

Informe Técnico N° A6575

Deslizamiento de tierras en el Cerro Pucruchacra

Distrito San Mateo de Huanchor, provincia Huarochirí, región Lima



POR:

ING. SEGUNDO NUÑEZ JUÁREZ
ING. DULIO GÓMEZ VELÁSQUEZ

SETIEMBRE 2011

CONTENIDO

1.0	INTRODUCCIÓN	4
2.0	ASPECTOS GENERALES.....	7
3.0	GEOMORFOLOGÍA Y PROCESOS	9
3.1	MODELO DIGITAL DEL TERRENO Y PENDIENTE DE LOS TERRENOS Y PENDIENTES DEL TERRENO	12
4.0	UNIDADES LITOLÓGICAS.....	18
4.1	DEPOSITOS SUPERFICIALES (INCONSOLIDADOS).....	18
4.2	SUBSTRATO ROCOSO	20
5.0	MOVIMIENTOS EN MASA EN EL CERRO PUCRUCHACRA.....	22
5.1	EVIDENCIAS DE MOVIMIENTOS EN MASA ANTIGUOS Y RECIENTES EN LOS ALREDEDORES DE SAN MATEO.....	22
5.1.1	MOVIMIENTOS EN MASA ANTIGUOS.....	22
5.1.2	MOVIMIENTOS EN MASA ANTIGUOS REACTIVADOS.....	24
5.1.3	MOVIMIENTOS EN MASA RECIENTES.....	25
5.2	DESLIZAMIENTO EN EL CERRO PUCRUCHACRA	36
5.2.1	GEOMETRÍA DEL DESLIZAMIENTO	36
5.2.2	INFORMACIÓN PREVIA	37
5.2.3	SECCIONES.....	37
5.2.4	CAUSAS DE LAS REACTIVACIONES RECIENTES.....	38
6.0	ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS.....	51
6.1	INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.....	51
6.2	PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS.....	53
6.3	HIDROQUÍMICA	54
7.0	PELIGRO SÍSMICO EN EL CERRO PUCRUCHACRA.....	57
7.1	GENERALIDADES	57
7.2	SISMICIDAD HISTORICA	57
7.3	DISTRIBUCIÓN DE INTENSIDADES SISMICAS MAXIMAS	61
7.4	SISMOTECTONICA DE LA REGION.....	61
7.5	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS SISMOS	63
7.6	ESTUDIO SISMICO PROBABILISTICO.....	63
7.7	ZONIFICACIÓN Y ACELERACIONES MÁXIMAS	65
7.8	SISMO DE CONTAMANA DEL 24 DE AGOSTO DEL 2011.....	68
7.8.1	EFFECTOS DEL SISMO EN EL CERRO PUCRUCHACRA	68
8.0	ZONAS CRÍTICAS, AFECTADAS Y/O COMPROMETIDAS.....	70

8.1	ZONA CRÍTICA 1: Km. 93+000 CARRETERA CENTRAL	71
8.2	ZONA CRÍTICA 2: CANAL ADUCTOR EN SUPERFICIE, PORTAL DE ENTRADA AL TÚNEL	72
8.3	ZONA CRÍTICA 3: SUR (Terrenos de cultivo parte alta)	73
8.4	ZONA CRÍTICA 4: NORTE (COBERTIZO DE GANADO)	74
8.5	ZONA CRÍTICA 5: NORTE (Hito 7_1 – Daza – Carretera Central)	74
9.0	PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN LOS PROCESOS GEOLÓGICOS	77
9.1	EVALUACIÓN DE LOS FACTORES DE INFLUENCIA	77
9.1.1	FACTORES NATURALES.....	77
9.1.2	FACTORES ANTRÓPICOS.....	78
9.2	MEDIDAS CORRECTIVAS	78
9.2.1	ZONA CRÍTICA 1: Km. 93+000 CARRETERA CENTRAL.....	79
9.2.2	ZONA CRÍTICA 2: CANAL ADUCTOR EN SUPERFICIE, PORTAL DE ENTRADA.....	79
9.2.3	ZONA CRÍTICA 3: SUR (Terrenos de cultivo parte alta).....	79
9.2.4	ZONA CRÍTICA 4: NORTE (COBERTIZO DE GANADO).....	80
9.2.5	ZONA CRÍTICA 5: NORTE (Hito 7_1 – Daza – Carretera Central)	80
9.2.6	QUEBRADA PUCRUCHACRA Y CHAHUATUPE	81
9.2.7	OTRAS MEDIDAS	81
	CONCLUSIONES.....	82
	RECOMENDACIONES	84
	REFERENCIAS	88

ANEXOS

DESLIZAMIENTO DE TIERRAS EN EL CERRO PUCRUCHACRA

(Distrito San Mateo de Huanchor, provincia Huarochirí, región Lima)

1.0 INTRODUCCIÓN

El día 16 de Agosto de 2011, un deslizamiento en la ladera del cerro Pucruchacra originó el bloqueo de la Carretera Central, importante vía de penetración a la Sierra Central, por más de 24 horas. El derrumbe ocasionó además la afectación de cinco viviendas ubicadas dentro del derecho de vía de la carretera, sin daños personales que lamentar.

Dada la emergencia, la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, dispuso el envío de dos profesionales geólogos, Segundo Núñez Juárez y Hugo Gómez Velásquez. A partir de una evaluación rápida de los problemas geológicos ocurridos en las cercanías de San Mateo, se emiten un informe preliminar donde se consignan algunas conclusiones y recomendaciones, que se hicieron llegar al Municipio, Gobierno Regional, Defensa Civil y la Defensoría del Pueblo. Las primeras observaciones que se realizaron, abarcaron no solo la zona ubicada en el talud que mira a la carretera, sino la ladera comprometida por la reactivación de un deslizamiento que involucra una mayor área de afectación.

La implicancia de los problemas de estabilidad en la ladera que viene ocurriendo en el cerro Pucruchacra, que podría comprometer un tramo mayor de la carretera central, viviendas ubicadas al pie de la ladera, un tramo del túnel – canal aductor de la Central Hidroeléctrica de Huachor – CHH y áreas agrícolas; hicieron necesario plantear un estudio geológico – geodinámico más detallado, con el fin de establecer el origen de los procesos, que permita proponer medidas de intervención a corto, mediano y largo plazo, para el manejo de los peligros geológicos.

Para la evaluación sugerida, se llevaron trabajos de campo entre los días 25 al 27 de agosto del presente, los cuales se coordinaron con la Secretaría Técnica de Defensa Civil del Municipio de San Mateo de Huanchor.

Para efectuar la cartografía de detalle de la zona de deslizamiento, se contó con información topográfica y geológica proporcionada por SVS – INGENIEROS S.A.C, en coordinación con la Unidad de Energía de la SOCIEDAD MINERA CORONA – SMC, también se entregaron estudios geológicos geotécnicos desde diciembre 2010, así como trabajos de prospección geofísica (sísmica de refracción) realizada en los últimos días. La información técnica entregada ha sido evaluada por los técnicos de INGEMMET, confirmando su utilidad para los objetivos establecidos en esta evaluación.

Los resultados de los trabajos de campo y la evaluación de la información entregada se reportan en el presente informe técnico. La implementación oportuna de las recomendaciones establecidas, constituye un aspecto importante para el manejo del problema.

El presente informe contiene la interpretación final del movimiento en masa ocurrido el 14 de agosto; así como las recomendaciones pertinentes que deben tomar las entidades públicas (Municipio de San Mateo, MTC, MINAM, MEM) y privadas (Sociedad Minera Corona) involucradas en este evento, para la prevención y mitigación de los procesos geológicos ocurridos en el cerro Pucruchacra, a fin de evitar desastres futuros.

El presente estudio tiene por objetivos generales y específicos los siguientes:

- Identificar, cartografiar y evaluar el peligro potencial de deslizamiento tierras que se presenta en la ladera del cerro Pucruchacra; determinar la dinámica del movimiento en masa antiguo, su reactivación y las características de últimos eventos, que afectan y pueden afectar la Carretera Central, así como establecer las áreas rurales, agrícolas e infraestructura vulnerables.
- Evaluar las variables que condicionan la susceptibilidad a los movimientos en masa en la ladera del cerro Pucruchacra a y determinar la causa de los procesos geológicos existentes.
- Proponer estrategias de intervención (obras de prevención, remediación o mitigación), del área afectada, con el fin de manejo y tratamiento de la zona problema, buscando la tranquilidad de las poblaciones ubicadas en el entorno.

Para lograr los objetivos trazados, el estudio combinó investigaciones de campo y gabinete, utilizando técnicas adecuadas entre las alternativas disponibles. En el campo se realizaron las siguientes actividades:

- Coordinaciones con profesionales de SVS Ingenieros S.A.C. para intercambio de información geológica, a fin de unir esfuerzos para la solución de los peligros geológicos.
- Evaluación geológica – geotécnica – geomorfológica del área de estudio.
- Cartografiado geológico - geodinámico a escala 1: 1 000, sobre la topografía proporcionada por SVS-Ingenieros S.A.C.
- Investigaciones hidrogeológicas, a fin de conocer la presencia de saturación de agua subterránea en la zona así como de las características de permeabilidad de los terrenos.
- Recopilación de información disponible, de interés para el estudio.

Los trabajos de gabinete, estuvieron orientados a procesar la información de campo, a fin de determinar los factores que condicionan los problemas de inestabilidad en la cuenca. Asimismo evaluar la importancia de cada uno de los

factores que influyen sobre la inestabilidad de laderas, y a establecer las diferentes alternativas de manejo de los problemas. Las actividades realizadas comprendieron:

- Elaboración de los planes de trabajo de campo
- Fotointerpretación con fotografías de 1962 e imágenes de satélite disponibles en el Google Earth (agosto 2005).
- Selección de alternativas para el control de la estabilidad de la ladera del cerro Pucruchacra.
- Generación de informe y reporte final, incluyendo la elaboración de planos, gráficos, cuadros, figuras, etc.

Para la ejecución de los trabajos de campo, INGEMMET designó a los ingenieros: Segundo Núñez Juárez, Hugo Gómez Velasquez (Geología y geodinámica); Percy Sullca Ortiz (Hidrogeología), y en el proceso de composición digital de mapas y GIS Ing. Cesar Egoechaga. La edición y revisión final del informe estuvo a cargo de Los Ings. Bilberto Zavala y Lionel Fidel. Los trabajos de campo se llevaron a cabo, el 17 y entre el 25 al 27 de agosto del 2011, culminando los trabajos de gabinete en septiembre 2011.

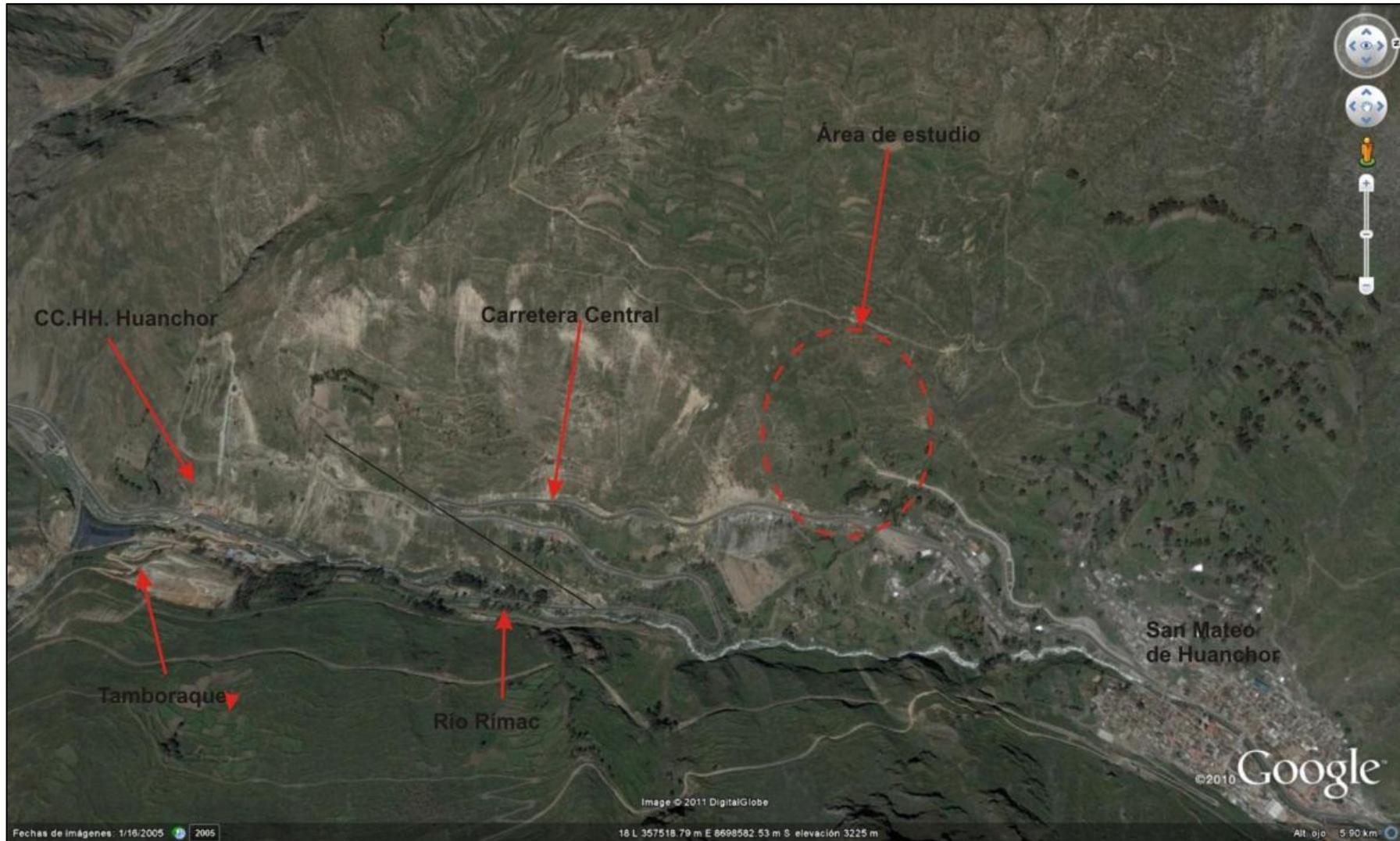


Figura 2. Imagen Satelital del Google Earth, de zona de San Mateo de Huanchor

En la ladera del cerro Pucruchacra, se cultiva alfalfa y habas, que pertenecen a la Comunidad Campesina de San Mateo de Huanchor, ubicadas entre 3,000 a 3,300 m.s.n.m. Estos terrenos de cultivo se riegan por aspersión e inundación.

En la falda del cerro se localizan viviendas que comúnmente tienen techos de tejas, paredes de adobe y tierra afirmada para el piso, como también se encuentran de material noble (ladrillo); algunas viviendas se encuentran al pie del talud de corte de la carretera, y algunas de ellas han ganado terreno para establecerse

La población censada de San Mateo de Huachar, reportó 4160 habitantes (INEI - 2007).

San Mateo de Huanchor se caracteriza por poseer un clima semiseco y semifrío, con temperaturas máximas promedio multianual entre 16 a 20°C, y mínima promedio multianual entre 4° a 8°C. Las lluvias son de carácter estacional y se producen generalmente entre los meses de enero a marzo, originándose las primeras lluvias entre los meses de septiembre y octubre. La precipitación acumulada en el periodo lluvioso de Septiembre a Mayo oscila entre 400 a 800 mm., durante el período de El Niño (lluvias excepcionales) en los años 1997-98, la precipitación osciló entre 800 a 1200 mm (SENAMHI -2010).

3.0 GEOMORFOLOGÍA Y PROCESOS

El contexto geomorfológico regional el área de estudio, ha sido descrito en el mapa geomorfológico de la Franja N°4 (Fidel et al, 2006), de acuerdo a este, el área corresponde al Flanco Andino Occidental, que conforma parte de una cadena montañosa de una secuencia volcánica sedimentaria. El relieve en general está supeditado a la presencia del río Rímac, que en el área se presenta con un perfil típico en “V” (foto 1), mostrando un valle estrecho, profundo, limitado por cadenas montañosas de moderado a fuerte pendiente, abanicos proluviales y coluviales en ambas márgenes.



Foto 1. Valle del río Rímac.

Localmente el río Rímac discurre con una dirección SSO-NNE, cortando secuencias volcánico – sedimentarias; sus laderas son de moderada a fuerte pendiente, disectada por cárcavas con presencia de escarpas y depósitos de movimientos en masa antiguos.

El cauce fluvial principal del río Rímac, en este sector, es controlado por los depósitos de movimientos en masa antiguos que han descendido de las laderas de la margen derecha (foto 2 y figura 3), formando una terraza alta hasta de 20 m de altura.

La morfología en las vertientes, están relacionadas a la erosión, meteorización y control estructural de las rocas volcánicas – sedimentarias y de la erosión fluvial y pluvial (erosión de laderas), procesos gravitacionales activos (huaycos, deslizamientos, avalanchas de rocas) que se originan en las laderas del valle y cuyos productos se localizan en ambas márgenes del río, así como también producto de la actividad antrópica (trazo del túnel-canal, tazo de carretera y actividades agrícolas).

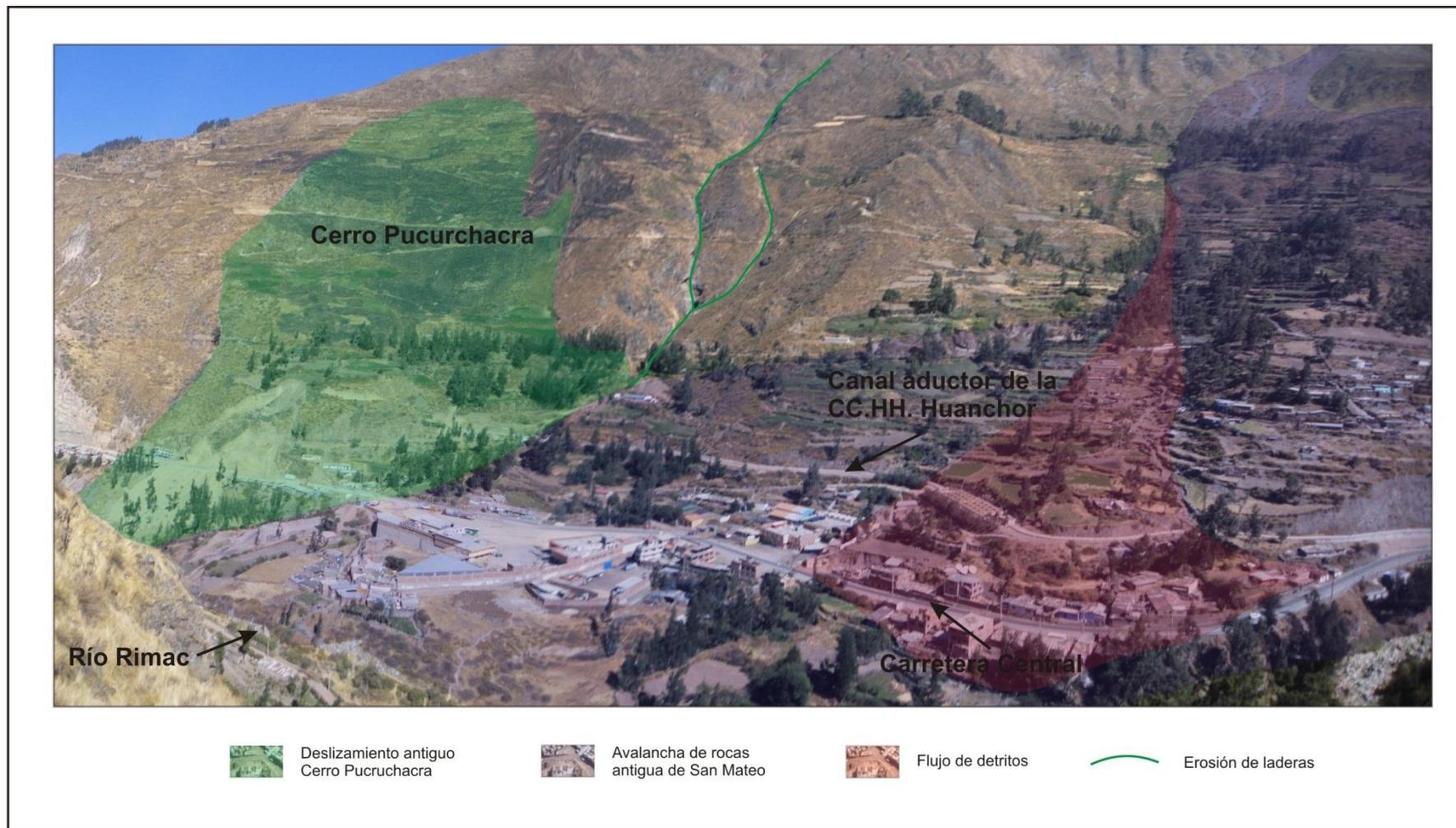


Figura 3: Margen derecha del río Rímac, se muestra los movimientos en masa antiguos que tipifican la ladera y controlan al río Rímac.



Foto 2: Vista panorámica del valle del río Rímac, disectada por erosión en sus laderas. Acumulación de movimientos en masa antiguos y procesos activos. Derrumbes y cárcavas, controlan el relieve del área.

Localmente, la zona varía en altitud entre 3 000 en el piso de valle hasta 3 500 m.s.n.m., donde se diferencian laderas cóncavas y convexas al pie de las laderas (depósitos). El cauce principal del río Rímac en esta zona, presenta un cierre de valle, generado por un antiguo depósito de avalancha de rocas, que hizo cambiar de dirección del río hacia la margen derecha.

3.1 MODELO DIGITAL DEL TERRENO Y PENDIENTE DE LOS TERRENOS Y PENDIENTES DEL TERRENO

Un modelo digital del terreno (MDT), es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Particularmente, en la cartografía convencional la distribución de elevaciones a través de un mapa topográfico, constituye la infraestructura básica del resto de mapas temáticos generados. Su objetivo es obtener información sobre la morfología del relieve de forma objetiva y exhaustiva

Del sector del cerro Pucruyacra, valiéndonos del mapa topográfico a escala 1: 1 000, con equidistancia de curvas de nivel cada 1 metro, se elaboró el modelo digital de elevaciones (DEM), que es una estructura numérica de datos, que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. En la figura N° 4 se presenta este modelo y en el se resalta con detalle los saltos de asentamientos y deslizamientos antiguos.

Con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se preparó el mapa de pendientes (figura 5). Se diferenciaron cinco rangos de pendiente:

Pendiente muy baja (0 a 1°): En la ladera del cerro Pucruchacra se encuentra en menor área, son terrenos planos, relacionados por donde discurre el canal de Aducción de la CHC, Carretera Central, etc. (foto 3).

Pendiente baja (1 a 5°): Son terrenos con pequeñas inclinaciones, donde se desarrolla actividad agrícola. En la zona norte están relacionados a la antigua reactivación del deslizamiento que ha generado terrazas (foto 4).

Pendiente moderada (5 a 25°): Se encuentran escasamente distribuidos en la ladera del cerro Pucruchacra, en ella se desarrolla actividad agrícola.

Pendiente alta (25 a 45°): En la ladera del cerro Pucruchacra, se tiene una amplia distribución en la mayor parte de la ladera del cerro Pucruchacra. Se desarrollado una amplia actividad agrícola (foto 5).

Pendientes mayores a 45°: Están relacionados mayormente, a las escarpas que han formado las antiguas reactivaciones del deslizamiento, corte de talud del terreno dejado para la construcción de la carretera Central, corte de talud para la construcción del canal de aducción, como también se observó en algunos tramos de la quebrada Chahuatupe (foto 6).



