

**INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO**



**ALUVIÓN EN EL SECTOR 16 DE NOVIEMBRE, AMBO:
ORIGEN Y GEODINÁMICA EN LAS MICROCUENCAS
ARROYO 1 Y ROGRÓN/MARCACOTO
(DISTRITO Y PROVINCIA DE AMBO, REGIÓN HUÁNUCO)**

**BILBERTO ZAVALA CARRION
SEGUNDO NUÑEZ JUÁREZ
MANUEL VILCHEZ MATA**

HUÁNUCO, ABRIL DE 2010

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Objetivos del estudio.....	3
1.2 Metodología de trabajo	3
2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	3
2.1 Ubicación y accesibilidad	3
2.2 Clima y precipitaciones pluviales	4
3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	5
3.1 Geomorfología	5
3.2 Litología y depósitos superficiales.....	8
4. GEODINÁMICA DEL FLUJO DE DETRITOS DEL 01 DE ABRIL DEL 2010.....	10
4.1 Características de la microcuenca Arroyo 1/Huamanpari.....	10
4.2 Origen del flujo de detritos del 01 de abril del 2010.....	13
4.2.1 Tipología y dinámica del movimiento en masa	13
4.2.2 Depósito final del flujo de detritos	18
4.3 Velocidad alcanzada por el flujo de detritos	22
4.4 Efectos secundarios.....	25
4.5.1 Otros procesos identificados.....	26
5. REUBICACIÓN DEL SECTOR DE 16 DE NOVIEMBRE.....	27
5.1 Evaluación del sector Andahuaya, microcuenca Rogrón/Marcacoto: Zona propuesta para reubicación	27
5.1.1 Morfología	27
6. CONCLUSIONES.....	34
7. RECOMENDACIONES	35
REFERENCIAS.....	36
ANEXO 1: MAPA DE PELIGROS EN LAS MICROCUENCAS ARROYO 1/HUAMANPARI Y ROGRÓN MARCACOTO	37

ALUVIÓN EN EL SECTOR 16 DE NOVIEMBRE, AMBO ORIGEN Y GEODINÁMICA EN LAS MICROCUENCAS ARROYO 1 Y ROGRÓN/MARCACOTO

(DISTRITO Y PROVINCIA DE AMBO, REGIÓN HUÁNUCO)

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las noticias emitidas por la prensa nacional el 01 de abril del 2009, informan que lluvias torrenciales ocurridas en Ambo originaron un huayco que sepultó al poblado de 16 de noviembre, del distrito y provincia de Ambo, región Huánuco, causando muertes y daños materiales.

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) como miembro oficial del Sistema Nacional de Defensa civil (SINADECI), a raíz de los acontecimientos periodísticos que daban cuenta de un desastre de magnitud importante, coordinó con la Dirección Nacional de Prevención del Instituto de Defensa Civil (INDECI), para realizar una evaluación geológica-geodinámica en el sector de 16 de Noviembre.

INGEMMET destacó a tres profesionales de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico especialistas en riesgo geológico quienes realizaron trabajos de campo entre el 07 y 09 de abril del 2010, entre los sectores de la quebrada Arroyo 1/Huamanpari, así como la zona propuesta por la Municipalidad de Ambo para la reubicación de los damnificados del poblado 16 de Noviembre, así como otras áreas en riesgo solicitadas por el municipio local.

Para la realización de los trabajos de campo se hicieron coordinaciones con el alcalde de la Municipalidad de Ambo, contándose con el apoyo en campo del Ing. Edmundo Calixto Vargas, Gerente de Servicios Comunales y Medio Ambiente de la Municipalidad de Ambo.

El presente informe constituye los resultados del estudio geológico-geodinámico en mención debidamente ilustrado con fotografías y mapas, donde se describe el origen del evento geológico, sus efectos, el grado de riesgo en la zona, así como la evaluación del lugar destinado para reubicación de la población afectada. El informe se pone a consideración de las autoridades de prevención y defensa civil (INDECI), municipio provincial y local de Ambo, gobierno regional de Huánuco y Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Estudios anteriores en la región Huánuco, efectuados por INGEMMET en el 2004 y 2005 (Riesgo Geológico en la región Huanuco, 2005), hacían mención de que esta zona del valle del río Huallaga, como otras principalmente aguas arriba, de un alto peligro geológico de huaycos, derrumbes, deslizamientos y erosión en cárcavas así como peligro de inundaciones/erosión fluvial, especialmente en Ambo. Históricamente en el área afectada se tiene el reporte de un aluvión ocurrido el año 1907 por desborde de la laguna Rumichaca, que represó temporalmente el río Huallaga frente a la localidad de Ambo.

1.2 Objetivos del estudio

El trabajo tuvo como objetivo:

- Analizar y evaluar los factores que originaron el movimiento en masa que afectó al poblado de 16 de Noviembre.
- Evaluar la seguridad física del área afectada y de la zona de probable reubicación del poblado 16 de Noviembre.

1.2 Metodología de trabajo

El trabajo se dividió en tres fases:

Gabinete Pre-campo: Se revisó la información existente del área de estudio, como mapas topográficos, geológicos y de peligros, imágenes satelitales, etc.

Campo.- Se realizó del 07 al 9 de abril (3 días), donde se evaluó la geodinámica las Quebradas Arroyo1 y Rogrón/Marcacoto. Se efectuó un cartografiado de peligros geológicos a escala 1:25,000, análisis del lugar de inicio del aluvión, dinámica del flujo en la quebrada así como en la desembocadura en el río Huallaga. Se evaluó la geodinámica de la microcuenca Rogrón/Marcacoto, con el fin de determinar la susceptibilidad a los movimientos en masa que puedan afectar el abanico de Andahuaya, lugar propuesto para reubicación del poblado 16 de Noviembre.

Gabinete Post-campo: Análisis de la información obtenida en campo, preparación de mapas y figuras y elaboración de informe.

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Ubicación y accesibilidad

El sector de 16 de Noviembre afectado por el aluvión, pertenece políticamente al distrito y provincia de Ambo, región Huanuco. Geográficamente se ubica en la margen derecha del río Huallaga frente a la localidad de Ambo y de la confluencia del río Huachar. El área evaluada está comprendida entre las coordenadas UTM:

8880000 y 8886000 Norte
367700 y 377000 Este

Presenta altitudes en la microcuenca Arroyo 1/Huamanpari, que varían entre los 2050 m.s.n.m. en el río Huallaga y a 4300 m.s.n.m, en la divisoria de aguas.

La región es accesible desde Lima por la carretera Lima-La Oroya-Junín-Huánuco (410 Km.).

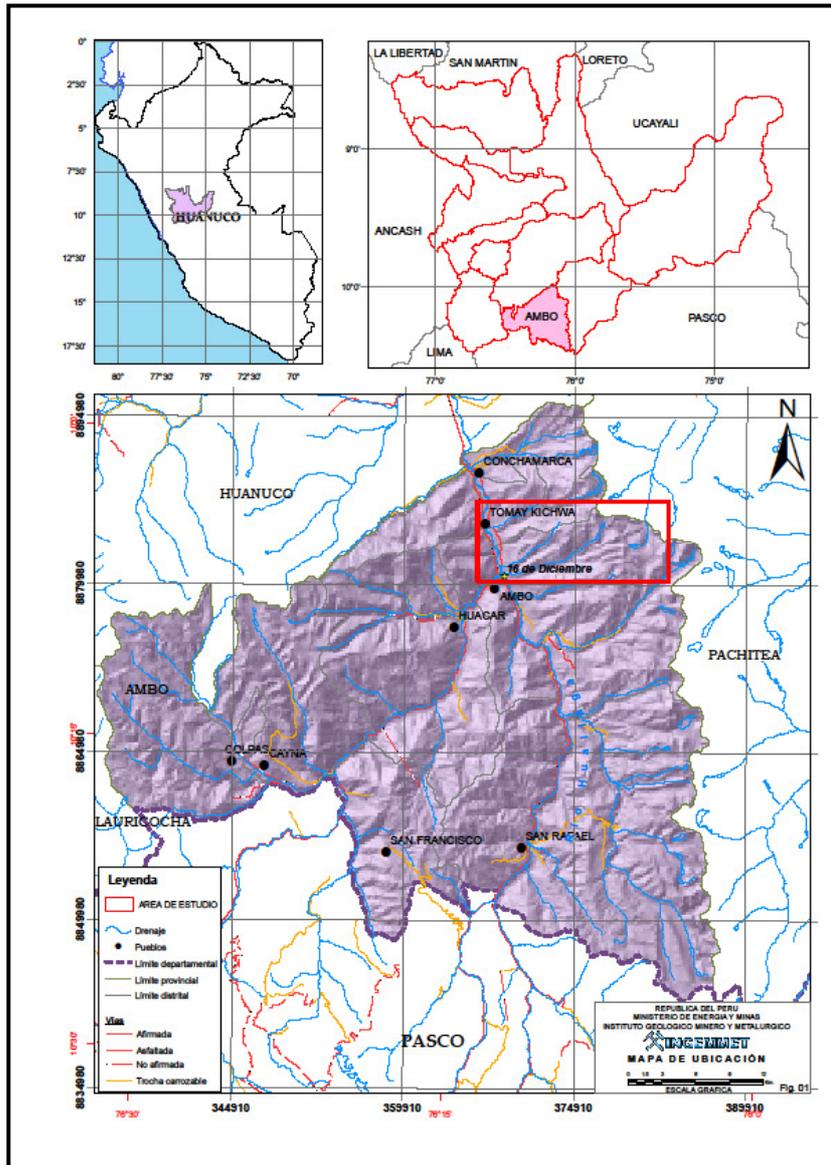


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

2.2 Clima y precipitaciones pluviales

La zona de Ambo, de acuerdo al mapa de Isoyetas para el periodo lluvioso normal septiembre-Mayo (SENAMHI, 2002) presenta una precipitación de 500 mm, mientras que para el período en que se presentó el Fenómeno El Niño 1997/1998 lluvias entre 600-800 mm.

Los datos a los que se tuvo disponibilidad dan cuenta que para el mes de marzo, entre el 01 y 30 de marzo¹, llovió solo los días 14, 15 y 21 de marzo donde se alcanzaron 40, 55 y 18 mm diarios.

Regionalmente, en la estación Huánuco, al norte de Ambo se registró la máxima precipitación el día 13 con 22.6 lt/m², mientras que en la estación Chaglla ubicada al noreste de Ambo, la mas alta precipitación se registro el día 18 con 27.2 lt/m². (Boletín Regional de SENAMHI, marzo 2010).

¹ Datos meteorológicos proporcionados por la estación de la Agencia Agraria de Ambo.

