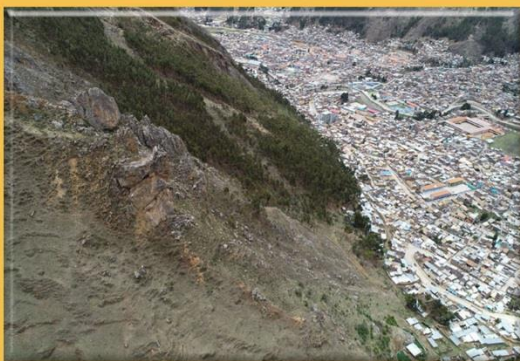


Informe Técnico N° A6854

# CAÍDA DE ROCAS DEL CERRO APARINACU, SECTOR LA QUINTA BOLIVIANA

Región Huancavelica  
Provincia Huancavelica  
Distrito Ascención  
Paraje Quinta Boliviana



DULIO GOMEZ VELASQUEZ  
LUIS ALBINEZ BACA

DICIEMBRE  
2018

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>2. ANTECEDENTES Y TRABAJOS PREVIOS</b> .....	12
<b>3. ASPECTOS GENERALES</b> .....	14
3.1. Ubicación y accesibilidad .....	14
3.2. Características de la zona de estudio .....	15
3.3. Objetivo .....	15
<b>4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS</b> .....	16
4.1. Montañas en roca volcánico-sedimentarias .....	16
4.2. Montañas en roca sedimentaria .....	16
4.3. Terrazas aluviales.....	17
4.4. Piedemonte coluvio deluvial.....	17
<b>5. ASPECTOS GEOLÓGICOS</b> .....	18
5.1. Formación Chunumayu.....	18
5.2. Formación Tantara .....	18
5.3. Depósitos aluviales.....	18
5.4. Depósitos coluviales.....	19
5.5. Depósitos proluviales .....	19
<b>6. PELIGROS GEOLÓGICOS</b> .....	20
6.1. Caída de Rocas .....	21
<b>6.1.1. Caída de rocas del cerro Aparinacu, barrio la Quinta Boliviana</b> .....	22
6.2. Deslizamientos, flujos y erosión de laderas .....	30
<b>6.2.1. Deslizamientos, flujos y erosión de laderas, al noroeste de barrio la Quinta Boliviana.</b> .....	31
6. 3. Evidencias de tectónica activa al norte de Huancavelica. ....	32
<b>7. PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS</b> .....	33
<b>CONCLUSIONES</b> .....	37
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	38

## 1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), como ente técnico-científico, incorpora dentro de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), el apoyo y/o asistencia técnica al gobiernos nacional, regional y locales; su alcance consiste en contribuir con entidades gubernamentales en el reconocimiento, caracterización y diagnóstico de peligros geológicos en territorios vulnerables, con la finalidad de proporcionar una evaluación técnica que incluya resultados y recomendaciones pertinentes para la mitigación y prevención de fenómenos activos en el marco de la Gestión de riesgo de desastre.

La Municipalidad Distrital de Ascensión, mediante Oficio N°430-2018-ALC-MDA-HVC, solicitó a nuestra institución, la evaluación técnica de peligros de geológicos del Quinta Boliviana, a consecuencia de los movimientos en masa que ocurren en el lugar.

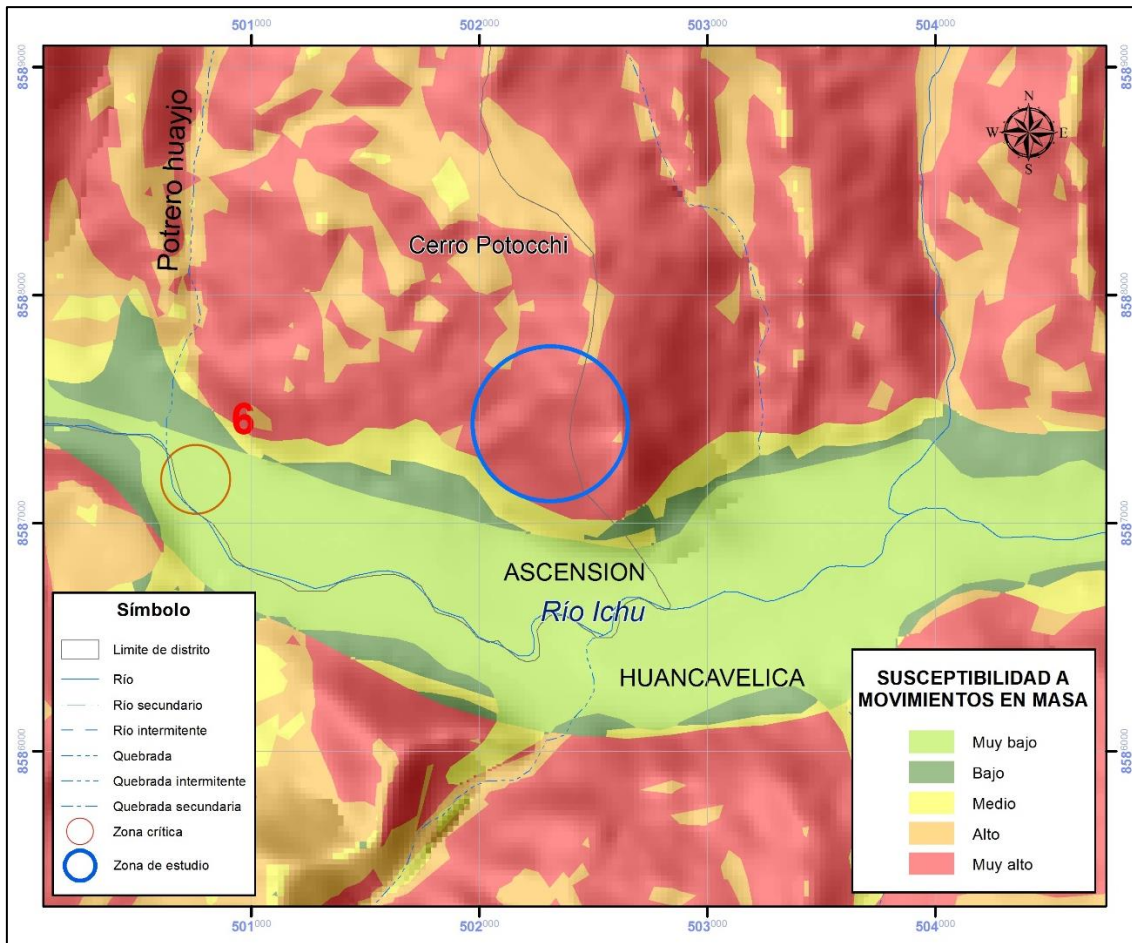
El INGEMMET, a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico designó a los Ing. Dúlio Gómez y Luis Albinez, para realizar la inspección técnica, el día 23 de octubre del presente año, previa coordinación con personal de INDECI de la Municipalidad de provincial de Huancavelica y pobladores locales, quienes nos presentaron la problemática de la zona y algunos planes de contingencia.

Para esta evaluación, se realizaron los siguientes trabajos: Recopilación de información y preparación de mapas para trabajos de campo, toma de datos fotográficos y GPS, cartografiado y redacción de informe.

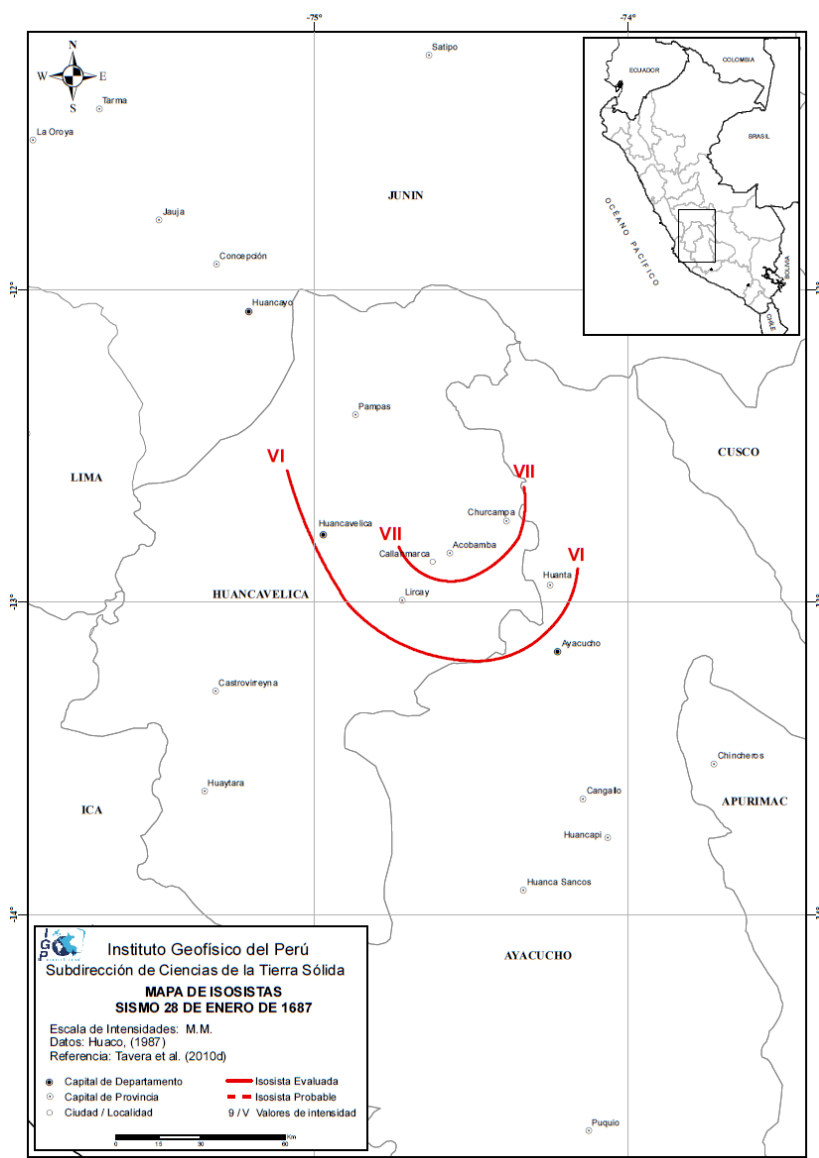
El informe, se pone en consideración de la municipalidad distrital de Ascensión, Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI, autoridades de locales y otras autoridades y funcionarios competentes, para la ejecución de medidas de mitigación y reducción de riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

## 2. ANTECEDENTES Y TRABAJOS PREVIOS

- Estudio de riesgos geológicos de la región Huancavelica, elaborado por el Ingemmet – 2014, realiza el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, donde se determina que la urbanización la Quinta Boliviana se encuentra ubicado en la zona de Alto y Muy alto grado de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo: avalancha, caída de rocas, otros peligros geológicos (erosión de ladera y reptación de suelos). (Figura 1).
- Tavera *et, al.* 2016, presenta un mapa de Isosistas del sismo ocurrido en enero de 1687, que causó estragos en la en la antigua Villa de Huancavelica (Figura 2).
- Otros sismos importantes sentidos con fuertes intensidades fueron: Lima (1746), Matucana (1907), Ayacucho (1916), Lima (1940), Ica-Arequipa (1942), Lima (1960), Huarochiri (1974), Ica (2007), entre otros (Silgado 1978). Cabe mencionar que en los estudios de neotectónica que viene realizando INGEMMET a nivel nacional, se identificaron fallas cuaternarias, potencialmente sísmicas en la región Huancavelica.



