

Informe Técnico N° A6664

# Peligros Geológicos en el Sector de Huachón

Región y Provincia Pasco,

Distrito Huachón



POR:  
SEGUNDO NÚÑEZ JUÁREZ  
NORMA SOSA SENTICALA

ENERO 2015

SECTOR ENERGÍA Y MINAS  
**INGEMMET**  
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

## CONTENIDO

<b>I. RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>III. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA .....</b>	<b>2</b>
<b>IV. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....</b>	<b>3</b>
<b>V. PELIGROS GEOLÓGICOS.....</b>	<b>5</b>
4.1. CAÍDAS .....	8
4.2 EROSIÓN FLUVIAL .....	13
4.3 EROSIÓN DE LADERAS .....	15
<b>VI. MEDIDAS CORRECTIVAS .....</b>	<b>17</b>
<b>VII. AREA DE REUBICACION .....</b>	<b>18</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>20</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>21</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>22</b>

## **PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR DE HUACHÓN (DISTRITO HUACHÓN, PROVINCIA Y REGIÓN PASCO)**

### **I. RESUMEN**

Con el objetivo de evaluar los peligros geológicos que podrían afectar al poblado de Huachón, distrito de Huachón, provincia y región Pasco, el 24 y 25 de julio del 2014 se inspeccionó la zona en compañía de representantes de la municipalidad y lugareños.

La evaluación de los antecedentes indicados antes de la salida de campo y constatación posterior en el sitio permite señalar que en el sector denominado cerro Marca-Marca, en el flanco norte de su ladera se presenta actualmente un agrietamiento de 120 m de longitud con apertura variable desde milimétrico hasta 30 cm, generado un área inestable. En la base de este cerro se encuentran viviendas y un centro educativo.

Al sur del poblado de Huachón, el 2011 se presentó un derrumbe que destruyó 11 viviendas y vías de acceso, las familias afectadas fueron reubicadas.

Para prevenir los daños que puedan causar el posible derrumbe del cerro Marca-Marca, se debe considerar la reubicación de viviendas y de la infraestructura que se encuentra en la zona de influencia del posible derrumbe. Asimismo la municipalidad debe elaborar un plan de emergencia para el caso se origine el citado fenómeno.

## II. INTRODUCCIÓN

El Presidente de la Comunidad Campesina de Huachón, mediante Oficio N°158-2014-CCHP de fecha 10 de junio, dirigida al Director de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET, solicitó apoyo para la evaluación de peligro natural, por el agrietamiento del terreno y caída de rocas que pueden afectar a viviendas.

La Secretaría General del Instituto Nacional de Defensa Civil, mediante Oficio N°2059-2014-INDECI/11.0 de fecha 24 de julio, dirigida a la Presidenta del Consejo Directivo del INGEMMET, solicita el apoyo de personal especializado en la evaluación de la fractura aparecida en el cerro Marca-Marca.

Atendiendo a esta solicitud, el Director de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico de INGEMMET comisionó al Ing. Segundo Núñez Juárez y Bach. Norma Sosa Senticala, a realizar dicha inspección. Los trabajos de campo se realizaron los días 24 y 25 de julio del 2014, previas coordinaciones con el Sr. Juan Carlos Carhuarica Pomacino, Presidente de la Comunidad Campesina de Huachón. En los trabajos de campo se contó con representantes de la Municipalidad y Defensa Civil y de la Comunidad Campesina de Huachón.

El presente informe contiene una interpretación de los procesos de movimientos en masa recientes y antiguos identificados en el sector de Huachón. En este documento se emiten las conclusiones y recomendaciones pertinentes, que la Comunidad Campesina y la Municipalidad de Huachón, deben tomar en cuenta para la prevención y mitigación de los procesos geológicos ocurridos, para así evitar desastres futuros en las poblaciones evaluadas.

## III. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA

El área evaluada comprende los alrededores de Huachón, políticamente pertenece al distrito de Huachón, provincia y región Pasco (figura 1).

El poblado de Huachón se encuentra en las coordenadas UTM: 395990 E – 88240060 N, a una altitud de 3 460 m s.n.m.

Para llegar al área, se accede desde Lima por la Carretera Lima-La Oroya-Cerro de Pasco hasta llegar al desvío de Ninacaca, altura del Km 92+100 (carretera Oroya -Cerro de Pasco); para luego tomar la carretera afirmada Ninacaca-Huachón en un tramo de 50 km.

El clima es semiseco, con ausencia de lluvias entre los meses de mayo-setiembre. Según el mapa de precipitaciones para el período lluvioso normal setiembre-mayo elaborado por SENAMHI (2003), las lluvias alcanzan entre 1 000 a 1 500 mm; asimismo en presencia del fenómeno El Niño 97/98 las lluvias alcanzaron entre 600 a 800 mm.