Foto 3: Canal de aducción de la central hidroeléctrica de Huanchor, muestra pendiente muy baja

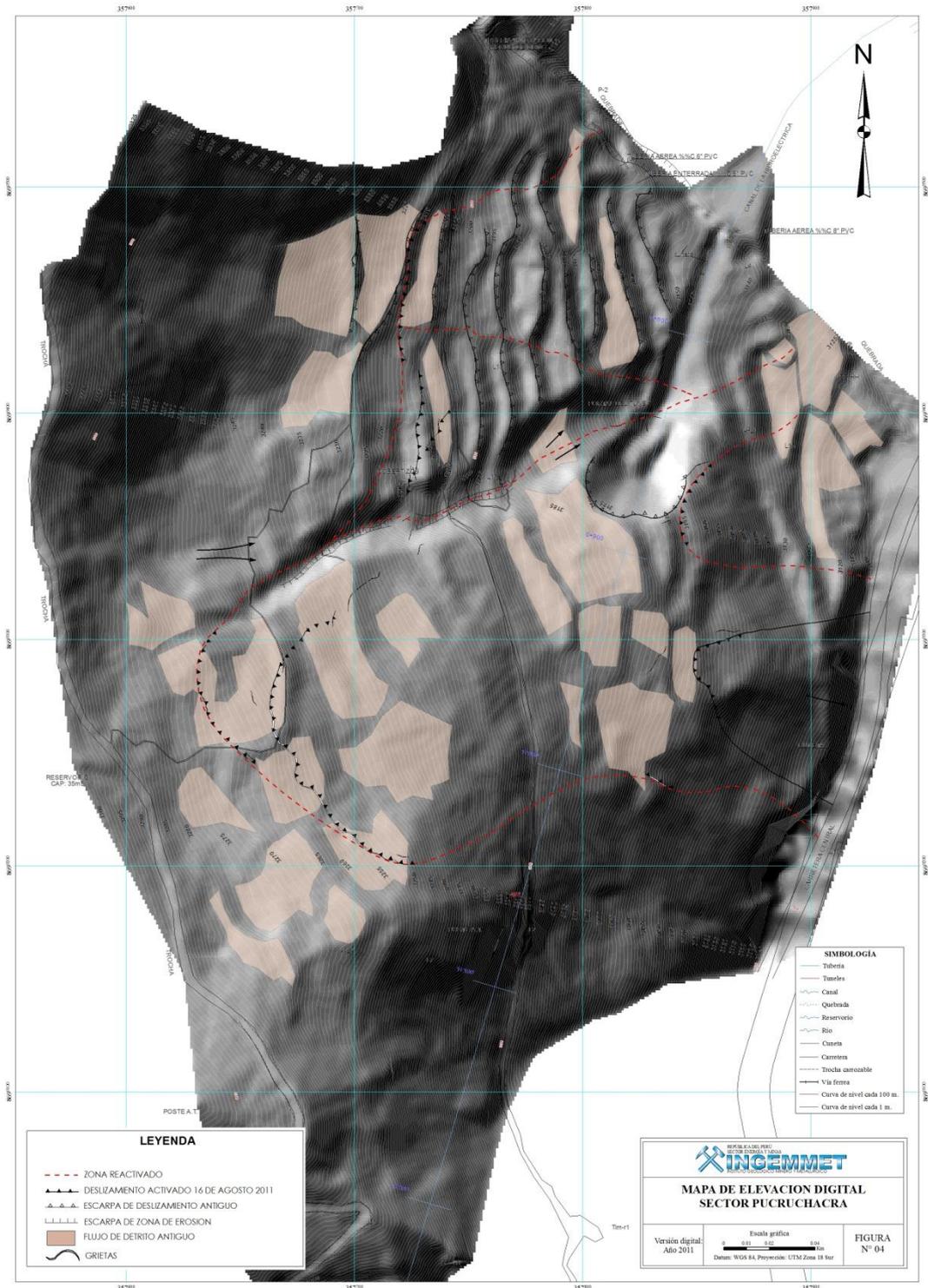


Figura 4: Modelo de Elevación Digital del área de estudio. Este modelo resalta el relieve del área y se puede observar, en la parte superior de la figura (norte), las “terrazas” o “andenes” naturales, formados por escarpas de antiguos deslizamientos.

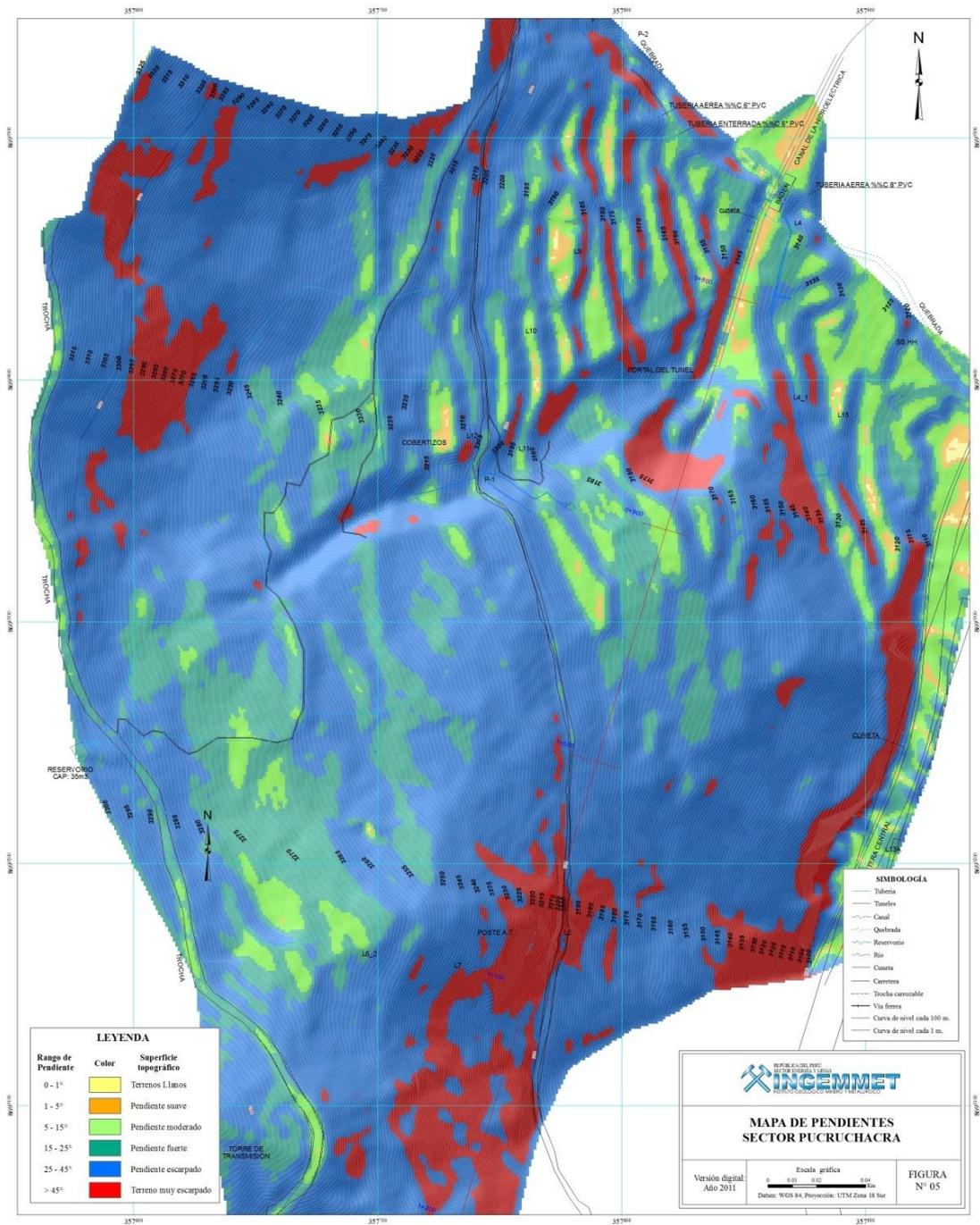


Figura 5: Mapa de pendientes. Las zonas en rojo corresponde a zonas con pendiente abrupta (>45°).



Foto 4: Terrenos de cultivo ubicados en una terraza.



Foto 5: Terrenos con pendientes mayores a 25° , que son aprovechados para la actividad agrícola.



Foto 6: Cauce de la quebrada Chahuatupe, que muestra pendientes muy abruptas.

4.0 UNIDADES LITOLÓGICAS

El sustrato rocoso comprende los materiales del Terciario Inferior, representados por las rocas volcánicas – sedimentarias (Grupo Rímac). Los depósitos superficiales comprenden los materiales recientes: coluviales, coluvio - deluviales, proluviales (Salazar, 1983).

Se presenta el mapa litológico - estructural (Mapa 1), en el cual se diferencian dos grandes grupos de materiales: 1) Depósitos superficiales (inconsolidados) y 2) Unidades del Substrato. Ver mapa 1

4.1 DEPÓSITOS SUPERFICIALES (INCONSOLIDADOS)

Los depósitos inconsolidados que cubren al sustrato rocoso se exponen principalmente en la ladera del cerro Pucruchacra y en menor porcentaje en el fondo del valle del río Rímac y quebradas tributarias.

En el área se puede diferenciar dos grupos principales de materiales recientes de diferente origen, los cuales se describen a continuación:

Estos depósitos se han originado por la acumulación de depósitos gravitacionales o de remoción, principalmente por deslizamientos, derrumbes (foto 2).

Los cortes expuestos en el pie de ladera permiten diferenciar además depósitos

Depósitos coluvio – deluviales (I-cd): Un importante sector de la ladera, presenta depósitos coluvio – deluviales, producto de la meteorización de las rocas volcánicas – sedimentarias, posteriormente movilizados por agua de escorrentía (lluvia), con espesores muy variables, como los observados en el sector de Daza y Pucruchacra. Estos suelos han sido utilizados como terrenos de cultivo. Foto 7

Según la información proporcionada por SVS (Hito H3), Estos depósitos están formados por grava arcillosa, marrón, húmeda, homogénea, medianamente consolidada. Presenta también capas de gravilla, de forma irregular, con fragmentos de roca levemente meteorizados, de naturaleza andesítica. Suelos poco permeables y con porosidad de alrededor del 30%. Se presentan con espesores entre 5.0 a 25.0 metros

Depósitos coluviales (I-c): Materiales producto de los deslizamientos antiguos, con espesores que no mayores de 20 m. Ver Foto 8. Estos depósitos lo constituyen bloques, gravas y arena arcillosa y se presentan inconsolidados. Por su configuración y acomodo en la ladera, son materiales permeables e inestables.

Depósitos Proluviales (I-p): Ocupan un pequeño sector dentro del área. Sus principales depósitos se exponen en la desembocadura de la quebrada Pucruchacra, como producto de los flujos de detritos canalizados (huaycos).

Se presentan como depósitos sueltos, poco o nada consolidados. Estos materiales están sujetos a remoción en cada avenida estacional (huaycos). El material es heterométrico, de naturaleza volcánica-sedimentaria, presentando arcillas, arenas medias, gravas, cantos hasta bloques de 1 m de diámetro, subangulosos a subredondeados, evidenciando su corto transporte.

Se identificó un flujo no canalizado, producto de una pequeña avalancha de detritos (foto 9), ubicado en la parte superior de la ladera del cerro Pucruchacra. Tiene un recorrido de 60 m. Está conformado por bloques hasta de 0,20 m de tamaño, son de formas subangulosas, distribuidos en una forma caótica. La matriz es areno – limosa. El depósito en la parte terminal llega a tener un espesor de hasta de 1 m.



Foto 7: Varias secuencias de depósitos coluvio – deluviales.



Foto 8: Tres secuencias de movimientos en masa, sector Pucruchacra, San Mateo.



Foto 9: Flujo de detritos no canalizado.

4.2 SUBSTRATO ROCOSO

Según Salazar (1983), parte de la ladera del cerro Pucruchacra está conformada por afloramientos de secuencias del Grupo Rímac, conformadas por derrames lávicos de composición andesítica (foto 10). Los afloramientos rocosos en superficie son de color gris verdoso oscuro, se presentan medianamente fracturados y moderadamente meteorizados en superficie. En la zona de estudio, están cubiertos por depósitos coluviales y coluvio – deluviales con espesores que varían entre 5.0 y 25.0 metros. Debajo este material, la roca se encuentra alterada y muy fracturada, mejorando en profundidad.



Foto 10: Afloramiento de secuencia de andesitas (A).

En sectores presenta un color gris amarillento claro por las alteraciones hidrotermales (foto 11), la roca se encuentra moderadamente meteorizada y fragmentada.



Foto 11: Afloramiento rocoso alterado.

5.0 MOVIMIENTOS EN MASA EN EL CERRO PUCRUCHACRA

El mapeo geológico en el área permitió diferenciar procesos de movimientos en masa antiguos y movimientos activos, relacionados a un proceso de deslizamiento de tierras. Su interpretación se basa en las observaciones de campo, utilización de imágenes satelitales, así como la interpretación de fotografías aéreas y cartas topográficas.

Los procesos se vienen produciendo por la dinámica propia del medio geológico y como producto de los procesos detonantes: lluvias, sismos y actividad antrópica (infiltración de aguas de riego, cortes del talud, etc.).

5.1 EVIDENCIAS DE MOVIMIENTOS EN MASA ANTIGUOS Y RECIENTES EN LOS ALREDEDORES DE SAN MATEO.

La cartografía geomorfológica – geodinámica de procesos activos permitió reconocer geoformas relacionadas con procesos de movimientos en masa, en el ámbito del área. En el Mapa 2, podemos apreciar el cartografiado geodinámico de toda el área de San Mateo, en la que destacan derrumbes, avalanchas de rocas, deslizamientos y flujos de detritos (huaycos) antiguos, reactivados y recientes. En el Mapa 3 consignamos el cartografiado de movimientos en masa del área del Cerro Pucruchacra.

5.1.1 MOVIMIENTOS EN MASA ANTIGUOS

En las vertientes o laderas, las formas de depósitos de movimientos en masa y/o erosión reconocidas, están asociadas a:

- Grandes depósitos de movimientos en masa antiguos – prehistóricos (deslizamientos o derrumbes y movimientos complejos), cartografiables a escala 1:10 000, en la margen derecha del río Rímac entre San Mateo y la CC HH. de Huanchor. Mapa 2
- Depósitos de vertiente con formas irregulares que diferencia un proceso único, asociados a caída de rocas en ambas márgenes del valle y quebradas tributarias (foto 12).



Foto 12: Muestra un depósito antiguo y zona de arranque de caída de rocas. Frente a San Mateo, Margen izquierda del río Rímac.

- Cicatrices de escarpas de deslizamientos antiguos o avalanchas de rocas, y zonas de arranque asociados a depósitos de caídas o derrumbes (fotos 13 y 14), que han modificado la morfología del valle del río Rímac.



Foto 13: Se muestra un depósito de un antiguo deslizamiento, del cerro Pucruchacra.



Foto 14: Avalancha de rocas antigua, sector de San Mateo, que originó un cierre de valle en el pasado.

5.1.2 MOVIMIENTOS EN MASA ANTIGUOS REACTIVADOS

En el área de estudio, se han observado deslizamientos antiguos reactivados por sectores, entre los cuales se han determinado: Ver Mapa 3.

Reactivación Antigua Zona Norte:

Esta zona se ha reactivado como un deslizamiento rotacional, con desplazamiento hacia el S15°E, discurrendo hacia la quebrada Chahuaitupe (fotos 15 y 16).

En el cuerpo del deslizamiento se distinguen escarpas sucesivas (retrogresivas) con longitudes hasta de 80 m y saltos entre 5 a 10 m, la distancia aproximada, entre la corona y el pie del deslizamiento es de 250 m. Las escarpas de deslizamiento, forman “terrazas” de formas de media luna o semicirculares, que fueron aprovechadas para terrenos de cultivo de alfalfa, inestabilizando el área.

Sobre este depósito, discurre parte del canal de aducción de la central Hidroeléctrica de Huanchor, en un tramo de 20 m.



Foto 15:



Fotos 15 y 16: El área sombreada muestra la zona de reactivación antigua.

5.1.3 MOVIMIENTOS EN MASA RECIENTES

Estos se han manifestado por:

- Irregularidades en el terreno, con presencia de **desniveles del terreno, agrietamientos y empuje de estructuras**, como los que se presentan actualmente en un sector del canal aductor (foto 17), cobertizo de ganado (fotos 18) y terrenos de cultivo (foto 19).



Foto 17: Empuje del terreno sobre la pared de mampostería (A), obsérvese en la parte superior la escarpa del deslizamiento.

- Irregularidades o saltos de terreno activos, agrietamientos y/o asentamientos de terreno identificados en las laderas.



Foto 18: Sector del cobertizo de ganado, se muestran los desplazamientos verticales y horizontales del terreno



Foto 19: Agrietamientos del terreno, terrenos de cultivo del cerro Pucruchacra.

Reactivaciones recientes Zona Norte:

Esta zona tiene reactivaciones recientes, tanto en la parte alta como la parte baja. Tal como lo evidencia los asentamientos y agrietamientos evaluados y mapeados.

Parte alta: Sector comprendido entre las cotas 3320 hasta los 3200 m.s.n.m., donde se presentan **agrietamientos y asentamientos** con longitudes comprendidos entre los 10 a 80 m aproximadamente. Ha afectado a cobertizo de ganado y terrenos de cultivo.

En la cota 3215 m, se aprecia la grieta de mayor longitud, con dirección N70°O, abertura entre 0,20 a 0,50 m, con profundidades máximas visibles de 1,00 a 2,00 m, y desplazamiento vertical ente 0,80 a 1,0 m (fotos 20 y 21). Esta grieta está afectando a cobertizo de ganado y terrenos de cultivo.



Foto 20: Asentamientos y agrietamientos en el sector del cobertizo de ganado.



Foto 21: Agrietamientos en los terrenos de cultivo.

Parte baja:

Sector del portal de entrada - Badén: Este sector se encuentra entre el portal de entrada del túnel aductor al badén (foto 22).



Foto 22: Zona de canal y portal de entrada del túnel.

Entre la cota 3145 a 3155, se muestran **agrietamientos**, que tienen una dirección de $N10^{\circ}O$, con longitudes de hasta de 10 m aproximadamente, como los que se observan cerca del portal de entrada de canal aductor de la CHH (foto 23).



Foto 23: Agrietamiento del terreno (A), cercano al portal de entrada del canal aductor de la central hidroeléctrica Huanchor.

Se aprecia **empujes del terreno** sobre infraestructura, esto lo evidencia el desplazamiento de la masa de suelo sobre el muro de mampostería (foto 24) y hacia el canal aductor (foto 25).



Foto 24: Portal de entrada, el sector sombreado del muro de mampostería, es la parte afectada por el empuje del terreno. Se aprecian también los agrietamientos del terreno (A).



Foto 25: Efectos del empuje del terreno, sobre la cuneta del canal aductor.

A la altura del badén, se ha apreciado una **grieta en el terreno** que tiene una longitud de 3 m, con una dirección N60°O, su proyección de avance es hacia la quebrada Chahuatupe (foto 26), presenta aberturas entre 1 a 5 cm.



Foto 26: Sector de Daza, se muestra el agrietamiento del terreno

Sector terrenos de cultivo-Daza- Hito 7-1: En este sector se localizan **agrietamientos**, que están enmarcando la posible zona a deslizarse, la escarpa se encontraría ubicada entre las cotas 3160 a la 3165 m.s.n.m, con una dirección de N20°O. (foto 27). Esta zona tiene una pendiente moderada, en un promedio de 35°.



Foto 27: Zona con posibilidad de deslizarse en el sector comprendido entre el Hito 7-1 – Daza.

Según lo observado se encuentran varias **grietas**, de las cuales la mayor tiene una longitud de 20 m, con una abertura hasta de 25 cm, y con profundidad visible hasta de 1 m (fotos 28 y 29).



Fotos 28 - 29: Sector de Daza-Hito 7-1, muestra el agrietamiento del terreno y las escarpas del deslizamiento

Reactivaciones recientes Zona Sur

Sector Carretera Central Km 92+800: En este sector, el día 17 de agosto del presente año, se originó un deslizamiento que afectó la Carretera Central en un tramo de 100 m. El deslizamiento se ubica entre la cotas 3165 a 3100 m.s.n.m., que corresponden a la escarpa y pie del deslizamiento respectivamente. Presenta una corona de forma semicircular a irregular, con una longitud de 60 m, y un salto promedio de 15 m (aprox.). Ancho del deslizamiento 70 m. (fotos 30, 31 y 32). Observaciones realizadas, permiten aseverar que el exceso de humedad y el talud de corte fueron las causas de este deslizamiento.

El deslizamiento, que se desplazó con velocidad muy rápida removió un volumen de material coluvio – deluvial de aproximadamente 5 300 m³, que afectó la Carretera Central en un tramo de 100 m aproximadamente, obligando a interrumpir el tráfico por 24 horas. El deslizamiento afectó cinco (5) viviendas situadas en el “derecho de vía”, sin producir pérdidas de vidas humanas.



Foto 30: Deslizamiento del sector de Pucrchacra.



Foto 31.



Fotos 31 y 32: Corona y cuerpo del deslizamiento.

Sector parte alta: Las reactivaciones en este sector, **agrietamientos y asentamientos**, se localizan entre las cotas 3250 hasta 3275 m.s.n.m. (fotos 33, 34 y 35). La grieta de mayor longitud cuenta con 120 m, con desplazamientos verticales comprendidos entre los 0,10 a 0,70 m y horizontales entre los 0,10 a 0,70 m.

Entre las cotas 3230 a 3245 m.s.n.m., se ubican **agrietamientos en forma errática**, pero que al parecer forma parte de un posible deslizamiento en formación. Los agrietamientos se prolongan hasta la quebrada Pucruchacra, y se unen con los que provienen del cobertizo de ganado (Parte Norte).

Según información proporcionada por SVS, en la calicata H-3 el terreno está formado por una grava arcillosa, color marrón, húmedo, denso, medianamente consolidado. Los fragmentos de roca son duros y levemente meteorizados.



Foto 33: Agrietamientos en los antiguos terrenos de cultivo.



Foto 34. Muestra los desplazamientos verticales y horizontales del terreno



Foto 35: Nacientes de la quebrada Pucruchacra, en la margen derecha las fechas muestran los agrietamientos del terreno.

5.2 DESLIZAMIENTO EN EL CERRO PUCRUCHACRA

Las características topográficas y morfológicas observadas en el cerro Pucruchacra, sugieren la existencia de un deslizamiento antiguo, desarrollado entre la cota 3100 (inferior) y 3500 (superior). Presenta una escarpa de forma semicircular, encajonado entre el substrato rocoso. En la parte superior los lados, izquierdo y derecho están limitados en roca volcánica – sedimentaria, la cual puede apreciarse en los cortes del camino de herradura. El cuerpo muestra una superficie cóncava en la parte superior, y una pendiente promedio de 30° (foto 36). Se observan evidencias que este deslizamiento ha sufrido reactivaciones en el tiempo (por sectores), prolongándose hasta la actualidad. Ver Mapa 3



Foto 36: Deslizamiento antiguo del cerro Pucruchacra, que se está reactivando por sectores.

5.2.1 GEOMETRÍA DEL DESLIZAMIENTO

Según la información geofísica (sísmica de refracción) realizada por ARCE GEOFÍSICOS S.A.C y la información del mapeo geológico del Canal Aductor de la CCHH realizada por la empresa ALBERTO SAM INGENIEROS – SAGITARIO, proporcionados por CMC, las secciones geológica; así como el tratamiento de la información realizados por INGEMMET, podemos determinar que el deslizamiento compromete depósitos coluviales, coluvio – deluviales; así como roca alterada y muy fracturada (Roca Tipo III), con potencias que varían entre 10.0 y 30.0 m. En algunos sectores, en profundidad, el deslizamiento puede comprometer roca alterada (Roca Tipo III).

El deslizamiento antiguo del cerro Pucruchacra, tiene un desnivel de 400 m medido entre la corona y el pie del deslizamiento, una pendiente

de 30°, largo de 900 m., ancho de 350 m, observándose también una escarpa de alrededor de 120 m. El deslizamiento mayor puede comprometer alrededor de 5'692,500 m³, entre materiales coluviales, coluvio – deluviales y roca alterada y muy fracturada (Roca Tipo III).

La configuración de la roca debajo de la superficie, la cinemática del posible deslizamiento, y la pendiente del terreno, ayudan a que el deslizamiento no se reactive en su totalidad y de forma violenta, si no, en los sectores más críticos.

El cuerpo del deslizamiento presenta escarpas y agrietamientos los que se describen el capítulo 8

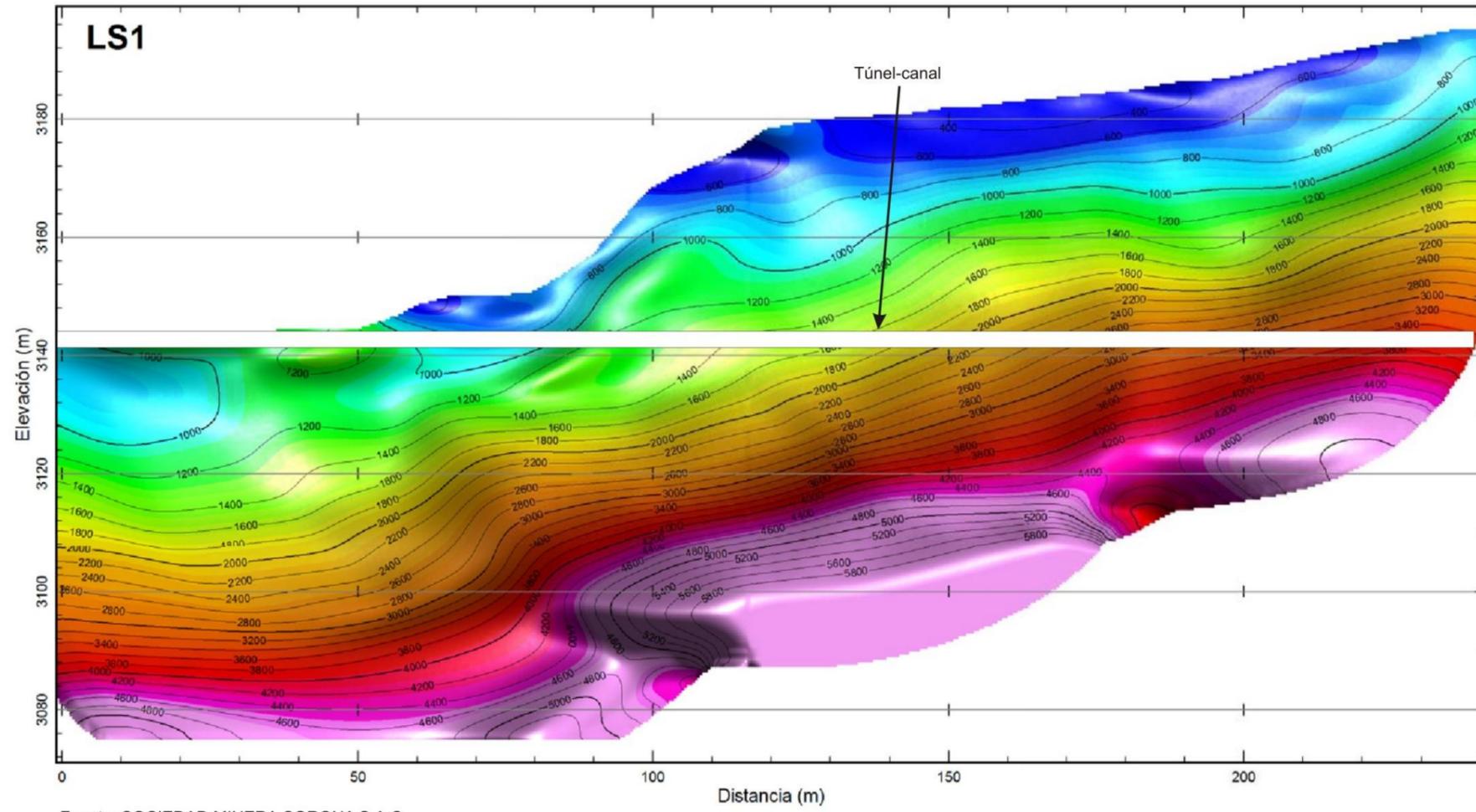
5.2.2 INFORMACIÓN PREVIA

En este tipo de estudios, cuanta más información se acopie, es mejor para la interpretación del problema. En este sentido CMC, proporcionó a INGEMMET, el mapa topográfico digital a escala 1:1 000, el informe “Estudio Geotécnico de la ladera Pucruhacra” que incluían mapas geológicos, secciones, análisis de laboratorio, también un informe de Sísmica de Refracción realizado por ARCE GEOFÍSICOS S.A.S., información que cuenta con un informe y cinco (5) secciones sísmicas, ver figuras 6, 7, 8, 9 y 10 (Arce Geofísicos S.A.S. 2011), y la información del mapeo geológico subterráneo realizado por ALBERTO SAM INGENIEROS SAGITARIO.

