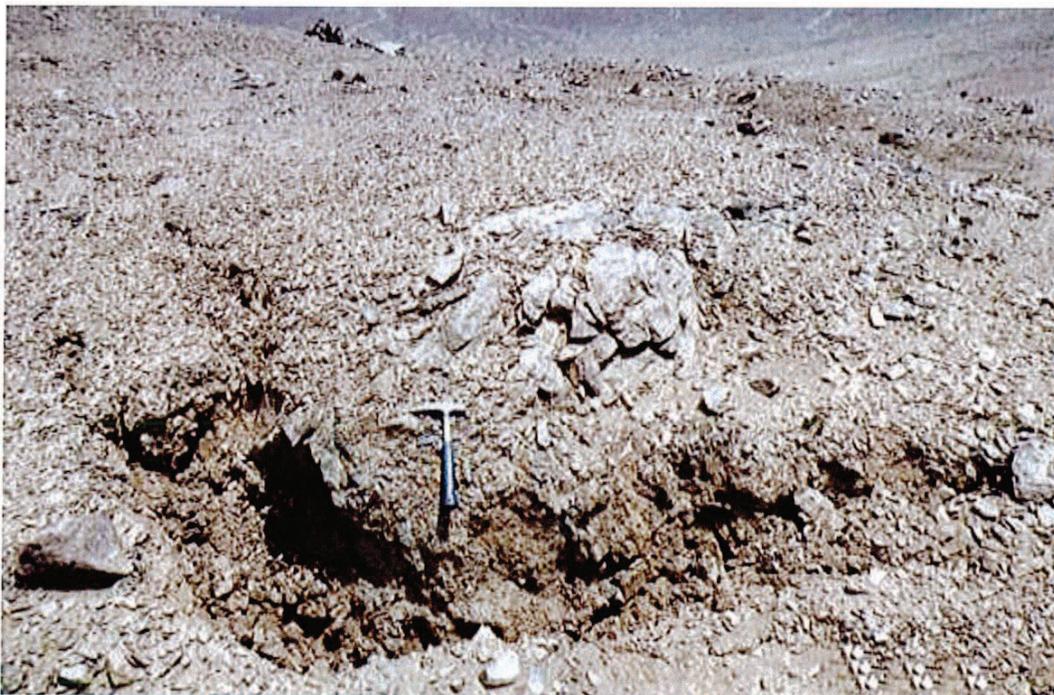


Foto 28: Afloramiento de roca volcánica andesítica, fracturada y alterada, formación de suelo areno-limoso, con gravas. También es posible observar la escarpa del deslizamiento.

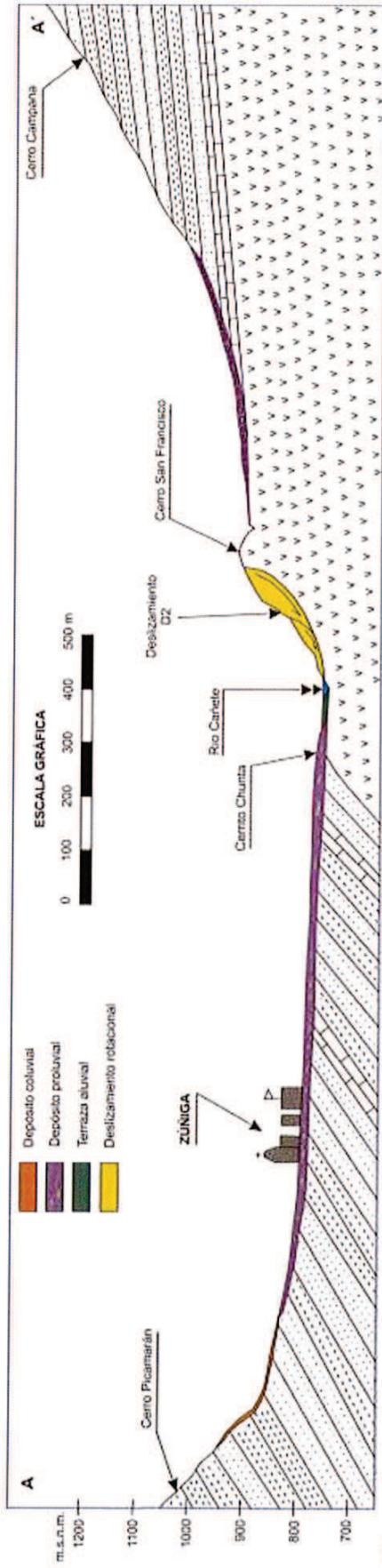


Figura 9: Perfil Norte-Sur (A-A'), donde se grafica la ubicación del poblado se Zúñiga, el río Cañete y el deslizamiento del Cerro San Francisco "D2".