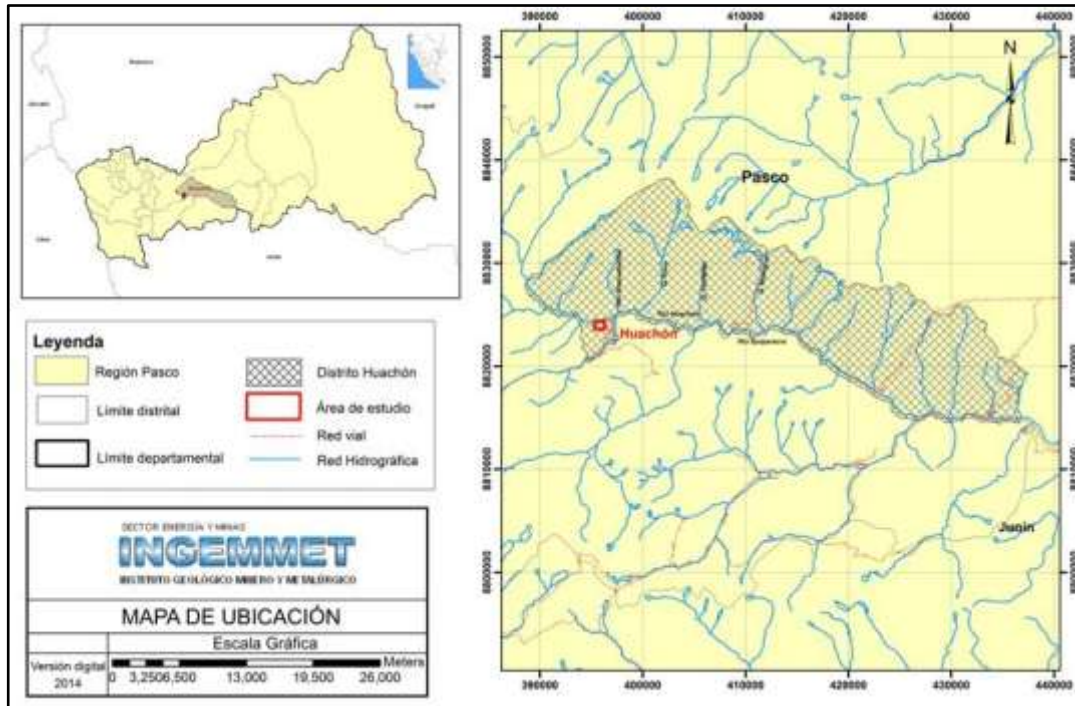


Figura 1

#### IV. ASPECTOS GEOLÓGICOS

De acuerdo a la cartografía geológica en el cuadrángulo de Ulcumayo realizada por Monge, M. *et al* (1996), el área de estudio se presentan las siguientes unidades geológicas (ver figura 2).

##### a) Grupo Maraynioc

Regionalmente, en el área de estudio, esta unidad se encuentra en el extremo oeste y en partes puntuales en el centro y extremo sureste.

Estas rocas son las más antiguas del área de estudio, están constituidas por esquistos, micaesquistos y en menor proporción gneis, anfibolitas y migmatitas. Según el Monge, R. (1996) esta formación geológica está en contacto con el Grupo Pucará por fallamiento.

##### b) Grupo Pucará

Conformada por una secuencia de calizas que se extienden a manera de franjas plegadas con recorrido kilométrico; en el área de estudio aparecen en las inmediaciones del poblado.

En esta unidad se pueden generar derrumbes y caída de rocas, favorecidos por el sistema de fracturamiento y diaclasamiento de las rocas a favor de la pendiente.

En esta unidad se identificó una brecha de falla local, la cual no muestra movimiento reciente (foto 1).



Foto 1. Brecha de falla, se muestra el material rocoso triturado

### c) Rocas Intrusivas

En el área de estudio se diferencian dos cuerpos intrusivos: el Monzogranito de Paucartambo y el monzogranito de Ranyac.

- Monzogranito Paucartambo: Es parte del Batolito Paucartambo, se encuentra aflorando desde la parte central al extremo sur y suroeste del área de estudio, encontrándose disectado por quebradas.

En los afloramientos presenta una coloración gris clara con tonalidades pardo claras, de granularidad media, los minerales máficos (oscuros) se encuentran diseminados muy pequeños en la roca.

- Monzogranito Ranyac: Se encuentra entre el extremo central hacia el sur. En los afloramientos, presenta cristales de grano grueso a medio, coloraciones gris clara parcialmente rosácea.

### d) Depósitos Cuaternarios

Pueden diferenciarse según su origen:

- Morrenas: Se ubican en las partes altas del río Shacsatambo, quebradas Puco y Yuranga. Estos depósitos están conformados por gravas angulosas de composición litológica heterogénea envueltas en una matriz limo-arcillosa.
- Depósitos glaciofluviales: Se encuentran en las nacientes del río Shacsatambo, y las quebradas Puco y Yuranga. Estos se han originado por procesos de remoción de depósitos glaciares por escorrentía fluvial; corresponden a una mezcla de

sedimentos conglomerádicos subredondeados a subangulosos, de diferentes tipos de fragmentos, mostrándose poco consolidados.

- Depósitos aluviales: Están ubicados a lo largo de los ríos y quebradas, conformados por conglomerados polimícticos mal clasificados unidos por matriz arcillo-arenosa.