**Figura 1.** Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa del distrito de Ascensión y Huancavelica, se observa la urbanización Quinta Boliviana se ubica en zona de Alto y Muy Alto de susceptibilidad a peligros de tipo: Avalanchas, caída de rocas y otros peligros geológicos. (tomado de Ingemmet,2014)



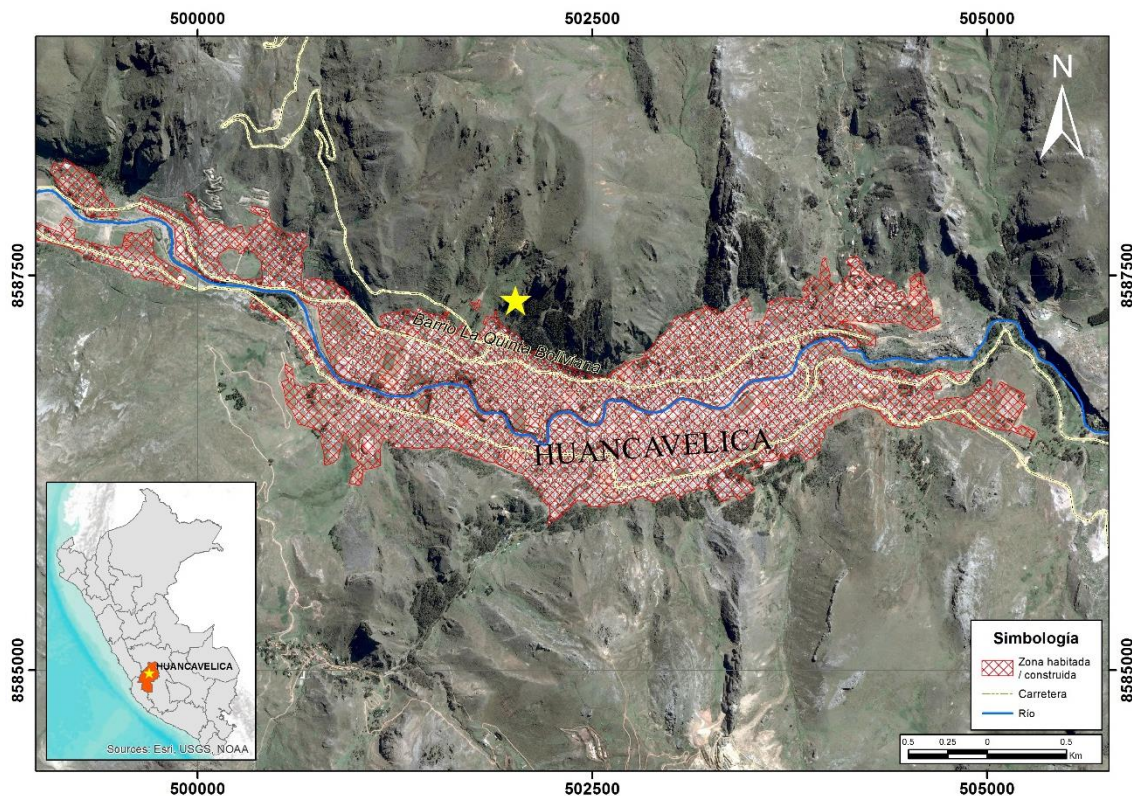
**Figura 2.** Mapa de isosistas del sismo de enero de 1687. Fuente Tavera *et al.* 2016.

### 3. ASPECTOS GENERALES

#### 3.1. Ubicación y accesibilidad

La zona afectada se encuentran al norte 325° a una distancia de 1.33 km de la ciudad de Huancavelica, en el distrito de Ascensión, (figura 3), a aproximadamente 3890 m.s.n.m., en el ámbito de las coordenadas WGS84 – 18S: 501995 O; 8587347 N.

Se accede a la zona, desde Lima, siguiendo ruta Lima - Chíncha Alta - Huancavelica.



**Figura 3.** Mapa de ubicación de la zona de estudio.

### 3.2. Características de la zona de estudio

El cerro Aparinacu, se encuentra al norte de la ciudad de Huancavelica. Su fuerte pendiente y abrupta morfología está relacionada a plegamientos, de secuencias sedimentarias casi vertical; También, se observan grandes protuberancias rocosas de origen calcáreo alineadas en forma de cresta, dichas protuberancias coinciden de forma diferenciada con zonas de alteración.

Presenta ladera de escasa vegetación, compuesta principalmente de arbustos y pastos nativos. El flanco este del cerro se observa ladera cubierto por bosques densos de especie eucaliptos.

La zona de estudio, se extiende entre 3740 y 3900 msnm, se caracteriza por presentar precipitaciones anuales, promedio de 700 mm, temperatura medias anuales de 7°C y niveles perpetuos en alta montaña, presenta veranos lluviosos e invierno secos con heladas moderadas.

### 3.3. Objetivo

El objetivo es identificar y tipificar los peligros geológicos por movimientos en masa y peligros geohidrológicos, que afecta a los centros poblados, obras de infraestructura y vías de comunicación; así como, las causas de su ocurrencia. Emitir las conclusiones y recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación del riesgo.

## 4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

La zona está constituida geomorfológicamente por montañas en roca sedimentaria también en volcánico-sedimentaria, piedemontes coluvio deluviales y terrazas aluviales.

### 4.1. Montañas en roca volcánico-sedimentarias

Corresponde a afloramientos de rocas volcánico-sedimentarias del cretáceo y paleógeno. Presentan crestas altas e irregulares, con pendientes que pueden superar los 30°. También se tienen montañas con laderas empinadas y cimas redondeadas (Vilchez, M. et al. 2013).

Esta unidad presenta hacia la cabecera y extremo oeste de la zona evaluada afloramientos meteorizado, alterado y fracturado. Por sus características morfológicas son susceptible a la ocurrencia de peligros geológicos de tipo: caída de rocas, derrumbes y erosión de ladera (figura 4).

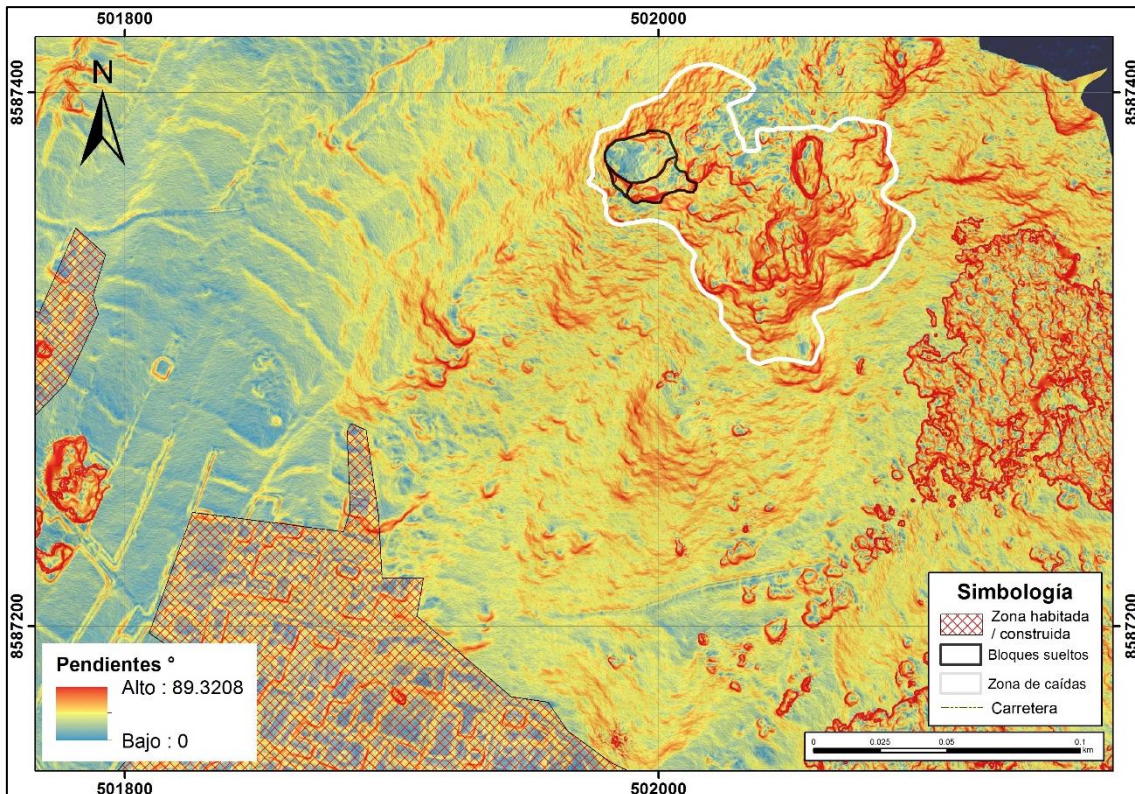


**Figura 4.** Fotografía aérea mostrando montañas en roca volcánico-sedimentarias y en roca sedimentaria, al norte de Huancavelica.

### 4.2. Montañas en roca sedimentaria

Corresponde a afloramientos de rocas sedimentarias afectados por procesos tectónicos y erosivos conformados por rocas de tipo conglomerados, areniscas, lutitas, limolitas, lodolitas, calizas y cuarcitas, de edad Cretáceo. Presentan laderas de pendientes medias a fuertes (Vilchez, M. et al. 2013).

