

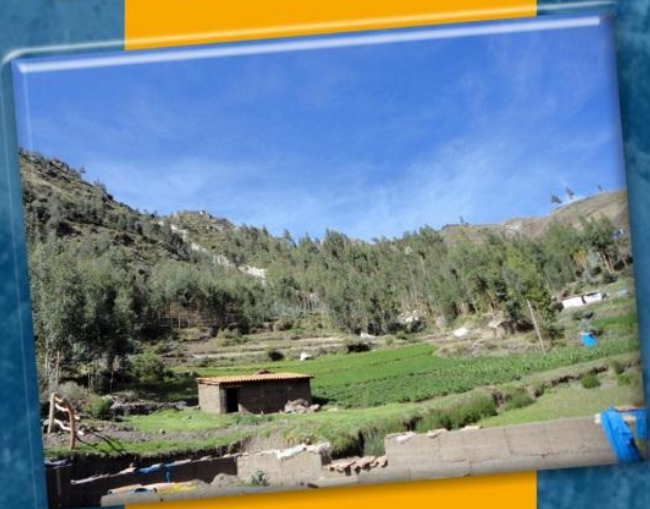


Informe Técnico N° A6588

Inspección Técnica:

Deslizamiento y caída de rocas en el centro poblado de Cachi Baja

Distrito de Huando, Provincia y Región Huancavelica



POR:

MANUEL VILCHEZ MATA
MAGDIE OCHOA ZUBIATE

DICIEMBRE 2011



**INSPECCIÓN TÉCNICA: DESLIZAMIENTO Y CAÍDA DE ROCAS EN EL CENTRO
POBLADO DE CACHI BAJA**

Distrito de Huando, Provincia y Región Huancavelica

CONTENIDO

1.0	INTRODUCCIÓN	3
2.0	ASPECTOS GENERALES	3
3.0	ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS	5
4.0	PELIGROS GEOLÓGICOS	8
	4.1 DESLIZAMIENTO ROTACIONAL	8
	4.2 CAÍDA DE ROCAS	15
5.0	CONDICIONES ACTUALES DEL SITIO	21
6.0	CONCLUSIONES	24
7.0	RECOMENDACIONES	25
8.0	REFERENCIAS	26

INSPECCIÓN TÉCNICA: DESLIZAMIENTO Y CAÍDA DE ROCAS EN EL CENTRO POBLADO DE CACHI BAJA

Distrito de Huando, Provincia y Región Huancavelica

1. INTRODUCCIÓN

El Director de la Oficina Regional de Defensa Nacional, Seguridad Ciudadana y Defensa Civil del Gobierno Regional de Huancavelica, mediante Oficio N° 508-2011/GOB-REG-HVCA/ORDRDNSCyDC, de fecha 27 de setiembre de 2011, se dirige al Presidente del Consejo Directivo del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), solicitando el apoyo de geólogos que realicen la estimación de riesgo, del centro poblado de Cachi Baja. El Director del área de Geología Ambiental y Riego Geológico (DGAR), designó a los ingenieros Manuel Vilchez Mata y Magdie Ochoa Zubiata, para que realicen la inspección técnica por peligros geológicos en el sitio mencionado.

Los trabajos de campo, fueron coordinados con el Ing. Rafael Rojas Huanqui, de la Oficina Regional de Defensa Nacional, Seguridad Ciudadana y Defensa Civil del Gobierno Regional de Huancavelica, estos se realizaron el día 22 de octubre.

Este informe se pone en consideración del gobierno regional de Huancavelica. Se basa en las observaciones de campo realizadas durante la inspección, interpretación de fotos aéreas e imágenes satelitales, relatos orales y versiones de los hechos sucedidos dados por los lugareños, así como de la información disponible de trabajos realizados anteriormente en el área de estudio.

2. ASPECTOS GENERALES

Políticamente la zona inspeccionada se ubica dentro del distrito de Huando, provincia y región Huancavelica (Figura 1), cuyas coordenadas centrales UTM (WGS-84) son:

Norte: 8606589

Este: 506174

Altitud: 3525

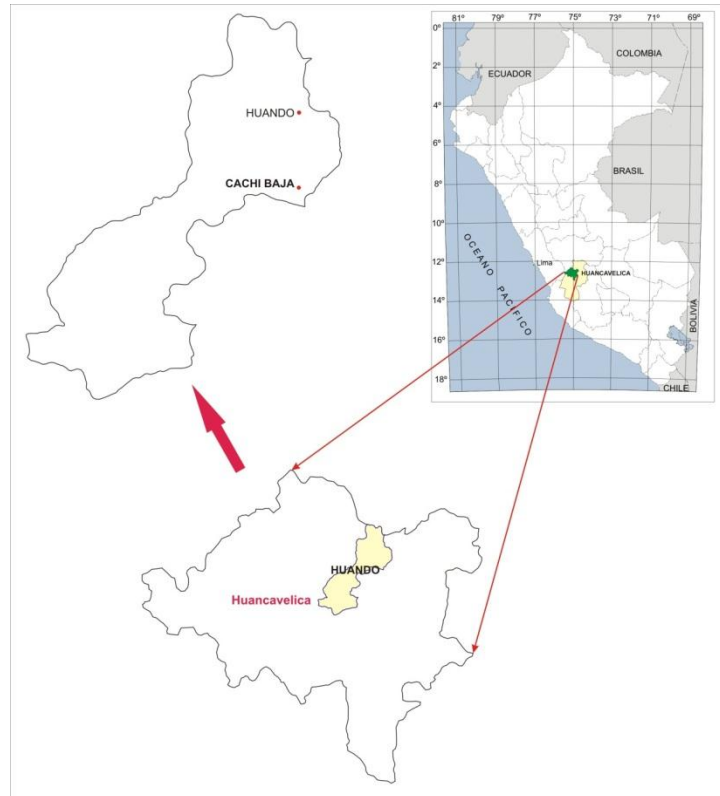


Figura 1: Ubicación de la zona de estudio.

Morfológicamente, la zona se encuentra en la cordillera Occidental, con altitudes que varían desde los 3200 msnm en el valle del río Pallca, 3500 msnm en Cachi Baja, 3700 msnm en el sector de Escalera y 4250 msnm en la parte más alta de la montaña.

El acceso hacia la zona de estudio se realiza por vía terrestre desde Lima, utilizando la carretera central, pasando por las localidades de La Oroya, Huancayo, Izcuchaca, Huando, Escalera, hasta llegar al poblado de Cachi Baja. También se puede acceder utilizando la carretera Panamericana Sur, hasta llegar a la localidad de Pisco, desvío a Huaytará, utilizando la carretera Los Libertadores Wari, hasta el desvío de Pampano, de ahí se continúa por Ticrapo, Castrovirreyna, Huancavelica, Puente Pallca, Cachi Alta, de allí al poblado de Cachi Baja.