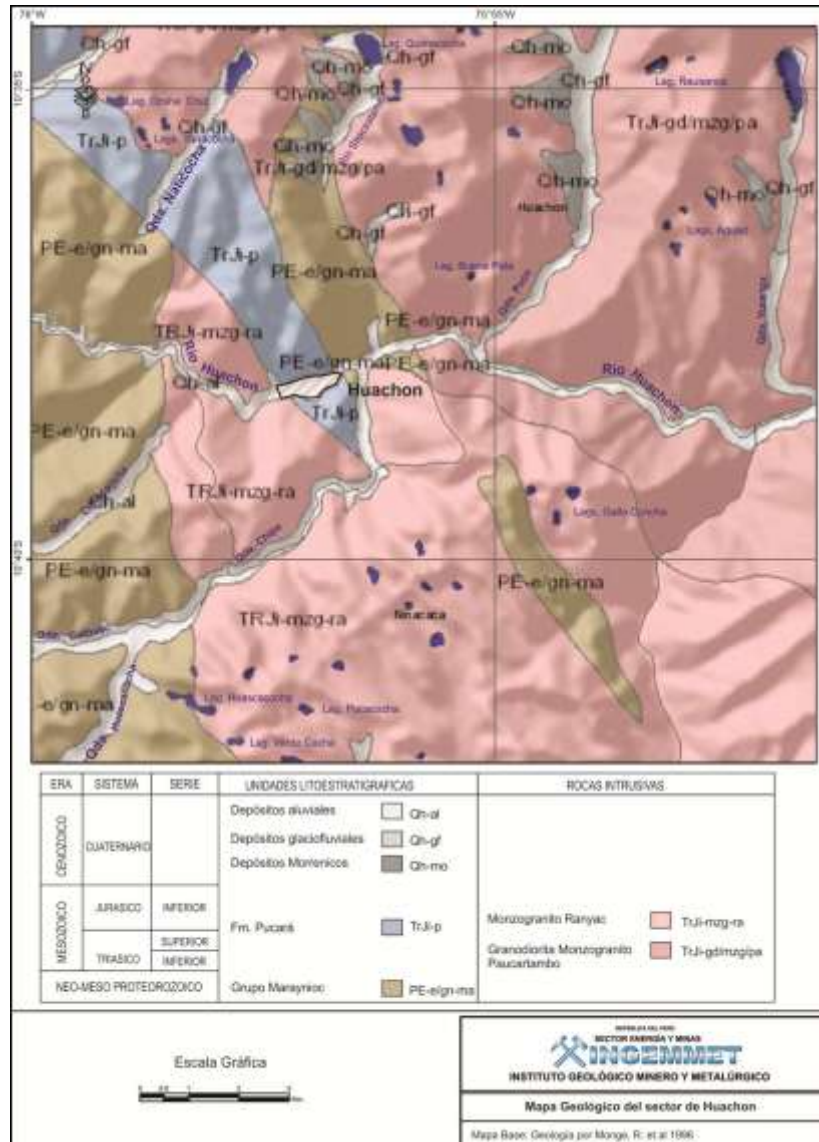


Figura 2.

## V. PELIGROS GEOLÓGICOS

Según el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa elaborado por Fidel, L. *et al* (2006), el área de Huachón se encuentra en una zona de muy alta a alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa (figura 3).

En el sector de Huachón se han identificado procesos de derrumbes, flujo de detritos y erosiones de ladera (cárcavas) y erosiones fluviales. Ver figura 4.