En la zona de estudio, esta unidad se caracteriza por la disposición vertical de los estratos y la fuerte pendiente en parte de la ladera que superan los 40° (figura 5). Por sus características morfológicas es susceptible a la ocurrencia peligros geológicos de tipo caída de rocas, deslizamientos y erosión de ladera.



**Figura 5.** Mapa de pendientes del cerro Aparinacu

### 4.3. Terrazas aluviales

Son porciones de terreno que se encuentran dispuestas a los costados de la llanura de inundación o del lecho principal de un río, a mayor altura, representan niveles antiguos de sedimentación fluvial, los cuales han sido disectados por las corrientes como consecuencia de la profundización del valle. Sobre estos terrenos se desarrollan actividades agrícolas (Vilchez, M. *et al.* 2013). También es aprovechada para expansión urbana (figura 6).

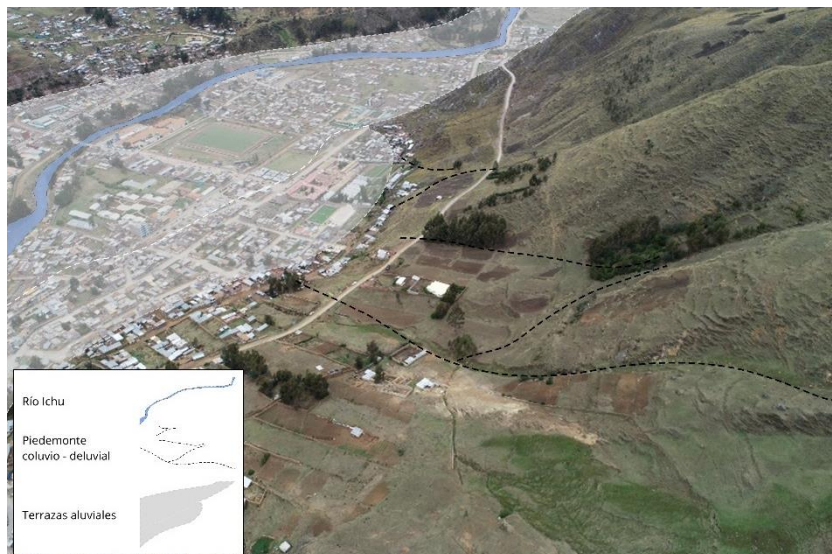
Esta unidad por sus características morfológicas es susceptible a la ocurrencia de peligros geohidrológicos de tipo Inundación y erosión fluvial.

### 4.4. Piedemonte coluvio deluvial

Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa del tipo deslizamientos, derrumbes, avalancha de rocas y/o movimientos en masa y/o movimientos complejos. Generalmente su composición litológica es homogénea; son depósitos de corto recorrido relacionados a las laderas superiores adyacentes. Su morfología es usualmente convexa y su disposición semicircular a elongada en relación a la zona de arranque o despegue de movimiento en masa (Vilchez, M. *et al.* 2013).

En la zona de estudio estas geoformas están relacionadas con materiales provenientes de afloramientos de rocas volcánicas y sedimentarias, que son susceptible a la ocurrencia de peligros geológicos de tipo: reptación de suelos deslizamientos y flujos de detritos. También son aprovechados como área para expansión urbana (figura 6).





**Figura 6.**  
 Fotografía aérea mostrando las terrazas aluviales y piedemonte coluvio-deluvial en la ladera norte de Huancavelica,

## 5. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La geología del sector está constituida por las formaciones Chunumayu y Tantara, cubierto por depósitos aluviales (Romero & Torres 2003), así mismo por depósitos coluviales y proluviales (figura 8).

### 5.1. Formación Chunumayu

Está compuesta por una intercalación de calizas con limoarcillitas y limos areniscosos. Las calizas son gris claras, algunas micríticas, se presentan en estratos delgados (Romero & Torres 2003). En la zona de desprendimientos aflora una secuencia principalmente calcárea, mediana a altamente fracturada y diaclasada, con planos principalmente orientados hacia el S y SO (figuras 7 y 8).

Esta unidad por sus características litológicas son susceptibles a la ocurrencia de peligros geológicos de tipo: caída de rocas, avalanchas y erosión de ladera

### 5.2. Formación Tantara

Litológicamente está compuesta por coladas volcánicas de composición basáltica, con algunas intercalaciones piroclásticas (Romero & Torres 2003). Aflora en el extremo oeste de la zona afectada (figuras 7 y 8).

La unidad por sus características son susceptibles a la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa de tipo: derrumbe, flujo de detritos, deslizamientos y erosión de ladera.

### 5.3. Depósitos aluviales

Se componen de gravas y bloques subangulosos a subredondeados envueltos en una matriz limosa; intercalados con arenas gruesas conglomerádicas (Romero & Torres 2003). Se encuentran distribuidos en forma de terrazas, en el extremo oeste del fondo de valle del río Ichu.

El depósito por sus características litológicas de substratos inconsolidado son susceptible a la ocurrencia de peligros geohidrológicos de tipo: erosión e inundación fluvial, también se generan movimientos en masa de tipo derrumbes y caída.

#### 5.4. Depósitos coluviales

Son depósitos generados a partir de deslizamientos constituidos por clastos angulosos a sub angulosos distribuidos caóticamente dentro de una matriz limo-arenosa. También se observan como bloques sueltos, acumulados al pie de zonas de caídas (figuras 7 y 8).



**Figura 7.** Fotografía aérea mostrando las formaciones geológicas y depósitos recientes en la zona de estudio.

#### 5.5. Depósitos proluviales

Corresponden a depósitos de flujos de detritos (huaycos) recientes (Zabala, B. & Velarde, T. 2008) movilizados por corrientes temporales de agua o lluvias. Se generan a partir del transporte de materiales que ocupan el cauce de quebradas, generalmente secas. Se acumulan a manera de conos de deyección en desembocaduras. Se pueden encontrar provenientes de zonas de erosión (carcavamiento) del lado oeste de la zona de deslizamientos (figuras 7 y 8).

Cabe mencionar que mediante fotointerpretación y análisis de fotografías aéreas se identificó un desplazamiento aparentemente cuaternario, de dirección promedio E a O, cortando la parte alta de la ladera.

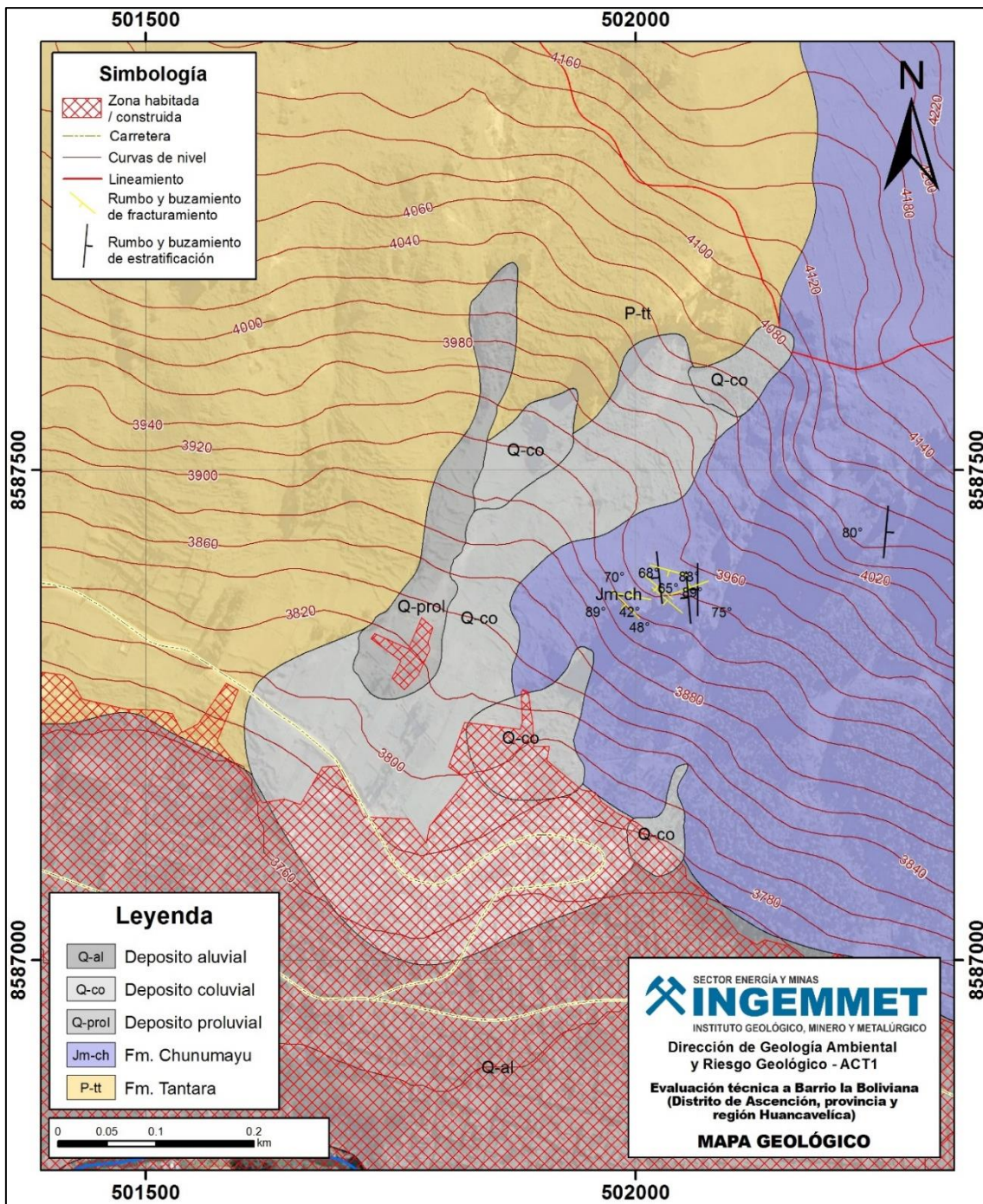


Figura 8. Mapa geológico de la zona de estudio. Modificado de Romero & Torres 2003.

## 6. PELIGROS GEOLÓGICOS

El flanco sur del cerro Aparinacu de topografía abrupta y escarpada. Se ha identificado escenario de eventos recientes; también por sus características morfológicas y depósitos de eventos antiguos, donde actualmente se encuentran emplazadas viviendas del Barrio la Quinta Boliviana.

Los trabajos de campo permitieron identificar caídas de rocas, deslizamientos y erosión de laderas en el cerro Aparinacu (figura 9).