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), en la zona estudiada la precipitación pluvial acumulada durante el periodo lluvioso normal (setiembre – mayo) es de 500 a 700 mm y para el periodo de precipitación acumulado en el evento del fenómeno “El Niño” 1997/1998, fue de 600 a 800 mm.

Según el mapa de clasificación climática del Perú (SENAMHI, 1988), entre los 3000 y 4000 msnm (altitudes entre las que se encuentra la zona de estudio), se tienen los siguientes climas:

a.- B(o,i)C'H₃: Zona de clima frío, lluvioso, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda; comprende el valle del río Mantaro y río Pallca entre los 3000 y 4000 msnm.

b.- B(i)D'H₃: Zona de clima semifrío, lluvioso, con deficiencia de lluvias en invierno, humedad relativa calificada como húmeda, temperaturas bajas todo el año que varían entre -10°C y 10°, descendiendo en ocasiones a valores de hasta -16°C en algunas noches de invierno. Se localiza sobre los 4000 msnm.

La vegetación presente en la zona es de tipo bosque húmedo montano subtropical, conformada por bosques residuales homogéneos que tiene especies como el chachacomo, quinal, ulcumano, romerillo y el mutuy. Las partes altas de la montaña se caracterizan por presentar vegetación de paramo muy húmedo subalpino subtropical, que alberga gramíneas (festuca, calamagrostis), grama salada, grama dulce; debido al intenso sobrepastoreo, prolifera el romero, caqui caqui, garbancillo y pacco pacco; también se tiene el quinal y el chachacomo (INRENA, 1995).

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

Regionalmente el substrato rocoso está compuesto por rocas de naturaleza sedimentaria, volcánica y volcánica sedimentaria (Foto 1 y Figura 2), que comprenden edades geológicas desde el Mesozoico (Jurásico) a Cenozoica (Mioceno); así se tienen las siguientes formaciones geológicas:

Formación Condorsinga: Miembro superior del Grupo Pucará, de edad Jurásico inferior, conformada por calizas gris claras en estratos gruesos.

Grupo Goyllarisquiza: De edad Cretáceo inferior, dentro de este grupo se tiene las siguientes formaciones:

a.- Formación Chimú: Areniscas cuarzosas blancas y amarillentas de grano fino a gruesas, con láminas de carbón, a veces se intercalan areniscas y limoarcillitas rojas.

b.- Formación Santa-Carhuaz: Limoarcillitas rojas intercaladas con areniscas cuarzosas blancas y calizas grises.

c.- Formaciones Farrat: Areniscas cuarzosas blancas intercaladas con areniscas y limoarcillitas rojas. Hacia el tope presenta canales de microconglomerados con clastos de cuarcitas y cuarzo.

Formación Chayllacatana: De edad Cretáceo inferior, conformada por coladas volcánicas basálticas, en algunos afloramientos intercalados con areniscas y limoarcillitas rojas.

Formación Chulec: De edad Cretáceo inferior, conformado calizas grises claras a violáceas en estratos delgados y gruesos, formando una secuencia de estrato creciente. Se intercalan margas.

Formación Casapalca: De edad Cretáceo superior, conformada por areniscas rojas cuarzo-feldespáticas finas a gruesas, intercaladas con limos y lutitas rojas. Hacia la base presenta yesos y areniscas calcáreas.

Formación Tantará: De edad Paleógeno (Eoceno), conformada por coladas volcánicas andesíticas basálticas, se intercalan conglomerados con clastos de volcánicos y areniscas gruesas.

Formación Huanbo: De edad Neógeno (Mioceno) conformada por dos miembros:

- a.- Miembro Inferior: Se presentan ignimbritas blanquecinas a rosadas, hacia la base se presentan unas intercalaciones de travertinos en estratos y lentes.
- b.- Miembro Superior: Conformado por coladas volcánicas andesíticas porfiríticas.

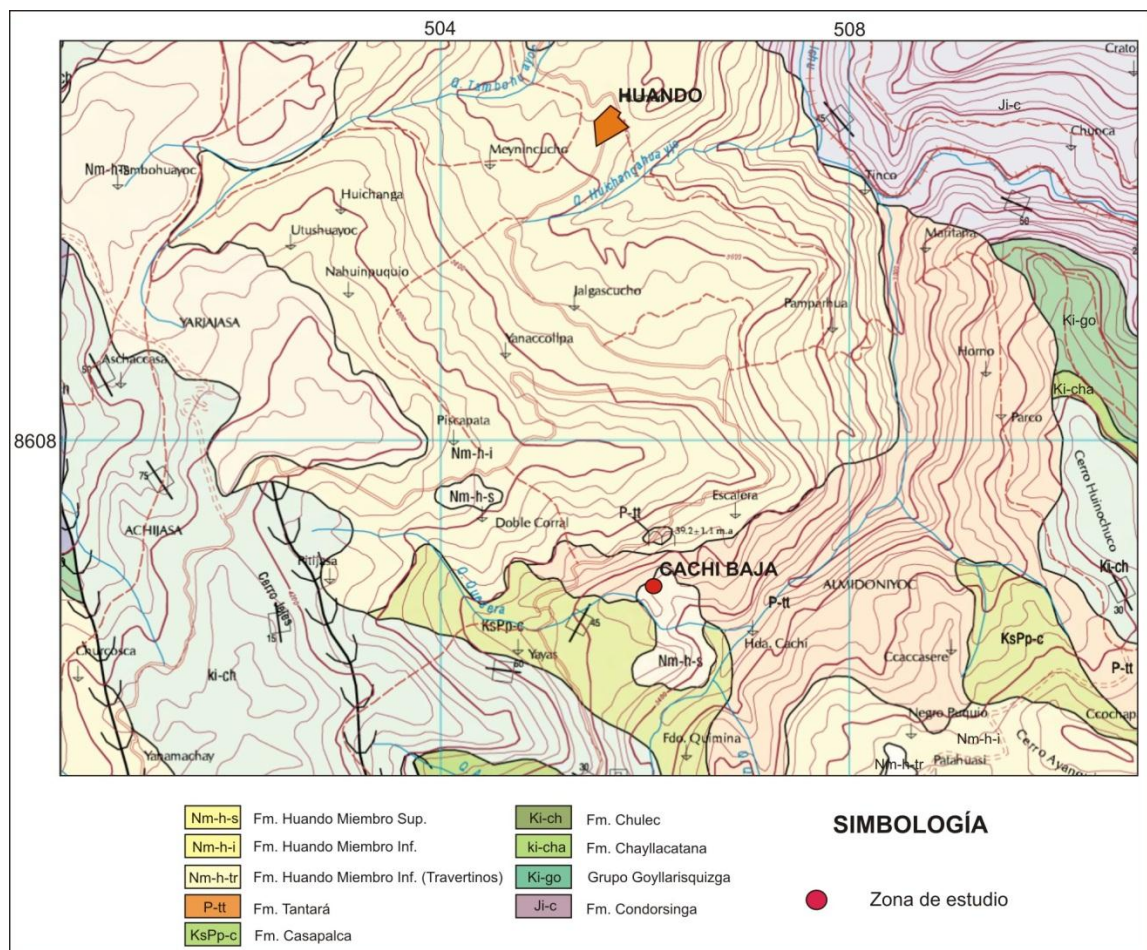


Figura 2: Mapa geológico de la zona de estudio (Romero, D., y Torres, V., 2003).