3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Geomorfología

Regionalmente el área entre Ambo y Tomayquichua, y en particular el valle del Huallaga, margen derecha está dominada por una zona montañosa con laderas de moderada pendiente (15° a 30°), cuya litología metamórfica e intrusiva genera morfologías onduladas por erosión y meteorización, sobre la cual se desarrollan zonas agrícolas. En la margen izquierda dominan montañas de moderada a fuerte pendiente en rocas sedimentarias.



Foto 1. Laderas onduladas y superficies cóncavas y convexas típicas de rocas metamórficas e intrusivas.

Las partes elevadas o cabeceras de microcuencas corresponden a valles glaciares con lagunas alineadas de diferentes dimensiones (laguna Rumichaca y otras en la microcuenca Arroyo 1/Huamanpari), con un gran retroceso glaciar, que han originado una serie de acumulaciones morrénicas o glacio-fluviales que marcan el límite de glaciación del Pleistoceno. Estas acumulaciones son mayores en la vertiente sur y noroeste del cerro Cushuruyoc.



Foto 2. Morrenas laterales en la vertiente suroeste del cerro Cushuruyoc, cabecera de la quebrada Arroyo1, sector Quishuar.

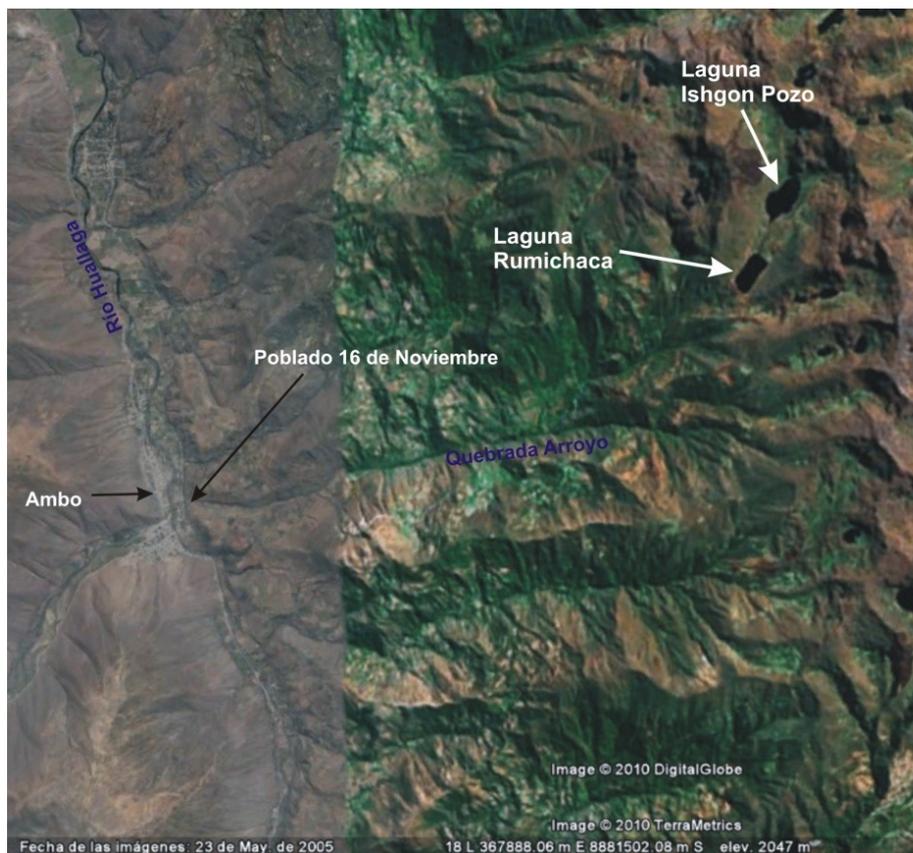


Figura 2. Imagen satelital de la quebrada Arroyo, se aprecian sus nacientes (Lagunas).

La parte inferior de esta vertiente montañosa la conforman depósitos de terrazas o planicies altas disectadas, que constituyen terrazas antiguas pleistocénicas, con altitudes locales entre 100 y 250 m de alturas (sector Ponga, Cascay, Llunga), conformadas por conglomerados, areniscas y limo-arcillitas.



Foto 3. Terraza aluvial antigua disectada, sector de Ponga (Ta) por encima del río Huallaga. Al fondo los poblados de Ambo y Ayancocha al pie de vertientes montañosas en rocas sedimentarias. Se aprecia además una terraza baja (Tb) y el cauce actual del río (C).

En la desembocadura de las quebradas principales² al río Huallaga, predominan abanicos proluviales de piedemonte, con pendientes entre 2° a 15° que controlan la dirección longitudinal del cauce fluvial principal. Estos abanicos se confunden con las terrazas aluviales del Huallaga, siendo estas últimas más reducidas y longitudinales al valle. Al pie de las montañas también se aprecian depósitos de piedemonte de origen diluvial.

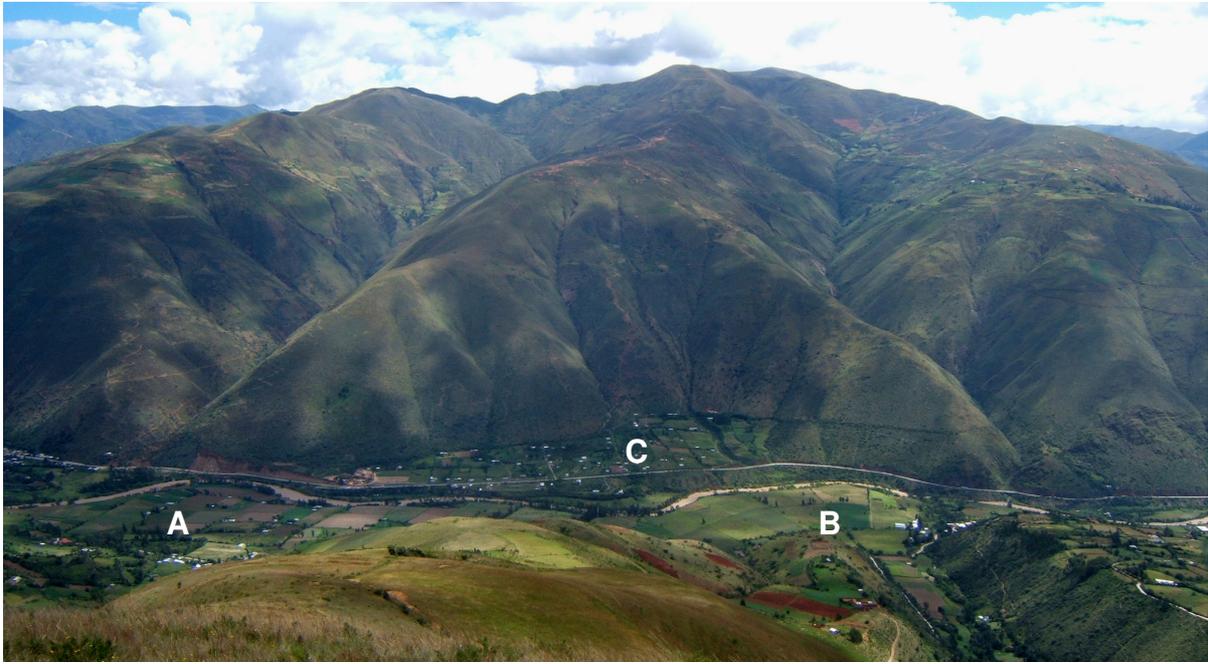


Foto 4. Sección del valle del Huallaga entre Ayancocha y Tomayquichua. Se aprecian los abanicos aluviales de las quebradas Rogrón/Marcacoto (A) y Chinchobamba/Molinoragra (B). En la margen contigua vertientes deluviales (C).

El cauce fluvial o zona de inundación del valle sigue una dirección predominante sureste-noreste, con un ancho promedio de 40-50 m y una pendiente inferior a 1° (0,19°). Morfologías localizadas a escala mayor lo constituyen los depósitos de deslizamientos, laderas cóncavo-convexas con acumulaciones de remoción, mostrando escarpas o zonas de arranque semicirculares, hasta zonas de represamiento de valle³. Estas morfologías evidencian la alta geodinámica de la región (Ver Figura 3).

² Quebradas Arroyo 1/Huamanpari, Jatun Ragra/Porvenir, Rogrón/Marcacoto y Chinchobamba.

³ El mayor depósito en el área se aprecia en el sector de Chinchobamba, gran deslizamiento con escarpa circular de casi 1,5 Km. de longitud, con salto de terreno de 400 m, cuyo depósito se aprecia en las inmediaciones del pueblo de Chinchobamba.



Figura 3. Imagen satelital que muestra el deslizamiento de Chinchobamba. Ejemplo típico que muestra la escarpa y depósito de un deslizamiento rotacional.

3.2 Litología y depósitos superficiales

De acuerdo al mapa actualizado del cuadrángulo de Ambo (Zapata et al, 2003), y de las observaciones en campo, el substrato rocoso que predomina en el área son esquistos y filitas muy alterados y fracturados pertenecientes al Complejo Metamórfico del Marañón (Fotos 5y 6).



Fotos 5 y 6. Sectores de Andahuaya y Quebrada Marcacoto, se muestra afloramientos de esquistos muy fracturados y foliados.

Estas rocas generan un suelo arcillo-gravoso rojizo-ocre, residual, en algunos casos potentes, sobre el cual se desarrollan tierras de cultivo con material de cascajo. Depósitos coluviales con predominio de material angularo constituyen depósitos de caída de rocas, deslizamientos o derrumbes antiguos). Hacia la cabecera de la quebrada Arroyo 1 y generalmente por encima de los 3750 msnm, predomina una mezcla de grandes bloques angulosos de roca en matriz arcillo-limosa material glacio-fluvial originado por el retiro de los glaciares durante el Pleistoceno (foto 7).



Foto 7. Sector Puquial Chico. Material morrénico removido por el flujo de detritos del 1° de abril.

4. GEODINÁMICA DEL FLUJO DE DETRITOS DEL 01 DE ABRIL DEL 2010.

4.1 Características de la microcuenca Arroyo 1/Huamanpari

La microcuenca Arroyo1/Huamanpari, presenta una forma ancha en su cabecera y alargada en su sector medio e inferior. Se desarrolla entre los 4350 y 2060 m.s.n.m. (Figura 4). Nace en las lagunas de Rumichaca y Ishgon Pozo, y desemboca en la margen derecha del río Huallaga, sector 16 de Noviembre, frente a la localidad de Ambo, donde forma un abanico proluvial (huayco), con una pendiente promedio de 12° , con una longitud de cauce de 9,225 km.