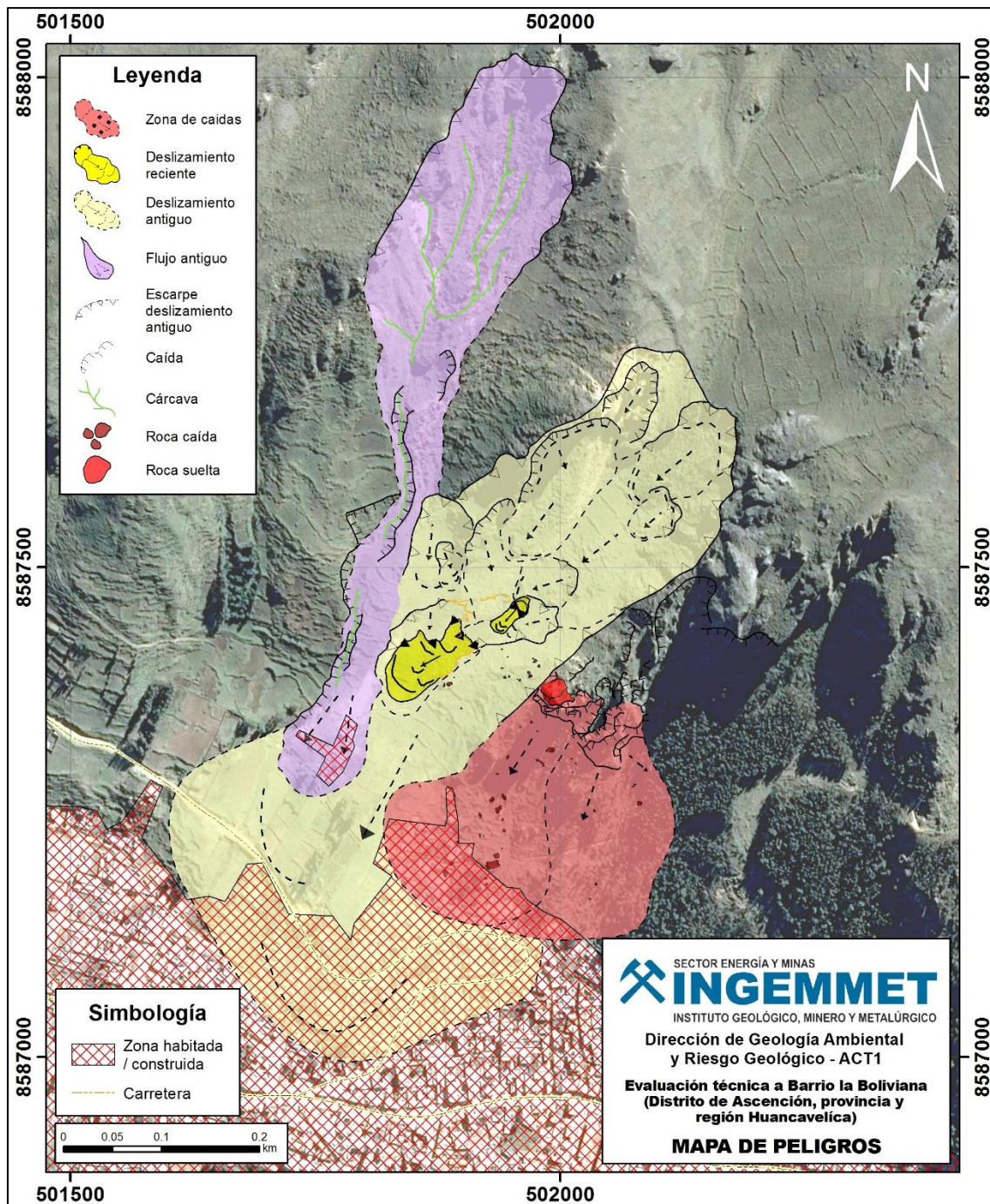
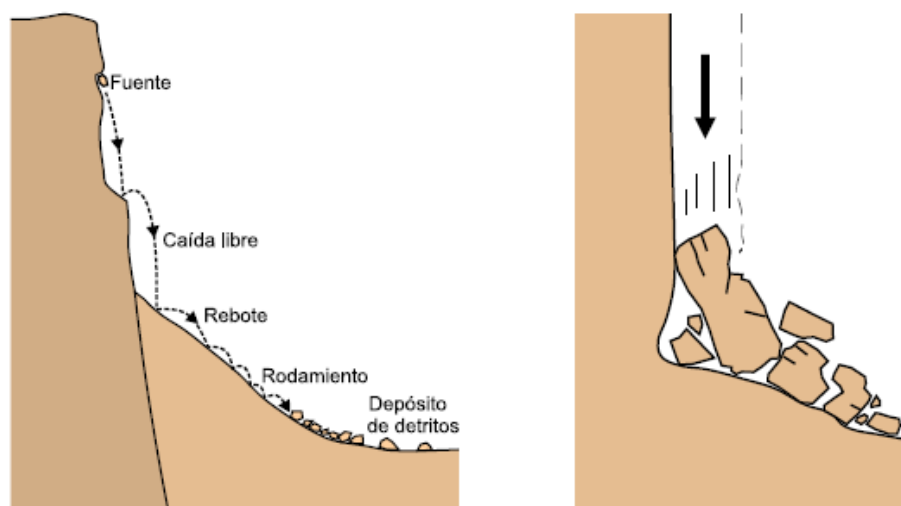


Figura 9. Mapa de peligros del Cerro Aparinacu

### 6.1. Caída de Rocas

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 D. J., 1978) (Figura 10). **Derrumbe** se define como la caída de suelos y/o rocas, sin forma definida.



**Figura 10.** Ejemplos de caída de roca fragmentada (Evans, S.G., y Hungr, O., 1993).  
 Fuente: Figura tomada de PMA (2007).

### 6.1.1. Caída de rocas del cerro Aparinacu, barrio la Quinta Boliviana

#### 6.1.1.1. Caída de Rocas de Marzo del 2018

El 24 de marzo del presente año, se generó la caída de rocas provenientes del cerro Aparinacu, en el sector denominado barrio la Quinta Boliviana del distrito de Ascensión - Huancavelica. El evento ocurre luego de presentarse lluvias intensas desprendiéndose bloques que alcanzan hasta 0.6m de diámetro de forma dispersa, afecta viviendas que se encuentran situadas al pie de la ladera.

La ladera fuente tiene forma abrupta, con leves variaciones de pendiente, mayormente superiores a los 45° (figura 6), orientadas el S y SO (figura14).

Durante los trabajos de campo se pudo observar que las caídas recientes se generaron a los 4005 m.s.n.m. (figura 11), teniendo una altura de caída final de 170 m aproximadamente. Las rocas recorrieron una distancia en plano aproximada de 230 m, para finalmente emplazarse sobre el patio de una vivienda ubicada al pie de la ladera (figura 12).

Las caídas inician de un afloramiento de roca intemperizado, meteorizados, alterado y muy fracturado con bloques sueltos (figuras 11 y 13), se desprenden con saltos para luego rodar hasta su posición final.

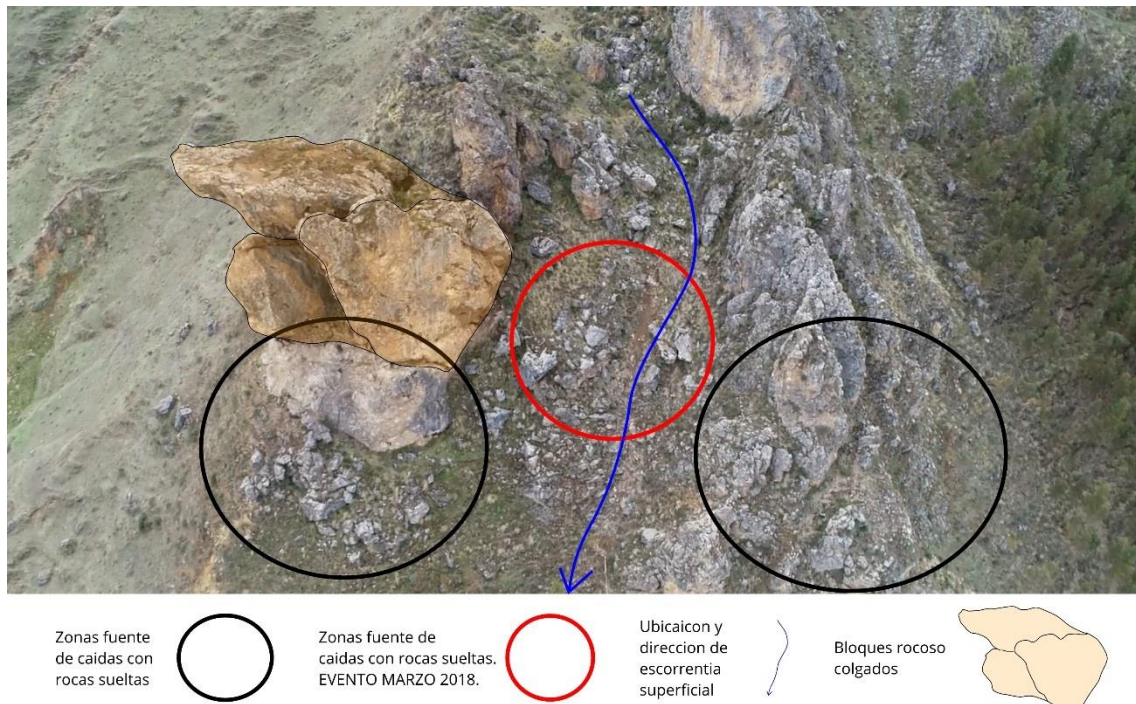
Las zonas aledañas a la fuente de las últimas caídas (figuras 11, 13 y 17), también presentan materiales sueltos meteorizados y facturados, con potencial de caer.



**Figura 11.** Fotografía aérea de ladera del cerro Aparinacu. Se observa la fuente y trayectoria de las rocas que afectaron viviendas al pie de ladera.



**Figura 12.** Rocas caídas durante el evento de marzo de este año. Las rocas tuvieron su emplazamiento final en el patio de una vivienda.



**Figura 13.** Fotografía aérea mostrando zonas fuente de caídas en ladera del cerro Aparinacu. Se observa la línea de escorrenía natural coincidente con la zona de caídas reciente.