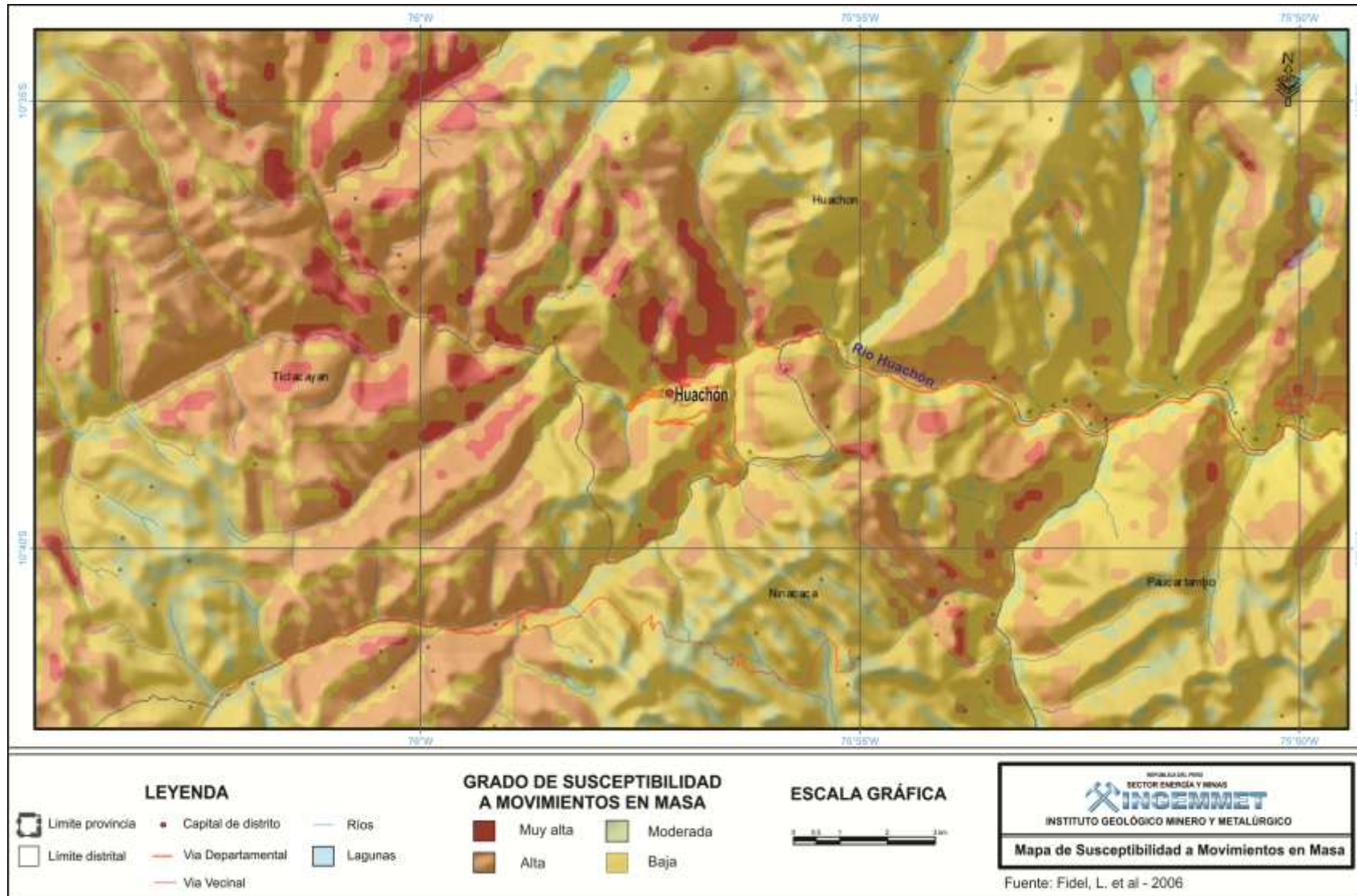


Figura 3





Figura 4.

#### 4.1. CAÍDAS

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a  $5 \times 10^1$  mm/s. (Figura 5 a, b). Los acantilados de roca son usualmente la fuente de caídas de roca, sin embargo también puede presentarse el desprendimiento de bloques de laderas en suelo de pendiente alta.

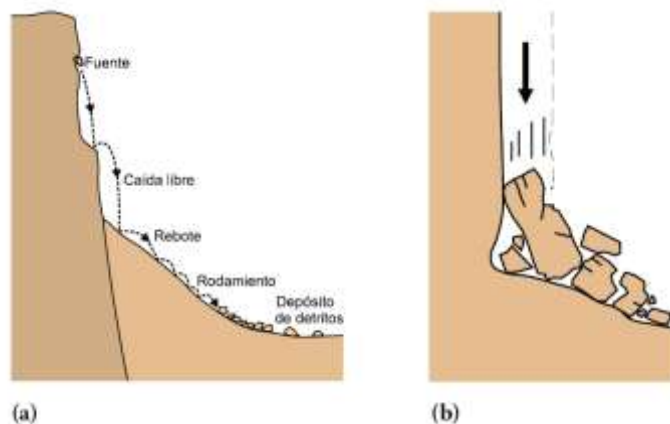


Figura 5. a) Esquema de la caída de rocas (b) Corominas y Yague (1997) denominan a este movimiento "colapso".

En el poblado de Huachón se identificó dos procesos recientes uno ocurrido en el año 2011 y otro en el 2014 (foto 1)

##### a) Derrumbe del año 2011

Este evento se presentó, en las inmediaciones del poblado de Huachón, en la margen derecha del río del mismo nombre.

Según los moradores, el año 1997 (?), en la misma zona se presentó un derrumbe, que destruyó la vía de acceso a Huachón.

En el año 2011, en el mismo lugar se presentó otro evento que afectó 11 viviendas, obstaculizó tránsito vehicular, Los depósitos del derrumbe llegaron hasta el cauce del río Huachón

Según versiones de los moradores, antes que se presentara este derrumbe, se evacuó a las personas que tenían sus viviendas en el área de influencia del derrumbe, con ello se evitó pérdidas humanas.



Foto 2. Dos derrumbes que afectaron al poblado de Huachón.

#### Características del derrumbe reciente

- Presenta escarpa de ruptura mixta.
- La longitud de arranque de 50 m.
- Pendiente de la ladera de 30°
- Longitud de recorrido, 140 m
- Presenta canchales y bloques aislados (foto 3)

Las causas son: pendiente del terreno (30°), rocas medianamente fracturadas y medianamente meteorizadas, zona deforestada. El factor desencadenante fueron las precipitaciones pluviales estacionales.

La masa desplazada, estuvo compuesta predominantemente por bloques de hasta 2 m de diámetro (fotos 3 y 4), como también gravas, englobadas en matriz arenarcillosa. En la parte final del depósito se muestran los bloques de mayor dimensión.



Foto 3. Se muestra las escarpas de los derrumbes y el material desplazado.



Foto 4. Enmarcados con línea de color amarillo, se aprecian los bloques que llegaron al pie del talud.

**b) Derrumbes del año 2014**

Este evento se presentó en los alrededores del poblado de Huachón, en el cerro Marca-Marca, margen izquierda del río Huachón, no afectó infraestructura alguna (foto 5).

Este derrumbe tiene una zona de ruptura con una longitud de 10 m y un salto de 5 m, en su cuerpo se aprecian bloques con diámetros de hasta 3 m.



Foto 5. Derrumbe ocurrido en el 2014.

Características del depósito coluvio-deluvial

En este sector se aprecia un depósito coluvio-deluvial. Este depósito ha provenido de antiguas caída de rocas y posteriormente fueron removidos por el agua que discurrió por la ladera.

El depósito está conformado, por varias capas, producto de eventos de caída de rocas, formando capas con espesores de 20 a 40 cm, compuestas mayormente por gravas, escasos bloques, englobados con matriz arcillosa. Los fragmentos de roca son de formas angulosas y de naturaleza calcárea.

En algunas capas, se observó que tienen escasa matriz (fotos 6a, 6b y 6c), pero los fragmentos de roca están parcialmente cementados, esto posiblemente por antiguas filtraciones de aguas carbonatadas. En estos depósitos ofrecen cierta resistencia a la ruptura.