Foto 1: Vista panorámica donde es posible observar los poblados de Cachi Alta, Cachi Baja y Escalera, se resalta con línea amarilla los contactos de las Formación Casapalca (KsPp-c), Formación Tantará (P-tt), la Formación Huando Miembro Inferior (Nm-h-i) y Miembro Superior (Nm-h-s).

La localidad de Cachi Baja se ubica en la margen izquierda de la quebrada Queseserero, la cual confluye al río Pallca por su margen izquierda, sobre rocas volcánicas de tipo andesitas porfiríticas de la Formación Huambo Miembro Superior; estas conforman una planicie ligeramente inclinada (10°). Las laderas de la montaña, por encima del poblado, están conformadas por rocas de las Formaciones Tantará y Huambo Inferior. Alcanzan pendientes moderadas a fuertemente inclinadas (> 30°).

4.0 PELIGROS GEOLÓGICOS: DESLIZAMIENTO ROTACIONAL, CAÍDA DE ROCAS

Los trabajos de campo nos permitieron realizar la inspección en las laderas superiores del poblado de Cachi Baja, comprendidas aproximadamente entre los kms 22+500 al 23+300 de la carretera Huancayo-Izcuchaca-Huancavelica; se determinó que los eventos de movimientos en masa producidos son de tipo deslizamiento rotacional y caída de rocas; que afectaron terrenos de cultivo.

4.1 DESLIZAMIENTO ROTACIONAL

Antecedentes del evento: Entre los eventos peligrosos ocurridos en la zona de Cachi Baja, se pueden mencionar los del año 1987, donde las intensas precipitaciones pluviales generaron grandes concentraciones de agua, las cuales discurrieron por las torrenteras que cruzan el poblado y causaron la muerte de animales domésticos (cuyes y vacas) (Caballero, H. & Huamancayo, L.).

El deslizamiento ocurrido en las laderas superiores del poblado de Cachi Baja es de tipo rotacional y se localiza a la altura del km 22+500, a unos 45 m debajo de la plataforma de carretera que conduce hacia la ciudad de Huancavelica. Este deslizamiento inicio su actividad, en un primer instante, el 13 de marzo a consecuencia de las lluvias intensas caídas en la zona; luego el 21 de marzo el evento tuvo un nuevo episodio de actividad que produjo el asentamiento de rocas de tipo ignimbritas de la Formación Huambo inferior.

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

El deslizamiento de Cachi Baja, localizado en las laderas superiores del poblado, fue condicionado por:

- La pendiente promedio de la ladera de la montaña, desde donde se inició el deslizamiento alcanza en algunos casos los 36° (foto 2).
- El substrato rocoso presente en la zona; la parte superior de la ladera donde arrancó el deslizamiento está conformado por rocas ignimbritas blancas, poco consolidadas y poco resistentes (fotos 3 y 4). Debajo de estas se encuentran coladas volcánicas andesíticas basálticas, intercaladas con conglomerados.

Es en esta secuencia de rocas donde se depositó el material removido por el deslizamiento.

- El fracturamiento abierto en las rocas (ignimbritas) (fotos 5 y 6), cuyas principales familias de fracturas, favorecen la infiltración de agua y la rotura de la ladera.
- La presencia de afloramientos de agua subterránea (puquiales) en la zona de deslizamiento (foto 7), las cuales humedecen el terreno, lo saturan, aumentan el peso, reducen la resistencia al esfuerzo cortante y produjeron el colapso de la ladera.
- La actividad antrópica: La construcción de carretera hizo necesario colocar cunetas. Estas desfogon las aguas de precipitación que colectan, directamente hacia las torrenteras que bajan hacia el poblado de Cachi Baja.
- Las precipitaciones pluviales intensas que se producen en la zona entre los meses de diciembre-abril, que funcionan como detonantes.

Descripción del deslizamiento: En forma general se describe al deslizamiento ocurrido como un movimiento en masa con velocidad de desplazamiento rápido. El deslizamiento presenta una zona de arranque regular, con una superficie de rotura concava. El material colapsado se desplazó ladera abajo a lo largo de unos 250 m en línea inclinada, hasta llegar a una zona de ladera de menor pendiente (10° - 15°), donde el material se depositó (figura 3 y 4; fotos 8 a 10). Se tomaron las siguientes dimensiones en el deslizamiento:

- Ancho de escarpa: 50 m
- Salto principal: 5 m
- Angulo de inclinación de la superficie de falla: 40°
- Saltos secundarios: no presenta
- Diferencia de altura de la corona a la punta del deslizamiento: 150 m
- Longitud horizontal corona a punta: 200 m
- Dirección (azimut) del movimiento: 145° que cambia a 177° en el tramo final de su desplazamiento.
- Longitud total (inclinada): 250 m
- Área del deslizamiento: 7000 m^2
- Volumen de material: se estima un volumen aproximado de 4500 m^3 de material desplazado.
- Deposito conformado por material gravo-arena limoso, con abundantes bloques que pueden alcanzar 1,50 m de longitud (foto 11).
- Presencia de fracturas abiertas (5 cm), localizadas encima de la corona del deslizamiento. Esto evidencia la alta posibilidad de que se produzcan nuevos deslizamientos (foto 12).

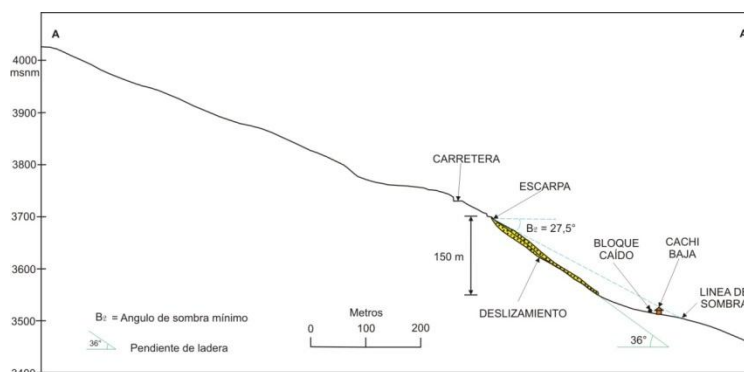


Figura 3: Esquema del perfil A-A' del deslizamiento, donde se señala la ubicación del deslizamiento, la carretera Huancayo-Izcuchaca-Huancavelica y la distancia que alcanzó la masa desplazada.