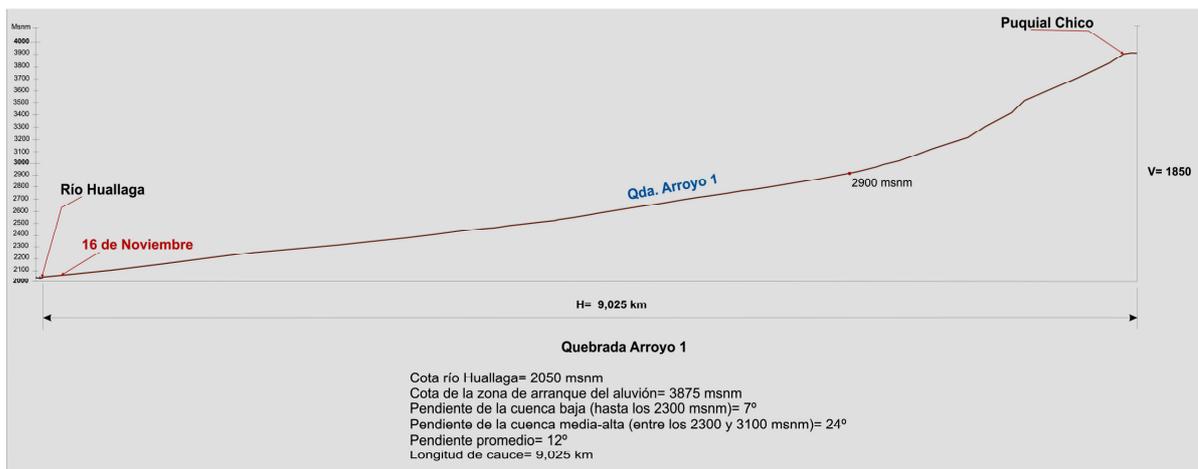


Figura 4. Perfil topográfico de la quebrada Arroyo 1.

En la cuenca alta muestra características de un valle glaciar con vertientes pronunciadas, valles colgados, lagunas y morrenas (Ver Fotos 8 y 9). Muestra una cuenca de recepción amplia diferenciándose dos vertientes principales. El lado noreste que nacen de los cerros Cushuruyoc e Ishgon (quebradas Piñamonte, Puquial Grande y Puquial Chico) que confluyen a las aguas que descienden de la laguna Rumichaca, así como otra vertiente del cerro Chivato Runto, donde nace la quebrada Huamanpari.



Fotos 8 y 9. Vertientes superiores en las laderas del cerro Cushuruyoc (izquierda) y Huamanpari (derecha).

En la cuenca media un valle fluvial con perfil en "V", toma la denominación de Arroyo 1, con vertientes de laderas pronunciadas (foto 10), cicatrices y depósitos

de deslizamientos antiguos en los sectores Rinconada y Churrias, en su margen izquierda (Foto 11), con algunas vertientes más suaves en su margen derecha (sector Coillar).



Foto 10. Vista aguas arriba en la quebrada Arroyo1/Huamanpari, cuenca media, muestra un valle en “V”, con laderas de fuerte pendiente sobre la cual discurrió el flujo de detritos.



Foto 11. Vista aguas abajo del valle de la quebrada Arroyo 1 en el sector de Churrias y Rinconada que muestra cicatrices o escarpas de deslizamiento antiguos. Se distingue además una zona de derrumbe en el cauce de la quebrada

Siguiendo una dirección predominante este-oeste y de una manera zigzagueante origina un pequeño abanico proluvial (foto 12 y figura 5) en su desembocadura en el río Huallaga en el sector 16 de Noviembre. En este tramo final transcurre

cortando sobre terrazas aluviales antiguas en parte de Cascay y Llunco (Ver mapa geomorfológico-geodinámico).



Foto 12. Abanico proluvial en la desembocadura de la quebrada Arroyo 1, originada por el aluvión del 01 de abril del 2010.

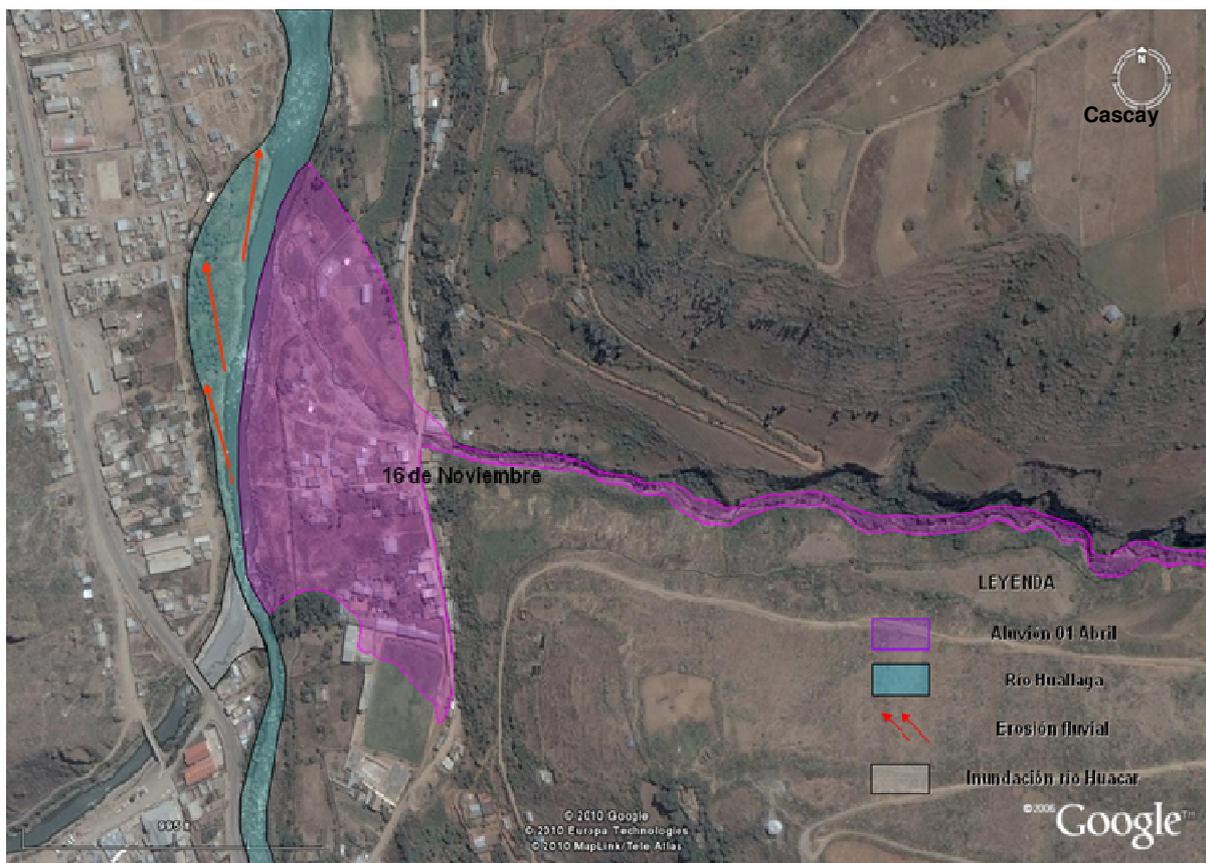


Figura 5. Imagen satelital que muestra el abanico proluvial en la desembocadura de la quebrada Arroyo, originada por el aluvión del 01 de abril del 2010.

4.2 Origen del flujo de detritos del 01 de abril del 2010.

El evento ocurrido el 01 de abril del 2010, de acuerdo a las observaciones de campo, se originó de un episodio principal proveniente de tres vertientes glacio-fluviales: Piñamonte, Puquial Grande y Puquial Chico; esta última en el sector de Carhuac la zona principal que originó el aluvión.

El material fue arrastrado pendiente abajo por la quebrada Arroyo, tras tres horas y media aproximadamente, de intensas precipitaciones pluviales según las versiones de los pobladores de Carhuac-Quishuar, en donde se registraron también varios eventos pequeños de derrumbes y avalanchas de detritos.

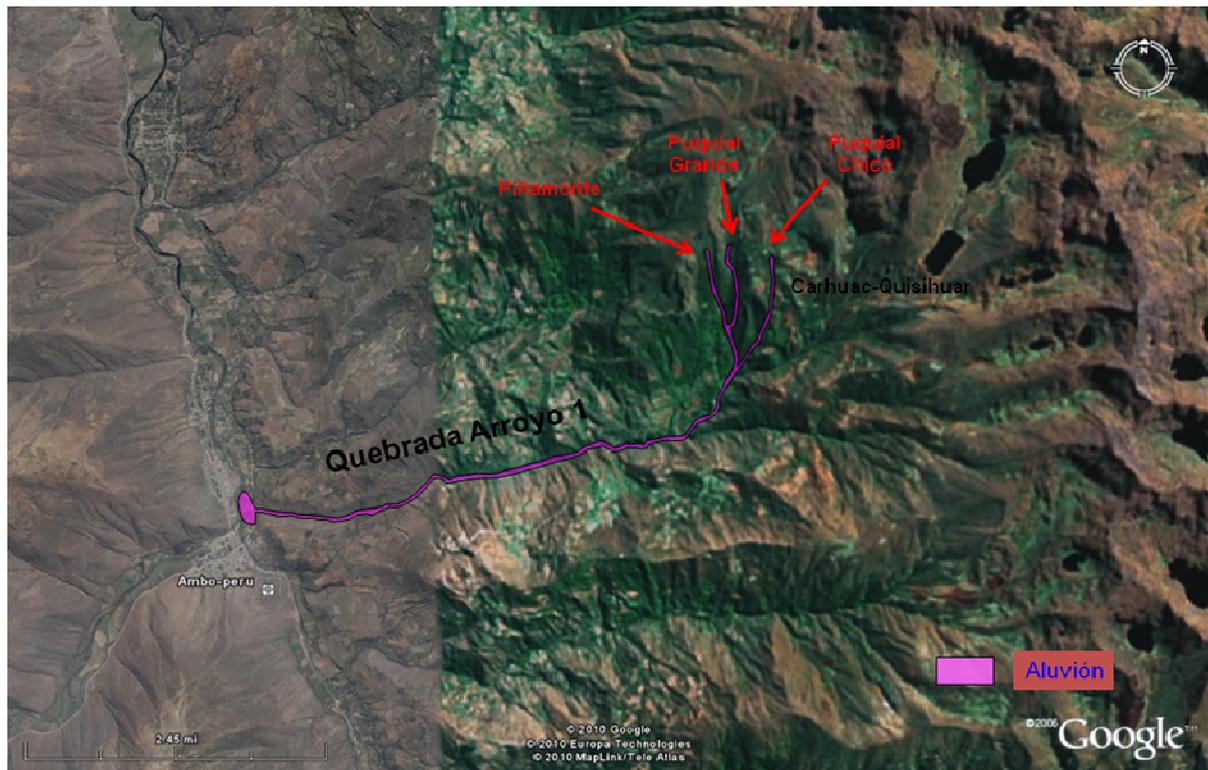


Figura 6. Microcuenca Arroyo 1, se resalta la trayectoria del flujo de detritos o aluvión.