5.2.3 SECCIONES

Con la información topográfica proporcionada, INGEMMET trabajo cuatro (4) secciones en las cuales ubico el canal y túnel aductor de la CHH. Esta información nos permitió evaluar y comparar la información proporcionada por CMS y construir las secciones geológicas del área. En estas podemos apreciar, los tipos de materiales, espesores y ubicación en profundidad del suelo (coluviales y coluvio – deluviales), roca alterada (III), roca media (II) y roca dura (I); así como también de la ubicación, en profundidad y superficie del canal – túnel aductor de la CHH. Ver Anexo 1.

TOMOGRFIA DE REFRACCION SISMICA LS1



Fuente: SOCIEDAD MINERA CORONA S.A.C.
ARCE GEOFISICOS S.A.C.

Septiembre - 2011



FIGURA N°

Figura 6: Tomografía de Refracción Sísmica LS1

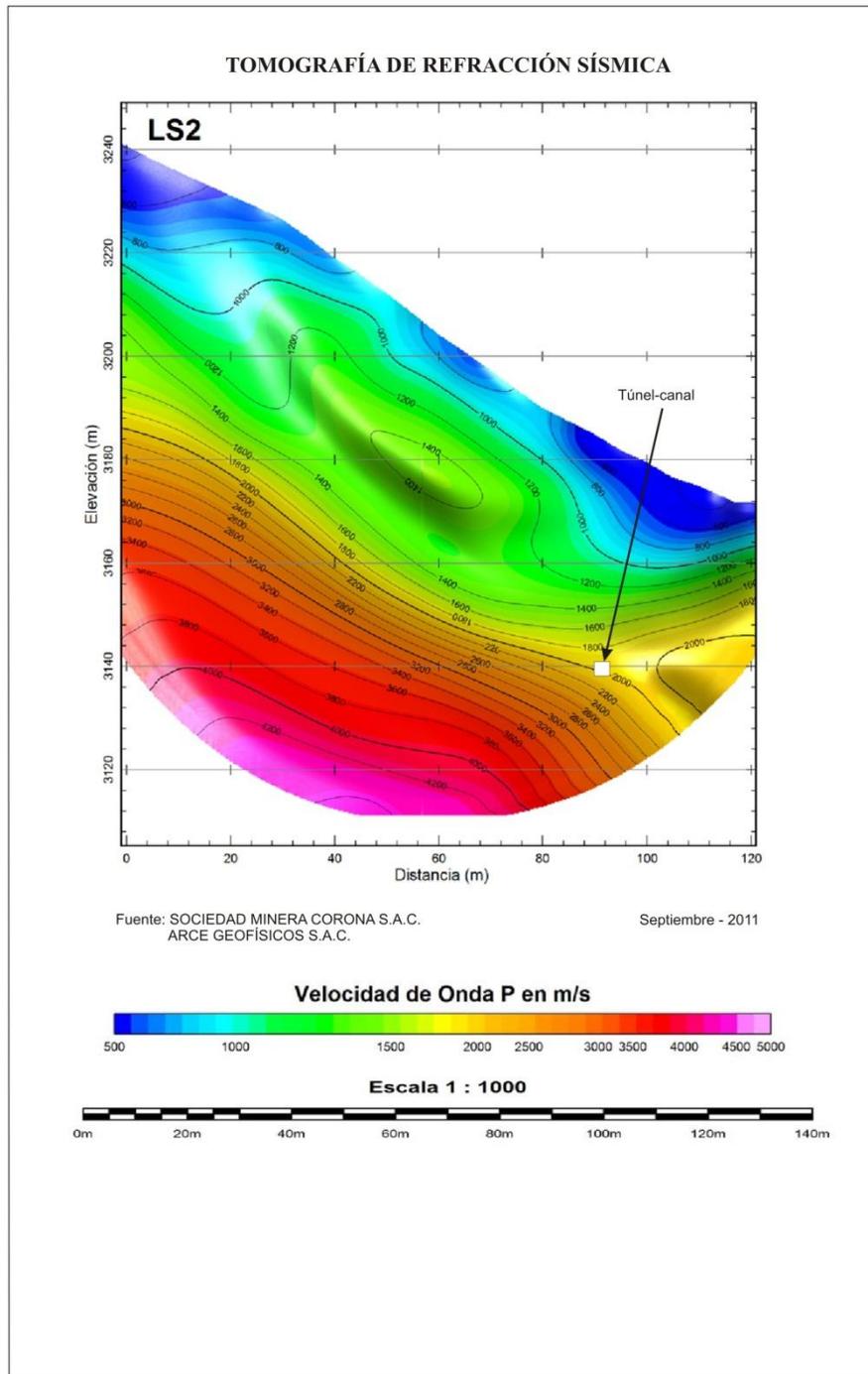


Figura 7: Tomografía de Refracción Sísmica LS2

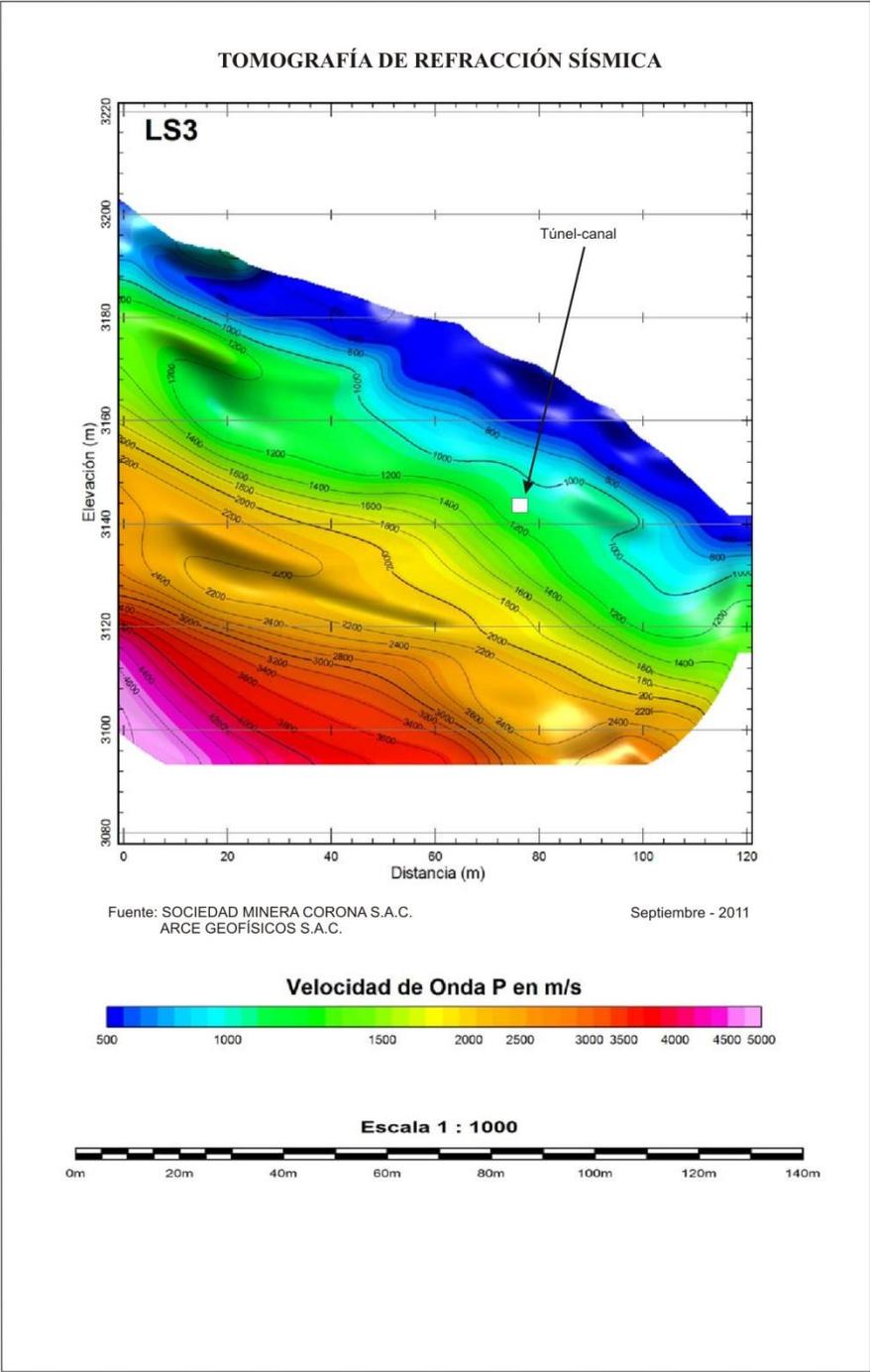


Figura 8: Tomografía de Refracción Sísmica LS3

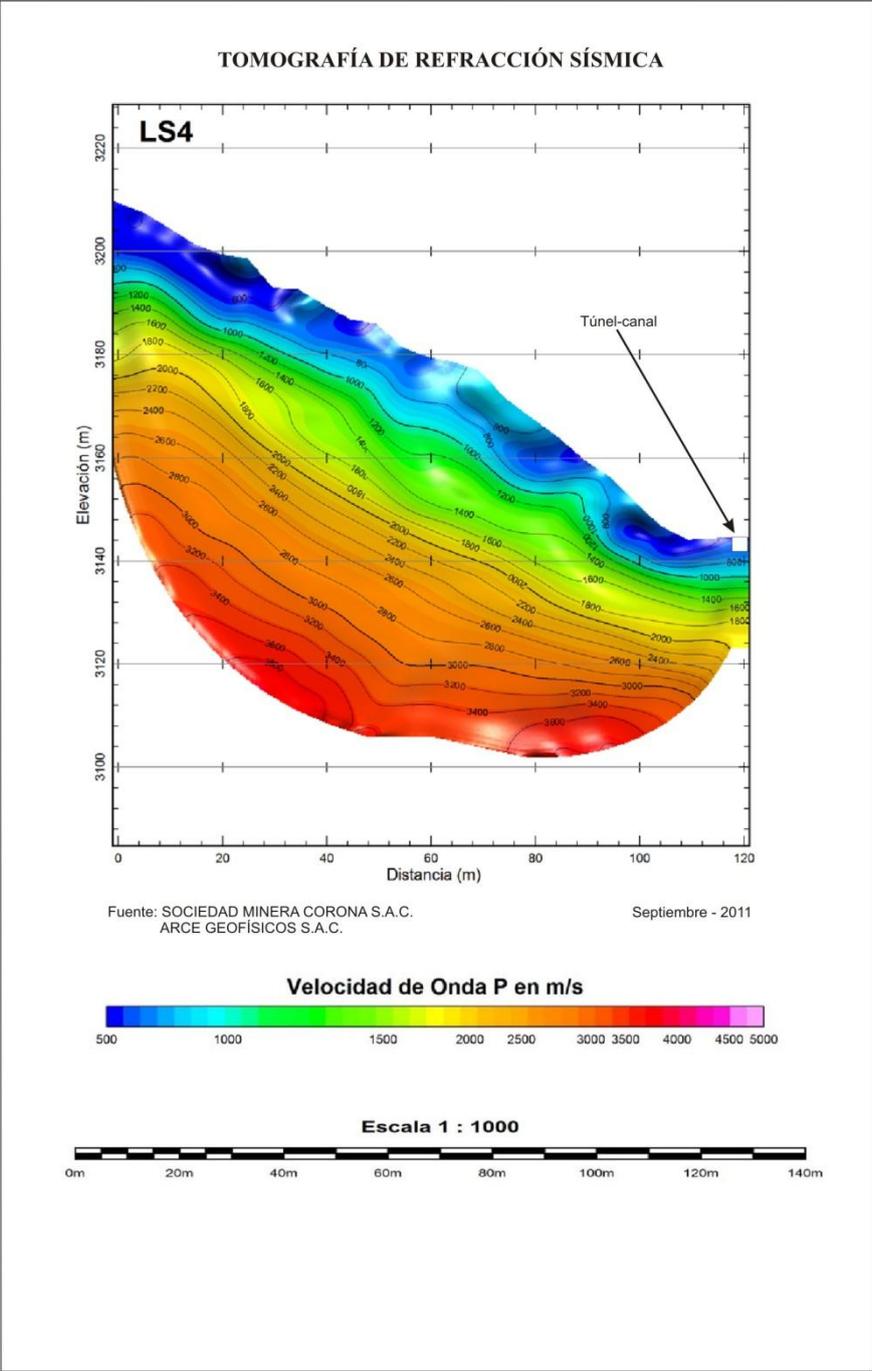


Figura 9: Tomografía de Refracción Sísmica LS4

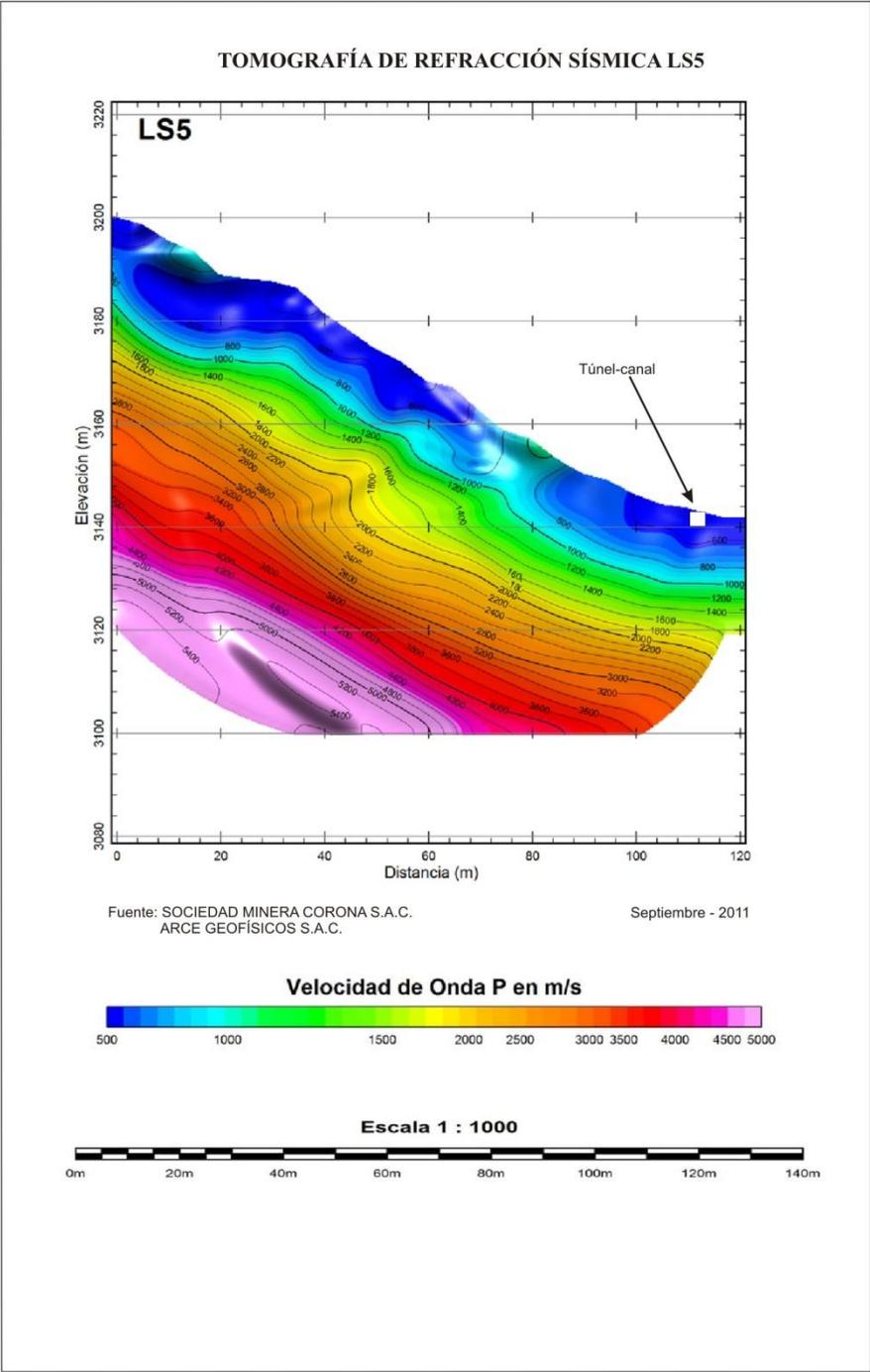


Figura 10: Tomografía de Refracción Sísmica LS5

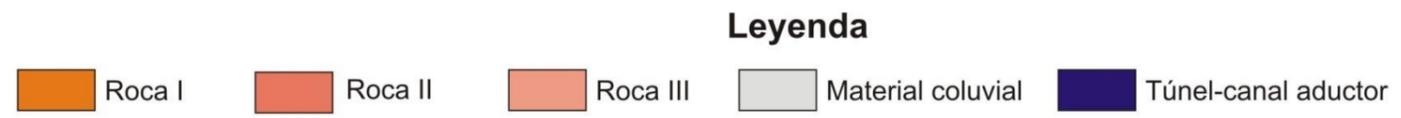
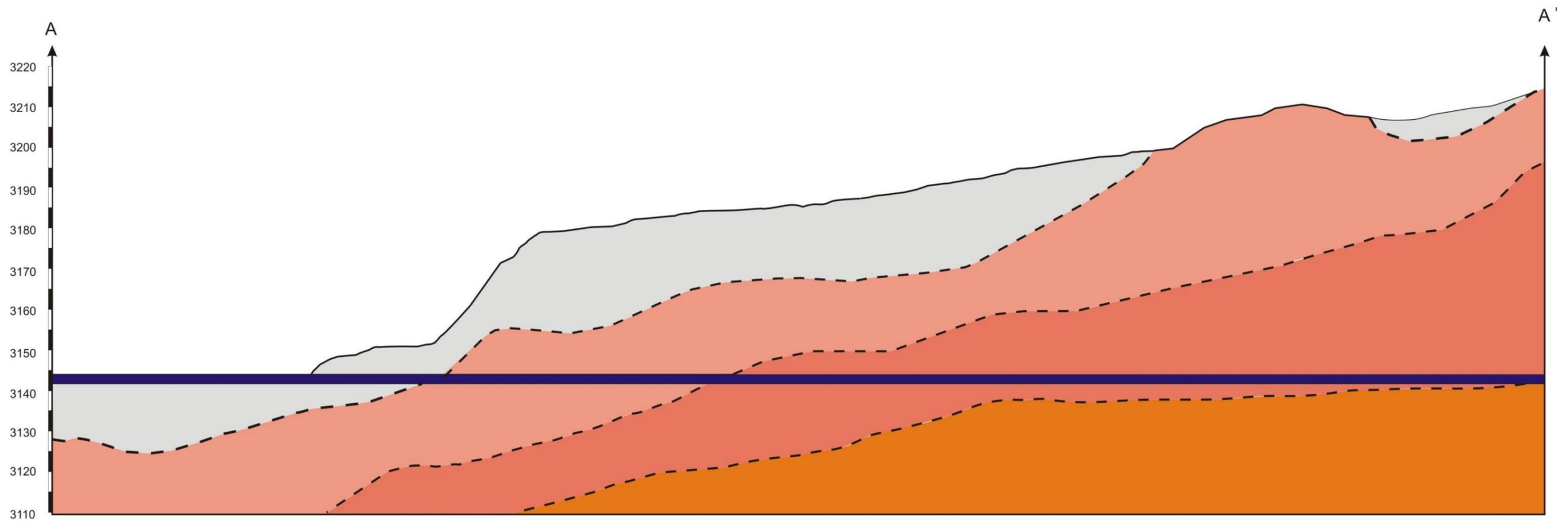


Figura 11.- Perfil A-A'

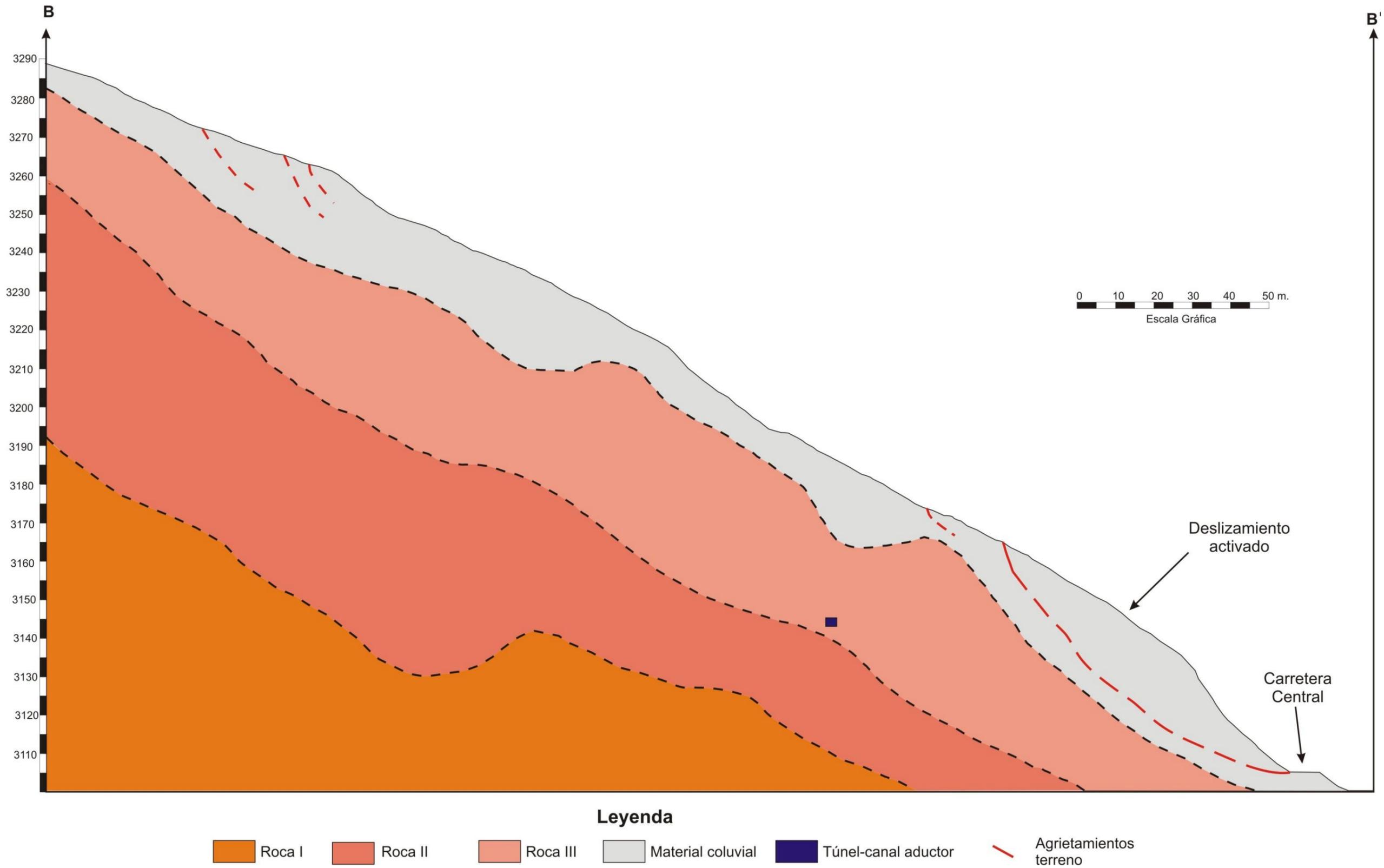


Figura 11.- Perfil B-B'