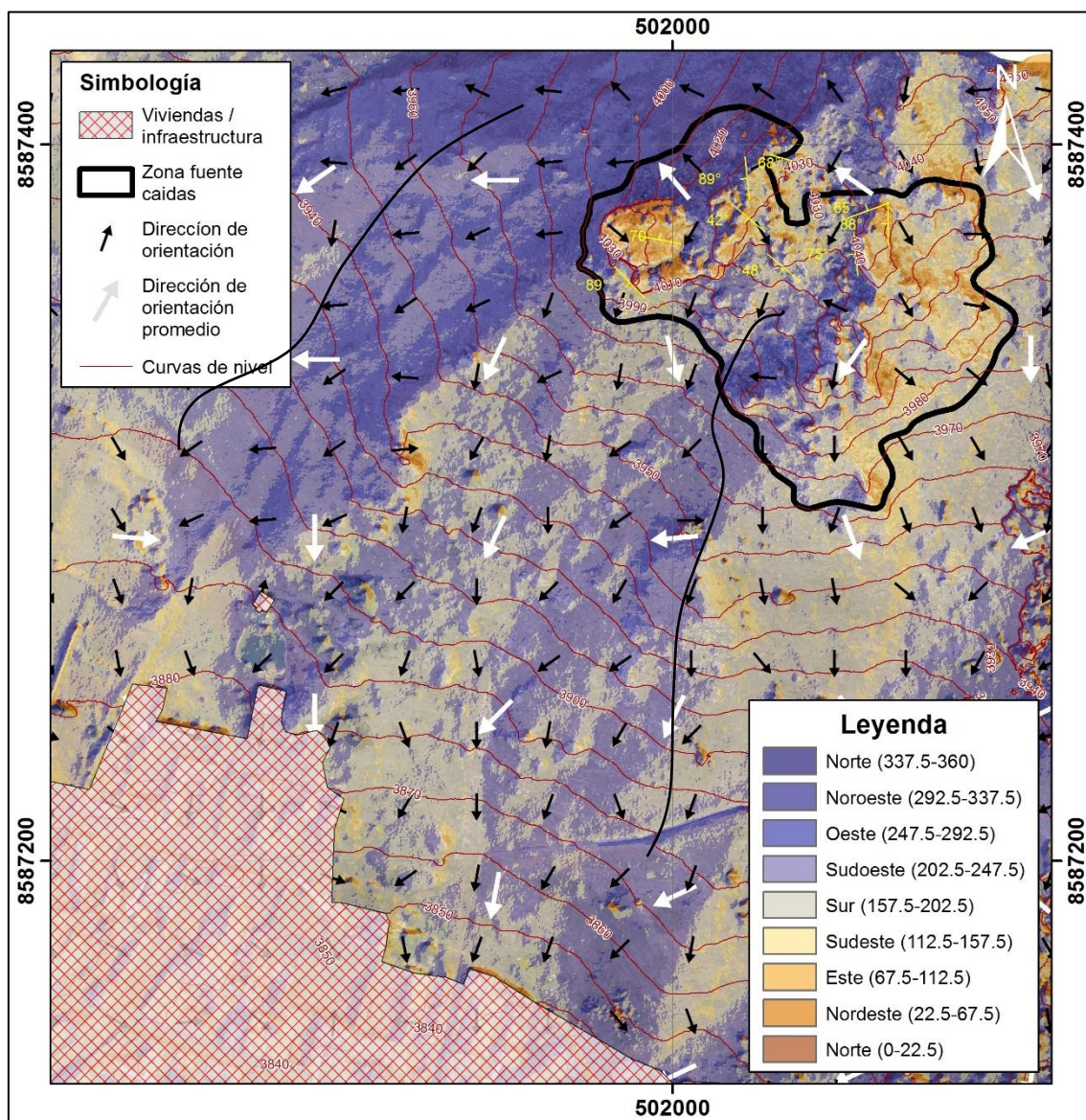
Se identificaron bloques de rocas con diámetros que varían entre 0.5 y 1.2 m (foto 1). Es probable que se hayan desprendido bloques mayores, los cuales se habrían fragmentado por el golpe de rebote.



**Foto 1.** Rocas caídas en el evento de marzo del 2018, en calle del Barrio la Quinta Boliviana.

Mediante el análisis de fotografías aéreas se observó, que el sector de donde se generaron las recientes caídas coincide con una zona de acumulación de aguas, relacionada a drenajes de escorrentía superficial (figura 13). Esta observación sugiere que las rocas inestables cayeron a consecuencia de la acumulación de agua debido a las intensas precipitaciones pluviales.

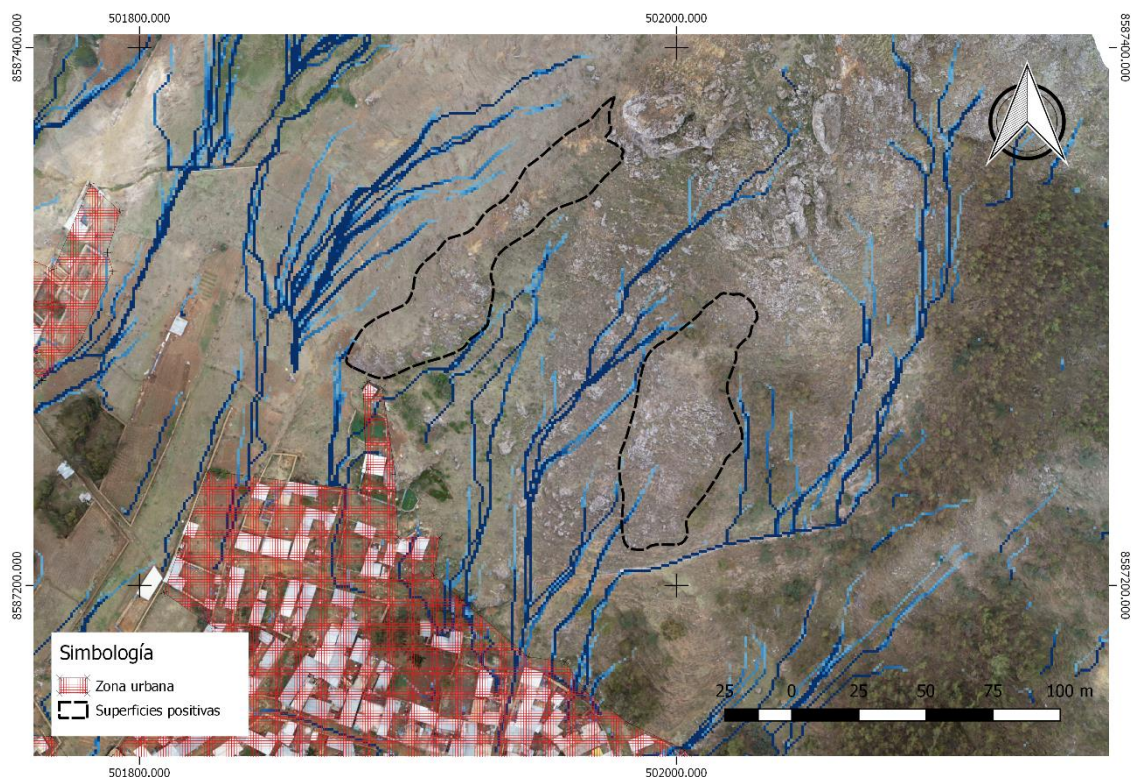
Otro análisis de escorrentía superficial, se obtiene a partir de un mapa de acumulación de flujos generado con el DEM de precisión, nos sirve para identificar la morfología de drenaje con dirección sur, restringida por dos crestas, en la zona de caída reciente. La trayectoria de los bloques de rocas coincide con la morfología y dirección de los drenajes de escorrentía presentes en la ladera (figura 15). Esto sugiere que los eventos posteriores con similares condiciones de arranque, podrían tener la misma trayectoria. Asimismo coinciden con el mapa de orientación de laderas (figura 14).



**Figura 14.** Mapa de orientación de laderas de detalle del cerro Aparinacu. Se observa una orientación preferente hacia el sur y suroeste. Las líneas amarillas encierran la zona de posible concentración de caídas.



El agua acumulada puede generar efectos como variaciones de volumen en los rellenos o aumento de presiones entre fisuras preexistentes, removiendo los suelos o materiales naturales que puedan funcionar de forma cohesiva, empujando y hacer desprender las rocas por gravedad.



**Figura 15.** Mapa de drenajes o escorrentía superficial de detalle del cerro Aparinacu. Se observan pequeñas crestas en la ladera, resaltadas con líneas punteadas negras.

Cabe mencionar que en dicha ladera puede observarse bloques de rocas que se desprendieron durante eventos antiguos (figura 16). Además, la forma de los pedimentos sugiere la ocurrencia de eventos similares o de mayor magnitud en el pasado.



**Figura 16.** Bloques de caídas antiguas (líneas amarillas), ubicados en la ladera del cerro Aparinacu, de aproximadamente 4 m de diámetro.

Los factores condicionantes y detonantes para ocurrencia del evento:

Condicionantes:

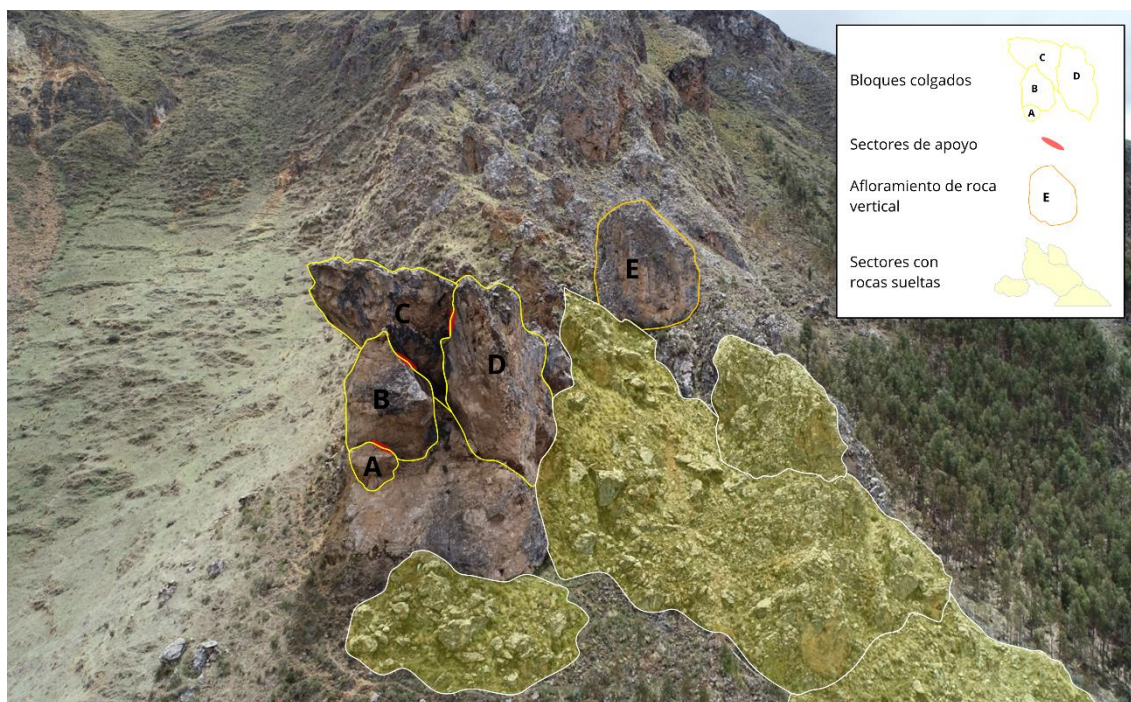
- El abrupto relieve de laderas empinadas con pendientes superiores a 45°.
- Discontinuidades relacionadas a la disposición vertical de los estratos.
- Morfología de la ladera.
- El macizo rocoso alterado muy fracturado.
- La meteorización es característico a los afloramientos calcáreos.
- La disposición vertical de caras de montículos rocosos.
- Ausencia de cobertura vegetal.