4.2.1 Tipología y dinámica del movimiento en masa

De las observaciones geológicas insitu, mapeo a escala 1:25 000, georeferenciación y mediciones de campo se pueden resumir las características del movimiento en masa:

Tipo de movimiento en masa: Las características del movimiento en masa tipifican a una avalancha de detritos-flujo de detritos, que se inició en un material de origen glacio-fluvial (morrenas), conformado por arcillas, gravas, cantos y bloques (hasta de 3 m de diámetro).

El material muy saturado en esta vertiente con una pendiente entre $18,5^\circ$ a 40° (promedio $26,5^\circ$), adyacente a una zona de bofedal (Puquial Chico), se desestabilizó y se desprendió bruscamente, generando la avalancha de material detrítico sobresaturado (Ver Fotos 13, 14 y 15).



Fotos 13 y 14. Material morrénico con bloques. Detalle de la zona de deslizamiento e inicio de avalancha de material; sector Puquial Chico.



Foto 15. Inicio de la avalancha de detritos en el sector de Puquial Chico.

El material descendió bruscamente y se canalizó por una cauce relativamente angosto (ancho promedio de 4 a 7 m, el cual lo rebasó.), arrancando además vegetación e incorporando nuevos bloques de roca durante su recorrido (Fotos 16, 17 y 18), hasta alcanzar el cauce principal de la quebrada Ishanca que proviene de la laguna Rumichaca.



Fotos 16 y 17. Vista aguas arriba y aguas abajo en la quebrada Puquial Chico. Nótese el desborde del material originado en un cauce angosto.



Foto 18. La erosión fue pronunciada debido a la fuerte pendiente de la vertiente incorporando grandes bloques de material morrénico, englobados en una matriz arcillo-limosa.

Paralelamente ocurrieron procesos similares en las vertientes contiguas de Puquial Grande y Piñamonte (Fotos 19 al 22), donde se registró arrastre de material, pequeños derrumbes en el cauce y laderas, los cuales se unieron aguas abajo.



Fotos 19, 20, 21 y 22. Sectores de Piñamonte (vistas inferiores) y Puquial Grande (vistas superiores); erosión del cauce de la quebrada y arrastre de material producido el 1° de abril.

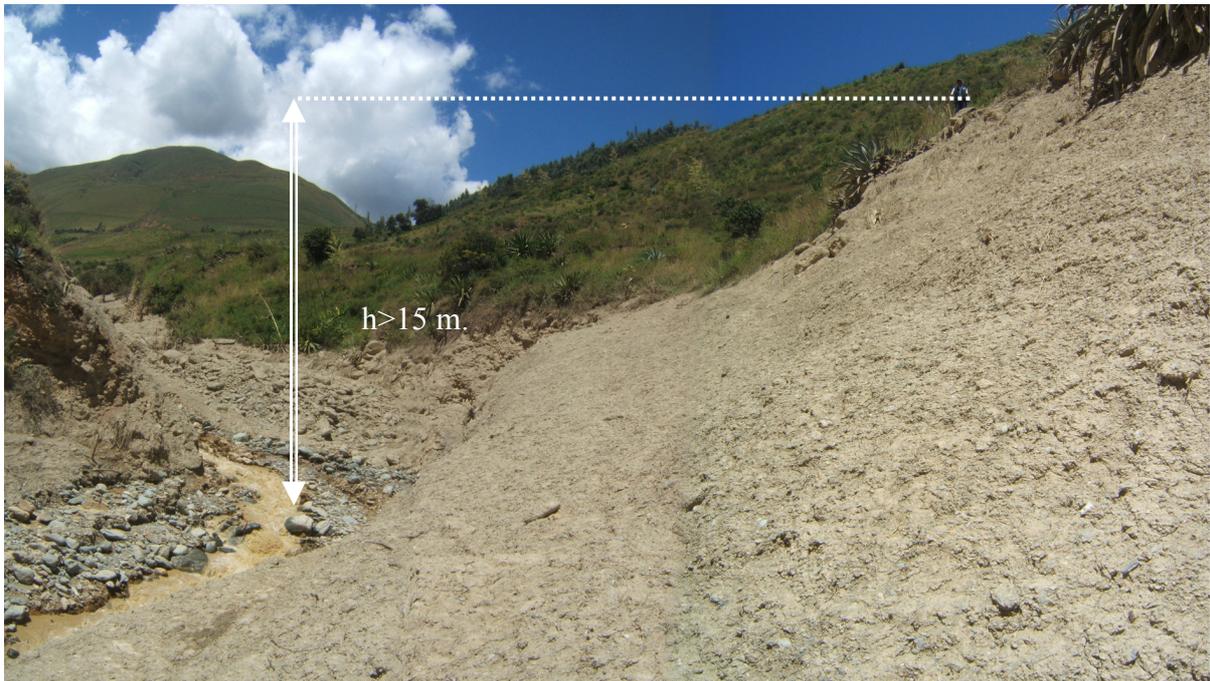
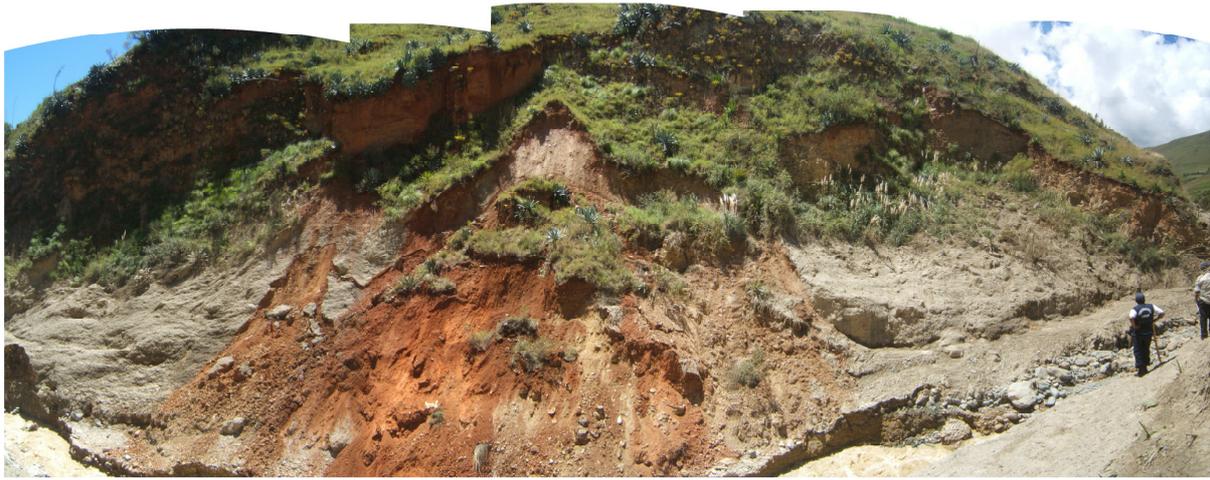
Al alcanzar la quebrada Ishanca y al unirse las tres vertientes, el flujo de agua, lodo y piedras fue mayor en la quebrada principal afectando en primera instancia la bocatoma de agua potable que abastecía a la población de Ambo (Foto 23).



Foto 23. Sector de la bocatoma de agua potable de Ambo, afectada por el aluvión.

La pendiente longitudinal del cauce aguas abajo de la bocatoma, aprovechada por el flujo fue menor (pendiente promedio de $7,3^\circ$ hasta su desembocadura), sin embargo la cantidad de material arrastrado en la parte superior y lo incorporado en su recorrido propició la generación de albardones de material que superaron en algunos casos los 15 a 20 m de altura llegando hasta el río Huallaga, donde formó un abanico que alcanzó los 6-7 m de altura o espesor.

El tamaño de los bloques de roca englobados en una masa de lodo y agua hipersaturada, propició en algunos sectores estrechos y recodos del cauce principal de la quebrada, represamientos temporales, cuya ruptura posterior originó a su vez arranque o derrumbes de material en sus márgenes (Fotos 24 y 25).



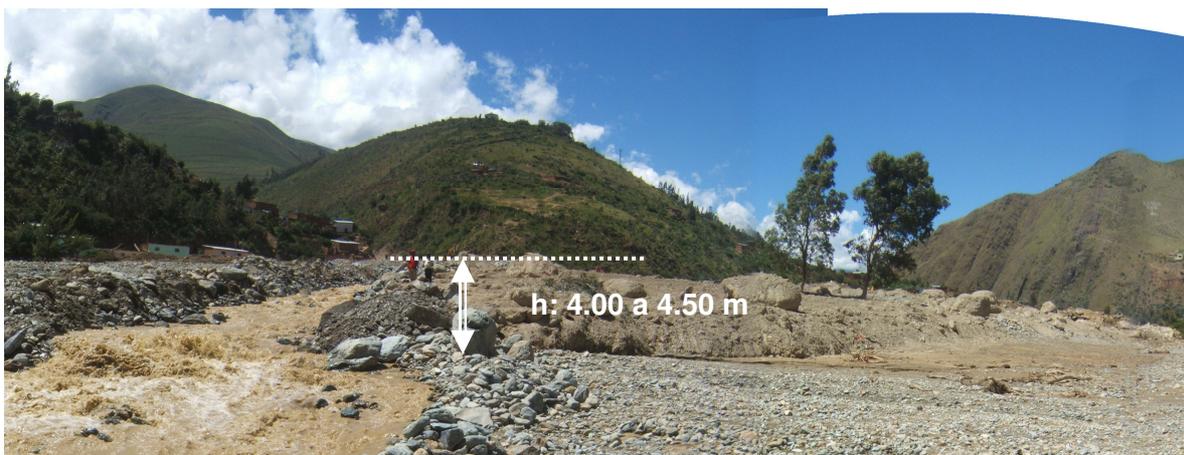
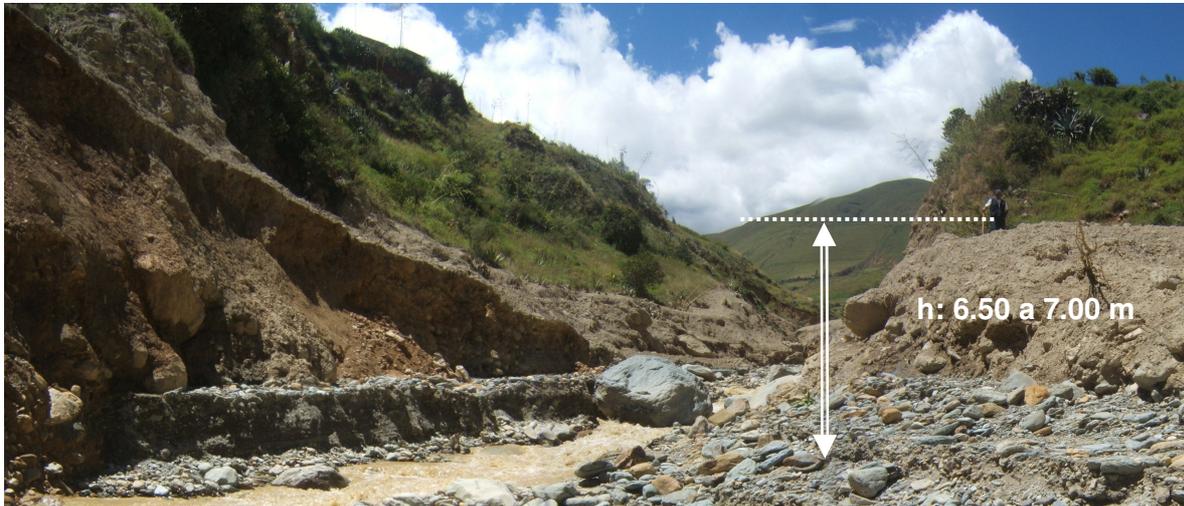
Fotos 24 y 25. Sector con represamiento temporal que originó un albardón mayor que alcanzó cerca de 20 m de altura (vista inferior). Su posterior ruptura originó la erosión y desgarre en la margen derecha del cauce (vista superior).