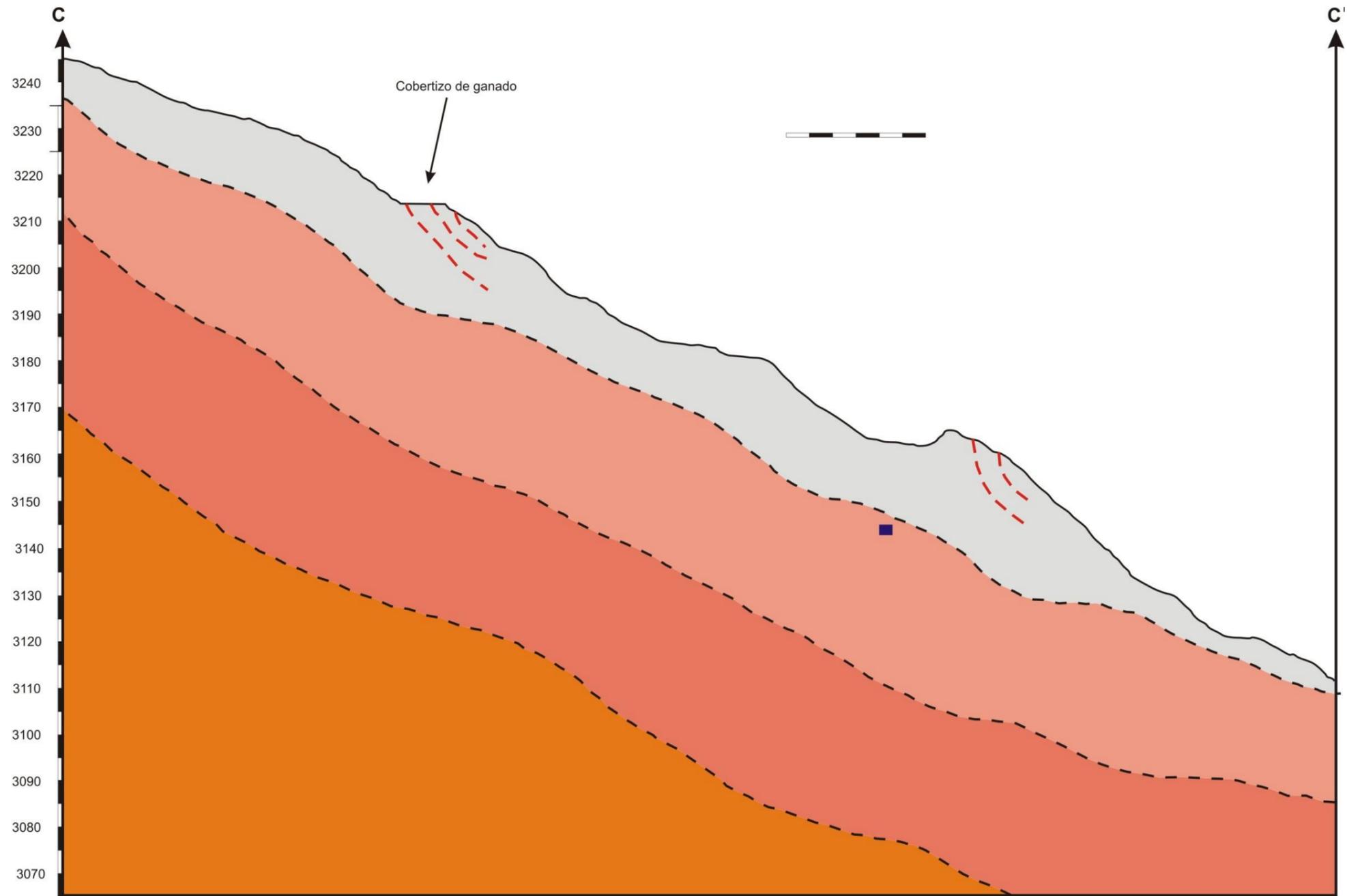


Figura 12: Perfil C-c'

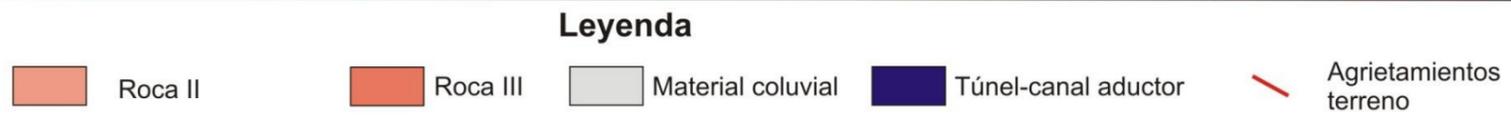
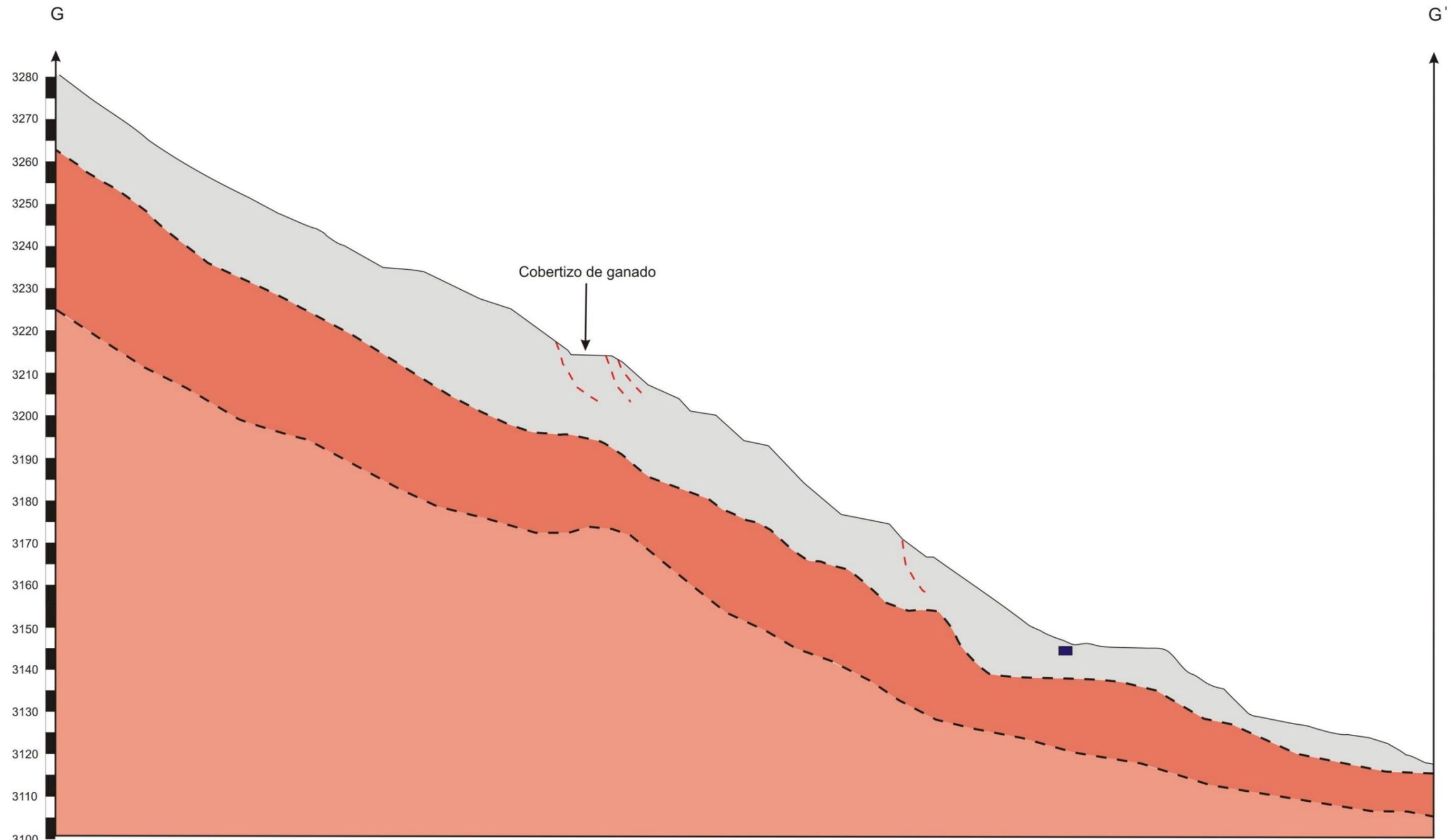


Figura 13: Perfil G-G'

5.2.4 CAUSAS DE LAS REACTIVACIONES RECIENTES

Luego de las observaciones de campo y trabajos de gabinete realizados, se han determinado las siguientes causas de las reactivaciones de los deslizamientos recientes:

Infiltración de aguas superficiales: Provenientes del agua de riego de cultivos situados en la ladera. También por infiltración de agua de lluvias periódicas y/o excepcionales.

Se observó mangueras de conducción de agua en mal estado (foto 37), antiguos canales de regadío sin revestir (foto 38) y reservorios de agua revestido (foto 39)



Foto 37: Mangueras de conducción de agua, en mal estado, que fueron usadas para el regadío de cultivos de alfalfa.

Tipo de cultivo: alfalfa (foto 40), se tiene la creencia que para su regadío se necesita mucha cantidad de agua.

La infiltración de agua a través del terreno, se evidencia en los afloramientos de agua, que surgen en el portal de entrada del canal (foto 41) y en borde de la carretera central (cubierto por el deslizamiento).



Foto 38. Canal de regadío sin revestir.



Foto 39. Reservorio de agua ubicado en la parte alta.

Depósito de fácil remoción. Como se mencionó anteriormente, parte de la ladera del cerro Pucruchacra se encuentra conformada por un antiguo depósito de deslizamiento (foto 42). Depósito formado por gravas arcillosas medianamente consolidadas, de baja permeabilidad (presencia de arcillas) y porosidad del 30%. Esta porosidad “chupa” el agua de regadío almacenándolo en el terreno y de esta manera incrementando el peso en la ladera. Este desbalance genera agrietamientos por donde el agua se infiltra rápidamente y en contacto con las

arcillas las humedecen hasta constituirse en “lubricante”. Este en la grieta, facilita el movimiento ladera abajo, perdiendo estabilidad.

Pendiente pronunciada del terreno: Mayor de 30°, (foto 43).



Foto 40. Cultivos de alfalfa, ubicados en la zona norte del cerro Pucruchacra. Óbserve las grietas en el terreno.



Foto 41. Afloramiento de agua, ubicado en el borde de la cuneta del canal aductor.

Construcción de la carretera central y canal aductor de la CHH: La alteración del talud natural de la ladera (carretera) y el sobrepeso (camiones de gran tonelaje y canal aductor) pueden contribuir con la desestabilización de la ladera.

Los deslizamientos en el área de estudio puede ser “detonados” por sismos, lluvias periódicas y excepcionales y antrópicos (riego indiscriminado, alteración del talud natural).



Foto 42. Material de fácil remoción, heterogéneo y medianamente consolidado.



Foto 43. Pendiente pronunciada del terreno

6.0 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

Uno de los agentes (causas y “detonantes”) para la generación de los movimientos en masa es el agua, y en ladera Pucruachaca no parece ser una excepción a ello, ya que los materiales deslizantes de naturaleza heterogénea, no consolidados, facilitan la saturación del agua y aumentan los procesos de la inestabilidad. En la parte alta del Cerro Pucruachaca se encuentran afloramientos de roca volcánica - sedimentaria que corresponden a acuíferos fisurados con buena permeabilidad.

Regionalmente el factor de recarga del agua subterránea son las precipitaciones pluviales periódicas, y localmente son varios los factores de recarga, entre ellos, los canales sin revestimiento, las zonas agrícolas, etc.

El agua subterránea que es parte de la infiltración de la precipitación, a través de las fracturas de las rocas y poros del suelo hasta llegar al material que la almacena y se satura. El movimiento del agua en el subsuelo es generalmente lento, con dirección hacia los niveles bajos, en ángulos inclinados, debido a la gravedad.

6.1 INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.

Para el reconocimiento de unidades acuíferas, que tengan influencia con las zonas inestables en el área de estudio, se realizó un inventario de puntos de aguas. Identificando un (1) manantial y zonas saturadas de agua, que se manifiestan en la parte baja de la ladera. Fotos 44 y 45.

CUADRO 1: INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Nombre	Este	Norte	Altitud	Caudal (L/S)
Pucruachaca (SM-001)	357618	8698992	3199	0.0025 a 0.01 (goteo)

Surgencia Pucruachaca (SM- 001): Ubicado en la parte baja de la ladera del cerro, al costado derecho del canal aductor de la CHH, muy cerca de la Carretera Central. El caudal mínimo medido es equivalente a 0.0025 l/s y un máximo de 0.01 l/s.



Foto 44: Surgencia en el cerro Pucrachacra , ubicada al lado del Canal de aducción.



Foto 45: Se muestra suelos húmedos, saturados, ubicados cerca del portal de entrada al túnel – canal aductor de la CHH.

6.2 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

La productividad de un acuífero depende de las características hidrogeológicas de los materiales, estas se encuentran ligadas a las propiedades físicas de la roca almacén que determinan valores como permeabilidad, transmisibilidad, porosidad eficaz, coeficiente de almacenamiento y gradiente hidráulico.

El ensayo de infiltración nos ha permitido calcular la permeabilidad superficial; el factor principal que permite el almacenamiento y circulación de aguas subterráneas, donde los ensayos 01 y 02 muestran una permeabilidad de 0.057 y 0.11 respectivamente, el cual corresponden a un terreno poco permeable (Custodio & Llamas, 1983). Pero la porosidad de este suelo alcanza valores del 27%, valor que nos indica que este puede saturarse y con ello generar movimientos en masa, al aumentar el peso del material. Ver fotos 46 y 47.

Regionalmente la permeabilidad que tiene un acuífero volcánico -sedimentario, es la permeabilidad adquirida por el intenso fracturamiento. En acuíferos fisurados volcánicos, la dirección de flujo de agua es controlada por el sistema de fracturas, fisuras, diaclasas o fallas. Estas grandes estructuras van a aumentar considerablemente la circulación del agua subterránea en este tipo de rocas, con la posibilidad de transmitir está a los materiales superficiales que la cubren. Para los materiales geológicos se considera la permeabilidad vertical (infiltración) y la permeabilidad horizontal (flujo de agua).

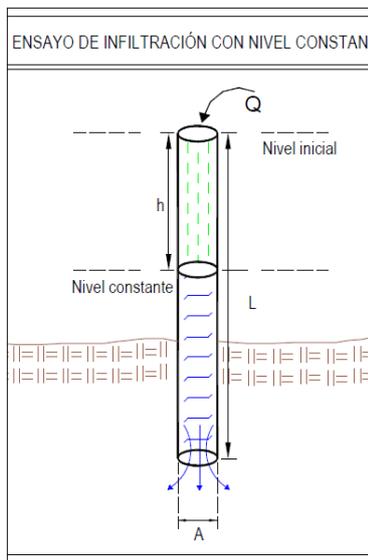


Foto 46: Ensayo 01 de Infiltración en la ladera del Cerro Pucruyacra: con carga constante.



Foto 47: Ensayo 02 de Infiltración en la ladera del cerro Pucrachacra con carga constante.

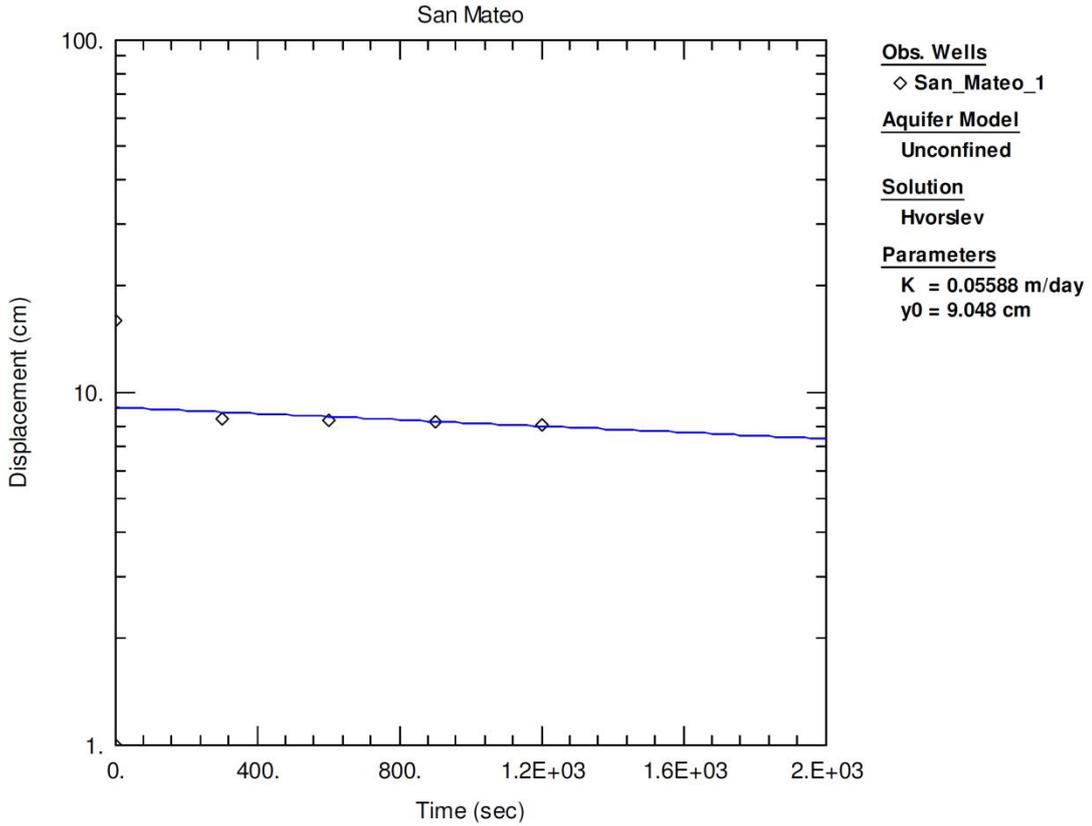
6.3 HIDROQUÍMICA

La interpretación hidroquímica es de suma importancia, para la interpretación del tipo agua y los determinar los posibles orígenes de este.

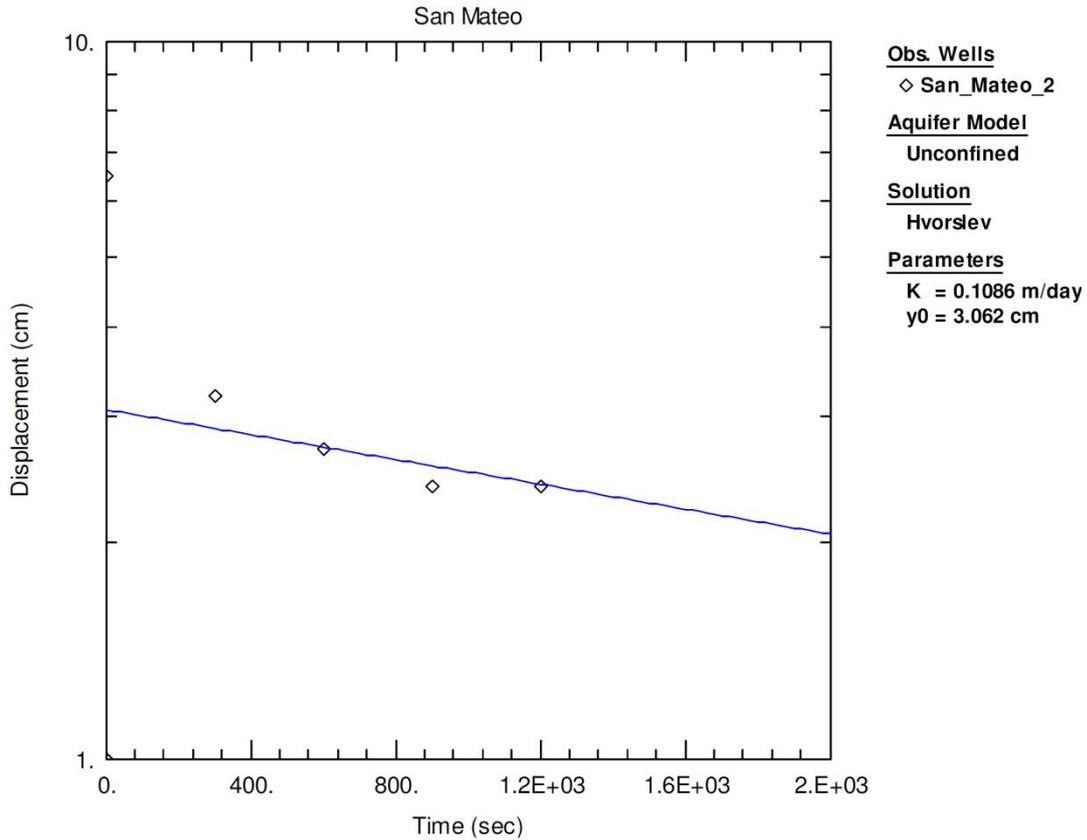
CUADRO 2: PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Nombre de la Surgencia	Parámetros fisicoquímicos			
	PH	CE (uS/cm)	TSD (mg/l)	T (°C)
Pucrachacra	7.98	851	417	12.2

Uno de los parámetros más importantes en la toma de muestra in situ es el pH. En el manantial inventariado se observa que el pH es neutro (7.98). La conductividad eléctrica y el TDS de estas aguas son relativamente bajas a moderadas, el cual nos indica que tienen poca concentración de sales, tomadas del terreno (arcillas). La temperatura de estas aguas son bajas, producto de la corta infiltración del manantial. Estas propiedades físicas indican que probablemente las aguas provienen del regadío y menor concentración de las aguas de infiltraciones de lluvia.



<u>SAN MATEO</u>	
Data Set: <u>D:\San mateo\San Mateo-01.aqt</u>	Time: <u>17:00:18</u>
Date: <u>09/13/11</u>	
<u>PROJECT INFORMATION</u>	
Company: <u>INGEMMET</u>	
Project: <u>Evaluacion de Peligros</u>	
Location: <u>Rimac</u>	
Test Well: <u>San Mateo 1</u>	
Test Date: <u>20/08/2011</u>	
<u>AQUIFER DATA</u>	
Saturated Thickness: <u>60.</u> cm	Anisotropy Ratio (Kz/Kr): <u>1.</u>
<u>WELL DATA (San Mateo 1)</u>	
Initial Displacement: <u>1.</u> cm	Static Water Column Height: <u>60.</u> cm
Total Well Penetration Depth: <u>1.</u> cm	Screen Length: <u>1.</u> cm
Casing Radius: <u>2.54</u> cm	Wellbore Radius: <u>2.54</u> cm
	Gravel Pack Porosity: <u>0.27</u>
<u>SOLUTION</u>	
Aquifer Model: <u>Unconfined</u>	Solution Method: <u>Hvorslev</u>
K = <u>0.05588</u> m/day	y0 = <u>9.048</u> cm



<u>SAN MATEO</u>	
Data Set: D:\San mateo\San Mateo-2.aqt	Time: 17:14:46
Date: 09/13/11	
<u>PROJECT INFORMATION</u>	
Company: <u>INGEMMET</u>	
Project: <u>GA-16</u>	
Location: <u>HUAURA</u>	
Test Well: <u>HUAURA-02</u>	
Test Date: <u>21/07/2007</u>	
<u>AQUIFER DATA</u>	
Saturated Thickness: <u>60. cm</u>	Anisotropy Ratio (Kz/Kr): <u>1.</u>
<u>WELL DATA (San Mateo 2)</u>	
Initial Displacement: <u>1. cm</u>	Static Water Column Height: <u>60. cm</u>
Total Well Penetration Depth: <u>1. cm</u>	Screen Length: <u>1. cm</u>
Casing Radius: <u>2.54 cm</u>	Wellbore Radius: <u>2.54 cm</u>
	Gravel Pack Porosity: <u>0.27</u>
<u>SOLUTION</u>	
Aquifer Model: <u>Unconfined</u>	Solution Method: <u>Hvorslev</u>
K = <u>0.1086 m/day</u>	y0 = <u>3.062 cm</u>

7.0 PELIGRO SÍSMICO EN EL CERRO PUCRUCHACRA

7.1 GENERALIDADES

Perú está ubicado en la costa occidental de América del Sur, y su entorno tectónico está influenciado por el desplazamiento y la fricción de las placas de Nazca y Sudamericana dentro del proceso de subducción, que ocasiona entre otros aspectos, sismos de diferente magnitud a diversos niveles de profundidad. Estos sismos son parte de la principal fuente sismogénica en nuestro país. Una segunda fuente la constituye la zona continental cuya deformación produce la formación de fallas con la consecuente ocurrencia de sismos de magnitudes menores en tamaño (Cahill y Isacks, 1992; Tavera y Buforn, 2001).

Los sismos son una de las mayores causas de la ocurrencia de movimientos en masa. Keefer (1994), señala, en relación a la magnitud de un sismo, que las caídas y deslizamientos de rocas son disparados con magnitudes locales de 4.0 M_l y las avalanchas con magnitudes locales de 6.0 M_l . En función de la intensidad sísmica, otros autores concluyen que la intensidad mínima para generar caídas es VI; para deslizamientos, y flujos VII, siendo la intensidad más baja para cualquier movimiento en masa IV. Otro de los parámetros usados en estas relaciones además de la magnitud e intensidad es la aceleración sísmica.

A continuación se presenta una revisión y análisis de la sismicidad histórica e instrumental en el área de influencia al Cerro Pucruachaca. El importante número de sismos presentes, nos ha permitido realizar estimaciones de las aceleraciones máximas esperadas para un periodo de 30, 50 y 100 años, así como conocer las posibles intensidades que podrían afectar al cerro Pucruachaca.