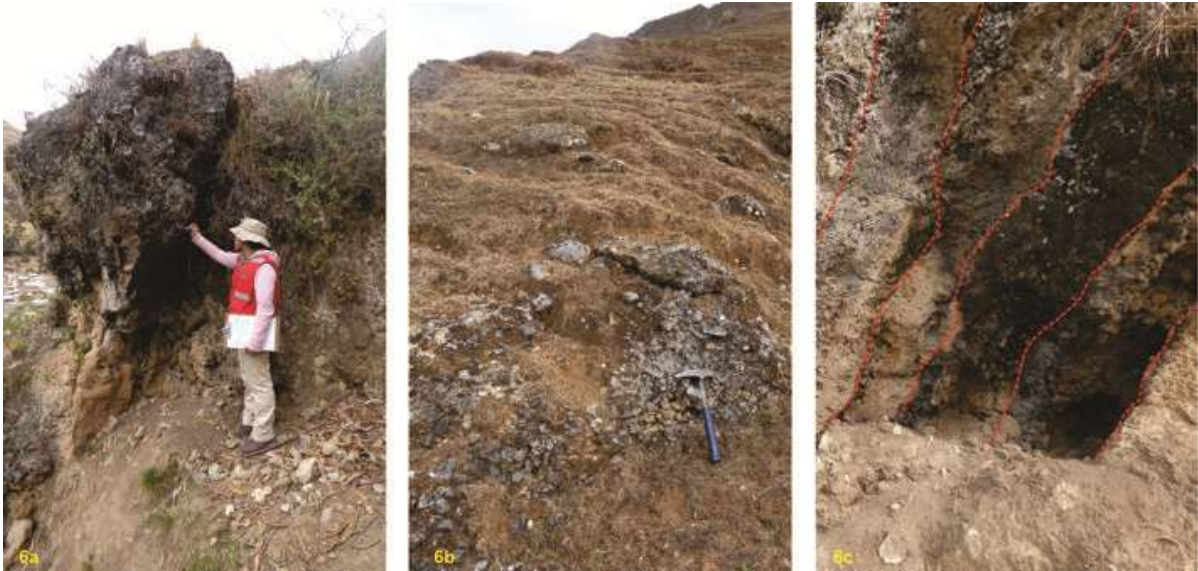


Foto 6a, 6b y 6c. Se aprecian las diferentes capas que conforman en depósito coluvio-deluvial.

### c) Agrietamientos del terreno 2014

En la parte inferior de la ladera del cerro Marca-Marca se presenta un agrietamiento del terreno (fotos 7a y 7b), con una longitud de 120 m y aperturas milimétricas de hasta de 30 cm. Según versiones de los lugareños estos agrietamientos con el transcurrir del tiempo se extienden y engrosan.



Fotos 7a y 7b. El agrietamiento del terreno se aprecia en forma milimétrica, en la foto 7b se observa una apertura hasta de 30 cm.

Desde la zona de fracturamiento (parte alta) hacia la base del terreno, se tiene una altura de 35 m, la distancia desde la fractura a la cara libre del talud varía de 5 a 10 m.

Las condiciones para se genere un peligro por derrumbe, son favorables. Por lo cual el colegio y las viviendas aledañas deben reubicarse.

#### Causas de los derrumbes:

- Depósito coluvio-deluvial, de mala calidad.
- Pendiente del terreno, cara libre con pendiente de 50°.

- Terreno deforestado.
- La roca (caliza) se encuentra medianamente fracturada.

El factor desencadenante son las precipitaciones pluviales estacionales, como también pueden ser los sismos.

Probables zonas afectadas (figura 6)

De ocurrir un derrumbe proveniente del cerro Marca-Marca los sectores afectados serían:

- Centro Educativo Provisional (\*).
- Siete viviendas ubicadas en el pie del talud.
- Carretera afirmada.
- Represamiento del río Huachón.

(\*) Por versiones de los lugareños el local del centro educativo es provisional, porque tienen otro lugar fuera del área de influencia del derrumbe.



Figura 6. Se muestra el agrietamiento del terreno y la cara libre del talud.

#### 4.2 EROSIÓN FLUVIAL

La acción erosiva de un río se debe a la energía del agua y del material que arrastra. Es capaz de arrancar fragmentos de roca. Cuando el curso se encuentra con obstáculos, el agua "busca" las zonas más frágiles, las desgasta.

El río Huachón se caracteriza por ser rectilíneo, tiene un ancho promedio de 10 a 15 m.

Para el área de Huachón, en el sector de Hatumpampa se está produciendo un proceso de erosión fluvial por ambas márgenes del río, que afectó la terraza aluvial y destruyó parte de la defensa ribereña en un tramo de 30 m (foto 8 y figura 7), este tramo debe ser reconstruido.



Foto 8. Sector Hatumpampa. Procesos de erosión fluvial, indicados con flechas rojas.



Figura 7. Sector afectado por la erosión fluvial (líneas de color amarillo).



La defensa ribereña consiste de un muro de concreto, con ancho de 30 cm, con altura de 2 m. Es necesario reponer la defensa ribereña y proyectarla a aguas abajo en un tramo de 100 m.