4.2.2 Depósito final del flujo de detritos

El flujo alcanzó una gran velocidad y una altura promedio en el cauce entre 7 a 10 m (Fotos 26 y 27). Al abrirse en su tramo final al río Huallaga el material aluviónico alcanzó una altura promedio de 5-7 m en la parte central, pudiéndose apreciar bloques de roca de hasta 5 m de diámetro, así como huellas del lodo en algunos troncos de árboles existentes en el abanico anterior al flujo (Fotos 28 y 29). Hacia los lados el espesor de material fue menor con pocos centímetros (Fotos 30, 31 y 32).



Fotos 26 y 27. Alturas alcanzadas por el lodo del huayco en el tramo final adosadas en las márgenes de la quebrada Arroyo 1. Nótese la pendiente del cauce.



Fotos 28 y 29. Altura del flujo en el inicio de apertura del abanico proluvial en 16 de Noviembre (vista superior), así como en la parte frontal - terminal, respecto al cauce erosionado de la quebrada (vista inferior).

El flujo se extendió hacia ambos lados del abanico anterior, hasta chocar con las aguas del río Huallaga. En la zona central del abanico proluvial se ubicaban la mayor parte de viviendas del poblado de 16 de Noviembre, las cuales fueron arrasadas completamente por el flujo de detritos (aluvión) en este sector se concentró la mayor acumulación de grandes bloques de rocas (Fotos 33, 34 y 35).

La parte final del material se extendió hacia las márgenes laterales del abanico, y por su dinámica se asemeja a una fase de inundación de detritos (Foto 36), lo cual nos revela un flujo hiperconcentrado del material detrítico, el cual iba relleno de material y rodeando el obstáculo que se le interponía (Fotos 37, 38, 39 y 40). Esto principalmente se pudo apreciar en el lado derecho del abanico proveniente del flujo (en algunas de las instalaciones del Instituto Superior Tecnológico Max Planck), aunque también se dio sobre el lado izquierdo sobre los terrenos ocupados por el centro educativo Juan José Crespo y Castillo (UGEL), y viviendas aledañas donde predominó fue un material gravoso en matriz limo-arcillosa, sin presencia de bloques de grandes dimensiones.

El material que bajó inicialmente con grandes bloques cubrió la parte central del abanico, y lo que descendía detrás se esparció hacia los lados, como en este caso afectando un colegio, viviendas y parte del estadio (Ver fotos 30 al 32).



Foto 30. Límite del flujo en el lado interior izquierdo del abanico con predominio de material gravoso en matriz arcillo-limosa, de poco espesor inferior a medio 40 cm.



Fotos 31 y 32. Naturaleza del material dejado por el flujo en el lado izquierdo del abanico. Se distingue la huella que alcanzó el lodo en una de las paredes laterales del colegio.



Foto 33. Extremo exterior izquierdo del abanico frente a la localidad de Ambo, hasta donde llegaron grandes bloques de roca acarreados por el flujo.



Foto 34 y 35. Tamaño de los bloques arrastrado por el flujo que ocuparon la parte central del abanico proluvial.



Foto 36. Fases típicas de inundación de detritos en el lado derecho del abanico de flujo. Nótese que el material rodea las edificaciones.



Fotos 37, 38, 39 y 40. Detalles de la fase de inundación de detritos en la margen derecha del abanico.

4.3 Velocidad alcanzada por el flujo de detritos

Para determinar indirectamente la velocidad de un flujo de detritos se utilizó la fórmula propuesta por Chow (1959), utilizando esquemas de planta y perfil en un recodo del cauce con evidencias de campo de las huellas del lodo dejadas en las márgenes (Ver Figuras 7 y 8 y Foto 41):

$$V = (g \times r_c \times \cos\theta \times \tan\alpha)^{0,5} \quad (1)$$

Donde:

V= velocidad (m/s)

g= gravedad (9,81 m/s²)

r_c= radio de curvatura de la línea central del canal o quebrada (m)

cosθ= Coseno del ángulo longitudinal del valle

tanα= Δh/B

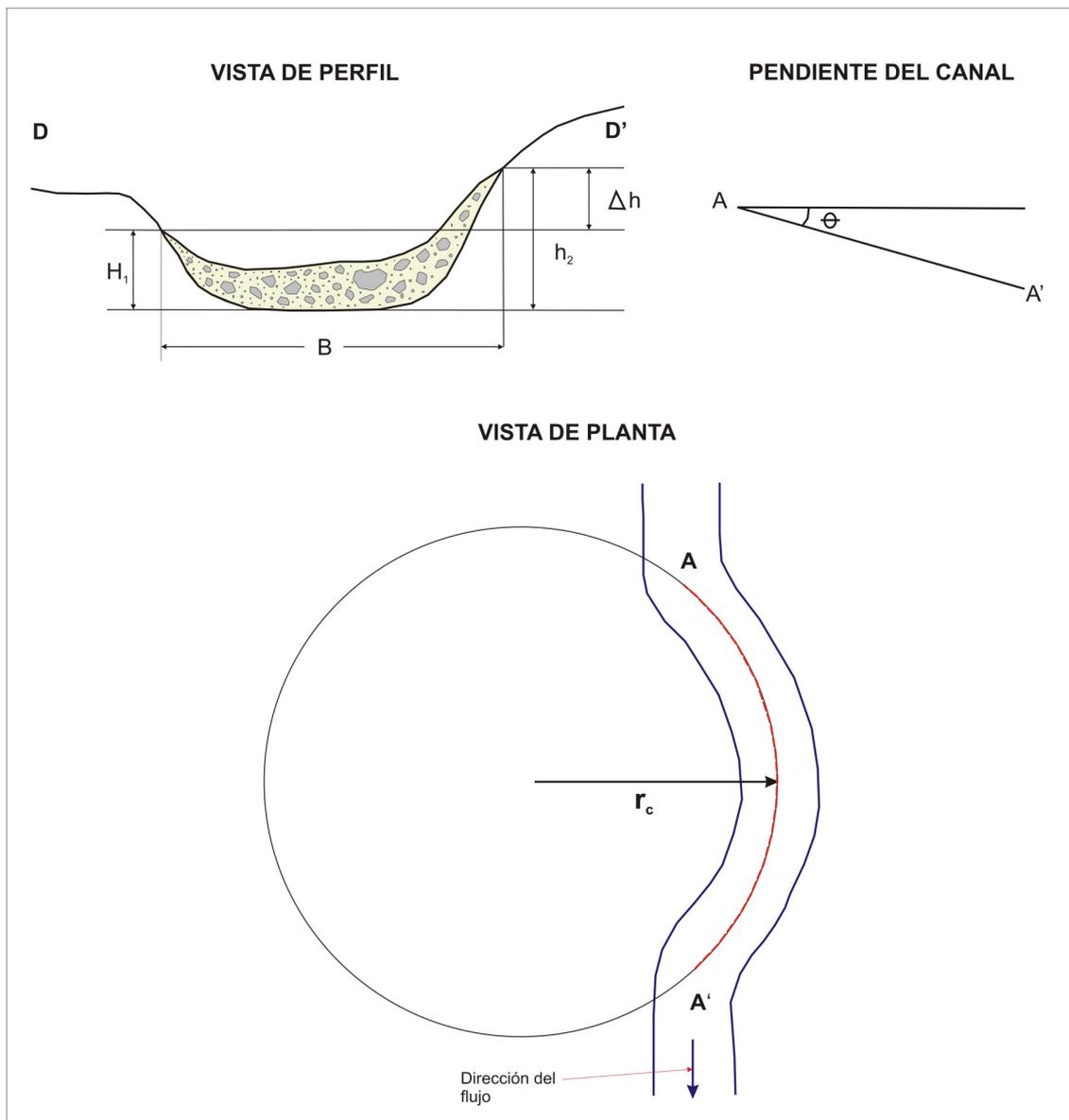


Figura 7. Esquemas de planta y perfil utilizados en el cálculo de la velocidad del flujo de detritos.