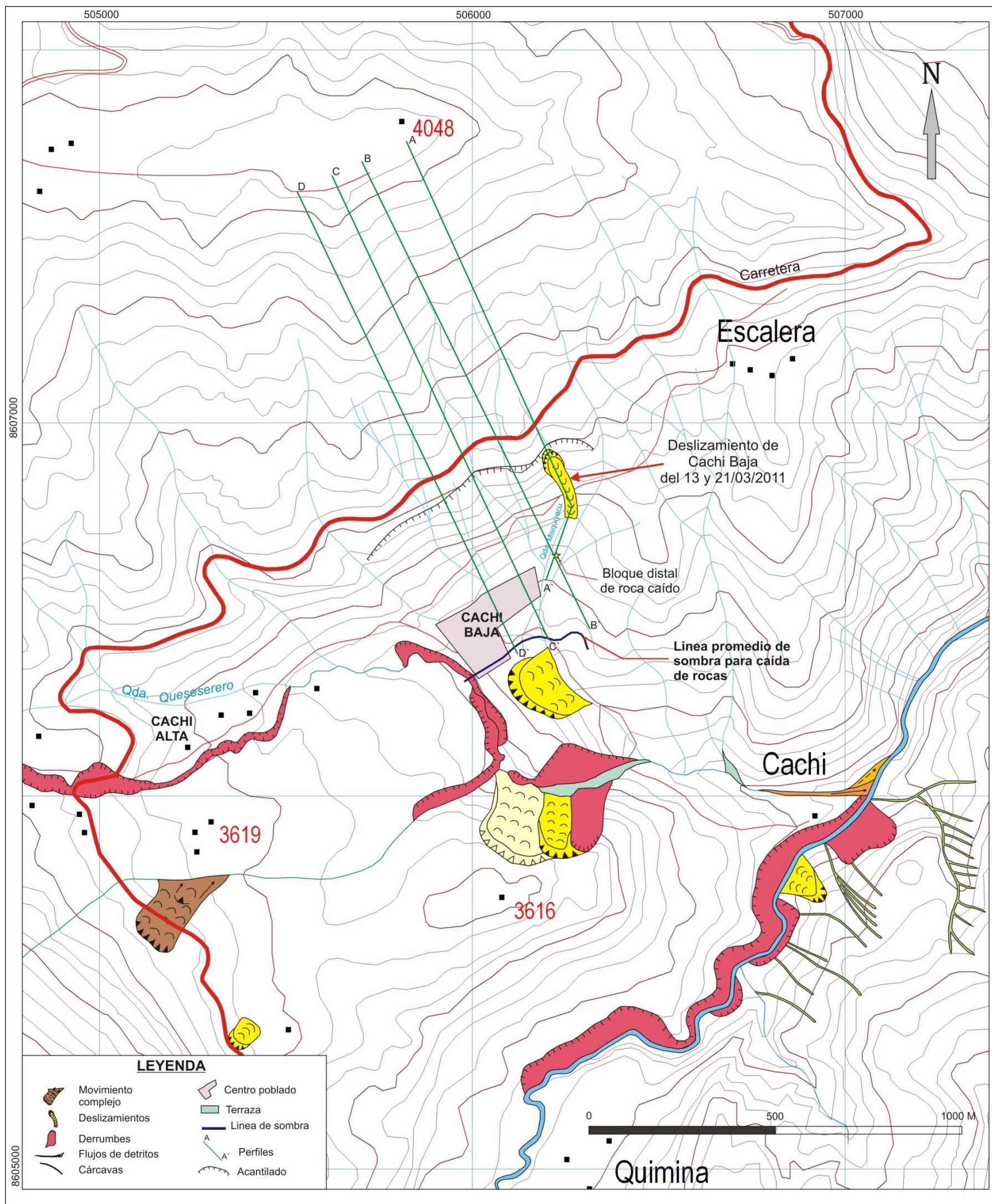


Figura 4: Mapa de peligros geológicos de la zona de Cachi Baja.



Foto 2: Vista del poblado de Cachi Baja al pie de ladera que alcanza los 36° de pendiente.



Fotos 3 y 4: Ignimbritas no consolidadas, se observan grietas en la roca.



Fotos 5 y 6: Grietas abiertas con vegetación en las ignimbritas.



Foto 7: Afloramiento de agua captado (puquial), localizado al lado izquierdo del deslizamiento. Se ha señalado con flecha roja.



Foto 8: Vista ladera arriba del deslizamiento, se observa los boques y material areno gravoso con limos.



Foto 9: Vista ladera abajo del deslizamiento, hacia el lado superior derecho se encuentra el poblado de Cachi Baja.



Foto 10: Otra vista del deslizamiento, se observa gran cantidad de bloques en la parte superior del depósito.



Foto 11: Bloques de la parte superior del cuerpo del deslizamiento alcanzan hasta 1,5 m de Longitud.



Foto 12: Grietas abiertas localizadas por encima de la corona del deslizamiento.

Daños causados: El deslizamiento rotacional afectó.

- Bosque de eucaliptos.
- Terrenos de cultivo.
- Captación de agua de puquial.

Además se tiene que tener en cuenta que una reactivación del deslizamiento, representa un peligro potencial alto para los terrenos de cultivos, viviendas, pobladores y animales que se ubican debajo del deslizamiento (foto 13).



Foto 13: Terrenos de cultivo y viviendas localizados debajo del deslizamiento.

En cuanto a la ocurrencia de otros deslizamientos activos en la zona de Cachi Baja, no se puede dejar de mencionar los siguientes:

- Deslizamiento rotacional ubicado en la margen derecha de la quebrada Misquiyacu, afluente de la quebrada Queseserero, en el extremo sur del poblado de Cachi Baja; tiene unos 190 m de ancho de escarpa y un desnivel del pie a la corona de unos 100 m aproximadamente. Su actividad está relacionada al socavamiento en el pie del deslizamiento producido por el agua que discurre en la quebrada Misquiyacu; afecta terrenos de cultivo (foto 14).

- Deslizamiento en la margen derecha de la quebrada Queseserero, con un ancho de escarpa de 300 m aproximadamente y una diferencia de nivel de la corona al pie de 175 m. Este deslizamiento compromete depósitos volcánicos de la Formación Tantará y aporta material suelto a la quebrada, muy susceptible de ser acarreado en forma de flujos de detritos (huaycos) en periodos lluviosos (foto 14).



Foto 14: Vista de los deslizamientos ubicados en el lado sur del poblado de Cachi Baja, localizados en la margen derecha de la quebrada Queseserero (A) y Quebrada Misquiyacu (B).