El deslizamiento del Cerro San Francisco "D2" fue condicionado por:

- La pendiente promedio de la ladera, desde donde se inició el deslizamiento supera los 40°.
- Litología de la ladera: la zona de arranque del deslizamiento está conformado por rocas volcánicas, de tipo andesitas, fracturadas y muy alteradas, presenta coloraciones anaranjadas y rojizas.
- El intenso fracturamiento de las rocas.
- La presencia de afloramientos de agua subterránea al pie del deslizamiento (foto 29), las cuales humedecen el terreno, saturan, incrementan su peso y reducen la resistencia al esfuerzo cortante; produciéndose luego, el colapso de la ladera.
- Erosión fluvial de la base de la zona deslizada.
- La actividad antrópica: Manifestada con la ubicación de una bocatoma de canal al pie del que fue primero un derrumbe y actualmente se ha reactivado como un deslizamiento, favoreciendo de esta manera que el proceso de erosión fluvial en esta zona continúe.

Daños causados:

- El deslizamiento rotacional solo ha producido el asentamiento del terreno eriazo.
- El material caído, destruyó bocatoma y parte de canal de regadío de plantas frutales ubicadas sobre terrazas en la margen izquierda del río Cañete.

5.2 FLUJOS DE DETRITOS (HUAICOS)

Antecedentes del evento: De igual forma que para los deslizamientos identificados en las fotos aéreas del año 1962, es posible observar que las grandes quebradas tributarias del río Cañete (quebradas San Marcos, Huancapoquio, Apotara, y Picamaran) (Foto 3), así como de torrenteras de menor longitud, que se encuentran cerca del poblado de Zúñiga, presentan una actividad intensa de ocurrencia de flujos de detritos (huaicos), puesto de manifiesto en los grandes abanicos proluviales que se forman en su desembocadura al río Cañete; variado localmente la dirección de su curso. Las grandes quebradas se activan en periodos de lluvias excepcionales; mientras que las torrenteras (que discurren por las laderas) con lluvias ocasionales a estacionales.

En el sector donde se localiza el deslizamiento del Cerro San Francisco "D2", se tienen tres torrenteras secas, que drenan al río cañete, en cuyas desembocaduras se depositan abanicos de material proluvial gravo-arenoso (Fotos 7 y 9), con limos; que se activan ocasionalmente. También se observan las laderas del Cerro Campana, al sur del Cerro San Francisco, con intensa erosión, y presencia de surcos y cárcavas, las cuales acarrean flujos de detritos ocasionalmente. Estos forman abanicos (Foto 29), que se depositan en la pequeña cuenca que forma el promontorio del Cerro San Francisco (Figura 9 y Foto 30). Los materiales proluviales son de tipo gravo-arenoso, que provienen de la erosión de rocas volcánicas sedimentarias e intrusivas, que se encuentran en las partes altas del cerro.