Entonces, con las mediciones obtenidas en el terreno, los valores estándar conocidos y valiéndonos de la imagen satelital disponible, tenemos:

$$\begin{aligned}
 g &= 9,81 \text{ m/s}^2 \\
 r_c &= 50,75 \text{ m} \\
 \theta &= 8^\circ \\
 \cos\theta &= 0,990268 \\
 \tan\alpha &= \Delta h/B = 3,91 \text{ m} / 17,7 \text{ m} = 0,2209
 \end{aligned}$$

Aplicando la formula (1) se tiene:

$$\begin{aligned}
 V(\text{m/s}) &= (9,81 \text{ m/s}^2 \times 50,75 \text{ m} \times 0,990268 \times 0,2229)^{0,5} \\
 V &= 10,43 \text{ m/s} \quad (\text{Equivalente a } 37,5 \text{ Km/hora}^4)
 \end{aligned}$$

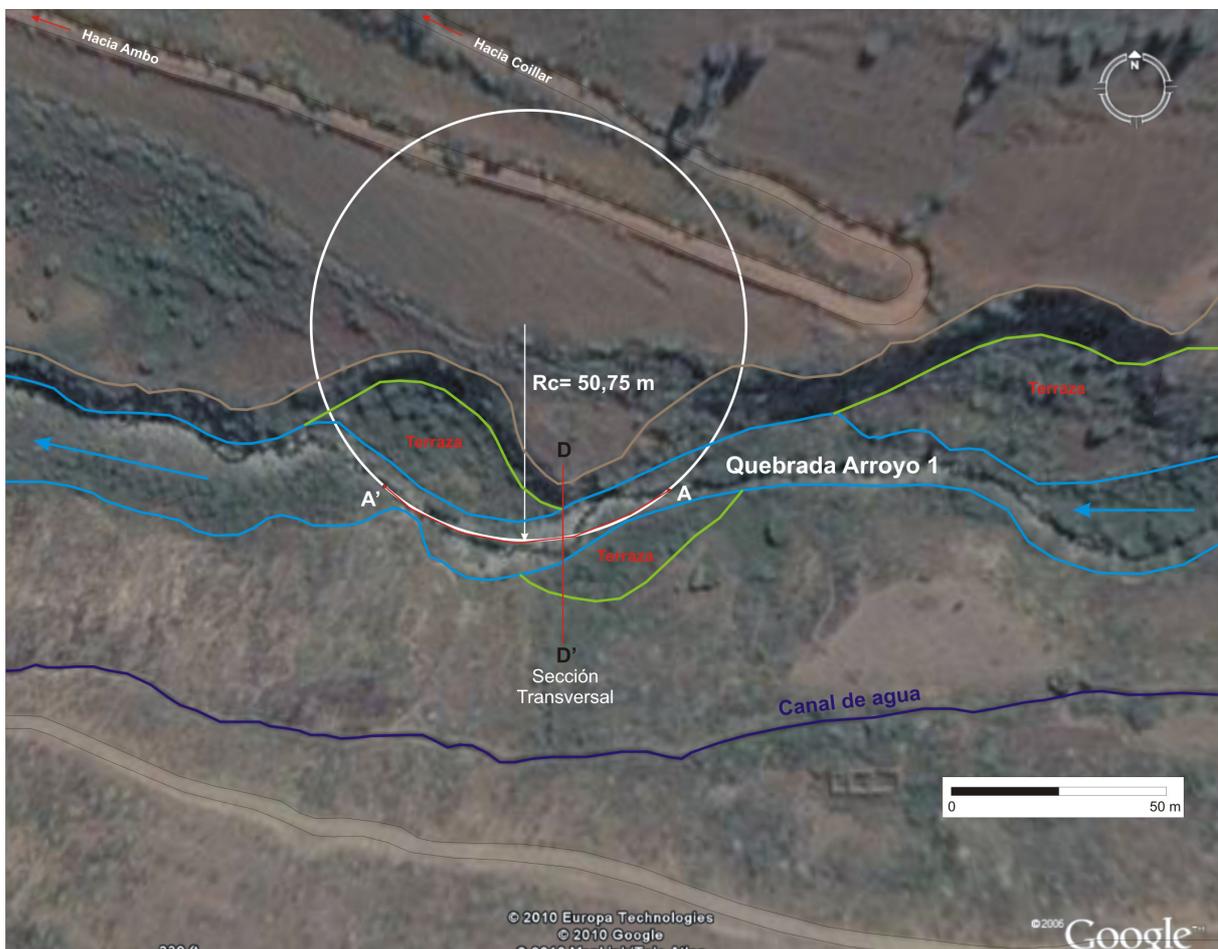


Figura 8. Imagen satelital que permite el cálculo de los parámetros requeridos en la fórmula de Chow, a partir de datos de campo.

⁴ Este valor calculado coincide aproximadamente con el tiempo en que duró el evento desde el inicio u origen en la zona de Puquial Chico y 16 de Noviembre, según la versión de los pobladores. Vale decir que en aproximadamente 13,5 minutos bajó el flujo. De acuerdo a la clasificación de Cruden y Varnes, 1996, la velocidad alcanzada por el movimiento en masa lo caracteriza como un evento extremadamente rápido (velocidad mayor a 5 m/s).



Foto 41. Sección en la quebrada para análisis de la velocidad del flujo de detritos, donde se midieron las alturas de albardones en una curva de la quebrada.

4.4 Efectos secundarios

El flujo de detritos produjo erosión a lo largo del cauce de la quebrada Arroyo 1/Huamanpari que afectó zona de captación de agua potable de Ambo en la cuenca media-superior. En la parte final se produjo una colmatación del cauce del río Huallaga, y a su vez una desviación del cauce del río hacia la margen izquierda, originando inundaciones y erosión fluvial en esta margen, afectando algunas viviendas (Fotos 42, 43 y 44).



Foto 42. Vista aguas abajo del río Huallaga. La línea punteada muestra la margen izquierda antes del aluvión, que correspondía a un muro de gavión y terraza la cual ha sido erosionada e inundada.



Fotos 43 y 44. Erosión en la margen izquierda del río Huallaga. Se muestra los gaviones en medio del cauce del río (A), y las viviendas afectadas (B).

4.5.1 Otros procesos identificados

Otros procesos geodinámicos identificados en la cuenca alta, se dieron puntualmente en la zona de Quishuar sobre depósitos morrénicos, donde se produjeron pequeños derrumbes y flujos afectando tierras de cultivo y comprometiendo algunas viviendas. En estos sectores han quedado algunas zonas inestables. Ejemplos de estos procesos se muestran en las fotos 45 al 49.



Fotos 45, 46, 47, 48 y 49. Procesos geodinámicos encontrados en la cabecera de cuenca en el 5sector que fue afectado con grandes lluvias. Se pueden apreciar derrumbes, derrumbe-flujos, asentamientos en el terreno

5. REUBICACIÓN DEL SECTOR DE 16 DE NOVIEMBRE

5.1 Evaluación del sector Andahuaya, microcuenca Rogrón/Marcacoto: Zona propuesta para reubicación

5.1.1 Morfología

El sector Andahuaya se ubica sobre los depósitos de un abanico de origen proluvial (huayco), en la desembocadura de la quebrada Rogrón/Marcacoto, en la margen derecha del río Huallaga, con una pendiente promedio entre 3-5°, entre su ápice y el río Huallaga (Fotos 50 y 51). La quebrada principal presenta una pendiente promedio de 15°, con una longitud de cauce de 4,2 Km., en la figura 9 se muestra las características de las pendientes de la microcuenca. Su altitud está comprendida entre los 3400 m.s.n.m. (cerro Ishanco) y 2050 m.s.n.m. en el río Huallaga, con una pendiente moderada a fuerte en sus vertientes.

La cuenca superior en general es ondulada a moderada mostrando tres zonas de quebradas secas, con poca incisión y solo presenta escorrentía fluvial en época de lluvias o con las filtraciones de sus vertientes superiores. En la parte media el cauce y perfil en V es mayor presentando un ancho de 85 m y una profundidad de 35 m. La sección intermedia presenta grandes acumulaciones de depósitos de movimientos en masa antiguos (deslizamientos y/o flujos).

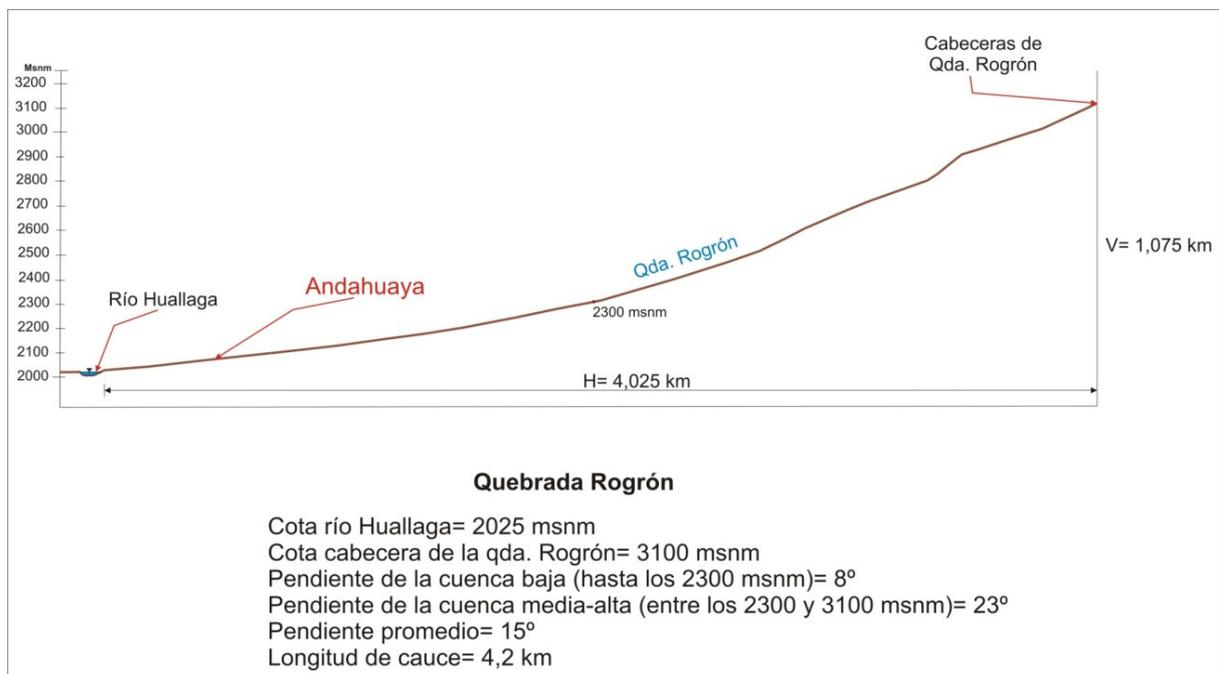


Figura 9. Perfil topográfico de la quebrada Rogrón/Marcacoto.



Foto 50. Vista aguas abajo de la microcuenca Rogrón/Marcacoto, donde muestra el abanico de Andahuaya, sitio propuesto para reubicación.

La parte inferior, desde donde forma su abanico proluvial se encuentra encajonada sobre terrazas de material aluvial antiguo presentando un ancho de hasta 130 m (Foto 51 y 52). El cauce de la quebrada es angosto, presentando actualmente un ancho promedio de 1 m y cubierta de vegetación, y pegado hacia su margen derecha; aguas debajo de la carretera el cauce se pierde (Foto 53).