7.2 SISMICIDAD HISTORICA

La información sobre la sismicidad histórica del Perú se basa principalmente en el detalle efectuado por Silgado (1978) y se presentan en el Cuadro 3

CUADRO 3: DATOS MACROSÍSMICOS OCURRIDOS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA AL SECTOR DE ESTUDIO

FECHA	LOCALIDADES	INTENSIDADES	OBSERVACIONES
1555-11-15	Lima	VII	El más fuerte temblor, desde su fundación. Causó muchos desperfectos en sus edificaciones.
1568-04-04	Lima	IX	Por la tarde, se sintió en Lima un fuerte temblor. No ha quedado registro de daños materiales. Sismo se sintió en Ica y otros puntos.
1581	Lima	X	Un gran temblor afectó las casas de la ciudad. La fecha exacta no es desconocida.
1582-08-15	Lima	VII	Fuerte temblor durante la celebración del Concilio Provincial.
1584-03-17	Lima	VII	Averió edificios. Hubo necesidad de reparar y apuntalar en peligro de desplome. Por dos días quedó temblando contándose de 8 a 9 movimientos.
1586-07-09	Lima- Ica- Trujillo	VI- IX	Destruyó Lima. 14 a 22 víctimas. Se cayeron principales edificios y otros fueron muy afectados. Derrumbe de peñascos y rocas del cerro San Cristóbal y de otros en la parte alta del valle. Destrucción en los valles cercanos a Lima, y la villa de Valverde en Ica. Tsunami anegó gran porción de la costa. En el Callao, el mar inundó parte del pueblo.
1609-10-19	Lima	VII	Derribó y arruinó muchas edificaciones. En la catedral, en construcción, hubo que demoler sus bóvedas de ladrillo y labrar otras de crucería.
1630-11-27	Lima	VII	Causó varios muertos y contusos. El diario de Lima estimaba los daños causadas a los edificios en más de un millón de pesos.
1655-11-13	Lima - Callao	VIII – IX	Derribó casas y edificios en Lima; grietas en la Plaza Mayor y en el convento de Guadalupe. Graves daños en cárcel de la isla San Lorenzo.
1678-06-17	Lima- Callao	VII	Averió muchas edificaciones en Lima entre ellas el Palacio del Virrey. Reparaciones en el orden de tres millones de pesos. Estragos en el Callao. Nueve muertos en Lima, Callao y Chancay.
1687-10-20	Lima – Callao Ica- Cañete	VII – VIII- IX	Ocasiónó cerca de 100 muertos. Los estragos fueron grandes en el puerto del Callao y alrededores, hasta 700 km al sur de Lima. Entre Ica y Cañete, se formaron grandes grietas de muchos kilómetros de extensión.

1690-11-20	Lima		Gran temblor arruinó edificios y templos de la ciudad que habían quedado en pie luego del sismo de 1687.
1699-07-14	Lima	VII	Fuerte temblor en Lima. Derribó algunas casas.
1732-12-02	Lima		Recia sacudida de tierra en Lima, maltrató muchos edificios.
1746-10-28	Lima - Callao	X- XI	Terremoto en Lima, y tsunami en el Callao. En Lima de las 3 000 casas existentes sólo 25 quedaron en pie. Murieron 1141 personas de un total de 60 000; se desataron epidemias luego del desastre.
1828-03-30	Lima		Grandes daños en los edificios y viviendas, calculándose las pérdidas en 6 millones de pesos. 30 muertos y numerosos heridos. Sufrieron el puerto del Callao, Chorrillos y Chancay, Huarochirí y San Jerónimo.
1897-09-20	Lima		Destrucción en Lima y Callao. En el interior sufrieron las edificaciones de Huarochirí y hubo derrumbes de las partes altas.
1904-03-04	Lima	VII- VIII	En Lima cayeron cornisas, paredes antiguas y se agrietaron las torres de la catedral; en el Callao y Chorrillos no quedó casa sin rajadura. En Matucana hubo desprendimiento del material meteorizado de la parte alta de los cerros y agrietamientos en las viviendas. En Pasamayo, fueron profusos los deslizamientos en los acantilados de arena.
1909.04.12	Región Central del país	VI	Conmovió la región central del país. En la costa fue percibido desde Salaverry a Ica. En Lima fue de grado V en la hacienda Andahuasi, Huacho causó averías en la Matucana mayores daños.
1932-01-19	Lima	V - VII	Hizo caer cornisas, tapias y paredes viejas. En el Callao el temblor ocasionó diversos daños en las edificaciones. Se sintió fuerte en Huacho, ligeramente en Cañete, Chincha, Ica, Pisco, Trujillo y Chiclayo.
1933-08-05	Lima		Deterioros en las casas antiguas de la ciudad. Rotura de vidrios en la ciudad de Ica. Fue sentido entre Huacho y Pisco a lo largo de la costa.
1940-05-24	Lima	VII – VIII	Destrucción de muchas edificaciones en Lima, Callao, Chorrillos, Barranco, Chancay y Lurín. 179 muertos y 3500 heridos, estimándose los daños materiales en unos 3 600 000 soles oro.
1945-06-15	Lima		Causó rajaduras en las construcciones modernas del barrio obrero del Rímac. Sentido desde Supe hasta Pisco por la costa. En Canta, Matucana, Morococha, Casapalca y Huaytará en el interior.

1951-01-31	Lima	VI – VII	Rajadura vertical en la fachada de un edificio de la Plaza San Martín. El Observatorio de Lima, registró aceleraciones máximas de 68 cm/seg ² , con períodos de 0,1seg. en las componentes horizontales.
1952-08-03	Lima- Callao	V – VI	Sentido en todo Lima. Se registró una aceleración máxima de 21 cm/seg ² , con período de 0,2 segs. en sus componentes horizontales.
1954-04-21	Lima	VI	Ligeros desperfectos en las antiguas construcciones de adobe de Mala, Cañete y San Antonio. En Lima se registró una aceleración máxima de 25 cm/seg ² , con períodos de 0,1 seg. Derrumbe en el sector Pacasmayo y en el talud de falla de Jahuay (km 184 de la carretera sur).
1955-02-09	Lima		Diez personas accidentadas. Aceleración promedio 27 cm/seg ² con períodos de 0,2 seg. Desprendimientos en los barrancos de los balnearios y en el sector de Pasamayo al N. de Lima; ligeramente destructor para los edificios y viviendas de la ciudad de Cañete.
1957-02-18	Huarmey - Chincha	IV – V	En las cercanías de Sayán, en el río Huaura, deslizamientos de grandes bloques de piedras rompieron muro de contención de un canal de irrigación. Derrumbes de arena en Pasamayo. En Canta la intensidad fue ligeramente superior al grado V, lo mismo que en Huacho.
1966-10-17	Lima	VIII	Cien muertos y muchos daños materiales. Destructor en la franja entre Lima y Supe. La aceleración registrada en Lima acompañada de periodos dominantes del orden de un décimo de segundo. La amplitud máxima fue de 0,4 g., entre ondas de aceleraciones menores de 0,2 g. En la Hda. San Nicolás a al N. de Lima, numerosas grietas con surgencia de agua amarilla. Derrumbes en el km 51 de la Panamericana, y el km 22 de la carretera Central. Deslizamientos en los acantilados de Chorrillos, Miraflores y Magdalena.
1970-05-31	Costa de Lima – Ica	V – VI	Uno de los más catastróficos terremotos en la historia del Perú, se sintió en casi toda la costa del Perú hasta las cordilleras, con diferentes intensidades. Al Sur y ESE fue de grado VI MM en Lima.
1972-06-19			Ligeros desperfectos en el centro de Lima. Alarma en Mala y Cañete. Por el Norte se sintió en Chancay y Huacho.

1974-10-03	Lima	VII- VIII	78 muertos, unos 2 500 heridos y pérdidas materiales estimadas en unos 2 700 millones de soles. En Lima metropolitana daños en las iglesias y monumentos históricos, edificios, y viviendas antiguas de adobe de Barrios Altos, Rímac, el Cercado, Callao, Barranco y Chorrillos. Los efectos destructores del sismo se extendieron a Mala, Chincha, Cañete, Pisco y otras poblaciones con saldo de 13 muertos y numerosos heridos. Derrumbes en los acantilados entre Magdalena y Chorrillos.
2007-8-15	Ica	VII – VIII V Lima	Los efectos destructores del sismo se produjeron en Ica, Pisco, Chincha, Cañete y otras poblaciones con saldo de 595 muertos y numerosos heridos. Se reportaron derrumbes en los acantilados entre Magdalena y Chorrillos y en la carretera Central.

Fuente: Silgado, 1978.

7.3 DISTRIBUCIÓN DE INTENSIDADES SÍSMICAS MÁXIMAS

La zona de San Mateo de Huanchor, ha sido afectado por un gran número de sismos que produjeron intensidades que oscilaron entre V y VII (MM), siendo los más importantes los que ocurrieron frente a la línea de costa de la ciudad de Lima en 1586, 1655, 1687, 1725, 1746, 1806, 1904, 1940, 1966 y 1974.

En la Figura 15 se presenta el Mapa de Distribución de Intensidades Sísmicas Máximas elaborado por Alva y Meneses (1984), proyecto SISRA a cargo del Centro Regional de Sismología para América del Perú y el Caribe (CERESIS). Dentro del área de San Mateo de Huanchor, se observa que prevalecen intensidades máximas del orden de VII (MM), dista de la costa aproximadamente 92 Km.

7.4 SISMOTECTONICA DE LA REGIÓN

El entorno sismotectónico del Perú, permiten considerarlo como uno de los países de mayor riesgo sísmico en América Latina. Los últimos sismos que produjeron importantes cambios geomorfológicos en áreas cercanas a sus epicentros, son los de Nazca, 1996 (7.7Mw), Arequipa, 2001 (8.2Mw) y Pisco en el 2007 (7.9 Mw).

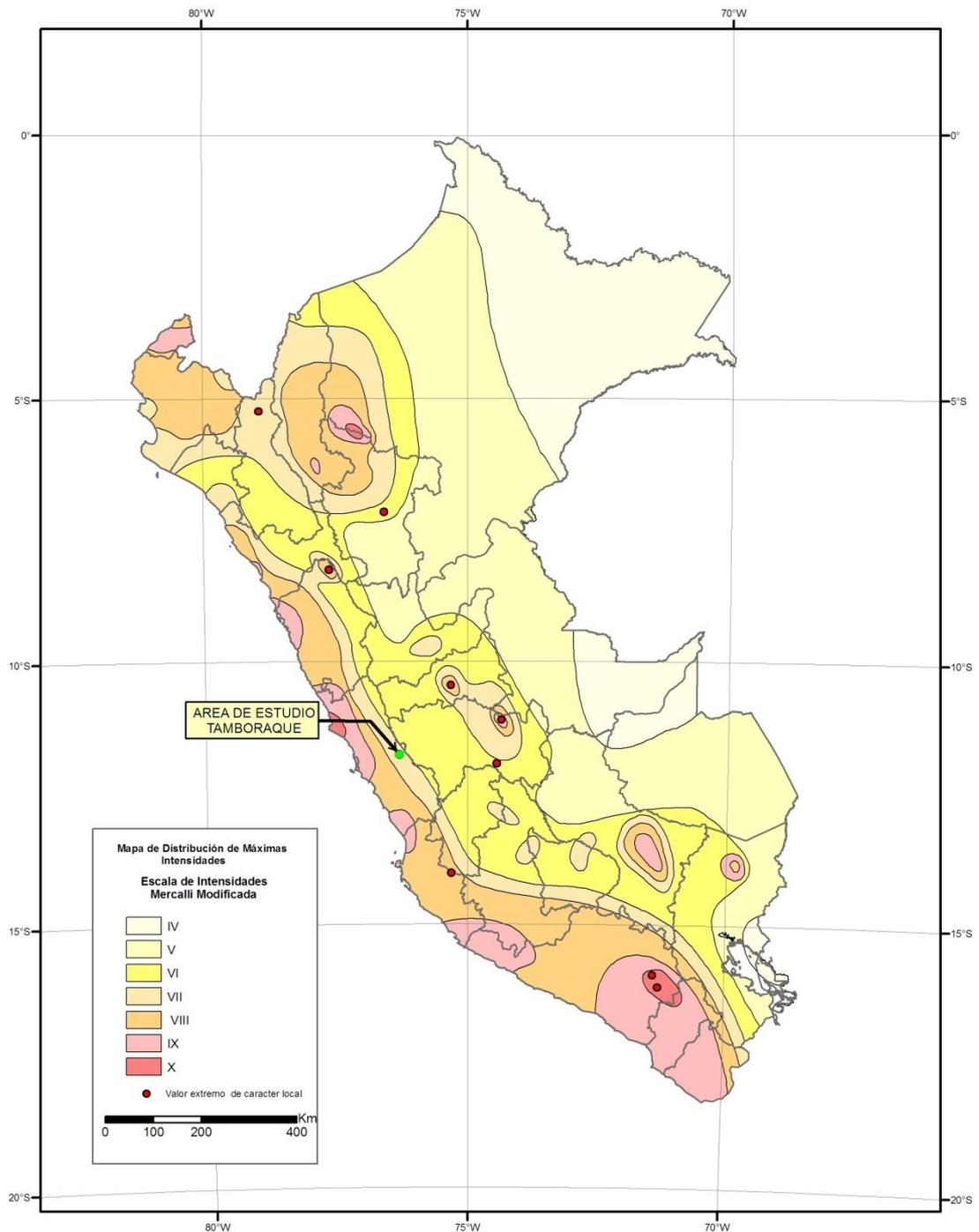


Figura 15

Algunos de los efectos del sismo de Pisco del 2007, fueron observados a más de 200 Km del epicentro (ZAVALA, et al, 2007). Localidades de la provincia de Cañete (Lima), como Laraos, Huangascar y Chocos, así como en algunas zonas de Huancavelica (Tantará y Huaytará), asentadas sobre depósitos de deslizamientos o avalanchas de rocas antiguas, fueron afectadas por reacomodo de estos depósitos.

Estudios recientes de Neotectoncia deL Perú (Machare et al, 1991), han identificado la presencia sobre nuestro territorio de un importante número de fallas activas, muchas de las cuales producen sismos continuamente. En la zona de probable influencia de fallas geológicas activas, al sector del cerro Pucruhacra se tienen: la Falla Huaytapallana (Huancayo), con intensidades máximas del sismo en las cercanías de la falla de VIII-IX (MM); la Falla Cayesh (al NE de Tarma); y el Sistema de Fallas de Satipo, sobre la zona subandina al pie del borde oriental de la cordillera andina.

7.5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS SISMOS

Las máximas intensidades en la escala Mercalli Modificada evaluadas en el cerro Pucruhacra oscilaron entre V y VII. El sismo del 28 de Octubre de 1746, fue el más catastrófico. Para algunos de estos sismos Silgado (1978), elaboró sus respectivos mapas de intensidades, siendo los correspondientes a los sismos de 1940 (mb=8.0), 1966 (mb=9.0) y 1947 (mb=7.5).

La distribución espacial de los sismos en Perú se basa en los datos históricos e instrumentales del IGP (período 1500-2005). Se diferencian sismos superficiales ($h < 60\text{km}$), intermedios ($61 < h < 300\text{ km}$) y profundos ($h > 300\text{ km}$). Los superficiales ocurren frente a la línea de costa sobre una banda de aproximadamente 400 km, desde Tumbes a Tacna. En la zona de San Mateo de Huanchor, la actividad sísmica presenta focos superficiales e intermedios, según las características antes descritas.

7.6 ESTUDIO SÍSMICO PROBABILÍSTICO

A fin de conocer las aceleraciones máximas producidas por un sismo, que en el futuro pudiera ocurrir en la zona de San Mateo de Huanchor, se ha analizado el peligro sísmico de dicha área utilizando la base de datos del "Catalogo Sísmico del IGP", la ecuación de Huaco y las fuentes sismogencias definidas por Zamudio y Tavera (2004). Para el cálculo de las aceleraciones máximas se usó el programa RISK III (McGuire, 1999).

En las figuras 16 y 17, se muestra las aceleraciones máximas para periodos de 50 y 100 años, con un 10% de excedencia. El Cuadro 4 muestra las máximas aceleraciones esperadas para períodos de retorno de 30, 50, 100, 200, 400, 475 y 1000 años.

CUADRO 4: ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS EN LA ZONA DEL CERRO PUCRUCHACRA, PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO

Coordenadas	Período de Retorno / Aceleración (g)						
	20	50	100	200	500	1000	>1000
Cerro Pucruchacra 357696 Este 8698789 Norte	0.295	0.349	0.396	0.444	0.517	0.580	-----

Fuente: Elaboración propia con datos del IGP.

Es usual considerar una aceleración efectiva en vez de la aceleración instrumental pico, del orden del 25 al 30% más baja. Por lo tanto, la aceleración efectiva para un período de retorno de 500 años será de 0.36g. En caso de utilizar en el diseño de taludes y muros pseudos-estatico, se recomienda un valor de 0.26g.

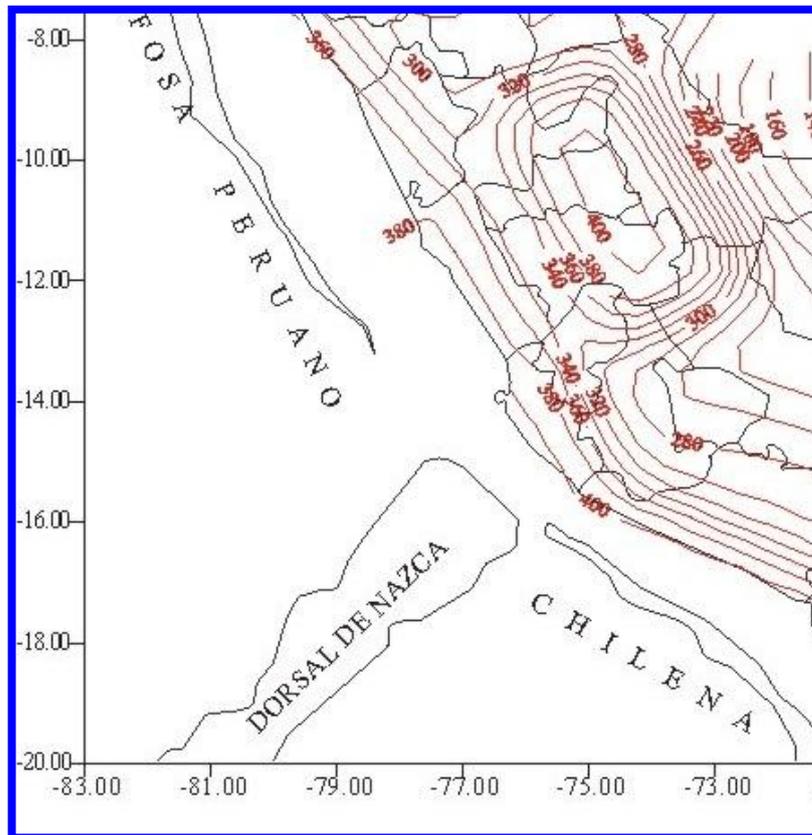


Figura 16: Distribución de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años (Ecuación de Huaco).

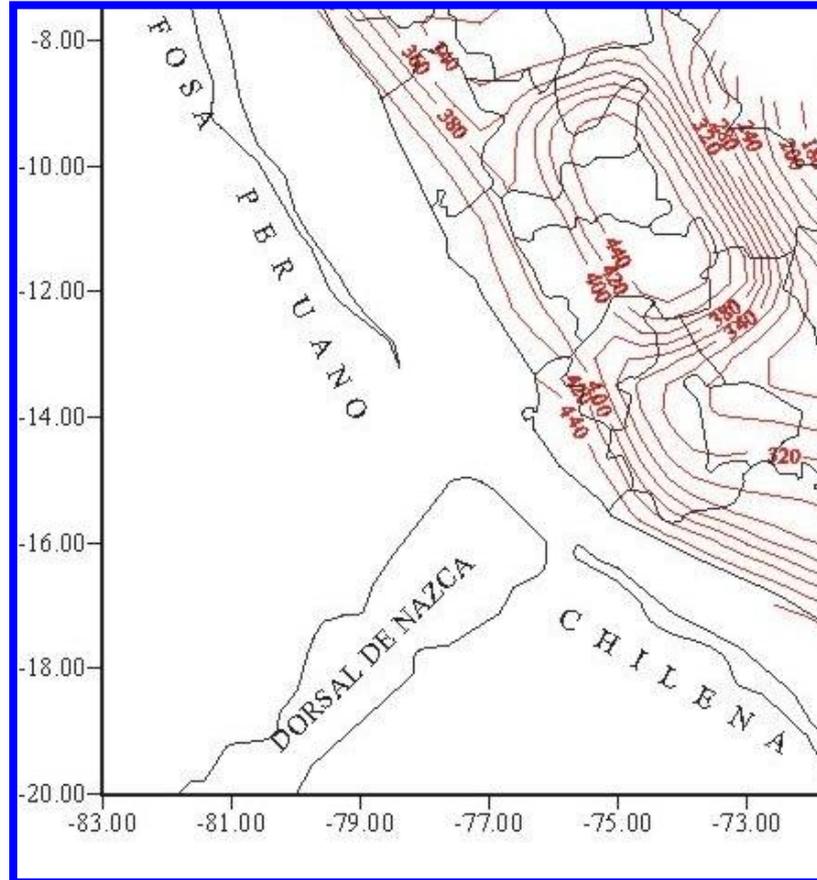


Figura 17: Distribución de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 100 años (Ecuación De Huaco)

7.7 ZONIFICACIÓN Y ACELERACIONES MÁXIMAS

El Mapa de Zonificación Sísmica para el Perú, actualmente es utilizado en el Reglamento de Construcción Sísmica (Figura 18). Según dicho mapa, la zona del cerro Pucruchacra, se identifica con la Zona 3.

La Zona 3, corresponde a una zona Sismicidad Alta, localizada entre la línea de costa hasta el margen occidental de la Cordillera de los Andes. Incluye ciudades y centros poblados como Callao, Lima, Chosica, Matucana, San Mateo, entre otros.

Este mapa es coherente con el de aceleraciones máximas, y de su comparación es posible definir la existencia de una zona bien marcada, donde las áreas con valores de máximas intensidades coinciden con las de sismicidad Alta, principalmente para la zona del Cerro Pucruchacra, de interés en el presente estudio.

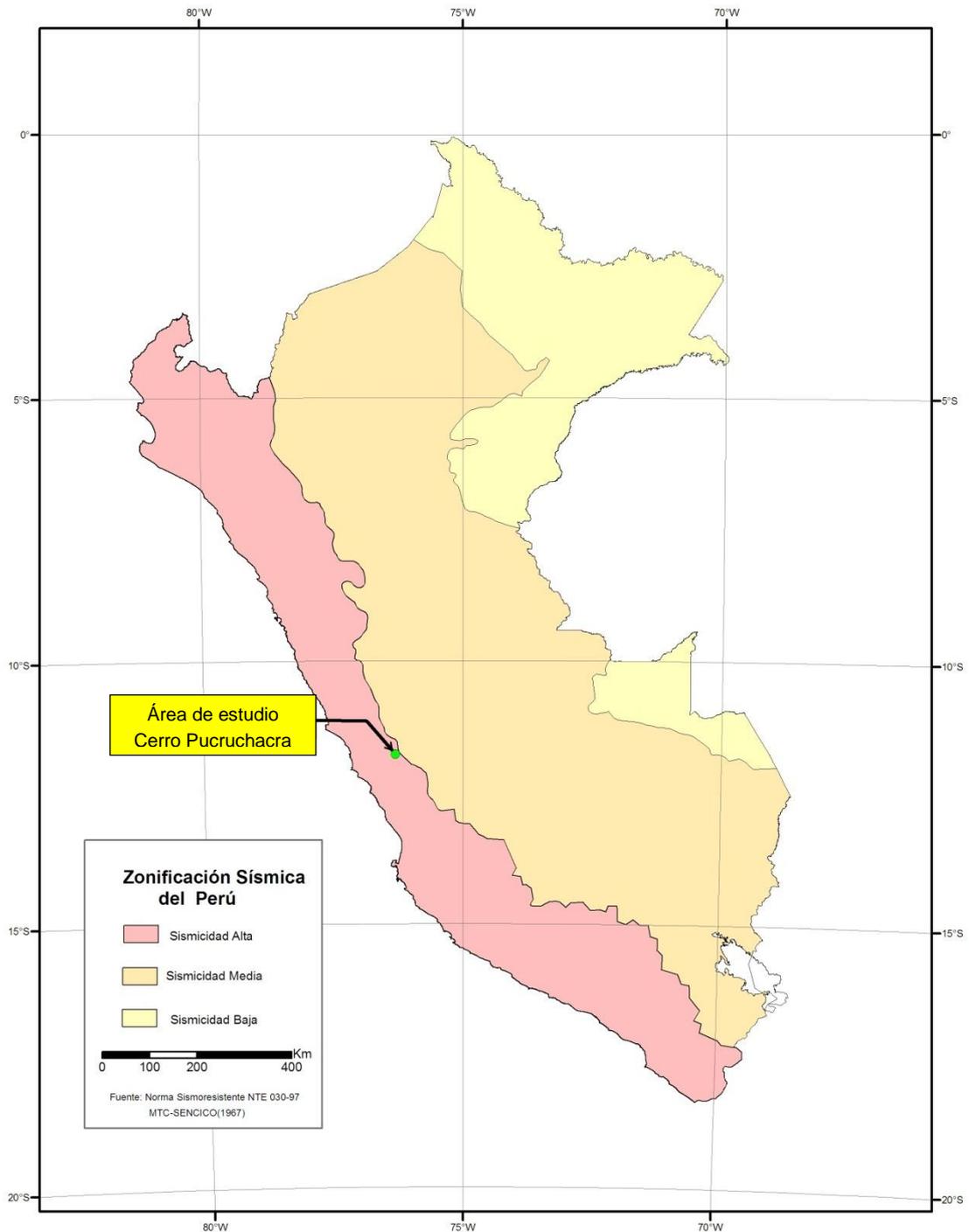


Figura 18

En la Figura 19 se presenta la curva de probabilidad anual de ocurrencia de aceleraciones máximas y sismos de gran magnitud para Cerro Pucruchaca. En dicha figura se deduce que se produciría una aceleración máxima de 517 gals con una probabilidad de 0.002%, siendo el periodo medio de retorno del sismo que produce dicha aceleración 900 años. Aceleraciones del Orden de 349 gals se producirían con un porcentaje de 0.05% con periodos de tiempo de retorno de 60 años en promedio.