Detonantes:

- Precipitaciones pluviales intensas.
- Eventos sísmicos.

### 6.1.1.2. Bloques rocosos colgados en ladera del cerro Aparinacu.

En el sector con coordenadas 501985 O; 8587371 N, se puede observar un montículo rocoso, de litología calcárea alterada, sobresaliendo la ladera del cerro Aparinacu, sobre los 3900 m.s.n.m. El afloramiento esta encuentra fracturado y separado en 4 bloques, espaciados hasta en 5 m. Los bloques tienen puntos de apoyo comunes, sosteniéndose entre sí.

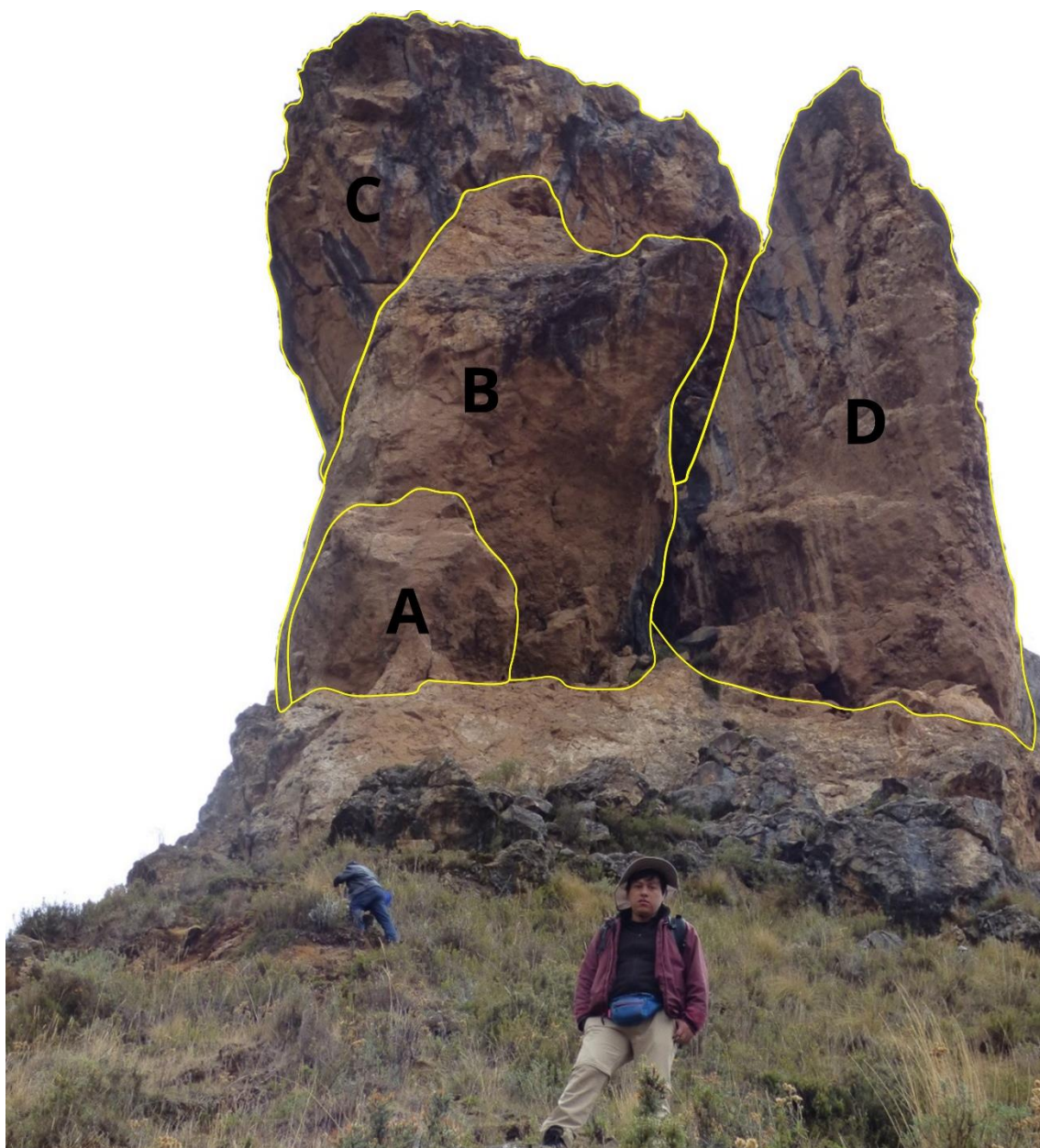


**Figura 17.** Fotografía aérea de ladera del cerro Aparinacu mostrando bloques colgados. También se observa detalle de la zonas con materiales fracturados.

Los bloques tienen sus caras libres principalmente hacia el sur, suroeste y ligeramente al sureste (figura 14), observándose colgados. El bloque A es pequeño el cual se encuentra por debajo, acuñando y sosteniendo a dos de dimensiones mayores. El bloque B se encuentra entre A y C. El bloque C es de mayor proporción y se encuentra sobre B y A, se observa como una rampa, naciendo desde la cresta del cerro. El bloque D se encuentra parado, con fracturamiento marcado en su base, apoyado en C

en su parte alta (figura 18). Este bloque tiene sus caras libres hacia el sur y levemente hacia el sureste.

En la zona de coordenadas 502052 O; 8587373 N, se observa otro bloque con características similares a los antes descritos al cual codificamos con la letra E (figura 17). Se encuentra dispuesto de forma vertical. No muestra fracturamiento en su base, por lo cual se descarta que se movilice en un solo movimiento, sin embargo tiene fracturamiento marcado en distintos sectores por lo cual puede ser fuente de caída de bloques menores.



**Figura 18.** Vista de afloramiento rocoso de bloques colgados en el cerro Aparinacu.

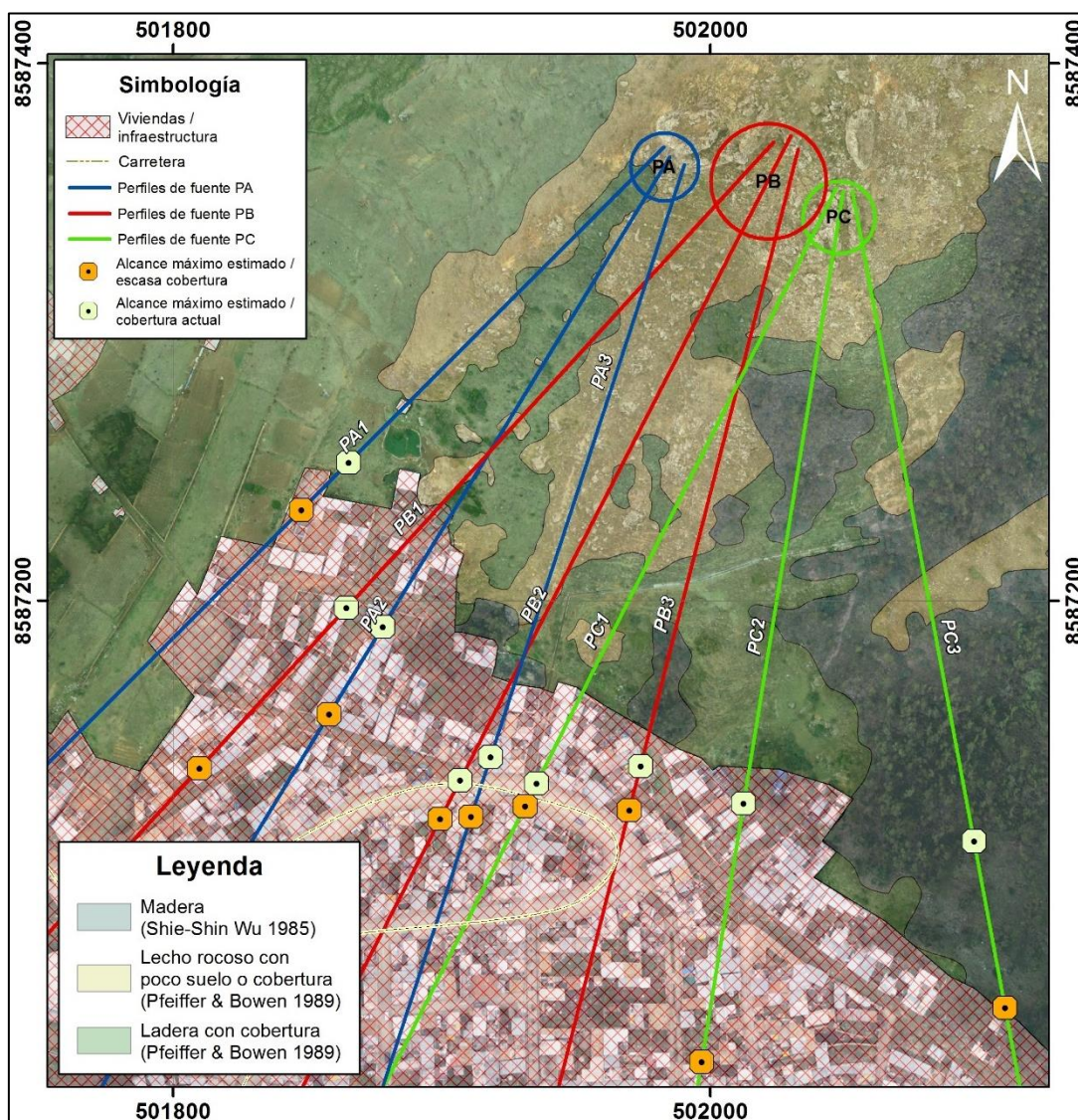
Cabe mencionar que estos bloques no son los únicos con potencial a desprenderse en el cerro Aparinacu. El sector ubicado entre las coordenadas 502026 O; 8587328 N y 502048 O; 8587342 N también está presente grandes bloques sueltos, sin embargo son de menor dimensión a los antes descritos.