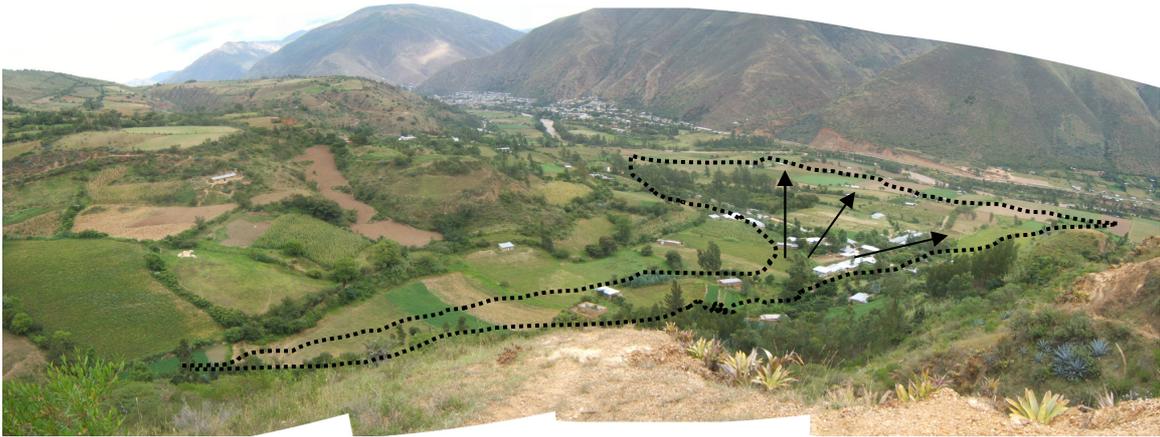


Foto 51 y 52. Vista del abanico de Andahuaya. Se aprecia parte de la población establecida sobre el abanico, así como el sector escogido para reubicación. La vista inferior muestra el detalle del inicio del abanico, donde se pueden distinguir bloques de material de huayco.



Foto53. Cauce actual de la quebrada en el cruce de la carretera a Tomayquichua.

5.1.2 Geodinámica y peligrosidad

La microcuenca Rogrón/Marcacoto presenta una geodinámica antigua, no histórica (pues no se cuenta con reportes históricos de eventos geodinámicos de deslizamientos o huaycos, que hayan incidido en su cuenca baja). También presenta procesos de movimientos en masa activos cuyas escarpas son distinguibles en el terreno (Ver Mapa Geomorfológico-Geodinámico).

La parte superior de la microcuenca, en menor porcentaje también muestra cicatrices y depósitos de deslizamiento antiguo, como se observa en el sector de Marcacoto (Foto 54). Así como la parte alta de la quebrada Rogrón, donde se distingue una ladera escalonada.



Foto 54. Ejemplo de una escarpa y depósito de deslizamiento en el sector de Marcacoto.

El sector medio presenta mayor actividad geodinámica. Sus laderas muestran evidencias de procesos de deslizamientos recientes, reptaciones de suelos (margen izquierda) hasta un proceso antiguo de deslizamiento flujo, cuyo depósito ocupa la parte media inferior de la cuenca. En la margen derecha superficies cóncavo-convexas (escarpas y depósitos), también han sido diferenciados. En ambos casos los procesos han modificado el perfil longitudinal del valle (Ver fotos 55, 57, 58, 59 y 60).

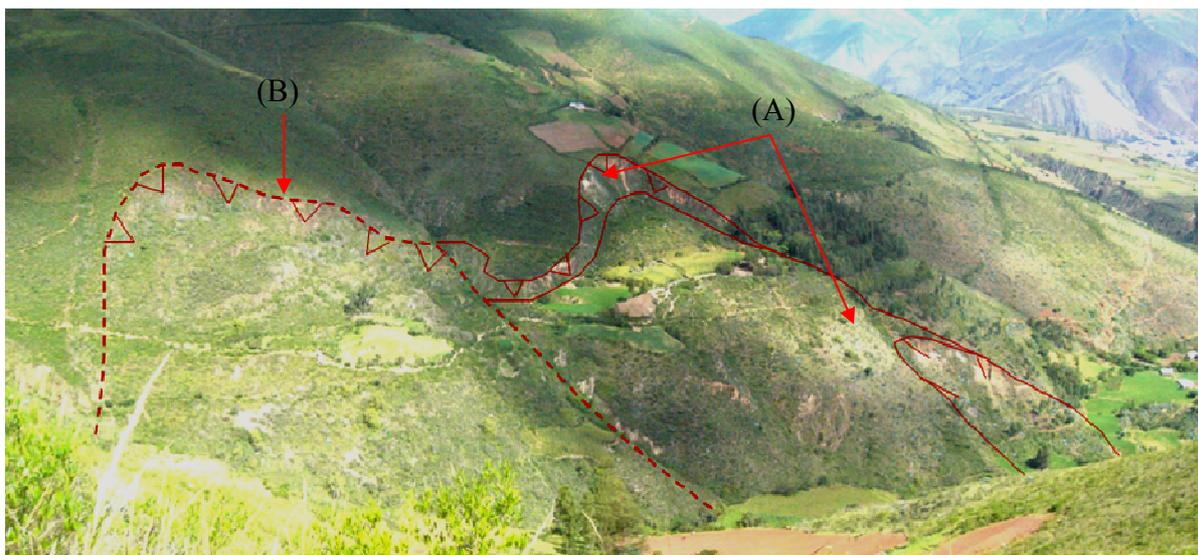


Foto 55.- Deslizamiento reciente (A), y deslizamiento antiguo (B).

La parte terminal de la microcuenca constituye el abanico existente, cuyos materiales se distribuyen hasta el borde del río Huallaga. Su disposición evidencia un flujo de detritos de gran magnitud en el pasado geológico reciente, que controla la dirección del cauce principal del río Huallaga. El abanico colinda hacia el lado superior con terrazas altas disectadas. En un frente de las terrazas que mira hacia el abanico se tiene también la cicatriz de la escarpa y la acumulación de un depósito al pie de un deslizamiento antiguo (Foto 56).



Foto 56. Deslizamiento rotacional al pie de terrazas antiguas que colindan con el abanico de Andahuaya.

Con las apreciaciones y observaciones geodinámicas, la recurrencia de eventos de este tipo en la microcuenca y en general de las microcuencas que

descienden hacia el río Huallaga, caracterizan una zona de alta peligrosidad ante la presencia de lluvias excepcionales⁵.

Asimismo, entrevistas hechas a pobladores de Andahuaya manifiestan la ocurrencia de un huayco pequeño hace tres años en esta quebrada.

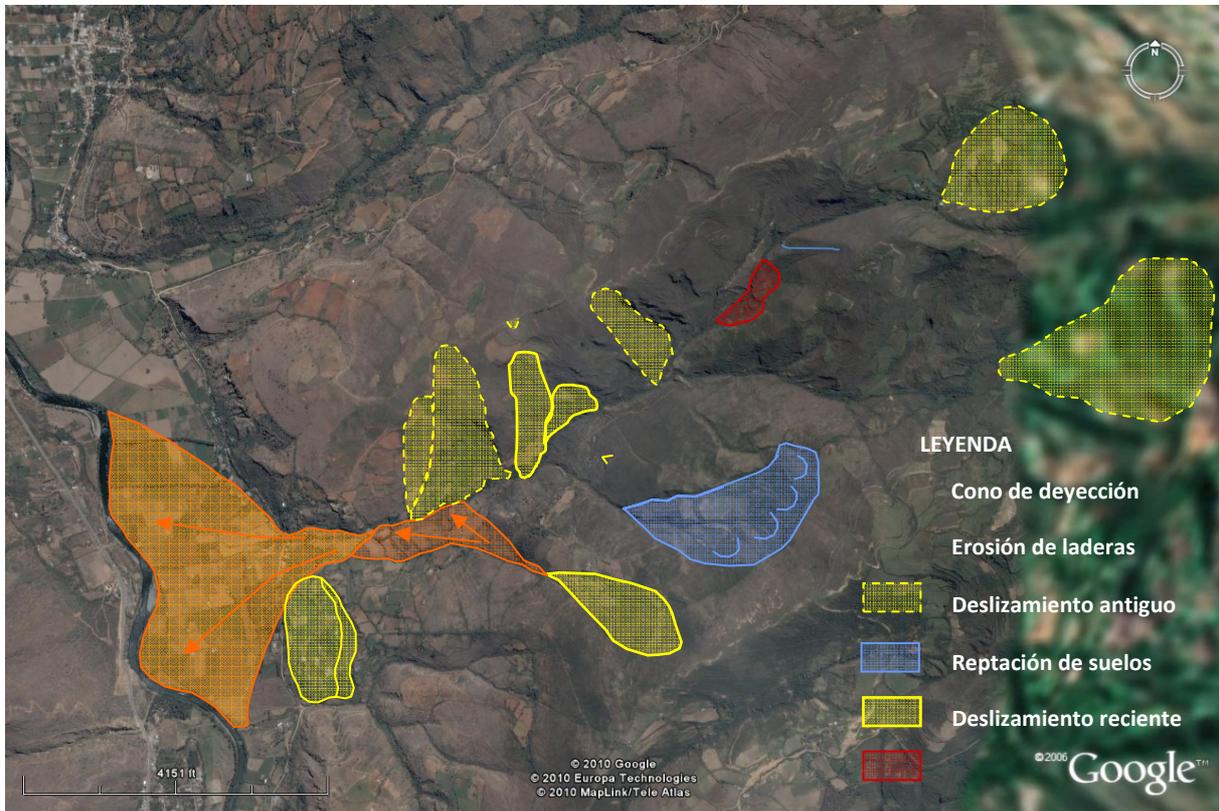
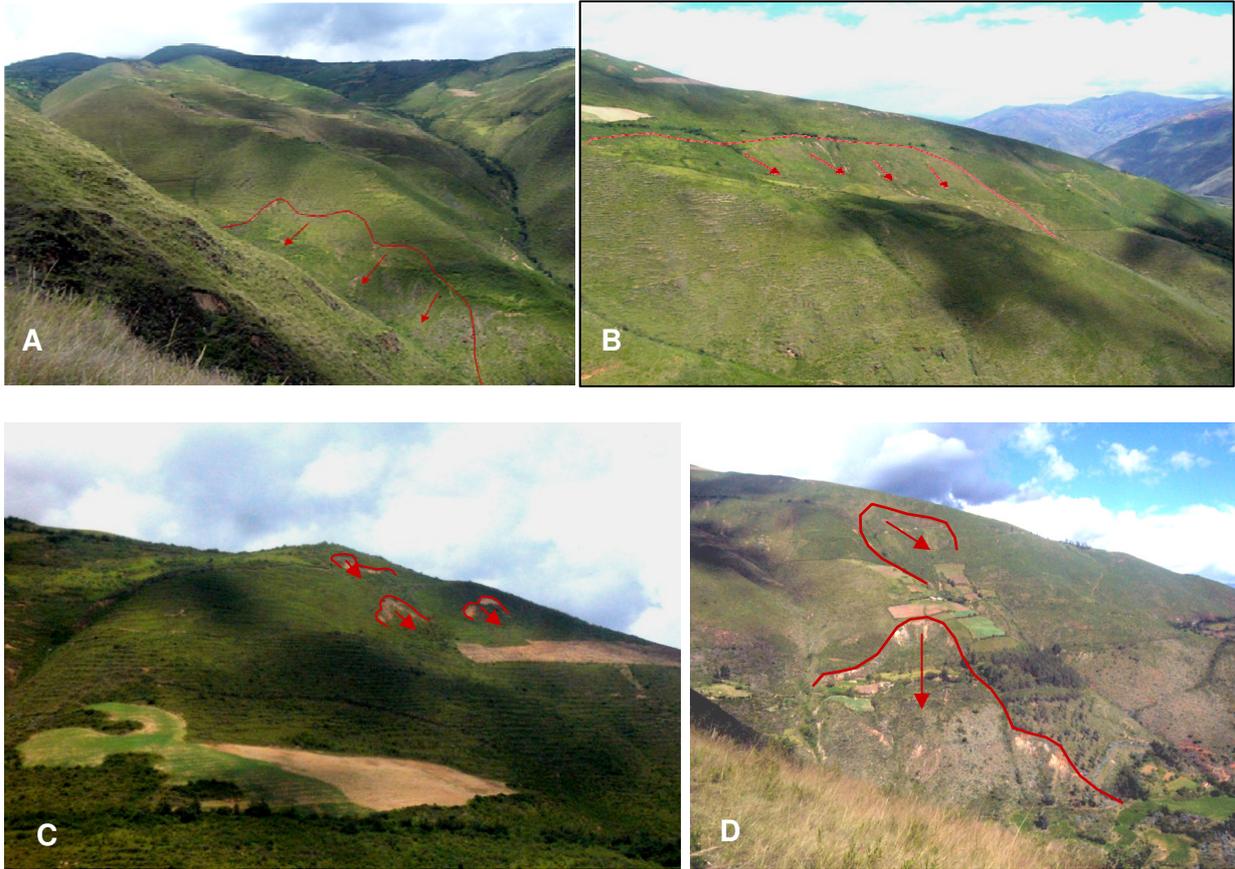