4.2 CAÍDA DE ROCAS

De manera casi simultánea, una vez producido el deslizamiento rotacional, en la corona del deslizamiento quedaron bloques colgados, separados del afloramiento rocoso por fracturas abiertas; estos bloques colgados e inestables, al parecer fueron

los últimos que se desprendieron y se movieron ladera abajo por encima del depósito de deslizamiento.

Antecedentes del evento: La caída de rocas producida en las laderas superiores del poblado de Cachi Baja, se localiza al igual que el deslizamiento a la altura del km 22+500, a unos 45 m debajo de la plataforma de carretera que conduce hacia la ciudad de Huancavelica. Estos desprendimientos, por los indicios encontrados en campo, se produjeron en el segundo evento del día 21 de marzo; los bloques de roca colapsados corresponden a ignimbritas del miembro inferior de la formación Huambo.

Factores condicionantes y detonantes: Para el caso de la caída de rocas en Cachi Baja, localizado en las laderas superiores del poblado, esta fue condicionada por:

- La pendiente promedio de ladera (35°) y la pendiente dejada en la zona de arranque por el deslizamiento, de más de 45° (Foto 2), presencia de terrenos escarpados (acantilados de poca altura).
- El substrato rocoso presente en la zona; conformado por rocas volcánicas tipo ignimbritas color blanco, inconsolidadas y poco resistentes (Fotos 3 y 4).
- La ocurrencia de un movimiento en masa predecesor (deslizamiento rotacional) que dejó una ladera inestable, desde donde se produjo la caída de rocas.
- El fracturamiento abierto en las rocas (ignimbritas) (foto 5 y 6), cuyas principales familias de fracturas, favorecieron la infiltración de agua y la rotura en la ladera.
- Las precipitaciones pluviales intensas que se producen en la zona entre los meses de diciembre-abril.

Descripción de la caída de rocas: La caída de fragmentos de roca se caracteriza por el movimiento independiente de fragmentos individuales de roca después del desprendimiento de un afloramiento rocoso. La continuidad del proceso conlleva a la acumulación de materiales al pie de la ladera (conos de talus). La caída de rocas es un proceso de ladera que involucra el desprendimiento del fragmento rocoso y su caída, y sus subsecuentes rebotes, rodamientos, resbalamientos, y depositación (Varnes, 1978; Hutchinson, 1988). Una caída de rocas puede involucrar el desplazamiento de un simple fragmento o de varias piezas. Este también puede originarse por el desprendimiento de bloques más o menos coherentes que luego se desintegran durante el curso del movimiento. En general, caída de rocas fragmentarias implica desprendimientos relativamente pequeños ($<10^5 \text{ m}^3$), aunque no hay un límite de volumen definido (Evans, S.G. y Hungr, O, 1993).

Periódicamente, en una caída de rocas ocurre en que bloques más o menos grandes rebotan y ruedan ladera abajo, y se mueven más allá de su margen, llegando a detenerse a alguna distancia de la base de la ladera. Son estos bloques los que se constituyen en el mayor peligro en la vecindad de taludes de laderas, y la incertidumbre de su comportamiento supone una mayor dificultad en la evaluación de la vulnerabilidad por caída de rocas (Evans, S.G. y Hungr, O, 1993).

Los fragmentos más finos se acumulan en el ápice del depósito de talus (A) y en las partes más bajas, en la base del depósito se encuentran los fragmentos de tamaños más grandes (B). Más allá de la base del depósito de talus, la ladera no está cubierta completamente por fragmentos de talus (C) (Figura 5). El ángulo promedio de la ladera es β_1 . La superficie ubicada a la derecha del punto B, se denomina superficie substrato, consiste de material y formas de terreno anteriores al depósito de talud. La parte de la superficie de substrato cubierta discontinuamente por bloques grandes

dispersos que han rodado o rebotado más allá de la base del talud (B-C) es referida como sombra de la caída de rocas y el ángulo medido entre A-C se denomina ángulo de sombra (β_2) (Evans, S.G. y Hungr, O, 1993).

El comportamiento particular de una caída de rocas con respecto a su alcance dentro de la sombra, puede ser evaluado usando: evidencias geológicas, métodos empíricos, modelamiento físico y modelos analíticos basados en computadora. **Un ángulo empírico mínimo de sombra de $\beta_2=27,5^\circ$** (es decir, el ángulo entre el límite distal o de máxima distancia de la sombra y la parte superior del talud) es sugerido por los autores, y sería útil en estudios de vulnerabilidad a caída de rocas en la base de taludes, como una primera aproximación a los límites de una línea de sombra (Evans, S.G. y Hungr, O, 1993).

La caída de rocas suscitada en las laderas superiores del poblado de Cachi Baja, puede ser descrita como un evento que tuvo una velocidad muy rápida, donde los bloques desprendidos desde la corona del deslizamiento, que presentan formas angulares, se desplazaron por encima del cuerpo del deslizamiento (pendiente 35°) y se movilizaron más allá de la punta del deslizamiento, aproximadamente a unos 115 m de éste (figuras 5 y 6), deteniéndose sobre los terrenos de cultivo de menor pendiente (10° aproximadamente) a escasos 15 o 20 m de las viviendas ubicadas en el extremo este del poblado (fotos 15 al 18). El tamaño de los bloques alcanza el 1,5 m de longitud.

Es así que, teniendo en cuenta el fundamento teórico descrito arriba, y considerando el ángulo empírico mínimo de sombra de $\beta_2=27,5^\circ$ recomendado por los autores; para la zona de Cachi Baja, el alcance máximo que tuvieron los bloques caídos se encuentran dentro de la zona de sombra de caída de rocas; localizándose la denominada línea de sombras a una distancia máxima de 110 m del punto de donde se detuvieron los bloques caídos (figuras 4 y 5).