Según la guía metodológica de evaluación de riesgo por fenómenos de remoción en masa (OJEDA, J., 2001), con ventanas de tiempo para 20, 50 y 100 años de vida útil, corresponden a 200, 475 y 1000 años de periodo de retorno respectivamente para un 10% de excedencia se ha determinado en forma general, de acuerdo a valores de aceleraciones Máximas esperadas para este sector comoo zonas sísmicamente de categoría Alta a Muy Alta (Ver Cuadro 5).

CUADRO 5 CLASIFICACION DEL FACTOR DETONANTE (SISMICIDAD)

CATEGORIA	DESCRIPCION
Alta	Se espera un AMH entre 250 a 300 gals
Muy Alta	Se espera un AMH mayores a 300 gals

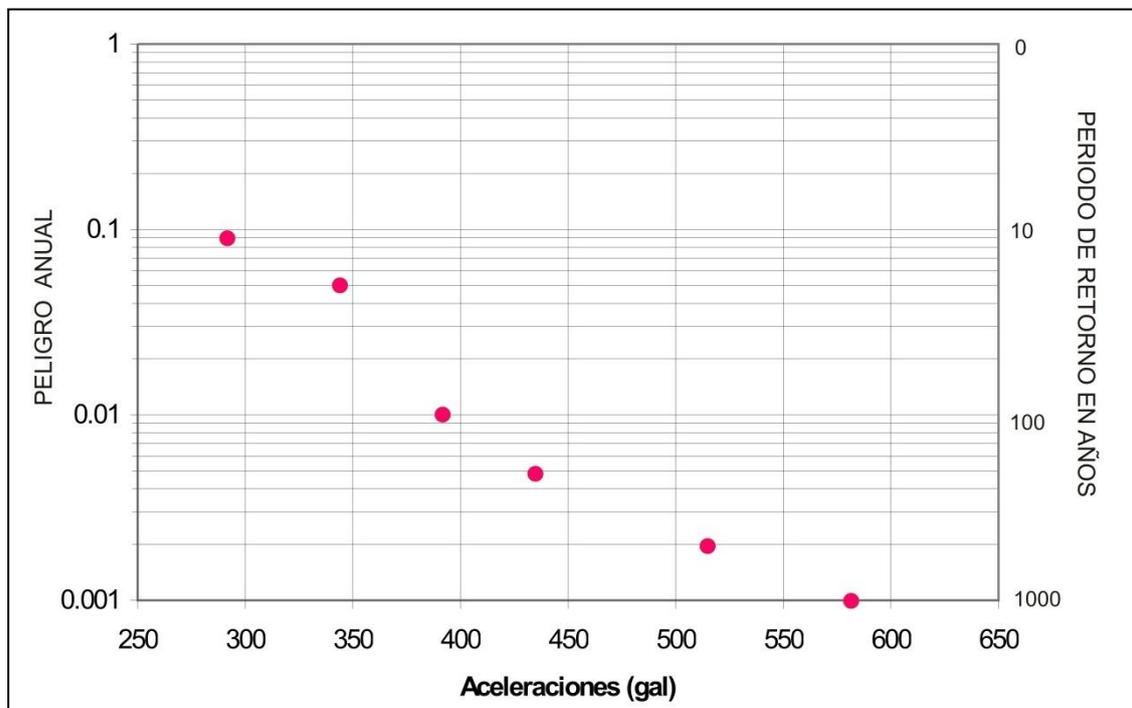


Figura 19: Curva de Peligro Anual para el sector del cerro Pucurchacra

Fuente: Elaboración propia con datos del IGP, 2005

7.8 SISMO DE CONTAMANA DEL 24 DE AGOSTO DEL 2011

En la zona oriental de la región central del Perú, el día 24 de agosto del 2011, ocurre un sismo de magnitud moderada (7.0 ML, 7.1 Mw) y epicentro ubicado a 37 km al SE de la localidad de Contamana (Loreto) y 93 km al N-NO de la ciudad de Pucallpa (Ucayali). El sismo ocurrió a una profundidad de 148 km (foco intermedio) y en general, presentó un área de percepción con radio del orden de 700 km, siendo mayor su intensidad entorno a las ciudades de Contamana y Pucallpa.

Según el mapa preliminar de isosistas del sismo del 24 de agosto del 2011, elaborado por el IGP, en San Mateo se sintió con una intensidad III, en la escala modificada de Mercalli.

7.8.1 EFECTOS DEL SISMO EN EL CERRO PUCRUCHACRA

Después del sismo del 24 de agosto, comparando las observaciones hechas el día 17 del mismo mes y las hechas el 25/08, se pueden hacer las siguientes precisiones:

En el Sector de cobertizo de ganado, la grieta de mayor dimensión, incremento su desplazamiento vertical en 0,20 m (fotos 48 y 49).



Fotos 48 y 49. Sector del cobertizo de ganado. Se muestra el incremento del desplazamiento vertical.

En algunas grietas se observó un desplazamiento vertical, como se puede observar en las fotos 50 y 51.



Foto 50



Foto 50 y 51: Se muestra el incremento del desplazamiento horizontal, que ha originado la caída de un pedazo de masa.

En los alrededores del canal aductor de la central hidroeléctrica de Huanchor, en el portal de entrada se observó empujes del terreno que han afectado al muro de mampostería y cuneta del canal (fotos 52 y 53).

Con lo observado se puede decir que el terreno, que por efectos del movimiento sísmico, mostró en los agrietamientos un desplazamiento vertical y horizontal, siendo hasta en 20 cm.



Foto 17 de agosto 2011.

Foto 52



Foto 25 de agosto 2011

Fotos 52 Y 53: Portal de entrada del canal aductor de la central hidroeléctrica de Huanchor. Se muestra los empujes del terreno que afectado al muro de mampostería.

8.0 ZONAS CRÍTICAS, AFECTADAS Y/O COMPROMETIDAS

Las principales zonas críticas, afectadas y/o comprometidas, localizadas en el área de estudio son: (Mapa 4)

8.1 ZONA CRÍTICA 1: Km. 93+000 CARRETERA CENTRAL

Situada a la altura del Km. 93+000 de la carretera Central, en un tramo de 100 m. Su activación interrumpió el tránsito por aproximadamente un día (17 agosto 2011). Ver fotos 54 y 55. El tránsito por las dos vías fue abierto al tercer día. En este sector, también fueron afectados el cable que abastece de energía a la antena de Celular Claro y los postes de tendido eléctrico. Actualmente restaurados. Foto 56.



Foto

54: Zona del deslizamiento del 16 de agosto. En la parte inferior se ve la congestión de tránsito.



Foto 55: Parte de la carretera Central que fue cubierta por el deslizamiento generado el 16 de agosto.



Foto 56: Viviendas que fueron afectadas por el deslizamiento del 16 de agosto del 2011. Se aprecia también el poste de tendido eléctrico que fue afectado

8.2 ZONA CRÍTICA 2: CANAL ADUCTOR EN SUPERFICIE, PORTAL DE ENTRADA AL TÚNEL

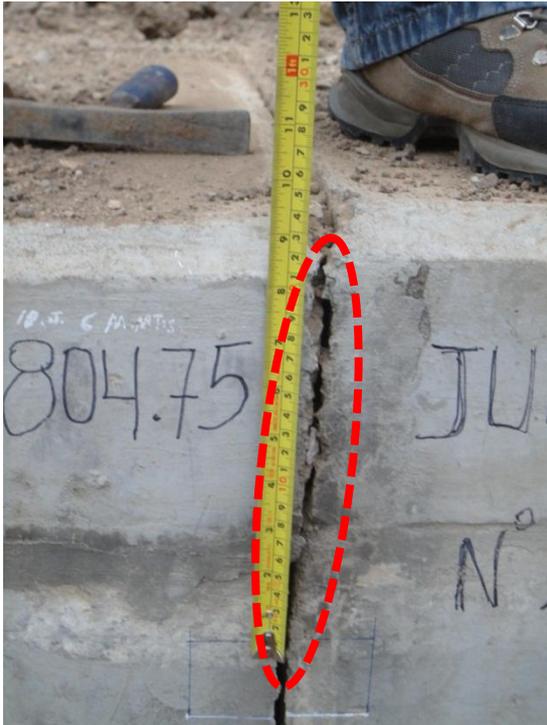
Empujes del terreno que han generado agrietamientos y fisuras en la cuneta del Canal de Aducción de la CHH (fotos 57 y 58).

Se apreció también empujes del terreno que han afectado al muro de mampostería que se ubica en el portal de entrada del canal. Ver fotos 52 y 53. El canal de aducción ha sufrido desplazamientos milimétricos como se observan en las fotos 59 y 60.

En este sector la quebrada Pucruchacra no desarrolla cauce (ver Mapa 3), teniendo como consecuencia que las aguas de precipitación, escorrentía superficial y desborde de los canales de riego, acopiadas en su cuenca superior, se infiltren en este sector (muy cercano al portal del túnel).



Fotos 57 y 58: Fisuras en la cuneta del canal aductor, ocasionados por el empuje del terreno.



Fotos 59 y 60.- Desplazamiento milimétrico en las juntas del canal aductor.

8.3 ZONA CRÍTICA 3: SUR (Terrenos de cultivo parte alta)

Afecta terrenos de cultivo de alfalfa (foto 61), en el terreno se muestran agrietamientos y asentamientos (indicios de posible movimiento en masa). Los terrenos afectados directamente abarcan un área de 15 hectáreas y en forma indirecta 05 hectáreas.



Foto 61: Terrenos de cultivos agrietados.

8.4 ZONA CRÍTICA 4: NORTE (COBERTIZO DE GANADO)

Esta zona crítica que afecta al cobertizo de ganado, la estructura del local ha quedado completamente inservible, muestra agrietamientos y asentamientos (foto 62).



Foto 62: Se muestra el local de cobertizo para ganado afectado por los agrietamientos.

8.5 ZONA CRÍTICA 5: NORTE (Hito 7_1 – Daza – Carretera Central)

Viviendas del sector de Daza, que fueron afectadas parcialmente por el deslizamiento del 16 de agosto del presente. Estas han quedado deshabitadas (foto 63).

Así mismo, el área comprendida entre el hito H 7-1 y Daza presentan agrietamientos en el terreno, configurando una zona potencial de deslizamiento. Esta zona posee pendientes de 30° y forma parte del cuerpo de un depósito de movimientos en masa antiguo.

De generarse un deslizamiento afectaría a las viviendas ubicadas laderas abajo y parte de la Carretera Central en un tramo de aproximadamente 100 m; así como también terrenos de cultivo que se encuentran en la parte baja (fotos 64 y 65). El volumen a deslizarse sería de 35,500 m³ aproximadamente.



Foto 63:. El área sombreada, es la posible área a ser afectada por deslizamiento.



Foto 64: Parte alta del que muestra agrietamientos del terreno



Foto 65: Vista del agrietamiento del terreno cercano al Hito 7-1.

9.0 PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN LOS PROCESOS GEOLÓGICOS

9.1 EVALUACIÓN DE LOS FACTORES DE INFLUENCIA

A lo largo del informe se ha evaluado en forma individual los factores geológicos que están influyendo en la inestabilidad de las laderas en el área de estudio. En el presente capítulo se hace una síntesis de los factores naturales y antrópicos.

9.1.1 FACTORES NATURALES

Están ligados a las condiciones intrínsecas de los terrenos: litología (substrato y formaciones superficiales), pendiente de las laderas, presencia de vegetación, agua subterránea, etc.; así como a los “detonantes” precipitación y sismos, los cuales se detallan a continuación:

- Tipo y estado de los materiales involucrados: Se incluye en este factor las características de las formaciones superficiales, tanto de depósitos coluvio – deluviales y coluviales, formados por gravas arcillosas, medianamente consolidadas, poco permeables, con porosidad de aproximadamente el 30%, espesores entre 5.0 a 30.0 metros de acuerdo a la información geofísica alcanzada. Estos materiales están asociados a depósitos antiguos de movimientos en masa, presentando en superficie escarpas de deslizamientos o derrumbes, agrietamientos, etc. Algunos de los deslizamientos están reactivados debido a la erosión fluvial o socavamiento del pie de la ladera, a la saturación y pérdida de cohesión de los suelos debido al riego y precipitaciones pluviales. En los depósitos proluviales (acumulados en el cauce principal y abanico), así como los coluviales sueltos (acumulados en las laderas), la escorrentía superficial estacional, los remueve fácilmente y los transporta por cauces angostos de fuerte pendiente, formando huaycos que movilizan grava y lodo ladera abajo.

El substrato está formado por rocas volcánicas – sedimentarias, de calidad variable. Según la información geofísica alcanzada la roca alterada y muy fracturada (Roca Tipo III) se sitúa debajo de la cubierta coluvial (suelo), alcanzando espesores entre 15.0 y 30.0 metros. Seguidamente se tiene la roca de calidad media (Roca Tipo II) con espesores que varían entre 15.0 a 60.0 metros. La roca mejora en calidad (Roca Tipo I) en profundidad.

- La pendiente natural del cerro Pucruchacra, varía entre 30° a 35°, considerándose como moderada a fuerte, condicionando la cinemática de los movimientos en masa y mayor erosión.
- Las lluvias excepcionales (sean estas de gran intensidad y corta duración o de moderada intensidad y larga duración), así como el incremento de los índices de lluvias de los últimos años (1997-2010), relacionados a los procesos de cambio climático, generan escorrentía superficial, erosión e

infiltración; generando el incremento de la presión intersticial, las fuerzas de filtración y el peso unitario de los materiales superficiales.

- Sismos: pueden acelerar los deslizamientos y derrumbes.
- Ausencia de vegetación, debido a factores naturales y la deforestación, condicionan una mayor escorrentía y erosión, así como el desgarrar de suelo por deslizamiento.

9.1.2 FACTORES ANTRÓPICOS

Relacionados a las actividades del hombre como construcción de accesos, carreteras, infraestructura, agricultura (riego) y ocupación del territorio, etc.

Pensamos que el canal y túnel de aducción de la CHH, por el tipo de obra, no ocasiona inestabilidades de importancia en el talud.

- Una de las causas de la inestabilidad de las laderas en el Cerro Pucruyacra, que se refleja en el agrietamiento de los terrenos y en el deslizamiento del 16 de agosto; es el riego que se realiza en sus laderas. Que incluye también el tipo de cultivos, como aquellos que requieren de mucha agua (alfalfa entre otras) y son regados por aspersión e inundación.
- Modificaciones hechas en la construcción de carretera Central, así como en la trocha ubicada en la parte alta del cerro Pucruyacra. Estos han modificado los perfiles naturales de las laderas, incentivando, reactivando y acelerando (si no se toman las medidas de protección/contención adecuadas) algunos procesos de movimientos en masa pre-existentes.
- Poca o nula cobertura vegetal en algunos sectores, causada por la deforestación.

9.2 MEDIDAS CORRECTIVAS

En este Capítulo tratamos de plantear algunas soluciones a los problemas localizados en el área de estudio. Es importante mencionar que se vienen efectuando trabajos de monitoreo y estabilización de la ladera por donde discurre el canal aductor, por parte de CMC.

Se recomienda seguir con los trabajos de monitoreo en toda la ladera del Cerro Pucruyacra, trabajos que con eficiencia viene realizando la CMC.

A continuación, propondremos algunas medidas de estabilización de las laderas, que ayudaran a solucionar los problemas de inestabilidad localizadas en el área de estudio. Es importante mencionar que como primera medida, se debe paralizar el riego de los cultivos en las laderas del Cerro Pucruyacra.

Las alternativas de solución que se vierten en el presente informe son generales. Su implementación requiere de trabajos puntuales para el diseño y dimensionamiento de las mismas.

9.2.1 ZONA CRÍTICA 1: Km. 93+000 CARRETERA CENTRAL

- “Banquetear” el cuerpo del deslizamiento, con la finalidad de darle estabilidad al talud, cambiando (bajando) la línea de pendiente y reduciendo el peso del talud. Esta obra deberá ser diseñado por un especialista. Se deberá buscar lugares adecuados para las escombreras. Instalar vegetación adecuada para proteger las banquetas.
- Instalación de drenajes superficiales sobre la “corona” del deslizamiento, es fundamental combinarla con una revegetación adecuada.
- Instalación de una batería de drenajes profundos sub horizontales para abatir el agua subterránea.
- Construcción de un contrafuerte o muro de contención flexible (gaviones) al pie del deslizamiento.

9.2.2 ZONA CRÍTICA 2: CANAL ADUCTOR EN SUPERFICIE, PORTAL DE ENTRADA

- “Banquetear” los taludes superiores e inferiores del canal, buscando lugares adecuados para las escombreras. Las banquetas deben estar acompañadas de la instalación de vegetación adecuada para proteger las banquetas.
- Cambiar la cuneta del canal por una canaleta de mayor amplitud (Dren Francés), con la finalidad que sirva como canal de evacuación y de drenaje. Se recomienda que este dren evacue sus aguas en la quebrada Chahuatupe (80 m aproximadamente). Esta recomendación está siendo implementada por CMC.
- Instalación de una batería de drenajes profundos sub horizontales para abatir el agua subterránea.
- Se recomienda el monitoreo constante en esta área. Al respecto CMC, está implementando la instalación de inclinómetros y piezómetros, para determinar la ubicación y velocidad de movimiento del deslizamiento, así como la profundidad y caudal de la napa freática. Técnicas muy usadas en este tipo de fenómenos.
- Canalizar la quebrada Pucruchacra en este sector, llevando las aguas de escorrentía hasta la quebrada Chahuatupe.

9.2.3 ZONA CRÍTICA 3: SUR (Terrenos de cultivo parte alta)

Este sector requiere:

- Se deberán efectuar andenerías (banquetas), compactando el terreno y rellenando las grietas existentes. Esta obra deberá ser diseñado por un

especialista. Se deberá buscar lugares adecuados para las escombreras. Instalar vegetación adecuada para proteger las banquetas.

- Construcción de drenajes superficiales de coronación y en el cuerpo del área de las banquetas. Estos deben ser revestidos y evacuar sus aguas a la quebrada Pucruchacra, que previamente debe ser canalizada en su parte inferior (ver 9.2.2).
- Reforestar el área con árboles nativos y evitar la deforestación. La forestación debe incluir las laderas superiores e inferiores.
- Después de implementar todas las medidas correctivas recomendadas en toda el área del Cerro Pucruchacra, los andenes pueden ser utilizados para cultivos apropiados para estas estructuras, cambiando el sistema de irrigación actual por el “riego por goteo”.

9.2.4 ZONA CRÍTICA 4: NORTE (COBERTIZO DE GANADO)

La reactivación del deslizamiento en este sector es notoria y crítica. Si se aplican las medidas recomendadas, se puede estabilizar el sector y/o mantener su lenta evolución, previendo el colapso del talud.

Para asegurar la estabilidad, se deberá:

- Construir canales de coronación, para evitar la infiltración de agua proveniente de la parte alta, estos debe desaguar hacia la quebrada Chahuatupe.
- Reforestar el área con árboles nativos y evitar la deforestación. La forestación debe incluir las laderas superiores.
- En el sector donde se presenta agrietamientos del suelo, se deberán construir andenerías, revolviendo y compactando el terreno hasta desaparecer las grietas. Posteriormente se deberá sembrar gramíneas y arbustos nativos en cada andén. Se deberá buscar lugares adecuados para las escombreras.
- Drenaje subterráneo sub horizontales, en el sector de la andenería para bajar la napa freática y asegurar la estabilidad de la ladera.

9.2.5 ZONA CRÍTICA 5: NORTE (Hito 7_1 – Daza – Carretera Central)

En función a las observaciones de campo se puede recomendar lo siguiente:

- En este sector, laderas arriba, se presentan fuertes agrietamientos que nos indican la inestabilidad del talud. En este sentido, se recomienda evacuar las viviendas de este sector, hasta la culminación de los trabajos de estabilización de toda el área.
- Paralizar el riego en este sector.
- “Banquetear” el cuerpo del deslizamiento, con la finalidad de darle estabilidad al talud, cambiando (bajando) la línea de pendiente y reduciendo el peso del talud. Esta obra deberá ser diseñado por un especialista. Se

deberá buscar lugares adecuados para las escombreras. Instalar vegetación adecuada para proteger las banquetas.

- Instalación de una batería de drenajes sub horizontales para abatir el agua subterránea.
- Construcción de un contrafuerte o muro de contención flexible (gaviones) al pie del deslizamiento.
- Reemplazar progresivamente, los bosques de eucaliptos por especies nativas.

9.2.6 QUEBRADA PUCRUCHACRA Y CHAHUATUPE

- Por ser quebradas de régimen temporal o estacional, donde es posible el acarreo de material detrítico generado por los derrumbes en las márgenes, que pueden derivarse en huaycos excepcionales; se debe propiciar la fijación de los sedimentos en tránsito y minimizar el transporte fluvial. Para ello es preciso aplicar, en los casos que sea posible, las medidas que se proponen a continuación:
 - ✓ Encauzamiento del canal principal, con remoción selectiva de los materiales gruesos, que serán utilizados en los enrocados y/o espigones para controlar las corrientes.
 - ✓ Permitir el crecimiento de la cobertura vegetal nativa a lo largo de su cauce y en las zonas circundantes a ella, asegurando su estabilización, así como la disipación de la energía de las corrientes.
 - ✓ La vegetación natural (pastos, malezas, arbustos, árboles) que se desarrollan en estas áreas, están contribuyendo a atenuar el proceso de generación de flujos. Por estas razones, es recomendable regenerar y no destruir la cobertura vegetal natural.
 - ✓ Canalizar la quebrada Pucruchacra en el sector del cruce con el canal aductor de la CHC; llevando las aguas de escorrentía hasta la quebrada Chahuatupe.

9.2.7 OTRAS MEDIDAS

- Efectuar un monitoreo topográfico periódico ampliando su malla de control a aquellas zonas donde se manifiestan recientes procesos de agrietamientos, asentamientos y deslizamientos (ver mapa), que evidencien zonas de inestabilidad.
- Desarrollo de programas de control y manejo de cárcavas en base a diques transversales constituidos con materiales propios de la región como: troncos, ramas, etc., o mejor aun utilizando mampostería de piedra.
- En el Anexo 2 podemos apreciar algunos ejemplos de las obras recomendadas.

CONCLUSIONES

1. Litológicamente el substrato está compuesto por roca volcánica –sedimentaria (andesitas, tobas, y areniscas), meteorizadas y fracturada del Grupo Rímac. Cubiertos, por sectores, por depósitos inconsolidados coluvio – deluviales, coluviales (originados por deslizamientos y/o caída de rocas) y proluviales (materiales de huaycos).
2. El mapeo geomorfológico – geodinámico en el área, permitió diferenciar depósitos y procesos de movimientos en masa antiguos, algunos de ellos prehistóricos, así como movimientos activos, relacionados a procesos de deslizamientos. La ladera del cerro Pucruachaca, formado por los materiales de un antiguo deslizamiento, se está reactivando.
3. Las reactivaciones se han manifestado a manera de saltos, asentamientos, agrietamientos y deslizamiento. Siendo el factor detonante la infiltración de aguas proveniente del riego.
4. Como factores de la reactivación del deslizamiento, se tienen: la pendiente del terreno y el tipo de material (gravas arcillosas producto de un antiguo deslizamiento).
5. Las reactivaciones del cerro Pucruachaca, las grietas, saltos y empujes en el terreno en la parte superior, evidencian la posible generación de un deslizamiento superficial de mayor dimensión, que podría afectar la canal aductor de la Central Hidroeléctrica de Huanchor entre las progresivas 0+780 – 0+860 (sector canal – bocatoma del túnel), viviendas ubicadas en la falda del cerro Pucurchaca y terrenos de cultivo.
6. Se han identificado las siguientes zonas críticas:

Zona crítica 1: Km. 93+880 de carretera Central, en este lugar se generó un deslizamiento con una corona de 60 m, una escarpa de 15 m. movilizándolo un volumen de 63 000 m³. Este evento se dio el día 16 de agosto del presente, afectando la carretera Central. Ocasionando el cierre de ella, por más de 24 horas.

Zona crítica 2: En el sector comprendido entre el Portal de entrada del canal aductor y Badén, se están dando empujes del terreno, que han afectado a la cuneta del canal aductor, como también en las juntas del canal, hay un ligero desplazamiento milimétrico, que en la actualidad no compromete al túnel aductor. Pero de seguir el movimiento comprometería al túnel-canal de aducción.

Zona crítica 3: Parte Alta Sur, se presentan agrietamientos con asentamientos que muestran desplazamientos verticales y horizontales de 0,70 y 0,50 m respectivamente. Los agrietamientos llegan a tener una longitud de hasta 200 m, que están dando una configuración al posible deslizamiento. Estos han afectado directamente a terrenos de cultivo.

Zona crítica 4: Parte Alta Norte (cobertizo de ganado), se presentan la mayor parte de los agrietamientos, con desplazamientos verticales y horizontales hasta de 1,00 m y 0,50 m respectivamente. Las longitudes de los agrietamientos llegan hasta los 80 m, estos han afectado a terrenos de cultivo.

Zona crítica 5: Hito 7-1-Daza, se están dando agrietamientos y asentamientos del terreno, de generarse un deslizamiento o derrumbe afectaría a viviendas ubicadas en la parte baja y la carretera Central.