### 6.1.1.3. Análisis de caída de rocas del cerro Aparinacu

Para conocer con más detalle las características del evento fue necesario generar escenarios que permitan conocer el movimiento del bloque de rocas y su longitud de alcance con mayor precisión. Para ello se utilizó el software Rocfall, con el que es posible conocer los alcances máximos de desplazamiento y acumulación de bloques, de acuerdo a determinadas condiciones (topografía, materiales, entre otros), en dos dimensiones.

Para desarrollar los escenarios de caída, se utilizaron secciones transversales de la ladera (Anexo 1), obtenidas de DEM's a detalle, procesados a partir de imágenes aéreas tomadas por Remote Piloted Aircraft (RPA). Con la topografía también se obtuvieron mapas de orientación de laderas (figura 14) y densidad de drenajes (figura 15), los cuales sirven para diseñar correctamente la orientación de las secciones (figura 19).

Las fotografías aéreas también sirven para obtener un ortomosaico georeferenciado, con el cual se realizó el cartografiado detallado de los materiales presentes en la ladera, para diferenciarlos de acuerdo a su coeficiente de compacidad (figura 19), utilizando valores propuestos (Pfeiffer & Bowen 1989; Wu, Shie Shin 1985).



**Figura 19.** Mapa de alcance de rocas y materiales por coeficiente de compacidad de la ladera del cerro Aparinacu

Para minimizar las limitaciones que se tienen en los modelos 2D, se generaron dos escenarios: 1) se considera una ladera homogénea, formada por substrato rocoso con suelo y cobertura vegetal; 2) ladera con su configuración actual, donde hay presencia de roca caliza con suelos de poco espesor y diseminada cobertura vegetal.

Se tuvo en cuenta la comparación con un solo substrato dado que, la mayor parte de la ladera presenta afloramientos rocosos. Otra limitación que podría reducirse con la comparación, es que los rebotes no siempre continúan en línea recta, así como superficie de diferente forma y composición, que cambia el comportamiento del bloque, reduciendo o acelerando su velocidad, dependiendo del caso.

Los escenarios simulados para ladera homogénea dieron como resultado que, en las secciones propuestas, el alcance máximo es 320 m desde su origen. La caída llega a afectar viviendas asentadas al pie de ladera.

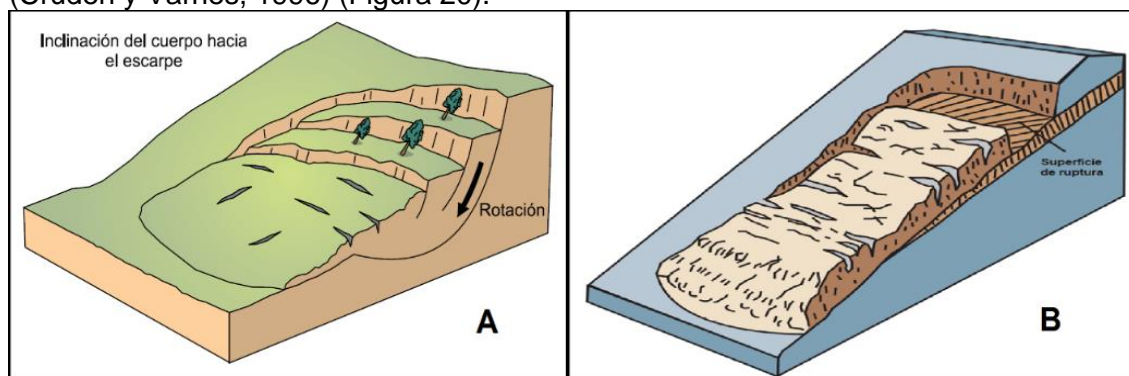
Los escenarios corridos para la ladera actual, muestran una disminución en el alcance de las rocas caídas. Sin embargo, la mayoría de los casos afectan viviendas. Esto se corrobora con los resultados de las secciones PA3, PB2 y PC1, los que coinciden con evento ocurrido el pasado mes de marzo. Este contexto también muestra la disminución de alcance en relación a la presencia de cobertura, como se observa en la sección PC3.

Del análisis de la simulación en ambos contextos se obtiene, que las rocas desprendidas del cerro Aparinacu pueden afectar a las viviendas del pie de ladera hasta los 270 m, desde sus orígenes identificados. Los bloques aumentan la energía de velocidad a media ladera cuando entra en contacto con substrato rocoso, reducen sobre cobertura vegetal o bosque (figura 19). Las rocas se acumulan al pie de ladera y en otras zonas con barreras topográficas marcadas (ANEXO 1).

Es importante mencionar que los escenarios fueron generados para rocas con peso entre 50 y 100 kg, las que tienen semejantes características a los últimos eventos desencadenados en periodo de lluvias. El alcance máximo simulado no serían representativos para los grandes bloques suspendidos en el cerro Aparinacu (figura 18).

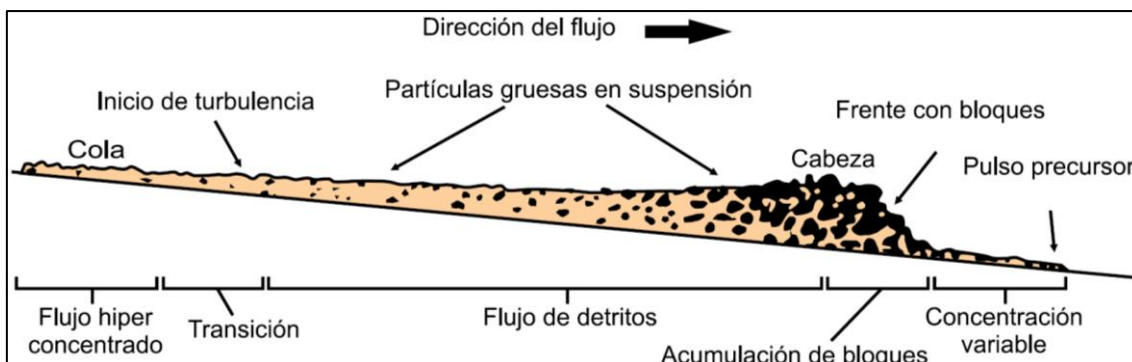
## 6.2. Deslizamientos, flujos y erosión de laderas

Los **deslizamientos** son movimientos ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante (PMA 2007). En la zona se observan deslizamientos de tipo **rotacional** (PMA 2007) y **traslacional** (Cruden y Varnes, 1996) (Figura 20).



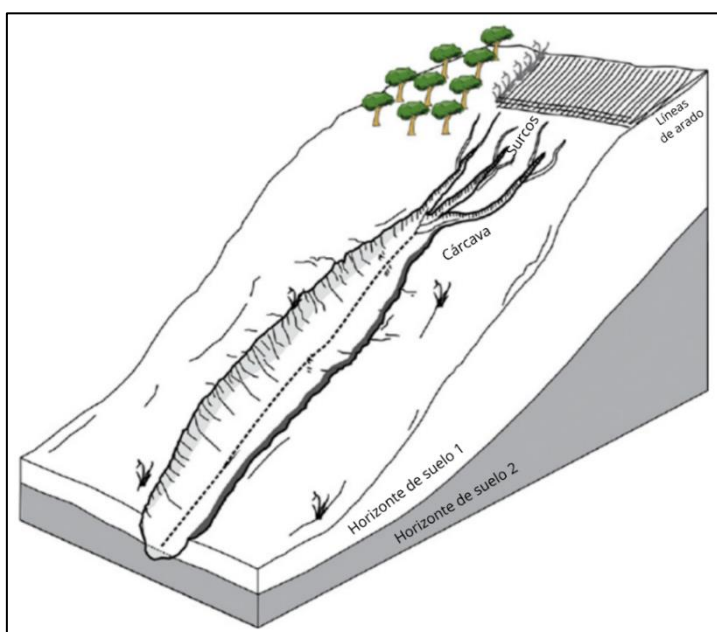
**Figura 20.** A. Esquema de deslizamiento rotacional (PMA 2007) B. Esquema de deslizamiento traslacional (USGS 2004).

Los **flujos de detritos** (figura 21) son movimientos en masa que transcurren principalmente confinados a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos (PMA 2007).



**Figura 21.** Corte esquemático típico de un flujo de detritos. Frente con bloques de un pulso del flujo de detritos (diagrama de Pierson, 1986, en PMA 2007).

Las **cárcavas** (figura 22) son pequeños valles de paredes verticales y cabeceras verticalizadas y perfiles longitudinales de pendiente elevada, que transmiten flujos efímeros y están sujetos a una intensa erosión hídrica (Lucía et al., 2008), además de a la ocurrencia de movimientos en masa como flujos, derrumbes y deslizamientos.