Figura 10. Imagen satelital que muestra la cartografía de movimientos en masa en la microcuenca Rogrón/Marcacoto.

⁵ . Las lluvias que se pueden presentar y que podrían detonar en un huayco pueden ser de dos tipos: 1) de corta duración y gran intensidad o 2), lluvias prolongadas y persistentes de baja intensidad. En ambos casos se llega a la sobresaturación del material no consolidado (residual o coluvial)



Fotos 57, 58, 59 y 60. Derrumbes en la margen izquierda de la quebrada Rogrón (A), reptaciones de suelo en el cerro Ponga (B y C); escarpas de deslizamiento (D).

6. CONCLUSIONES

1. El flujo de detritos (aluvión), que afectó el poblado de 16 de Noviembre, se originó por una sobresaturación de material morrénico en el sector de Carhuac-Quisihuar (entre Piñamonte y Puquial Chico), inicialmente como una avalancha de detritos que se canalizó aguas abajo por el cauce de la quebrada Arroyo/Marcacoto. La velocidad del flujo se calculó en 10,43 m/s (37,5 Km/hora), vale decir que el flujo tardó menos de 15 minutos (13,5 minutos) en recorrer desde su origen hasta el río Huallaga.
2. El desnivel entre la zona de origen y la zona de depósito, y las características del material (sobresaturado), propició un flujo mediano (aluvión) de características muy violentas, con arrastre de grandes bloques suspendidos en una masa de lodo arcilloso, los cuales llegaron en casi su totalidad al río Huallaga, causando muertes y destrucción de varias viviendas en el poblado de de 16 de Noviembre. De haberse originado un flujo de mayor dimensión hubiera represado el río Huallaga y afectado considerablemente la localidad de Ambo.
3. El detonante del evento geológico del 01 de Abril, fueron las intensas lluvias que se dieron entre las 16:30 y 19:00 horas, que se concentraron en la parte alta de la micro-cuenca Arroyo 1/Huamanpari.
4. El substrato de la zona evaluada, se encuentra conformada por rocas metamórficas de tipo filitas y esquistos en mayor proporción, los cuales se encuentran muy fracturadas y alteradas, así como depósitos superficiales de tipo residual, coluvial y glacio-fluvial. El material donde se originó el aluvión es un depósito glacial formado por gravas medianamente consolidadas, con matriz arcillo-limoso de alta plasticidad, con presencia de grandes bloques y cantos subangulosos.
5. La concentración de lluvias en la zona alta, han originado una serie de derrumbes, avalanchas de detritos pequeñas (flujos) y agrietamientos en la zona de Quisihuar, afectando áreas de cultivos y algunas viviendas rurales.
6. El abanico dispuesto en la margen derecha del Huallaga concentró la mayor cantidad de bloques en la parte central de éste. Hacia ambos lados se concentró material gravoso más pequeño con matriz de arcilla y limo. La hipersaturación del material originó en los bordes laterales fases de depósito de inundación de detritos, tanto en la zona del colegio, UGEL y estadio, así como en el instituto Max Planck.
7. Como efectos secundarios del abanico formado en la margen derecha del río Huallaga, se produjo la colmatación de éste y el desvío de su cauce hacia la margen izquierda, causando inundación y una intensa erosión fluvial, que vienen afectando viviendas del sector de Ambo (Virgen de las Mercedes).
8. Se descarta el origen del flujo de detritos del 01 de Abril, ligado al desborde de la laguna Rumichaca o de otra laguna existente en la cabecera de la micro cuenca Arroyo/Marcacoto.
9. La zona de Andahuaya, recomendada por la Municipalidad de Ambo para la reubicación del poblado de 16 de Noviembre, no reúne las condiciones de seguridad física (geológicas y geodinámicas). Su morfología en abanico es similar a la afectada en el sector de 16 de Noviembre, a pesar de estar ubicada en una micro-cuenca de menor dimensión (quebrada Rogrón) y sin la presencia de lagunas en su cabecera. Sin embargo tiene características similares a muchas quebradas afluentes al valle del río Huallaga, donde se han generado flujos en el pasado.

10. Existen otros espacios geográficos en la provincia de Ambo, que por sus características geológicas y geodinámicas reúnen características de seguridad física excepcional, donde se podrían reubicar a la zona afectada por el aluvión. Estas corresponden a planicies o terrazas aluviales altas, como la zona de Ponga, donde actualmente se tienen grandes extensiones agrícolas, la cual se encuentra 125 m por encima del cauce actual del río Huallaga, con una pendiente entre 3° y 7° y una extensión aproximada de 1000 x 200 m.

7. RECOMENDACIONES

1. Las viviendas de la localidad de Ambo, construidas cerca de la ribera del río Huallaga (ambas márgenes), deberán ser reubicadas respetando los límites de franja marginal, dispuestos por ley.
2. Declarar la zona de 16 de Noviembre afectada por el aluvión del 1 de abril del 2010, no apta para el desarrollo urbano alguno en la provincia de Ambo.
3. Continuar con los trabajos de descolmatación del cauce del río Huallaga, los cuales permitirán que este retome su curso original, evitando los procesos de erosión fluvial; esto se debe complementar con la construcción de muros de gaviones o concreto como defensas ribereñas, a lo largo de toda la zona afectada.
4. Se debe tener en cuenta que la zona alta de la quebrada Arroyo1/Marcacoto, en la zona de Quishuar, presenta zonas inestables (agrietamientos y asentamientos), las cuales podrían colapsar y generar nuevos flujos de detritos.
5. Como medida de mitigación ante futuros huaycos en la quebrada Arroyo, se deben construir diques transversales al cauce de la quebrada, los cuales servirán para disipar la energía de estos eventos.
6. Como posible zona de reubicación del poblado de 16 de Noviembre y de otras áreas del distrito de Ambo, se recomienda el sector de Ponga, que es una amplia terraza aluvial elevada a 125 m sobre el cauce del río Huallaga, con características geológicas adecuadas.
7. Instalar una estación meteorológica permanente en Ambo, la cual podría ubicarse en la parte media de la cuenca Arroyo1/Marcacoto, en la localidad de Coillar. Se deberá solicitar al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), la información técnica necesaria, así como los valores calculados o extrapolados de precipitación máxima alcanzados en la región y en particular en esta microcuenca, que detonaron el aluvión.
8. Considerando el tiempo de arribo calculado para el huayco del 1° de abril, debería implementarse un sistema de alerta temprana y automatizada en la quebrada Arroyo 1/Marcacoto. Esto permitirá alertar con anticipación la ocurrencia de futuros flujos de detritos o huaycos en esta quebrada, que pudieran afectar la ciudad de Ambo.
9. Implementar y promover una cultura de prevención de desastres, mediante charlas y talleres de sensibilización ante peligros geológicos, en los diferentes niveles de la población de Ambo y poblaciones vecinas (Porvenir, Ayancocha, Andahuaya).

REFERENCIAS

Chow, V.T. (1959). Open channel hydraulics. McGraw Hill, New York, 680 p.

Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1966). Landslide types and process, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washinton D. C., National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247, p. 36-75.

SENAMHI (2010). Boletín Regional del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Dirección Regional de Huanuco, Año VII, N° 3, 16 p.

Zapata, A., Rossel, W. & Abarca, F. (2003). Mapa Geológico actualizado del cuadrángulo de Ambo a escala 1: 100,000 (Hoja 21-k). INGEMMET, Dirección de Geología Regional.

Zavala, B., Nunez, S. & Vilchez, M. (2010). Geodinámica del aluvión en la quebrada Arroyo 1 que afectó el poblado 16 de Noviembre, distrito y provincia de Ambo, región Huanuco. Informe Técnico Preliminar, INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. 5 p.

Zavala, B. & Vilchez, M. (2006). Estudio de Riesgos geológicos en la región Huanuco. Boletín N° 33 INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, 147 p., 16 mapas.

**ANEXO 1: MAPA DE PELIGROS EN LAS MICROCUENCAS ARROYO
1/HUAMANPARI Y ROGRÓN MARCACOTO**