7. Del análisis de la información proporcionada por la compañía Minera Corona S.A.C. y S.V.S.-Ingenieros S.A.C., refracción sísmica y mapeo geológico-subterráneo del canal – túnel aductor, se deduce, que desde el portal de entrada del túnel hasta la progresiva 0+870, el canal aductor discurre en depósitos coluviales y hasta la progresiva 0+930 en Roca tipo III. De esta progresiva hacia adelante el canal discurre en rocas de mejor calidad. Por este motivo es importante que se realicen los trabajos de estabilización recomendados para el Sector crítico 2 y monitorear constantemente la zona.
8. Se ha encontrado un afloramiento de agua ubicado en el borde del canal. En esta época, este proviene de las lagunas de regadío de los terrenos de cultivo en la parte superior. Estas aguas se infiltran en el subsuelo a través de las grietas y capas de materiales permeables (gravilla) del subsuelo. La porosidad del suelo es de aproximadamente 30%, con una permeabilidad baja (gravas arcillosas).

RECOMENDACIONES

1. El drenado del cuerpo del deslizamiento es primordial para la estabilización del área inestable: drenaje superficial y drenaje subterráneo. En este sentido es importante paralizar el riego en la ladera del Cerro Pucruchacra.
2. Es importante realizar monitoreo topográfico, e implementar un monitoreo piezométrico e inclinómetro en el área de la zona reactivada, especialmente en la zona del canal y canal - túnel.
3. Sellar las grietas, de preferencia con arcilla, para evitar la infiltración de agua sobre terreno.
4. Por las características geodinámicas observadas, agrietamientos, saltos y asentamientos localizados en la ladera es importante realizar las siguientes medidas de estabilización recomendadas:

ZONA CRÍTICA 1: Km. 93+000 CARRETERA CENTRAL

- “Banquetear” el cuerpo del deslizamiento, con la finalidad de darle estabilidad al talud, cambiando (bajando) la línea de pendiente y reduciendo el peso del talud. Esta obra deberá ser diseñado por un especialista. Se deberá buscar lugares adecuados para las escombreras. Instalar vegetación adecuada para proteger las banquetas.
- Instalación de drenajes superficiales sobre la “corona” del deslizamiento, es fundamental combinarla con una revegetación adecuada.
- Instalación de una batería de drenajes profundos sub horizontales para abatir el agua subterránea.
- Construcción de un contrafuerte o muro de contención flexible (gaviones) al pie del deslizamiento.

ZONA CRÍTICA 2: CANAL ADUCTOR EN SUPERFICIE, PORTAL DE ENTRADA

- “Banquetear” los taludes superiores e inferiores del canal, buscando lugares adecuados para las escombreras. Las banquetas deben estar acompañadas de la instalación de vegetación adecuada para proteger las banquetas.
- Cambiar la cuneta del canal por una canaleta de mayor amplitud (Dren Francés), con la finalidad que sirva como canal de evacuación y de drenaje. Se recomienda que este dren evacue sus aguas en la quebrada Chahuatupe (80 m aproximadamente). Esta recomendación está siendo implementada por CMC.
- Instalación de una batería de drenajes profundos sub horizontales para abatir el agua subterránea.

- Se recomienda el monitoreo constante en esta área. Al respecto CMC, está implementando la instalación de inclinómetros y piezómetros, para determinar la ubicación y velocidad de movimiento del deslizamiento, así como la profundidad y caudal de la napa freática. Técnicas muy usadas en este tipo de fenómenos.
- Canalizar la quebrada Pucruchacra en este sector, llevando las aguas de escorrentía hasta la quebrada Chahuatupe.

ZONA CRÍTICA 3: SUR (Terrenos de cultivo parte alta)

Este sector requiere:

- Se deberán efectuar andenerías (banquetas), compactando el terreno y rellenando las grietas existentes. Esta obra deberá ser diseñado por un especialista. Se deberá buscar lugares adecuados para las escombreras. Instalar vegetación adecuada para proteger las banquetas.
- Construcción de drenajes superficiales de coronación y en el cuerpo del área de las banquetas. Estos deben ser revestidos y evacuar sus aguas a la quebrada Pucruchacra, que previamente debe ser canalizada en su parte inferior (ver 9.2.2).
- Reforestar el área con árboles nativos y evitar la deforestación. La forestación debe incluir las laderas superiores e inferiores.
- Después de implementar todas las medidas correctivas recomendadas en toda el área del Cerro Pucruchacra, los andenes pueden ser utilizados para cultivos apropiados para estas estructuras, cambiando el sistema de irrigación actual por el “riego por goteo”.

ZONA CRÍTICA 4: NORTE (COBERTIZO DE GANADO)

La reactivación del deslizamiento en este sector es notoria y crítica. Si se aplican las medidas recomendadas, se puede estabilizar el sector y/o mantener su lenta evolución, previendo el colapso del talud.

Para asegurar la estabilidad, se deberá:

- Construir canales de coronación, para evitar la infiltración de agua proveniente de la parte alta, estos debe desaguar hacia la quebrada Chahuatupe.
- Reforestar el área con árboles nativos y evitar la deforestación. La forestación debe incluir las laderas superiores.
- En el sector donde se presenta agrietamientos del suelo, se deberán construir andenerías, revolviendo y compactando el terreno hasta desaparecer las grietas. Posteriormente se deberá sembrar gramíneas y arbustos nativos en cada andén. Se deberá buscar lugares adecuados para las escombreras.

- Drenaje subterráneo sub horizontales, en el sector de la andenería para bajar la napa freática y asegurar la estabilidad de la ladera.

ZONA CRÍTICA 5: NORTE (Hito 7_1 – Daza – Carretera Central)

En función a las observaciones de campo se puede recomendar lo siguiente:

- En este sector, laderas arriba, se presentan fuertes agrietamientos que nos indican la inestabilidad del talud. En este sentido, se recomienda evacuar las viviendas de este sector, hasta la culminación de los trabajos de estabilización de toda el área.
- Paralizar el riego en este sector.
- “Banquetear” el cuerpo del deslizamiento, con la finalidad de darle estabilidad al talud, cambiando (bajando) la línea de pendiente y reduciendo el peso del talud. Esta obra deberá ser diseñado por un especialista. Se deberá buscar lugares adecuados para las escombreras. Instalar vegetación adecuada para proteger las banquetas.
- Instalación de una batería de drenajes sub horizontales para abatir el agua subterránea.
- Construcción de un contrafuerte o muro de contención flexible (gaviones) al pie del deslizamiento.
- Reemplazar progresivamente, los bosques de eucaliptos por especies nativas.

QUEBRADA PUCRUCHACRA Y CHAHUATUPE

Por ser quebradas de régimen temporal o estacional, donde es posible el acarreo de material detrítico generado por los derrumbes en las márgenes, que pueden derivarse en huaycos excepcionales; se debe propiciar la fijación de los sedimentos en tránsito y minimizar el transporte fluvial. Para ello es preciso aplicar, en los casos que sea posible, las medidas que se proponen a continuación:

- Encauzamiento del canal principal, con remoción selectiva de los materiales gruesos, que serán utilizados en los enrocados y/o espigones para controlar las corrientes.
- Permitir el crecimiento de la cobertura vegetal nativa a lo largo de su cauce y en las zonas circundantes a ella, asegurando su estabilización, así como la disipación de la energía de las corrientes.
- La vegetación natural (pastos, malezas, arbustos, árboles) que se desarrollan en estas áreas, están contribuyendo a atenuar el proceso de generación de flujos. Por estas razones, es recomendable regenerar y no destruir la cobertura vegetal natural.

- Canalizar la quebrada Pucruyacra en el sector del cruce con el canal aductor de la CHC; llevando las aguas de escorrentía hasta la quebrada Chahuatupe.

OTRAS MEDIDAS

- Efectuar un monitoreo topográfico periódico ampliando su malla de control a aquellas zonas donde se manifiestan recientes procesos de agrietamientos y asentamientos (ver mapa), que evidencien zonas de inestabilidad.
 - Desarrollo de programas de control y manejo de cárcavas en base a diques transversales constituidos con materiales propios de la región como: troncos, ramas, etc., o mejor aun utilizando mampostería de piedra.
5. Habilitar la antigua Carretera Central, como medida de contingencia de generarse un nuevo deslizamiento o derrumbe.
 6. Si en el futuro, se requiere usar los terrenos para cultivo, esperar que se completen las obras de estabilización recomendadas. Sembrar con cultivos adecuados en los andenes construidos e implementar un sistema de riego por goteo. El sistema de conducción de agua debe estar en óptimas condiciones.

REFERENCIAS

- ALVA J., MENESES, J. & GUZMÁN, V. (1984). ***Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú***. V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.
- CAHILL & ISACKS (1992). ***Seismicity and Shape of the Subducted Nazca Plate***. Journal Geophysic.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA. (2007) **Mapas**.
<<http://proyectos.inei.gob.pe/mapas/bid/>>
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M. (1983). ***Hidrología subterránea***. 1ra. ed. Barcelona: Omega, 2 t.
- FIDEL, L.; ZAVALA, B.; NÚÑEZ, S. Y VALENZUELA, G. (2006). ***Estudios de Riesgos Geológicos del Perú, Franja N° 4***. Boletín N° 29, INGEMMET, Serie "C" – Geodinámica e Ingeniería Geológica.
- JIMENO, C. (1999). ***Manual de Estabilización y Revegetación de Taludes***. Entorno Gráfico, S.L., Madrid. 704 p.
- KEEFER, D. K. (1994). ***Landslides Caused by Earthquakes: Geological Society of America***. Bulletin, v.95, april 1984. 406 – 421 p.
- MACHARÉ, J. (1991). ***Actualización del mapa geotectónico del Perú a escala 1 2 000 000***. Congreso Peruano de Geología, Lima-Perú.
- MCGUIRE (1999). ***Fortran Computer Program for seismic risk análisis***. Open-file Report 76-77, U.S. Geological Survey.
- OJEDA, J. (2001). ***Evaluación del Riesgo por Fenómenos en Masa: Guía Metodológica***. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería en coedición con INGEOMINAS. Julio, 2001. Bogotá, Colombia.
- SALAZAR, H. (1983). ***Geología de los Cuadrángulos de Matucana y Huarochiri*** (hojas 24 k y 25 k). Boletín N° 36, INGEMMET, Serie A, Carta Geológica Nacional, 68 p., 2 mapa.
- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (2011). ***Mapas: Precipitación acumulada durante el periodo lluvioso Normal / Septiembre-Mayo, Mapa de precipitación acumulada durante el evento "El Niño 97/98, Temperatura Máxima Promedio Multianual, y Temperatura Máxima Promedio Multianual***. En: Atlas de Peligros del Perú 2010. INDECI. 314-339 Págs.

SILGADO E. (1978). **Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú (1513-1974)**. Instituto de Geología y Minería, Boletín N°3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, Perú.

SISRA (1985). "**Catálogo de Terremotos para América del Sur**" Volúmenes 7a, 7b y 7c, Proyecto SISRA, Centro Regional de Sismología para América del Sur. Lima, Perú.

SOCIEDAD MINERA CORONA S.A.C. "**Estudio Getécnico de la Ladera Pucruyacra**". Informe final. Proyecto N°:1-C-116-009. S.V.S.-Ingenieros S.A.C. 85 Págs.

SUAREZ, J. (1998). **Deslizamientos y estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales**. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Publicación UIS, Colombia. 548 p

TAVERA & BUFORN (2001). **Source mechanics of Earthquakes in Perú**. Journal of Seismology.

TAVERA, H. (2011). **Sismo de Contamana-Loreto del 24 de Agosto del 2011 (7.0 Mw)**. Zona Oriental de la Región Central del Perú. Ministerio del Ambiente. Instituto Geofísico del Perú. Dirección de Sismología. 21 Pág.

ZAVALA, B., FIDEL, L., NÚÑEZ, S., PEÑA, F., OLARTE, Y. & PARI, W. (2008). "**Evaluación Geológica del área afectada por deslizamiento de tierras en Tamboraque**". Informe Técnico. INGEMMET-Dirección Geología Ambiental y Riesgo Geológico. 66 Págs.

ZAVALA B., VALDERRAMA P., COSTA C. & HERMANNNS R. (2007). **Movimientos en masa y Deformaciones Superficiales asociadas al sismo de Pisco del 15/08/2007**. Informe Interno, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, INGEMMET, Octubre 2007.

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio

Figura 2. Imagen Satelital del Google Earth, de zona de San Mateo de Huanchor

Figura 3: Margen derecha del río Rímac, se muestra los movimientos en masa antiguos que tipifican la ladera y controlan al río Rímac.

Figura 4: Mapa de elevación digital

Figura 5: Mapa de pendientes

Figura 6: Tomografía de Refracción Sísmica LS1

Figura 7: Tomografía de Refracción Sísmica LS2

Figura 8: Tomografía de Refracción Sísmica LS3

Figura 9: Tomografía de Refracción Sísmica LS4

Figura 10: Tomografía de Refracción Sísmica LS5

Figura 11: Perfil A-A'

Figura 12: Perfil B-B'

Figura 13: Perfil C-C'

Figura 14: Perfil G-G'

Figura 15: Mapa de Distribución de Intensidades Sísmicas Máximas

Figura 16: Distribución de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años (Ecuación de Huaco).

Figura 17: Distribución de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 100 años (Ecuación De Huaco).

Figura 18: Mapa de Zonificación Sísmica para el Perú.

Figura 19 Curva de Peligro Anual para el sector del cerro Pucurchacra

Relación de mapas

Mapa 1: Unidades Litológicas

Mapa 2: Mapeo Geodinámico del Sector de San Mateo. Escala 1/10 000

Mapa 3: Mapeo Geodinámico del cerro Pucurchacra.

Mapa 4: Zonas Críticas.

Anexos

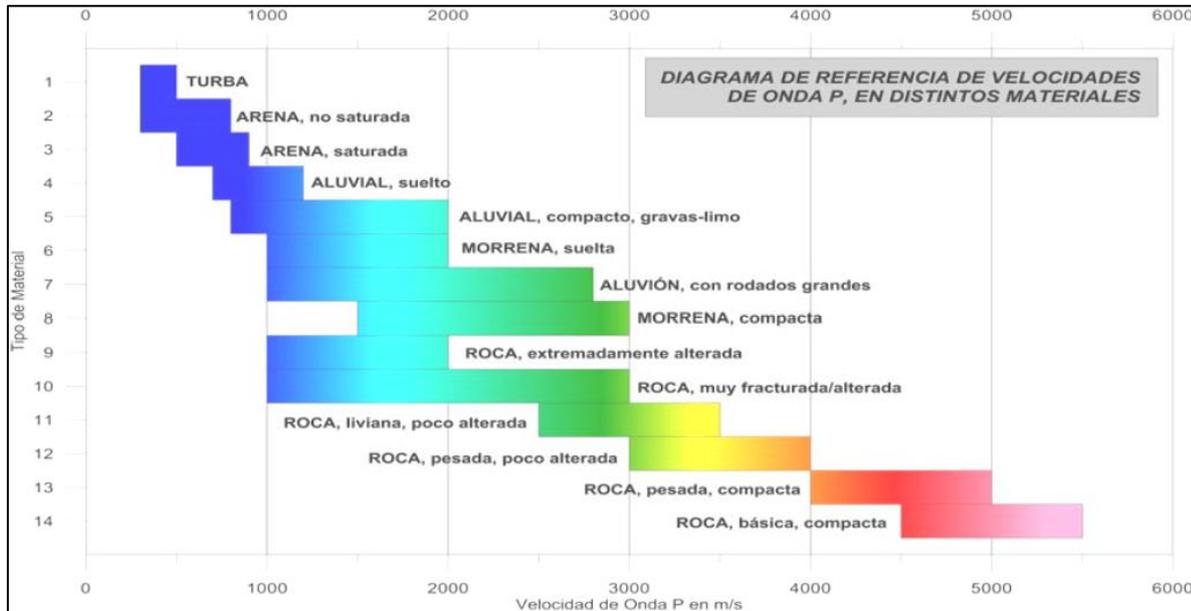
Mapeo geológico subterráneo Progresiva: 0+856.703 a 0+956.703

Mapeo geológico subterráneo Progresiva: 0+956.703 a 1+056.703

ANEXOS

ANEXO 1

TIPOS DE MATERIALES Y SUS VELOCIDADES DE ONDAS P (GEOFÍSICA: SÍSMICA DE REFRACCIÓN)



Interpretación general de tipos de materiales litológicos y sus velocidades de onda P. Fuente Arce Geofísicos -2011.

Recopilación de Martínez Vargas A. (1990)

Descripción	VP (m/s)
Arena suelta en mato freático	245-610
Suelo blando	<300
Arena suelta bajo mato freático	45 - 1220
Arenas y gravas	300 -1000
Arena suelta mezclada con grava húmeda	455 - 1065
Rocas blandas, grava y arena compacta	1000 - 2000
Grava suelta, húmeda	455 - 915
Roca compacta	2000 - 4000
Roca muy compacta	> 4000

ANEXO 2

Conformación de talud o ladera

Sistemas que tienden a lograr un equilibrio de masas, reduciendo las fuerzas que producen el movimiento

Métodos de conformación topográfica para equilibrar fuerzas

Método	Ventajas	Desventajas
Remoción de materiales de la cabeza del talud	Muy efectivo en la estabilización de deslizamientos rotacionales.	En movimientos muy grandes las masas a remover tendrían una gran magnitud.
Abatimiento de la pendiente	Efectivo especialmente en suelos friccionantes.	No es viable económicamente en taludes de gran altura
Terraceo de la superficie.	Además de la estabilidad al deslizamiento, permite construir obras para controlar la erosión	Cada terraza debe ser estable independientemente

Recubrimiento de la superficie.

Métodos que tratan de impedir la infiltración o la ocurrencia de fenómenos superficiales de erosión, o refuerzan el suelo más superficial

El recubrimiento puede consistir en elementos impermeabilizantes como el concreto o elementos que refuercen la estructura superficial del suelo como la cobertura vegetal.

Métodos de recubrimiento de la superficie del talud:

Método	Ventajas	Desventajas
Recubrimiento de la superficie del talud.	El recubrimiento ayuda a controlar la erosión	Se deben garantizar la estabilidad del recubrimiento
Conformación de la superficie	Puede mejorar las condiciones del drenaje superficial y facilitar el control de erosión	Su efecto directo sobre la estabilidad es generalmente limitado
Sellado de grietas superficiales.	Disminuye la infiltración de agua	Las grietas pueden abrirse nuevamente y se requiere mantenimiento por periodos importantes de tiempo
Sellado de juntas y discontinuidades.	Disminuye la infiltración de agua y presiones de poro en las discontinuidades	Puede existir una gran cantidad de discontinuidades que se requiere sellar.
Cobertura vegetal Arboles Arbustos y Pastos	Representa una alternativa ambientalmente excelente	Pueden requerir mantenimiento para su establecimiento

Control de agua superficial y subterránea

Sistemas tendientes a controlar el agua y sus efectos, disminuyendo fuerzas que producen movimiento y/o aumentando las fuerzas resistentes.

Métodos de control de agua y presión de poros:

Método	Ventajas	Desventajas
Canales superficiales para control de escorrentía.	Se recomienda construirlos como obras complementarias en la mayoría de los casos. Generalmente, las zanjas se construyen arriba de la corona de talud	Se deben construir estructuras para la entrega de las aguas y disipación de energía
Subdrenes de zanja	Muy efectivos para estabilizar deslizamientos poco profundos en suelos saturados subsuperficialmente	Poco efectivos para estabilizar deslizamientos profundos o deslizamientos con nivel freático profundo
Subdrenes horizontales de penetración	Muy efectivos para interceptar y controlar aguas subterráneas relativamente profundas.	Se requieren equipos especiales de perforación y su costo puede ser alto
Galerías o tuneles de subdrenaje	Efectivos para estabilizar deslizamientos profundos en formaciones con permeabilidad significativa y aguas subterráneas	Muy costosos.
Pozos profundos de subdrenaje	Útiles en deslizamientos profundos con aguas subterráneas. Efectivos para excavaciones no permanentes	Su uso es limitado debido a la necesidad de operación y mantenimiento permanente

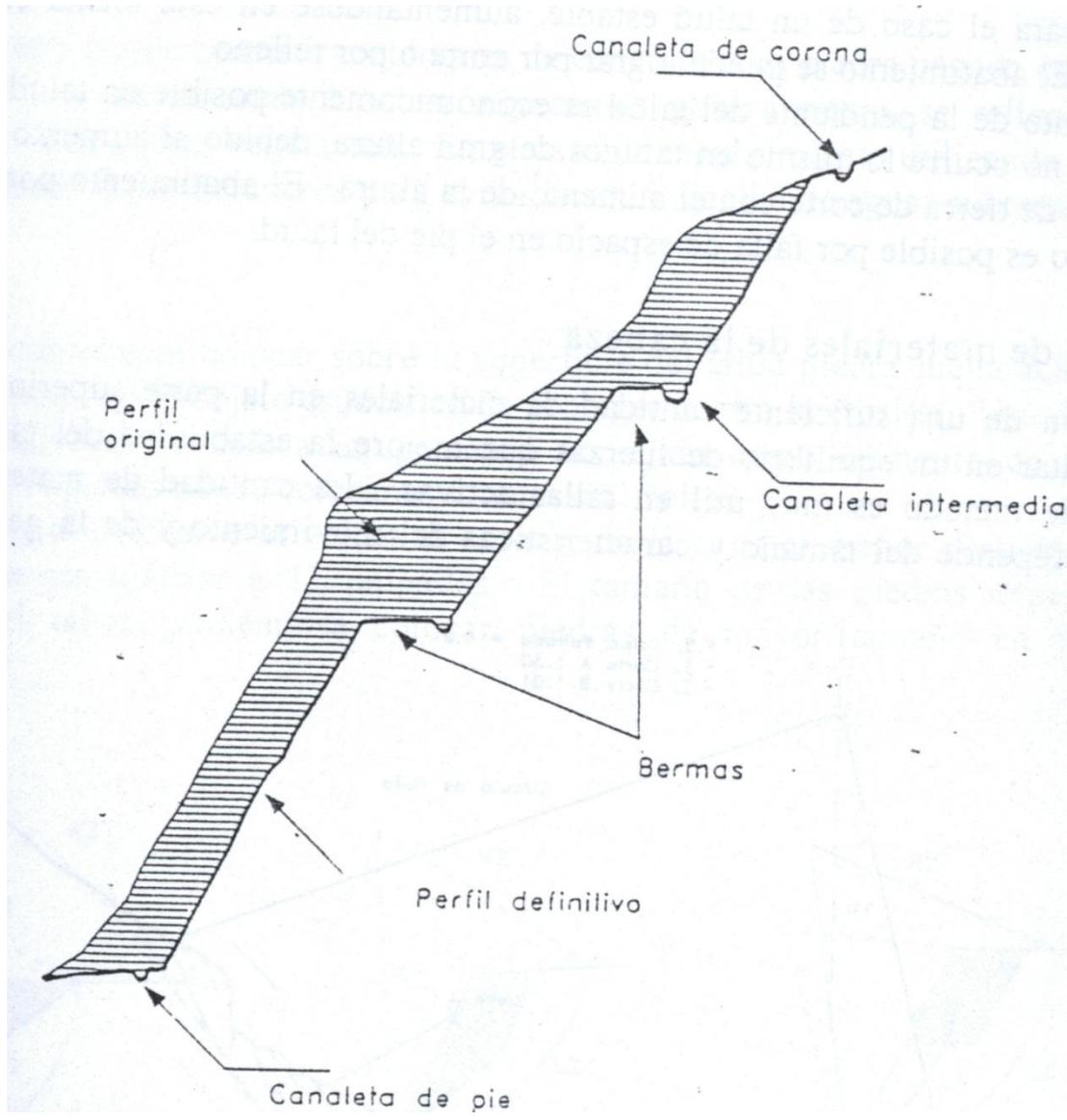
Estructuras de contención

Métodos en los cuales se van a colocar fuerzas externas al movimiento aumentando las fuerzas resistentes, sin disminuir las actuantes.

Las estructuras de contención son obras generalmente masivas, en las cuales el peso de la estructura es un factor importante y es común colocar estructuras ancladas en las cuales la fuerza se transmite al deslizamiento por medio de un cable o varilla de acero cada tipo de estructura tiene un sistema diferente de trabajo y se deben diseñar de acuerdo a su comportamiento particular.

Métodos de estructuras de contención:

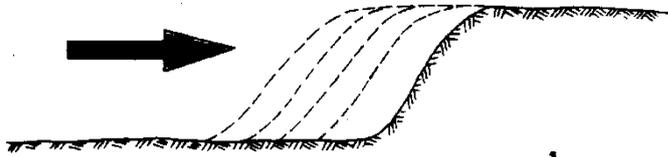
Método	Ventajas	Desventajas
Relleno o berma de roca o suelo en la base del deslizamiento	Efectivos en deslizamientos no muy grandes especialmente en los rotacionales actuando como contrapeso.	Se requiere una cimentación competente para colocar el relleno
Muros de contención convencionales de tierra armada etc.	Útiles para estabilizar masas relativamente pequeñas.	Se requieren una buena calidad de cimentación. son poco efectivos en taludes de gran altura
Pilotes	Son efectivos en movimientos poco profundos, en los cuales existe suelo debajo de la superficie de falla que sea competente para permitir el hincado y soporte de los pilotes.	No son efectivos en deslizamientos profundos o cuando aparece roca o suelo muy duro debajo de la superficie de falla poco efectivo en deslizamientos rotacionales
Anclajes o pernos	Efectivos en roca, especialmente cuando es estratificada	Se requieren equipos especiales y son usualmente costosos.
Pantallas ancladas	Útiles como estructuras de contención de masas de tamaño pequeño a mediano	Existen algunas incertidumbres sobre su efectividad en algunos casos, especialmente, cuando hay aguas subterráneas y son generalmente costosas.