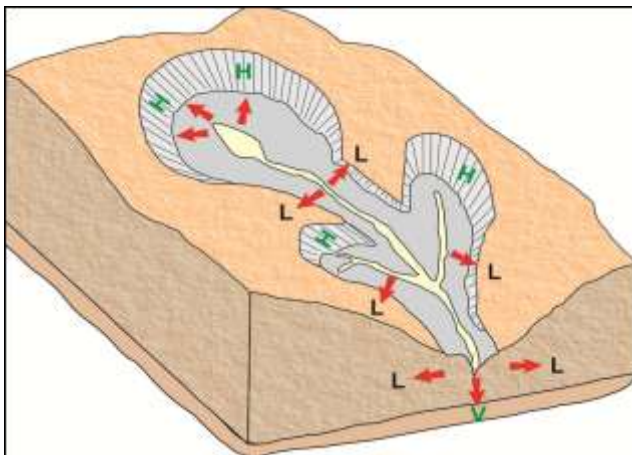
**Causas:**

- Terraza conformada por material de fácil remoción, gravas englobadas en matriz areno-limosa.
- Terreno sin cobertura vegetal.
- Rellenos en el borde del talud.
- Colmatación del cauce del río Huachón.
- Dinámica fluvial.

El factor desencadenante son las precipitaciones pluviales.

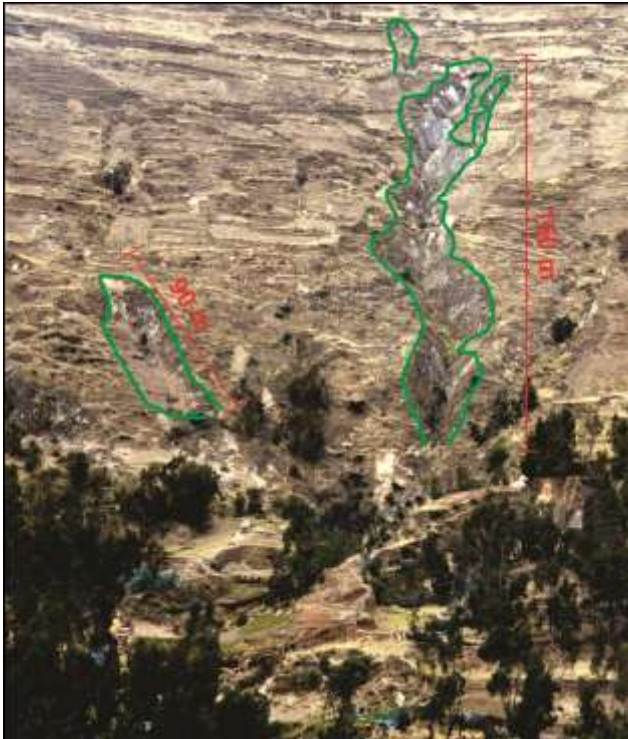
**4.3 EROSIÓN DE LADERAS**

Se manifiesta a manera de surcos y cárcavas en los terrenos. Inicia con canales muy delgados y poco profundos que a medida que persiste la erosión, pueden profundizarse a decenas de metros (figura 8). La erosión está relacionada al proceso de escorrentía o arroyada, en donde normalmente la arroyada posee una profundidad pequeña, pocas veces superior a un centímetro. A partir de allí y con ayuda de la lluvia las partículas se movilizan en el sentido de la máxima pendiente y producen una excavación que tiende a aumentar con la velocidad de la erosión.



*Figura 8. Forma como se manifiesta la erosión de laderas en una ladera de montaña. H: erosión de cabecera, L: erosión lateral y V: erosión vertical*

En la ladera del cerro Padre Rumi, margen izquierda del río Huachón, se han identificado procesos de este tipo, como cárcavas; el socavamiento llega a una profundidad vertical de 2 a 5 m. y amplitudes de hasta 10 m, con avance retrogresivo (foto 9)



*Foto 9. Se aprecia el proceso de erosión de ladera (línea color verde).*

Estas erosiones de ladera, cuando se activan generan material suelto que se vierte al cauce de la quebrada, en tiempos de lluvias extraordinarias estos materiales son removidos y llegan a formar flujos de detritos o flujos de lodo dependiendo del material removido.

Por las evidencias encontradas en el terreno, en uno de los cauces de las quebradas formadas por las erosiones en cárcavas, se identificó un depósito de flujo de lodo. Según versiones de los lugareños este evento se presentó en el año 1995 (?), afectó ocho viviendas y obligo hacer un cambio en el trazo de carretera.

Hacia el lado derecho del derrumbe generado el 2011, en su parte superior, se presenta un proceso de erosión de ladera activo con avance retrogresivo, que está generando un ensanche de la cárcava, con formación de derrumbes (foto 10a y 10b)



*Foto 10(A). Se muestra un derrumbe, generado por el ensanche de la cárcava.*

*Foto 10(B). Muestra el agrietamiento del terreno en la parte superior.*

### Causas

- Las márgenes de las quebradas. Están conformadas por rocas de mala calidad, caliza altamente meteorizada.
- Pendiente en las márgenes de la quebrada. Genera inestabilidad en la ladera y mayor escorrentía pluvial.
- Erosión en el pie del talud. En tiempos de lluvias excepcionales se intensifica la erosión, ocasionado inestabilidad en las laderas.
- Deforestación. Al estar la superficie del terreno descubierta, el agua pluvial forma escorrentía superficial, erosión e infiltración, saturando al terreno.

El factor desencadenante son las precipitaciones pluviales estacionales, como también pueden ser sismos.

### VI. MEDIDAS CORRECTIVAS

Para los derrumbes y agrietamientos del terreno

- Reforestar el área, con árboles de raíces profundas.
- Reubicar las viviendas que se encuentran en las inmediaciones de la zona de agrietamiento.
- Monitorear el desplazamiento en la zona que se encuentra el agrietamiento del terreno; puede usarse el método topográfico.