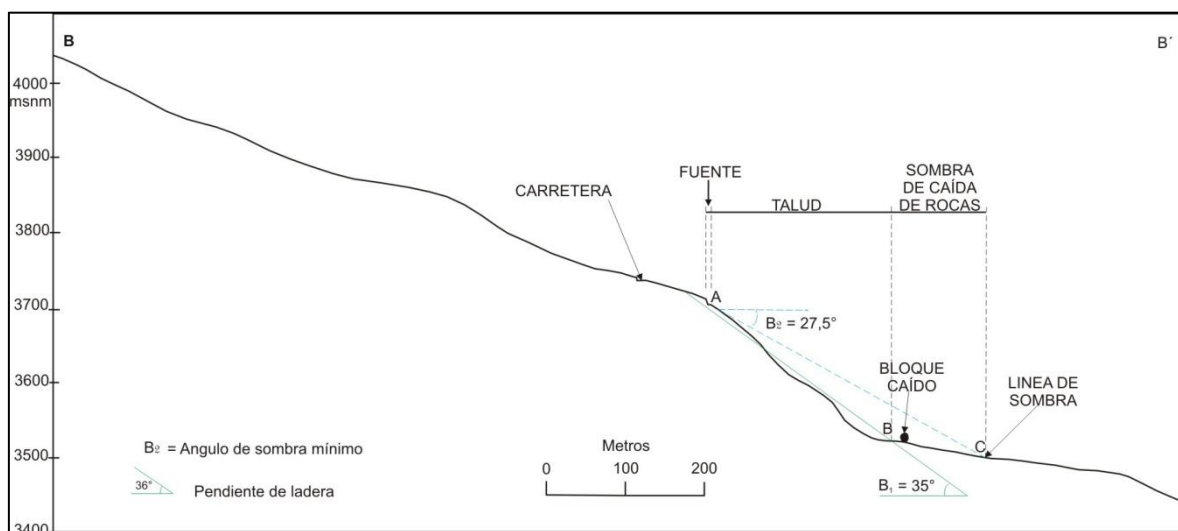


Figura 5: Perfil B-B' del recorrido de los bloques de roca caídos desde la ladera superior del poblado de Cachi Baja.

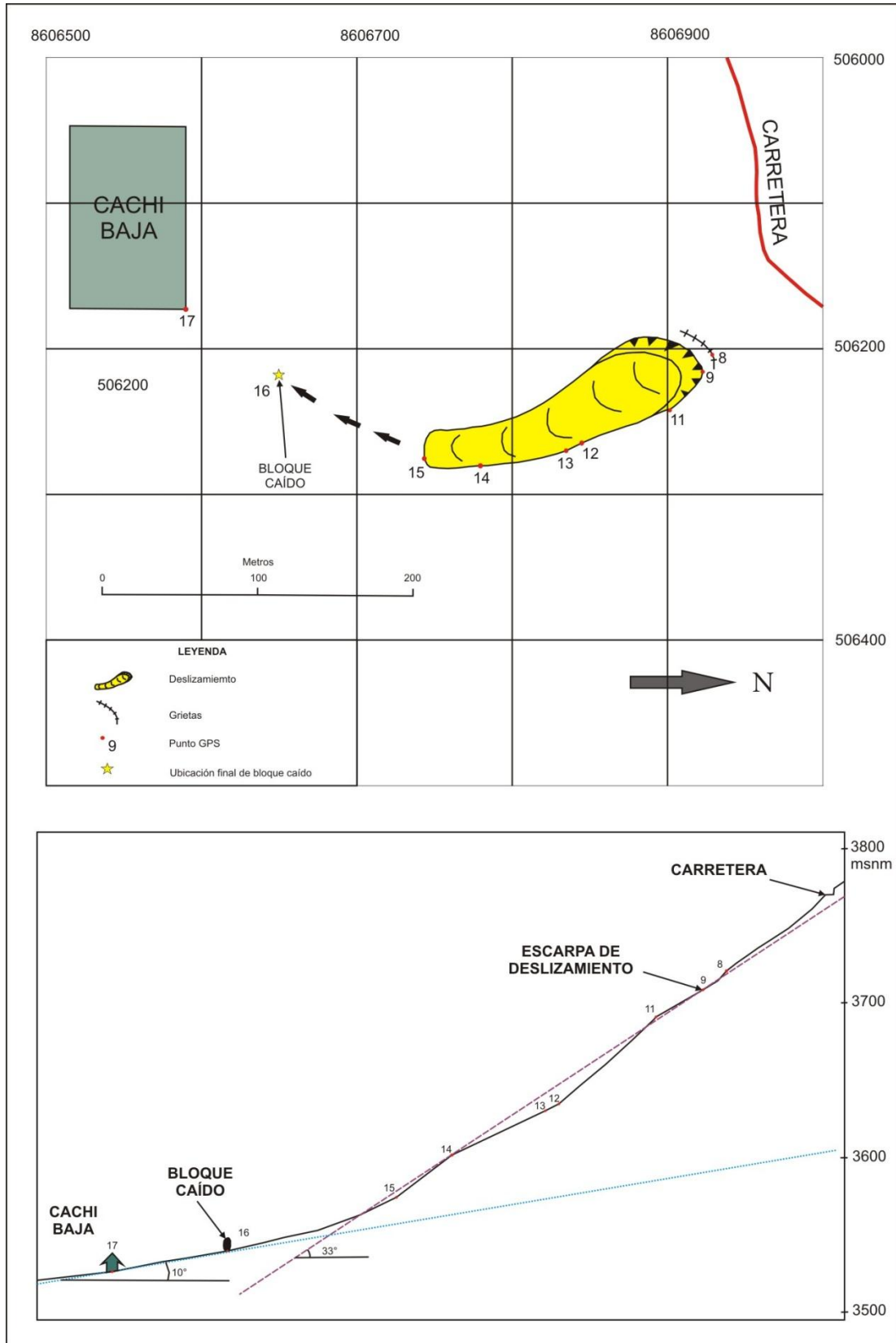


Figura 6: Vista de planta y perfil del deslizamiento y caída de rocas; localización final de bloques de roca caídos con respecto al poblado de Cachi Baja.



Foto 15: Vista ladera abajo donde se puede apreciar varios bloques caídos que alcanzaron distancias mayores que el material desplazado por el deslizamiento.



Foto 16: Vista ladera abajo, donde se ha localizado y señalado con flechas amarillas la ubicación final de los bloques caídos que alcanzaron mayor desplazamiento.



Fotos 17: Vista ladera arriba, donde se puede apreciar la ubicación final de los bloques caídos con respecto a las viviendas de Cachi Baja.



Foto 18: Vista de bloque caído, se puede apreciar su forma angulosa.

Daños causados: La caída de rocas afectó.

- Bosque de eucaliptos.
- Terrenos de cultivos.

Además, una nueva caída de rocas representa un peligro muy alto para las viviendas localizadas dentro de su área de influencia, para personas y animales que puedan encontrarse en la zona al momento de producirse un nuevo evento.

5.0 CONDICIONES ACTUALES DEL SITIO

Las características intrínsecas que provocaron la ocurrencia de los movimientos en masa, persisten en la ladera superior del poblado de Cachi Baja, por lo que se debe tener presente la alta probabilidad de nuevos deslizamientos y caída de rocas; esta apreciación se sustenta en las siguientes condiciones observadas:

1.- Presencia de grietas abiertas (5 cm) encima de la corona del deslizamiento, que determinaría su actividad retrogresiva en este sector (foto 12); ante nuevas precipitaciones pluviales estos terrenos inestables pueden colapsar, movilizándose ladera abajo como reactivaciones del deslizamiento.