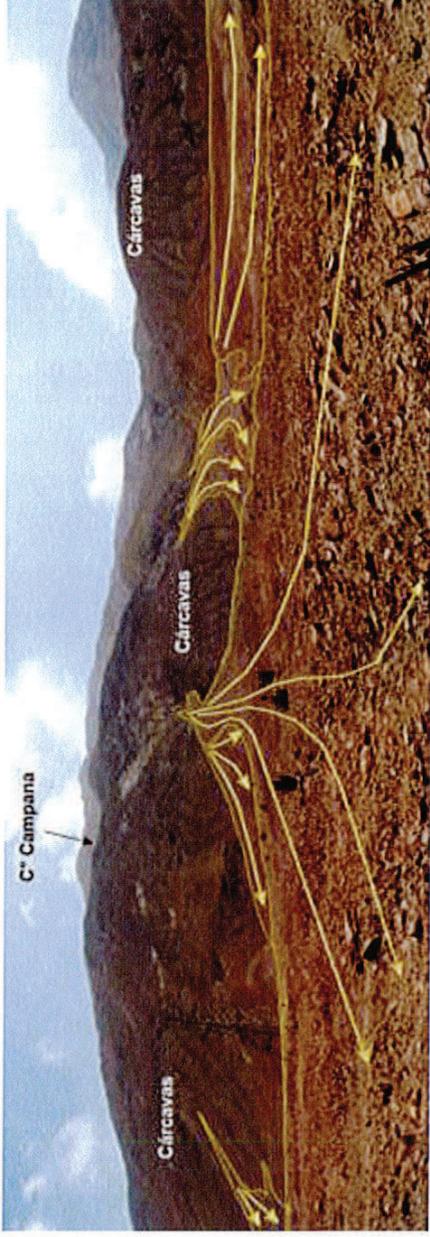


Foto 29. Abanicos de material proluvial localizado detrás del cerro San Francisco Orcco, también los surcos y las cárcavas.



Foto 30: Se señala con líneas blancas los flujos de detritos que bajan del cerro Campana y se depositan en la pequeña cuenca formada detrás del Cerro San Francisco Orcco.

6. CONDICIONES ACTUALES DEL SITIO

En la actualidad las características intrínsecas que condicionaron la ocurrencia del deslizamiento rotacional persisten, por lo que se debe tener presente la probabilidad de nuevos colapsos y asentamiento del terreno; esta apreciación se sustenta en las siguientes condiciones observadas:

- El ángulo fuerte (40°) de la pendiente del acantilado donde se produce el deslizamiento.
- Presencia de suelos areno-limoso con gravas, los cuales permiten la infiltración rápida del agua proveniente de precipitaciones pluviales, que humedecen el suelo, restándole estabilidad y haciéndolo susceptible a que se movilice ladera abajo.
- Presencia de conos de Talus (conformado por material fino, gravas y cantos) en el cuerpo del deslizamiento, los cuales también pueden perder estabilidad ante fuertes precipitaciones pluviales, se saturan y movilizan hacia el cauce obstruyéndolo.
- Reactivaciones en la zona de derrumbe antiguo (1962), con la ocurrencia del deslizamiento del Cerro San Francisco Orco "D2" en el mismo sitio, que afectaron toma y canal de regadío.
- Presencia de un deslizamiento antiguo "D1" reactivado, que produce el asentamiento de la ladera.
- Presencia de grietas con aberturas de hasta 0,50 m en el cuerpo de los deslizamientos activos, por donde se puede infiltrar las aguas de precipitación pluvial, que satura el terreno, altera y debilita el substrato.
- Presencia de un substrato rocoso de tipo andesitas fracturado, se puede considerar que la roca se encuentra en un estado triturado.
- Alteración hidrotermal intensa del substrato rocoso andesítico.
- Presencia de aguas subterráneas, que afloran al pie del deslizamiento del cerro San Francisco Orco "D2".

7. CONCLUSIONES

- 1) En el sector Cerro San Francisco Orcco, localizado frente a la comunidad de Zúñiga (margen izquierda del río Cañete), se identificaron dos deslizamientos de tipo rotacional, los cuales se denominaron: D1) deslizamiento y D2) deslizamiento del Cerro San Francisco Orcco (D2), que son reactivaciones de un antiguo deslizamiento.
- 2) Los deslizamientos son condicionados por: 1) pendiente de la ladera; 2) presencia de rocas volcánicas, de tipo andesitas, muy fracturadas y muy alteradas; 3) intenso fracturamiento de las rocas (roca triturada); 4) presencia de afloramientos de agua subterránea (puquiales); 5) erosión fluvial en la base de la zona deslizada; 6) actividad antrópica (ubicación de la bocatoma de un canal al pie de un derrumbe)
- 3) Los deslizamientos se evidencian como asentamiento en terrenos eriazos, observándose saltos verticales de 3 a 6 m. En esta temporada de lluvias, se puede producir el colapso de estas laderas con volúmenes mayores a los que ya se han producido.
- 4) Por el momento no se ha producido un represamiento total del río Cañete, solo la acumulación material en el cauce, el cual es removido constantemente por el caudal del río. La formación de un represamiento y que además forme un embalse, dependerá de la cantidad de material que se colapse de la ladera y del caudal que discurra en esos instantes por el río. Por la condición morfológica del sitio, es posible que de producirse el colapso de un gran volumen de material hacia el río, este tienda a erosionar hacia su margen derecha, socavando y erosionando el depósito de abanico proluvial, depositado por la quebrada Picamaran, con la consecuente afectación de terrenos de cultivo y las viviendas aisladas que se encuentran en esa zona.
- 5) Las posibilidades del colapso de un gran volumen de terreno aumentan con la proximidad de la temporada de lluvias en la zona.
- 6) Dado que las condiciones actuales de inestabilidad continúan en la zona del deslizamiento, debido a la presencia de bloques basculados, colgados e inestables, grietas abiertas paralelas en el cuerpo del deslizamiento, esta zona se considera con de **PELIGRO INMINENTE**, principalmente con lluvias excepcionales y con la ocurrencia de movimientos sísmicos.


COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO DEPARTAMENTAL DEL CALLAO

nº CIP. Manuel Salomon Vilchez Mata
ING. GEOLOGO
REG. N° 61712

8. RECOMENDACIONES

Dentro de las recomendaciones que deben de tomarse en cuenta a corto y mediano plazo se tienen:

1. Debido a que la condición de inestabilidad de la ladera continua, como primera medida se debe de reducir o prohibir el paso de personas por el área afectada por el deslizamiento, ya que pueden caer dentro de las grietas abiertas, así como nuevas reactivaciones pueden poner en riesgo su seguridad física. Esto puede realizarse señalizando la zona, con la colocación de un aviso o letrero que advierta el peligro.
2. No realizar trabajos de rehabilitación del canal de regadío, ya que las condiciones de inestabilidad de la ladera continúan; esto representaría un peligro muy alto para la seguridad física de las personas.
3. Relleno y sellado de grietas abiertas, localizadas sobre la corona de deslizamiento, para evitar la infiltración de agua en la siguiente estación de lluvias, que favorecerían la saturación de los materiales y aceleraría su movimiento o colapso.
4. Al estar próxima la temporada de lluvia en la zona, es muy probable que la caída de material hacia el río Cañete continúen, por lo que las autoridades deben estar preparados con la maquinaria necesaria para descolmatar el cauce de los materiales caídos, que permita el libre discurrir del caudal de agua, así como también evitar procesos de erosión en la margen derecha, que afecte terrenos de cultivo.
5. Evacuar a las personas que ocupan las viviendas que se encuentren en margen derecha del río Cañete, frente a la zona del deslizamiento del Cerro San Francisco Orcco "D2" (ubicadas a inmediaciones del Cerrito Chunta), que pudieran ser afectadas ante desbordes del río.
6. Construir una defensa rivereña en la margen izquierda del río Cañete, al pie del deslizamiento del Cerro San Francisco Orcco "D2", para controlar la erosión fluvial en este punto, esto puede ser por medio del arrimado de material y enrocado, o colocando gaviones. Ver Figura 10.
7. Una vez construida la defensa ribereña, se podrá rehabilitar la bocatoma del canal de regadío.
8. Implementar un sistema de monitoreo en el deslizamiento del cerro San Francisco Orcco "D2", que permita determinar la existencia de movimiento en la masa deslizante, este puede estar constituido por estacas de madera o varillas de fierro, las cuales deben estar colocadas tanto dentro del deslizamiento, como en una zona estable, realizándose medidas de la distancia entre estacas, cada cierto tiempo, aumentando la frecuencia de medidas durante periodos de lluvia. De detectarse movimientos rápidos, se informara a la población para que pueda realizarse la evacuación de las zonas que pueden resultar afectadas.
9. Los pobladores de Zúñiga, deben organizarse y poner en práctica un sistema de alerta temprano, que les permita informarse rápidamente de la ocurrencia de flujos de detritos (huaicos), que puedan generarse en la quebrada Picamaran Este sistema de alerta, puede estar constituido por radios de

comunicación, campanas, silbatos, etc., donde los pobladores deben estar muy bien habituados con el significado de su sonido.

10. Se debe de realizar en el poblado de Zúñiga un trabajo de identificación y señalización de rutas de evacuación hacia las zonas altas, así como de las zonas de refugio de producirse flujos de detritos (huaicos).