#### Para la erosión fluvial

- Reforestar con árboles de raíces profundas las riberas del río Huachón.
- Descolmatar el cauce del río.
- Reponer las defensas ribereñas utilizando asesoría técnica adecuada.

#### Para la erosión de ladera

- Reforestar las laderas de las quebradas (figura 10), propiciar el crecimiento de bosques ribereños con especies nativas de raíces profundas, para que con el tiempo ayude a estabilizar al terreno.

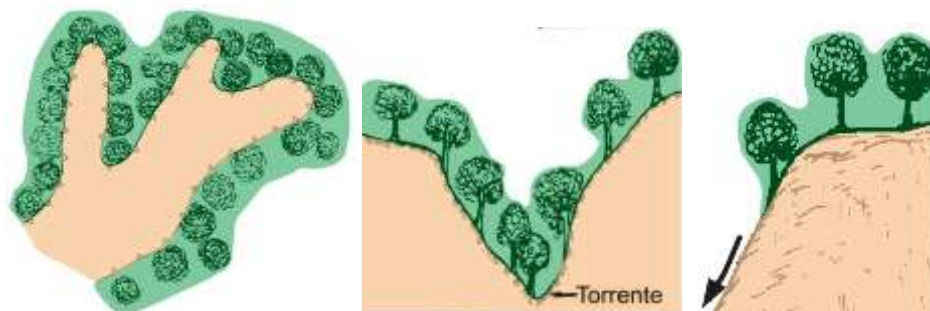


Figura 10. Obras de forestación en zonas de cárcava.

- Construcción de barrera, rellenos y cortacorrientes. Construir obras complementarias hidráulicas y control, mediante diques transversales como trinchos de madera, de enrocado o gaviones (figura 11). El objetivo de estas medidas, es disminuir la energía del agua, retener sedimentos para estabilizar la cárcava y proceder a sembrar vegetación.

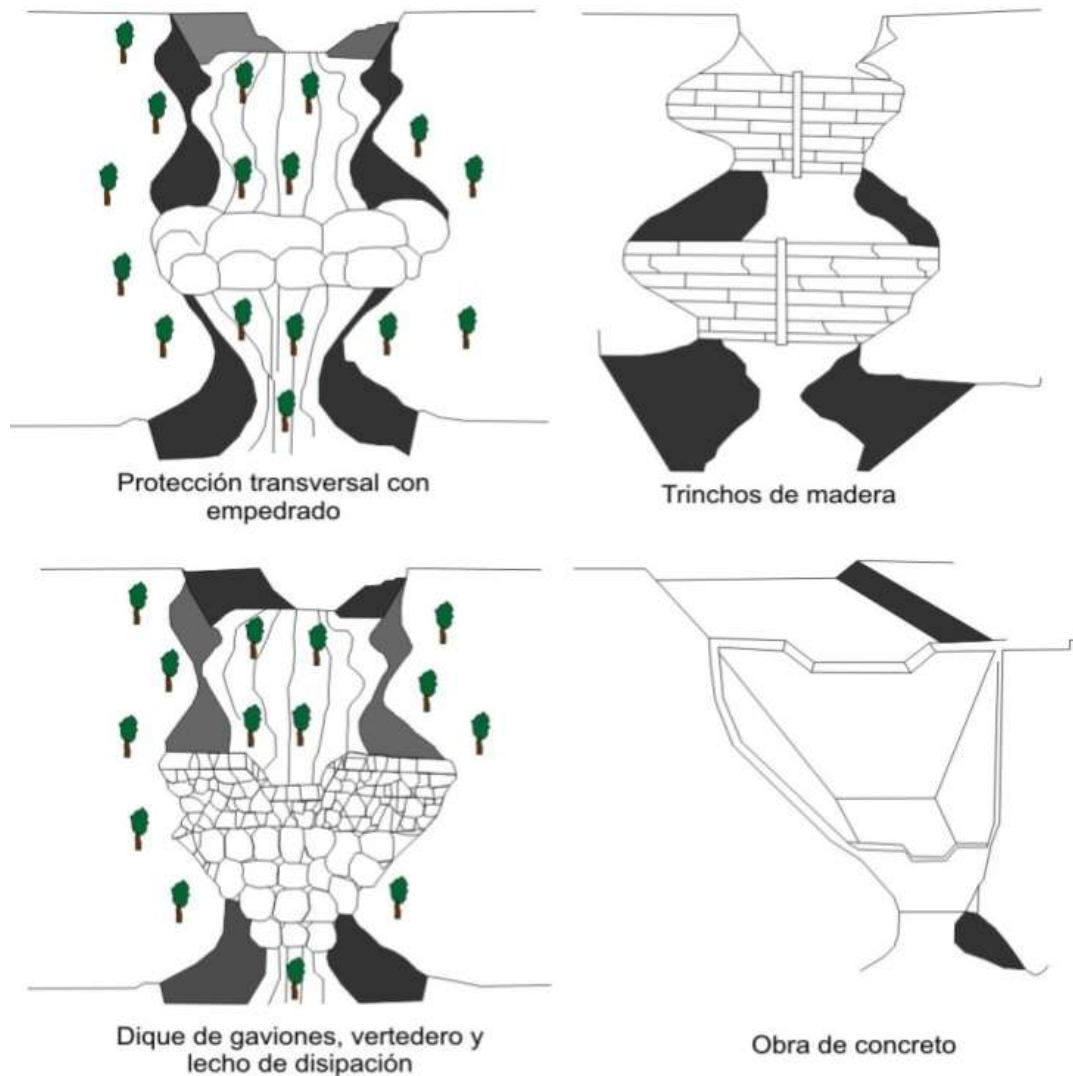


Figura 11. Obras hidráulicas transversales para cárcavas, fijación de sedimentos y protección de desagüeros naturales (Tomado de Instituto Nacional de Vías-Colombia-1998).