2.- En los 800 m de ladera inspeccionada entre los kms 22+500 al 23+300 de la carretera Izcuchaca-Huancavelica, se pudo evidenciar la presencia de terrenos escarpados (acantilados de poca altura) (foto 19, 20 y 21), formados en roca ignimbrita, poco resistente, con grietas abiertas, donde crece vegetación y que facilitan la infiltración del agua de precipitación pluvial.

3.- Presencia de bloques inestables, que han sufrido movimiento y quedaron colgados en la ladera sobre el poblado de Cachi Baja (foto 22).

Dada las condiciones de inestabilidad observadas en las ladera superiores del poblado y aplicando el fundamento teórico de un **ángulo empírico mínimo de sombra de $\beta_2=27,5^\circ$** , medido desde el pie de los acantilados indicados arriba, se puede observar que las viviendas del poblado de Cachi Baja se encuentran dentro de la zona de “sombra de caída de rocas”; en otras palabras, de producirse nuevas caída de rocas, pueden resultar afectadas las viviendas, pobladores y animales (figuras 7 y 8).



Foto 19: Acantilados y afloramientos escarpados de roca ignimbrita, ubicados sobre la zona afectada por el deslizamiento.



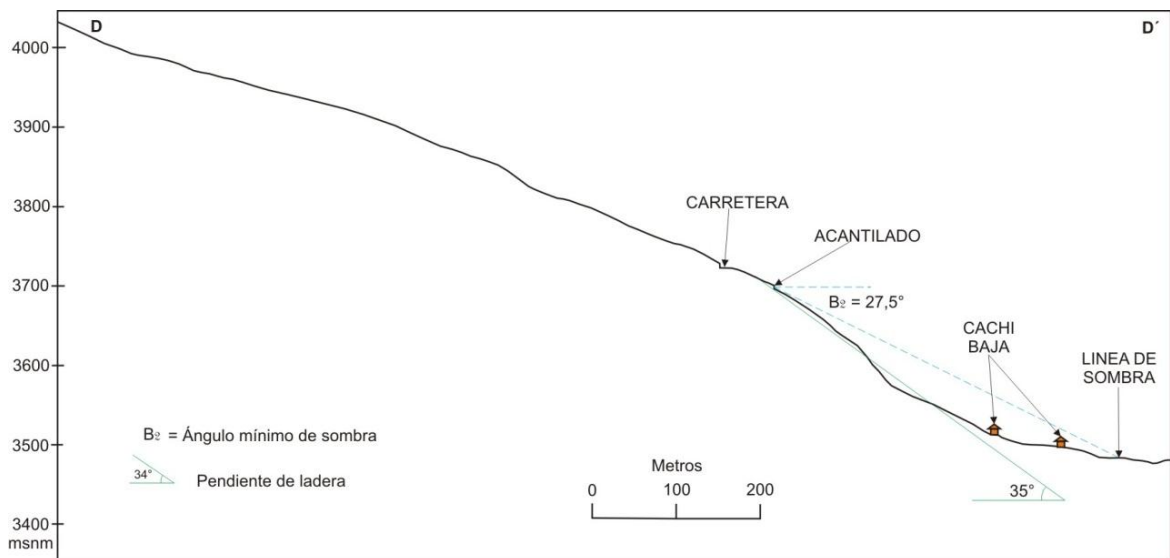
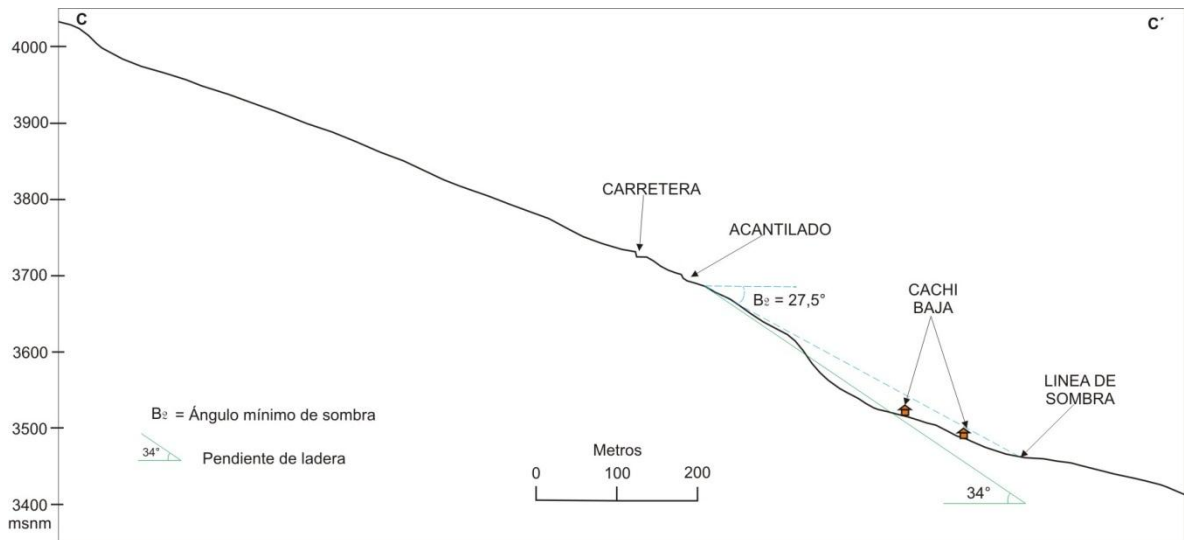
Foto 20: Otra vista de farallones de roca ignimbritas, localizadas sobre el poblado de Cachi Baja.



Foto 21: Vista donde se puede apreciar la pendiente de las laderas sobre el poblado de Cachi Baja.



Foto 22: Bloque de roca ignimbrita, desprendido desde el talud, el cual quedó colgado o suspendido.



Figuras 7 y 8: Sección C-C' y D-D', donde es posible observar la línea de sombra de caída de rocas, trazado con el ángulo empírico mínimo de sombra de $\beta_2=27,5^\circ$ y la ubicación de las viviendas del poblado de Cachi Baja dentro de la zona de influencia de estos eventos; lo cual significa un alto peligro para todo lo que se encuentra dentro de esta área.