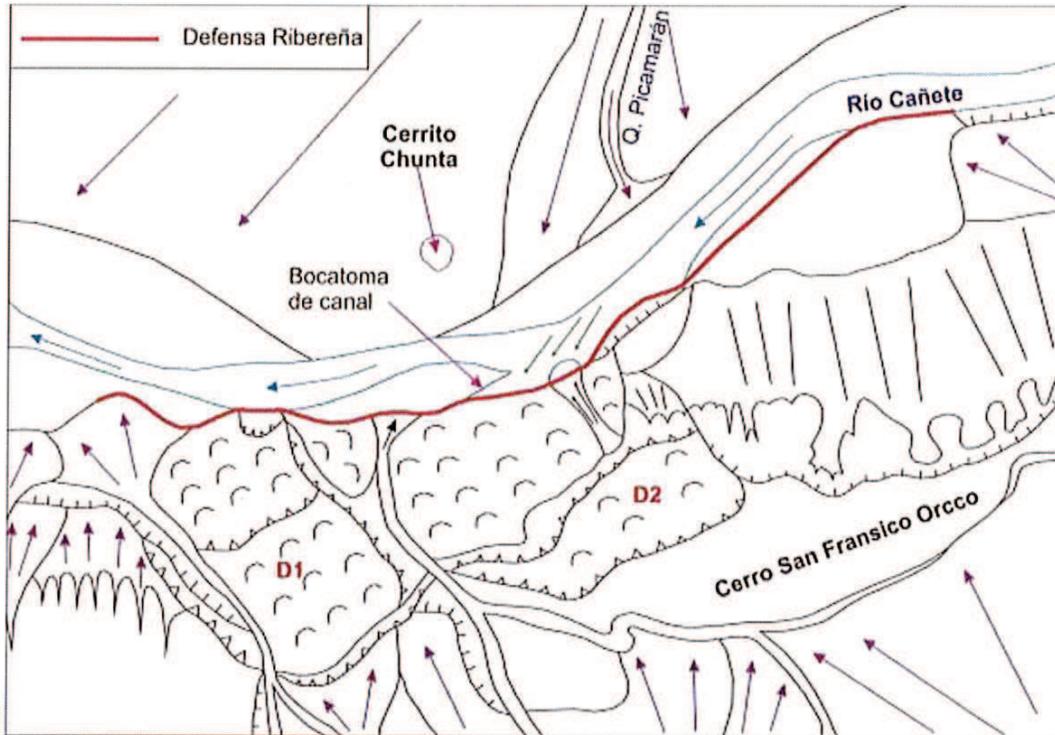


Figura 10: Croquis donde se muestra en línea roja, la ubicación y extensión aproximada de la defensa ribereña a construir en la margen izquierda del río Cañete.


COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO DEPARTAMENTAL DEL CALLAO

Ing° CIP. Manuel Salomón Vilchez Mat.
ING. GEOLOGO
Reg. N° 0121°

REFERENCIAS

De la Cruz, W. y Rosell, W (2003) Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Lunahuaná. Lima: INGEMMET.

Evans S.G., & Hungr, R. (1993) *The assessment of rockfall hazards at the base of talus slopes*. Canadian Geotechnical Journal, Canada. Number 30/4. Pp. 620-636.

Instituto Nacional de Recursos Naturales (1996) - *Guía explicativa del mapa forestal 1995*. Lima: INRENA. 225 p.

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 Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

Salazar, F. y Landa, C. (1993) Geología de los cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conayca, Chíncha, Tantarà y Castrovirreyna. Serie A, Boletín N° 44. Lima: INGEMMET.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (1988) – Mapa de clasificación climática del Perú, escala: 1:1'000.000. Lima: SENAMHI.

Varnes, D.J. (1978) – Slope movement types and processes. In landslides, and control, Edited by R.L. Schuster and R.J. Krizek. Transportation Research Board, National research Council, Washington, D.C. Special Report 176. Pp. 11-33.

Zabala, B. (2011) - *Inspección técnica del derrumbe en la localidad de Tuti. Distrito de Tuti, provincia de Cailloma, región Arequipa*. Lima: INGEMMET, 14 p. (Disponible A.T. Ingemmet A6579).