## VII. AREA DE REUBICACION

Corresponde al sector de Hatumpampa ubicada en la margen izquierda del río Huachón. Geomorfológicamente se encuentra sobre una terraza, con altura 2 m, conformada por gravas y arena, medianamente consolidada. Se encuentra disectada por el río Huachón (foto 11). Parte de la superficie de la terraza está cubierta por desmonte, el cual debe eliminarse.

No se debe ocupar la terraza baja, porque es un área inundable.

El área para reubicación es 1200 m<sup>2</sup>.



Foto 11. Parte del área de reubicación, colinda con la margen izquierda del río Huachón.

Aguas abajo de la zona de reubicación se tiene una terraza baja o inundable (foto 12), la cual debe ser forestada. Esta unidad en tiempos de crecida es inundada.



Foto 12. Se aprecia la terraza baja cubierta por desmonte, y la cercanía al río Huachón.

Para ocupar el sector de Hatumpampa se tiene que tener en cuenta lo siguiente:

- Las futuras viviendas, no se deben establecer en antiguos rellenos, estas deben estar asentadas sobre terrenos naturales, por lo tanto se debe eliminar el desmonte ubicado en el área a urbanizar.
- No construir viviendas cercanas a la ribera del río. Se debe dejar por lo menos 10 m de borde libre.
- Arborizar toda la ribera del río (bosque ribereño).
- Reconstruir la defensa ribereña destruida por la erosión y proyectarla unos 100 metros aguas abajo.

## CONCLUSIONES

- En el cerro Marca-Marca, ubicado en la margen izquierda del río Huachón, se ha presentado un agrietamiento del terreno, que probablemente colapse y se genere un derrumbe que afectaría al centro educativo y siete viviendas, además podría represarse el río Huachón.
- En el año 1997 y 2011, en la margen derecha del río Huachón se presentaron derrumbes, el último evento destruyó 11 viviendas y parte de una vía de acceso.
- El sector denominado Hatumpampa, fue afectado por la erosión fluvial, destruyendo parte de la defensa ribereña, no se han identificado peligros por movimiento en masa.
- En el cerro ubicado en la margen derecha del río Huachón, se presentan erosiones de ladera, una de ellas formó un flujo de lodo que afectó ocho viviendas.
- El factor desencadenante de los peligros geológicos, mencionados son las precipitaciones pluviales del periodo estacional.
- Una de las causas de los derrumbes y el agrietamiento del terreno, es la pendiente y litología.
- Por la recurrencia de peligros geológicos, se le considera como crítica. Es un área de peligro muy alto.

**RECOMENDACIONES**

- Reubicar las viviendas y centro educativo ubicados en la zona de influencia del posible derrumbe, a la zona de Hatumpampa. Para habitar el área se debe:
  - a) Eliminar todo el desmonte de la terraza.
  - b) Reconstruir las defensas ribereñas.
  - c) Arborizar las márgenes del río Huachón.
  - d) Por ningún motivo se debe construir viviendas en la zona de relleno.
  - e) No construir viviendas al borde de la terraza, se debe dejar un margen de 10 m.
- Para la zona de agrietamiento, se debe monitorear el desplazamiento del terreno, zona agrietada, usando un método topográfico.
- Reforestar, especialmente la zona donde se presentan erosiones de ladera.
- Seguir las recomendaciones dadas en el ítem 6.
- Implementar un sistema de alerta temprana.
- La Municipalidad de Huachón e INDECI-PASCO debe impartir charlas de concientización, sobre los peligros que afronta dicho poblado.

**BIBLIOGRAFÍA**

Corominas Dulcet, J., y García Yagué A., (1997), **Terminología de los movimientos de laderas**, en Memorias, IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Granada, España, p. 1051–1072.

Cruden, D.M., & Varnes, D.J. (1996). **Landslide Types and Processes**. En: "Landslides. Investigation and Mitigation", Eds Turner, A.K. and Schuster, R.L. Special Report 247, Transport Research Board, National Research Council, Washington D.C. pp. 36-75.

Fidel L., Zavala, B., Núñez, S. & Valenzuela, G. (2006), **Estudios de Riesgos Geológicos del Perú. Franja N° 4**. . INGEMMET. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica. Boletín N° 92. Págs. 376.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS - COLOMBIA (1998). **Manual de estabilidad de taludes – Geotécnia Vial**. Ministerio de Transportes – Instituto Nacional de Vías. Colombia. 340 Págs.

Monge, R. León, R. & Chacón, N. (1996). **Geología de los Cuadrángulos de Chuchurras (21-m), Ulcumayo (22-l), Oxapampa (22-m) y La Merced (23-m)**. INGEMMET. Serie A: Carta Geológica Nacional. Boletín N° 78. Págs. 179

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ-SENAMHI (2003), **Mapa de Precipitación Anual-Periodo Normal (Septiembre-Mayo)**. En INDECI, Atlas de Peligros Naturales del Perú. Lima. Págs. 310-311.

Varnes, D.J. (1978) - **Slope movement types and processes**. En: Schuster, R.L.& Krizek, R.J., eds., Landslides, analysis, and control. Washington, DC: National Research Council, Transportation Research Special Report 176, p. 11-33.