5.0 CONCLUSIONES

1. El deslizamiento rotacional y la caída de rocas fue condicionado por:
 - La pendiente promedio de la ladera de la montaña donde arranco el deslizamiento (alcanza en algunos casos los 36°).
 - El substrato rocoso, conformado por ignimbritas de color blanco, inconsolidadas y poco resistentes.
 - El fracturamiento abierto en las ignimbritas, cuyas principales familias de fracturas, favorecen la infiltración de agua y la rotura de la ladera.
 - La presencia de afloramientos de agua subterránea (puquiales) en la zona de deslizamiento, las cuales humedecen el terreno, lo saturan y aumentan el peso, reduciendo la resistencia al esfuerzo cortante y producen el colapso de la ladera.
 - La actividad antrópica: construcción de carretera hizo necesario colocar cunetas, las cuales desfogon las aguas de precipitación directamente hacia las torrenteras que bajan hacia el poblado de Cachi Baja.
 - Las precipitaciones pluviales intensas que se producen en la zona entre los meses de diciembre-abril.
 - La ocurrencia de un movimiento en masa predecesor (deslizamiento rotacional) que dejó una ladera inestable, desde donde se produjo la caída de rocas posterior.
 - La pendiente dejada en su zona de arranque por el deslizamiento, de más de 45°; presencia de farallones de roca.
2. El deslizamiento rotacional y posterior caída de rocas producido en la ladera superior del poblado de Cachi Baja, afectó terrenos de cultivo, bosque de eucalipto y la captación de agua de un puquial. Además se tiene que tener en cuenta que una reactivación del deslizamiento o caída de rocas, representa un peligro potencial muy alto para los terrenos de cultivos, viviendas, pobladores y animales que se encuentren debajo de este evento.
3. Dado que las condiciones actuales de inestabilidad continúan en la zona del deslizamiento y caída de rocas, debido a la presencia de grietas abiertas por encima de la corona; esta zona se considera en **PELIGRO INMINENTE**, principalmente en temporadas de lluvia y con la ocurrencia de movimientos sísmicos.
4. En los 800 m de ladera inspeccionada entre los kms 22+500 al 23+300 de la carretera Izcuchaca-Huancavelica, se pudo evidenciar la presencia de acantilados, formados en las ignimbritas, con similares características (poco resistente, con grietas abiertas donde crece vegetación y que facilitan la infiltración del agua de precipitación pluvial); esto puede favorecer la ocurrencia de nuevos movimientos en masa. Además se observó la presencia de bloques inestables, que han sufrido movimiento y quedaron “suspendidos o colgados” en la ladera sobre el poblado de Cachi Baja.
5. Dada las condiciones de inestabilidad observadas en las ladera superiores del poblado y aplicando el fundamento teórico de un **ángulo empírico mínimo de sombra de $\beta_2=27,5^\circ$** , medido desde el pie de los acantilados indicados arriba, se puede observar que las viviendas del poblado de Cachi Baja se encuentran dentro de la zona de “sombra de caída de rocas”; en otras palabras, de producirse nuevas caída de rocas, podrían resultar afectadas viviendas, pobladores y animales.

6.0 RECOMENDACIONES

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

- Debido a que la condición de inestabilidad de la ladera continua, como primera medida se debe de reducir o prohibir definitivamente el paso de personas y animales por debajo del deslizamiento y caída de rocas, ya que nuevas reactivaciones pueden poner en riesgo su seguridad física. Esto puede realizarse señalando la zona, con la colocación de un aviso o letrero que advierta el peligro.
- Relleno y sellado de grietas abiertas, localizadas sobre la corona de deslizamiento, para evitar la infiltración de agua en la siguiente estación de lluvias, que favorecerían la saturación de los materiales y aceleraría su colapso.
- Al estar localizado el poblado de Cachi Baja en la parte inferior de una ladera con pendiente relativamente empinada que llega a formar acantilados, la presencia de un substrato rocoso inconsolidado, poco resistente y fracturado, además de encontrarse dentro de la sombra de caída de rocas, se debe considerar la posibilidad de reubicar el poblado.
- Tener constantemente monitoreado la zona del deslizamiento, principalmente en temporadas de lluvia, ya que existe una alta posibilidad de producirse nuevas reactivaciones.
- Realizar un intensivo trabajo de reforestación en la parte inferior de la ladera con árboles de eucalipto o pino, para mejorar la existente, la cual servirá como pantalla o bosque de protección ante eventuales caídas de rocas; esto ayudará a mitigar los posibles daños en viviendas y pobladores (figura 9 y foto 23). Esto debe establecerse en el contorno de área periférica del poblado con influencia directa al desprendimiento de rocas.

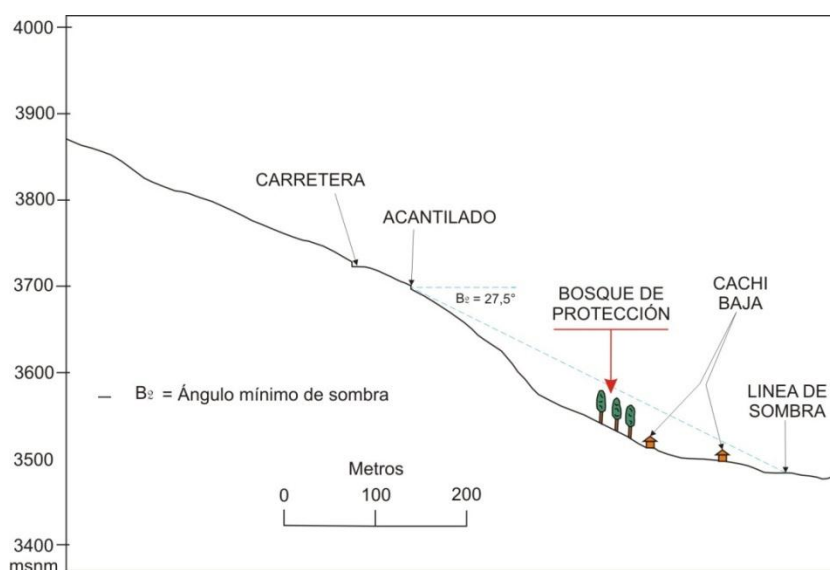


Figura 9: Perfil donde se muestra la ubicación aproximada del bosque de protección ante caída de rocas.



Foto 22: Vista del poblado de Cachi Baja y la ladera superior donde se ha señalado de manera simbólica los sectores donde debe mejorarse la reforestación con árboles.

7.0 REFERENCIAS

- Caballero, H. & Huamancayo, L. (2011) – *Estimación de riesgos del centro poblado de Cachi Baja*. Huancavelica: Gobierno Regional de Huancavelica.
- Evans S.G., & Hungr, R. (1993) *The assessment of rockfall hazards at the base of talus slopes*. Canadian Geotechnical Journal, Canada. Number 30/4. Pp. 620-636.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (1995) - *Mapa ecológico del Perú: guía explicativa*. Lima: INRENA. 225 p.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (1988) – *Mapa de clasificación climática del Perú*, escala: 1:1'000.000. Lima: SENAMHI.
- Zabala, B. (2011) - *Inspección técnica del derrumbe en la localidad de Tuti. Distrito de Tuti, provincia de Cailloma, región Arequipa*. Lima: INGEMMET, 14 p. (Disponible A.T. Ingemmet A6579).
- Varnes, D.J. (1978) – *Slope movement types and processes*. In *landslides, and control*, Edited by R.L. Schuster and R.J. Krizek. Transportation Research Board, National research Council, Washington, D.C. Special Report 176. Pp. 11-33.