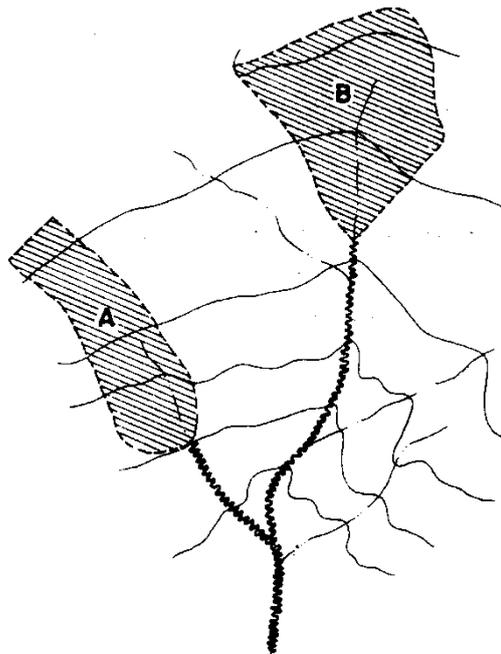
CARCAVAS



Esquema general de sección longitudinal de la cabeza de cárcava

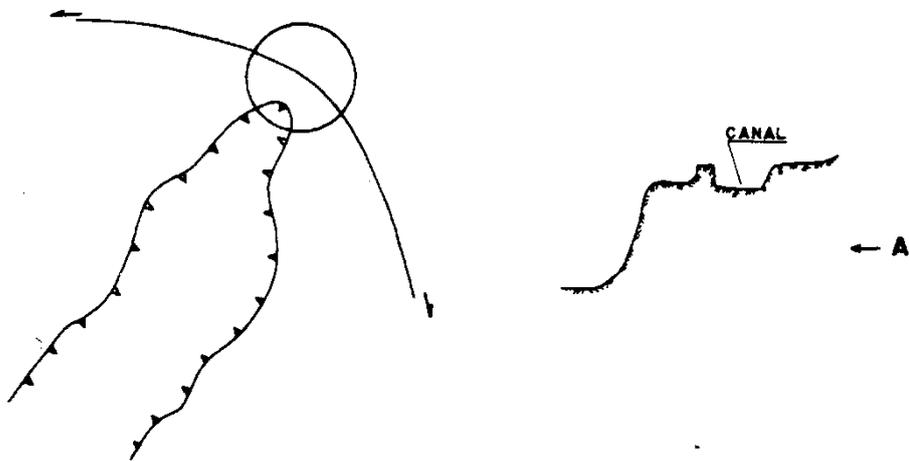


Esquema del avance de la cabeza de cárcava contra la pendiente

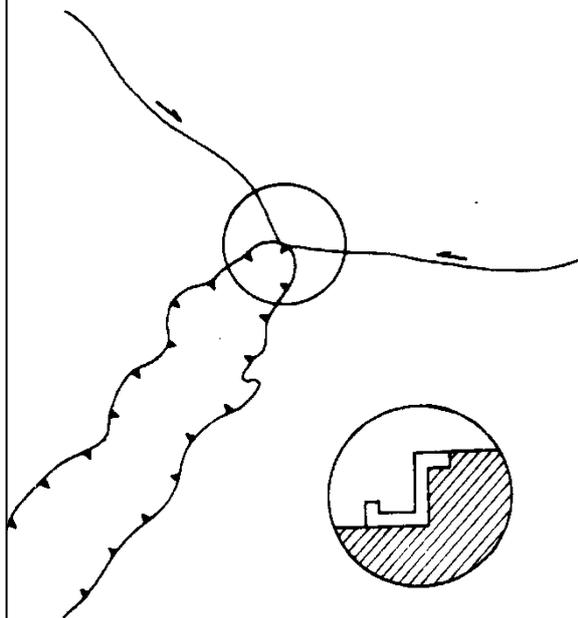


Cuencas de la cabeza de cárcava

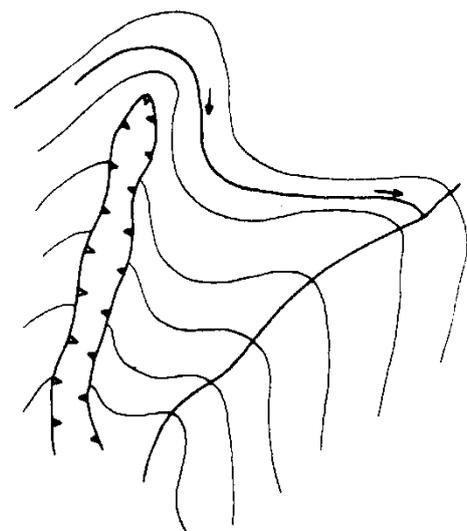
MEDIDAS DE PROTECCION DE LAS CABECERAS DE CARCAVAS Y HUAYCOS



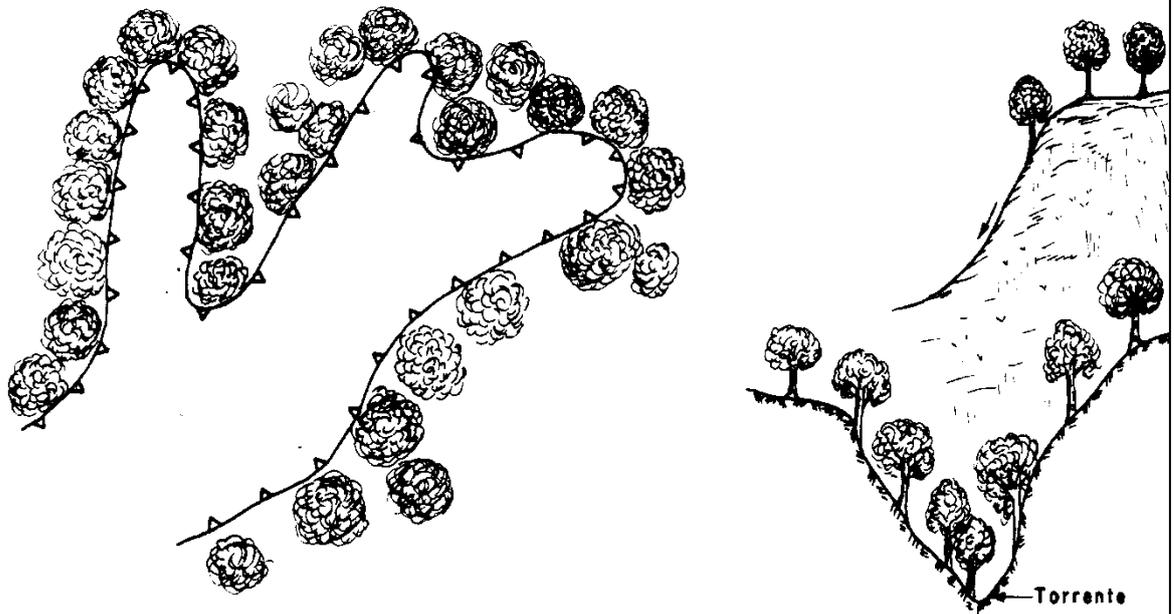
- Canal de desvío que conduce el escurrimiento superficial retenido hacia afuera del inicio de una cárcava.



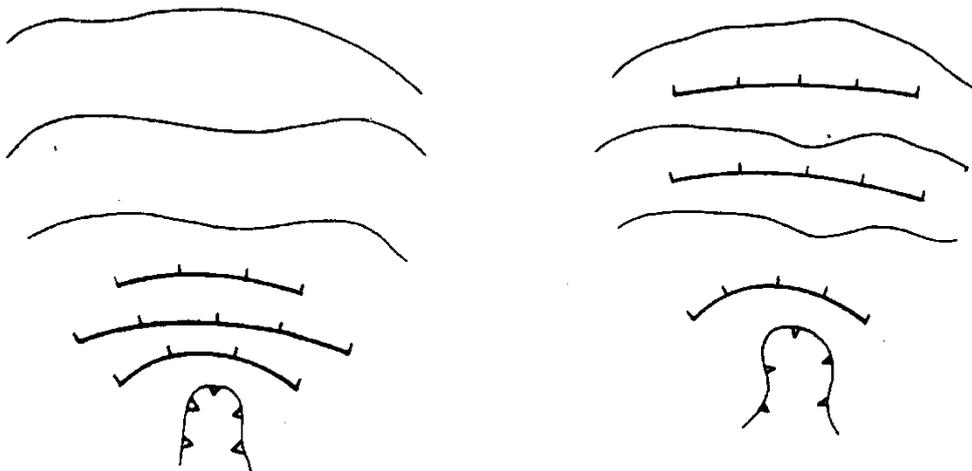
- Canal de desvío que conduce el escurrimiento superficial hacia el frente de la cabeza de cárcava.



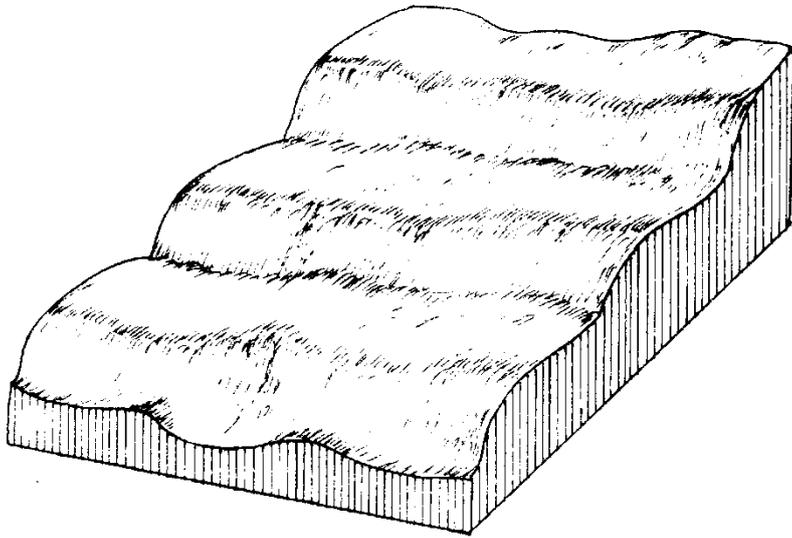
- Canal de desvío que conduce el agua a un desagüe natural.



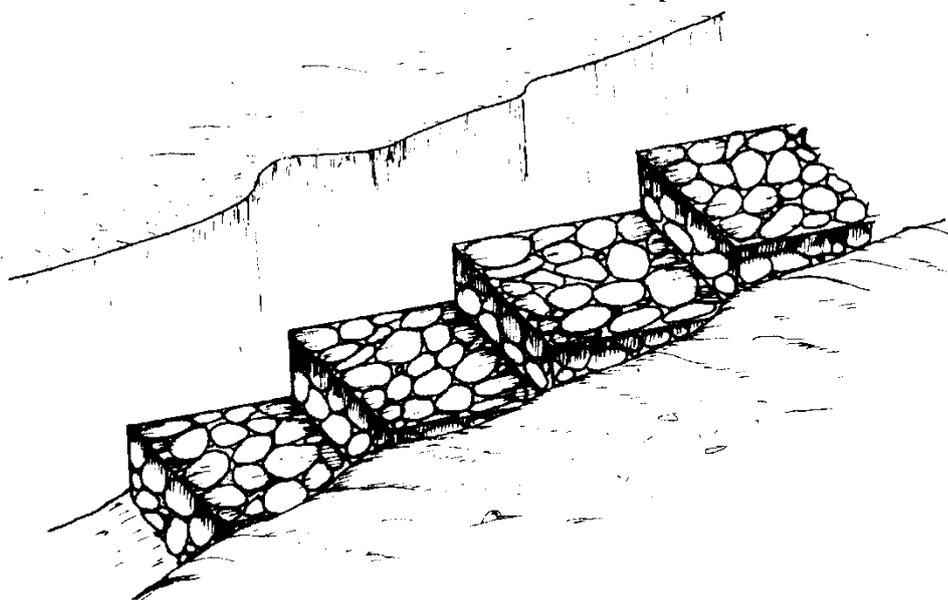
- Vistas en planta y en perfil de los procesos de forestación en las cabeceras y márgenes de áreas inestables.



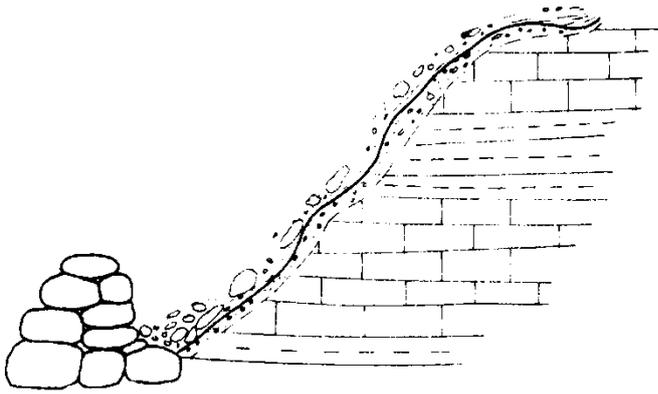
- Diques o muros de contención a ubicar en la cabecera o inicios de una cárcava o huaycos



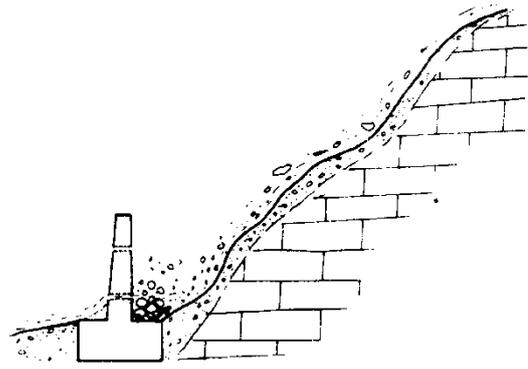
- Escalonamiento de la cabecera o ladera de una área inestable formando terrazetas.



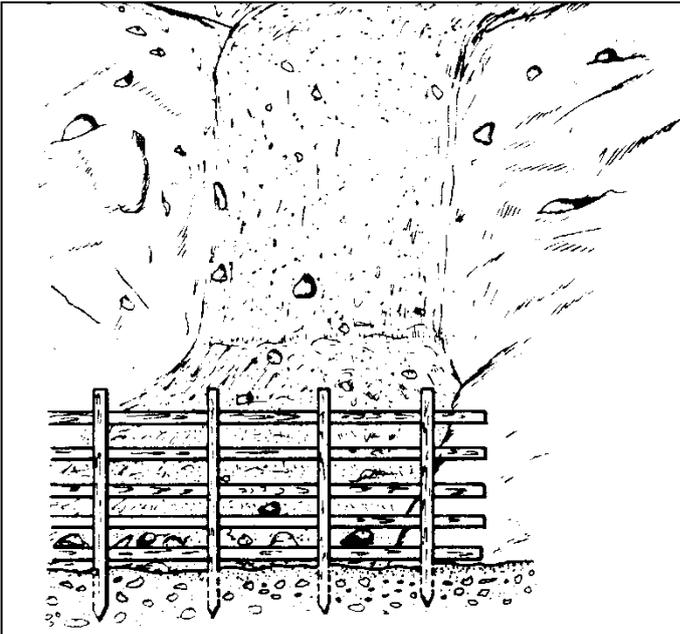
- Protección del lecho de la Qda. con muros escalonados (andenes) utilizando bloques de roca o concreto armado.



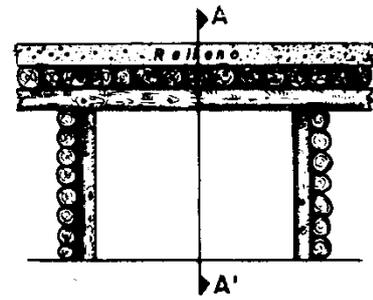
- Construcción de muros secos al pié del talúd.



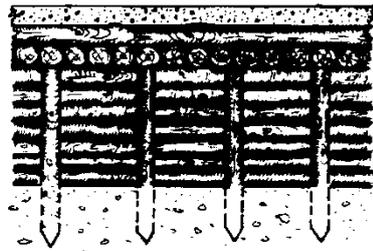
- Construcción de muros de cemento cíclopeo o concreto armado.



- Utilización de tablestacados para acumulación de material al-pie del talud en áreas inestables.

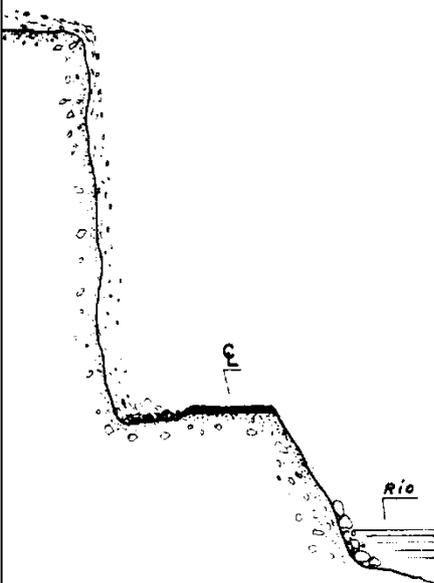


Capa granular

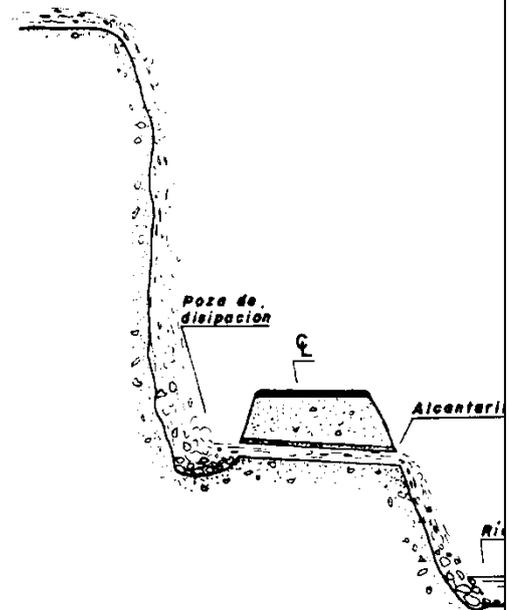


CORTE A-A'

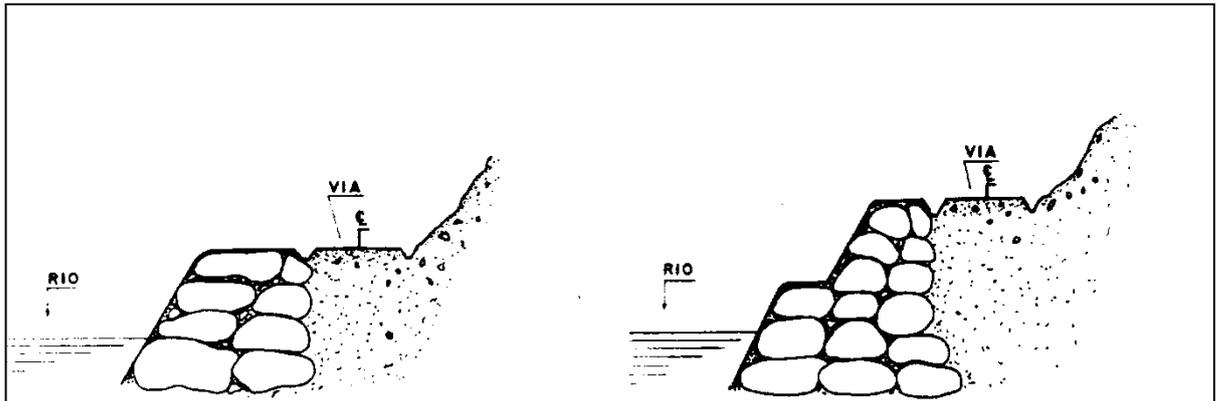
- Alcantarilla o pontón de tronco



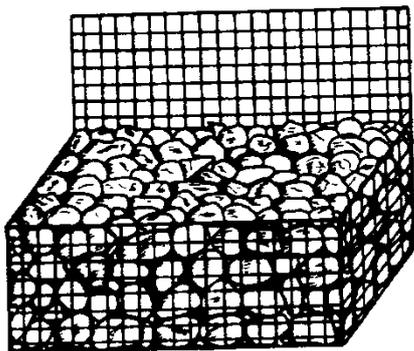
ESTADO PRESENTE



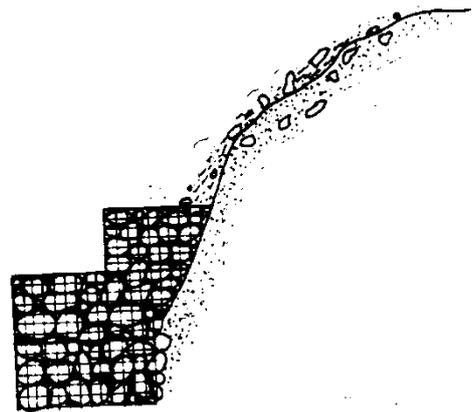
- Captación del agua que discurre por torreteras colgadas en el talud superior de una vía.



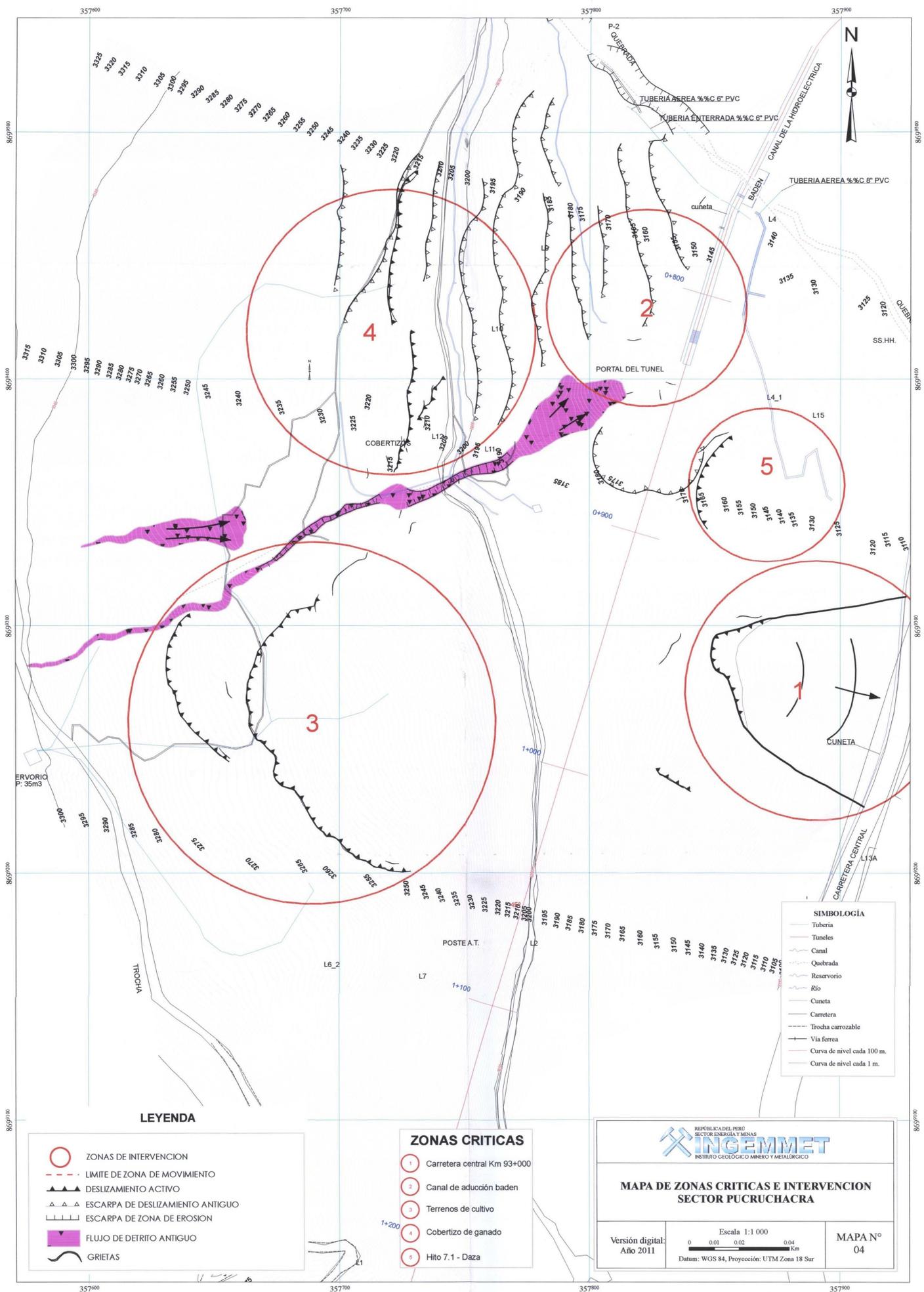
- Uso de enrocados para protección de riberas.



- Gabión empleado en obras de protección de laderas o erosión.



- Empleo de Gabiones al pie del Talud.



LEYENDA

- ZONAS DE INTERVENCION
- LIMITE DE ZONA DE MOVIMIENTO
- DESLIZAMIENTO ACTIVO
- ESCARPA DE DESLIZAMIENTO ANTIGUO
- ESCARPA DE ZONA DE EROSION
- FLUJO DE DETRITO ANTIGUO
- GRIETIAS

ZONAS CRITICAS

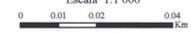
- 1 Carretera central Km 93+000
- 2 Canal de aducción baden
- 3 Terrenos de cultivo
- 4 Cobertizo de ganado
- 5 Hito 7.1 - Daza

- SIMBOLOGIA**
- Tubería
 - Túneles
 - Canal
 - Quebrada
 - Reservorio
 - Río
 - Cuneta
 - Carretera
 - Trocha carrozable
 - Vía ferrea
 - Curva de nivel cada 100 m.
 - Curva de nivel cada 1 m.



REPÚBLICA DEL PERÚ
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO

**MAPA DE ZONAS CRITICAS E INTERVENCION
SECTOR PUCRUCHACRA**

Versión digital: Año 2011	Escala 1:1 000  Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 18 Sur	MAPA N° 04
------------------------------	---	---------------