**Figura 22.** Esquema de cárcavas formadas por profundización en surcos. Tomado y modificado de (Shruthi B.V. et al., 2011)

### 6.2.1. Deslizamientos, flujos y erosión de laderas, al noroeste de barrio la Quinta Boliviana.

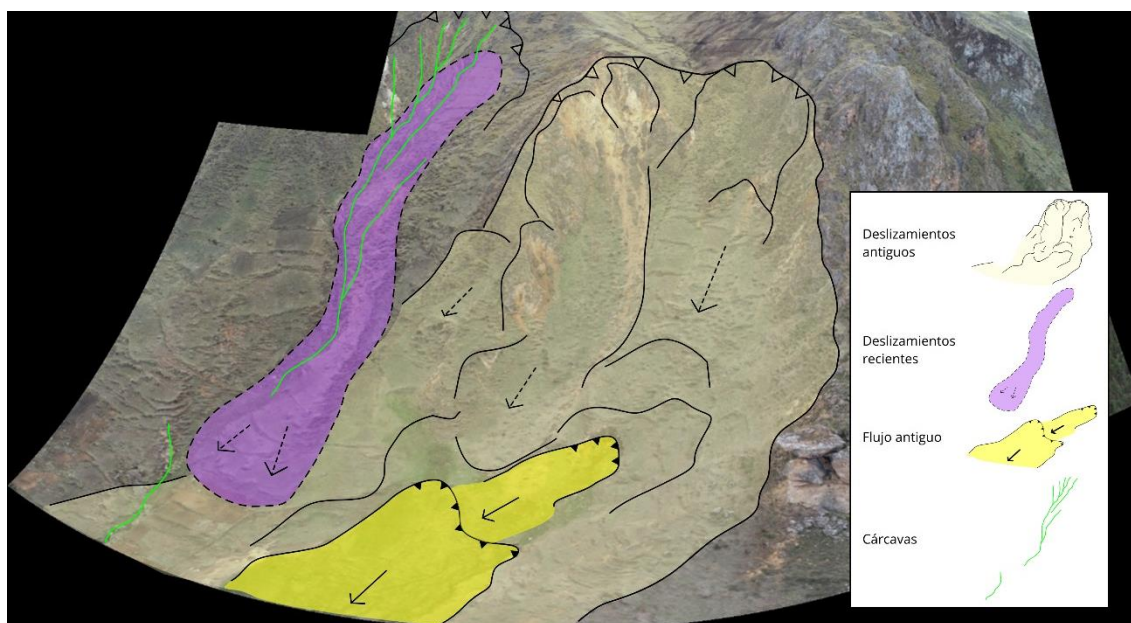
El sector oeste, continuo a la ladera con caídas, ubicado en el ámbito de las coordenadas 502037 O; 8587616 N, muestra evidencias de deslizamientos, flujos antiguos y actuales procesos de erosión (figura 23). La zona tiene como substrato volcánico de la formación Tantara. Se observa poca cobertura vegetal, la cual está compuesta principalmente por escasos arbustos y pastos. La parte alta es utilizada como terrenos agrícolas. La ladera tiene en gran extensión, pendientes superiores a

los 40°. La cabecera de ladera muestra un lineamiento con buzamiento hacia el sur que pudo condicionar la ocurrencia de los eventos.

El evento más grande del sector es un deslizamiento antiguo de aproximadamente 350 m de corona y 190 m de ancho de superficie de ruptura, orientado hacia el SO y con 360 m de diferencia de alturas entre corona y pie. La formas del depósito y escarpe principal indican que el deslizamiento es de tipo rotacional desplazado a manera de flujo. Es importante mencionar al pie del escarpe principal se conservan depósitos sueltos, de reactivaciones pasadas.

Este evento presenta agrietamientos y reptación, en la zona con coordenadas 501900 O; 8587437 N, lo cual sugiere deslizamientos de menor proporción en proceso de formación, en el cuerpo del evento antiguo. Estas reactivaciones predisponen la formación de eventos más grandes. Cabe mencionar que en la zona de reactivaciones se observa constante acumulación de agua. Otro aspecto a resaltar es la presencia de viviendas y lotes en la zona de pie del deslizamiento antiguo.

El sector con coordenadas 501839 O; 8587618 N muestra la presencia de procesos de erosión activos, en los flancos y cuerpo de un flujo antiguo, orientados hacia el S. La morfología indica que el flujo se formó como deslizamiento, a los 4200 m.s.n.m., movilizándose sobre el deslizamiento antiguo hasta a los 3800 m.s.n.m. Cabe resaltar que la zona de cono del flujo antiguo esta actualmente ocupada por viviendas y lotes.



**Figura 23.** Ejemplos de caída de roca fragmentada (Evans, S.G., y Hungr, O., 1993).  
 Fuente: Figura tomada de PMA (2007).

### 6. 3. Evidencias de tectónica activa al norte de Huancavelica.

Mediante el análisis de fotografías aéreas e satelitales se identificó un lineamiento de dirección EO, en la parte alta de la ladera del cerro Aparinacu, con características de falla normal de buzamiento hacia el S, de aparente reactivación cuaternaria.

Si la falla se encontraría deformando depósitos recientes, se podría afirmar que es una falla activa con potencial sismogénico. La presencia de una falla activa pudo condicionar la ocurrencia de los grandes movimientos en masa antiguos, en esta ladera y en todo el contexto local.

## 7. PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS

En esta sección se dan algunas propuestas generales de solución para la zona de estudio, con la finalidad de minimizar las ocurrencias de caída de rocas, procesos de erosión de laderas, entre otros; así como también para evitar la generación de nuevas ocurrencias. (ver figura 28)

### 7.1 Para caída de rocas.

#### a) Mallas Ancadas:

Son mallas exteriores de alambre galvanizado ancladas con pernos para evitar la ocurrencia de desprendimientos de bloques de roca (Figura 24)).

Debe tenerse en cuenta que los anclajes de mallas protegen de la caída de bloques superficiales, pero no representan estabilidad para el caso de fallas de bloques grandes o movimientos de grandes masas de suelo o roca.



**Figura 24.** Control de caída de rocas utilizando mallas ancladas

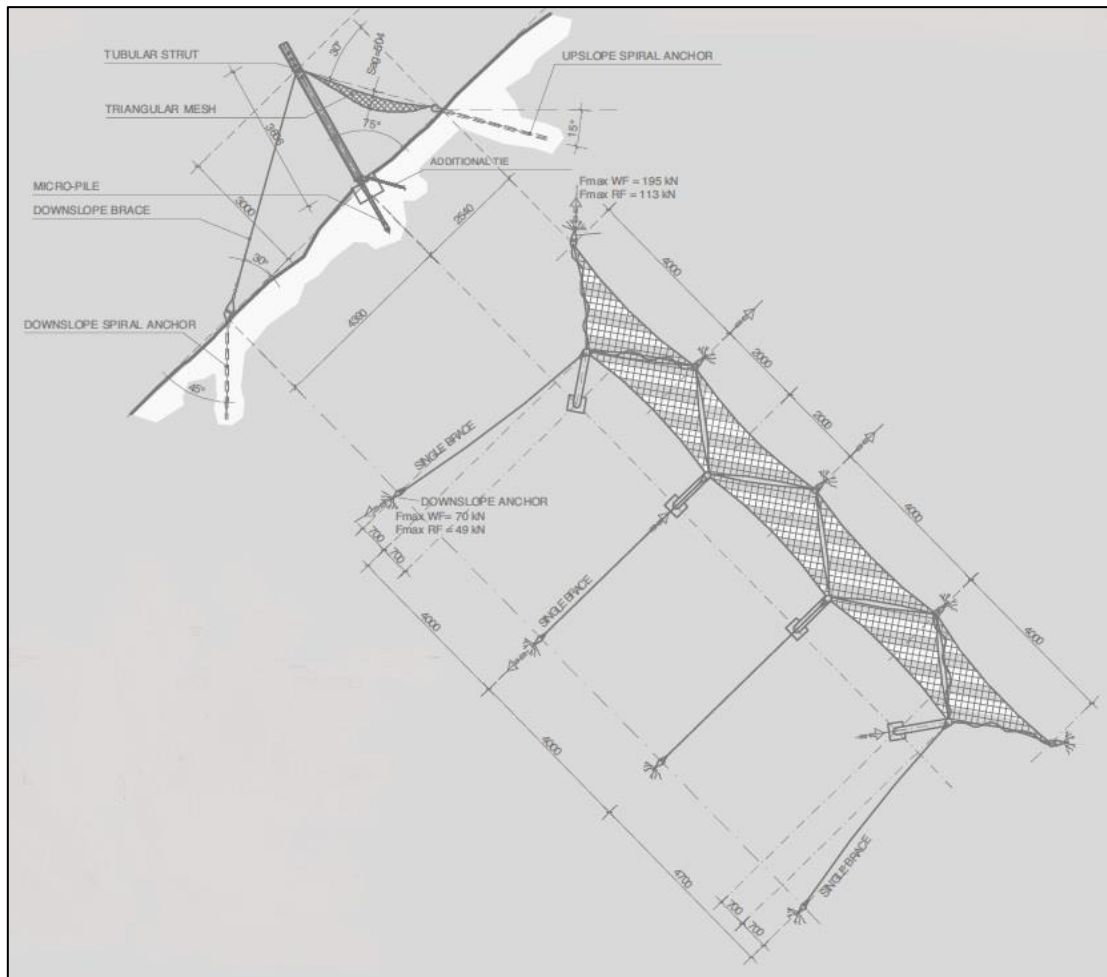
Las mantas de malla ancladas pueden utilizarse para impedir el movimiento de bloques pequeños (menos de 0.6 a 1.0 metro de diámetro) o masas subsuperficiales delgadas de roca. Sin embargo, en ocasiones las mallas ayudan a atenuar el movimiento de grandes bloques. En principio la malla anclada actúa como una membrana alrededor de la masa o bloque inestable; a su vez pueden ser reforzadas con cables, los cuales se amarran a los anclajes.

#### b) Barreras dinámicas de caída de rocas.

En ciertas situaciones de riesgo de caída de roca, puede que no sea práctico instalar una malla de protección contra cortinas o estabilización de la superficie debido a problemas técnicos, topográficos, de acceso o económico. En estos casos a menudo se proporciona una solución rentable mediante la instalación de barreras dinámicas de caída de rocas en la cara de la pendiente.

Las barreras dinámicas de protección contra desprendimientos se caracterizan por su capacidad de absorción de impactos. Por ello conforman un sistema muy eficaz y seguro para detener la caída de rocas y otras masas. Sus configuración varía de acuerdo con la energía requerida en el impacto previsto. (Figura 25 y 26)





**Figura 25.** Mallas dinámicas a caída de rocas



**Figura 26.** Ejemplo de mallas dinámicas a caída de rocas

### c) Reforestación

La forestación es una de las formas más eficientes de protección, generalmente se utilizan barreras muy densas de especies con sistema de raíces muy denso y profundo y baja altura de follaje (figura 27).

La especie vegetal debe seleccionarse que sea compatible con las condiciones del suelo y el sitio, incluyendo disponibilidad de agua, nutrientes, PH, clima, regulaciones, etc.

Se recomienda utilizar plantas de tallo fuertes y raíz profunda para que soporte al contacto con los bloques que se desprendan y disminuya la energía de movimiento ladera abajo.



**Figura 27.** Reforestar ladera para protección ante caída de rocas.

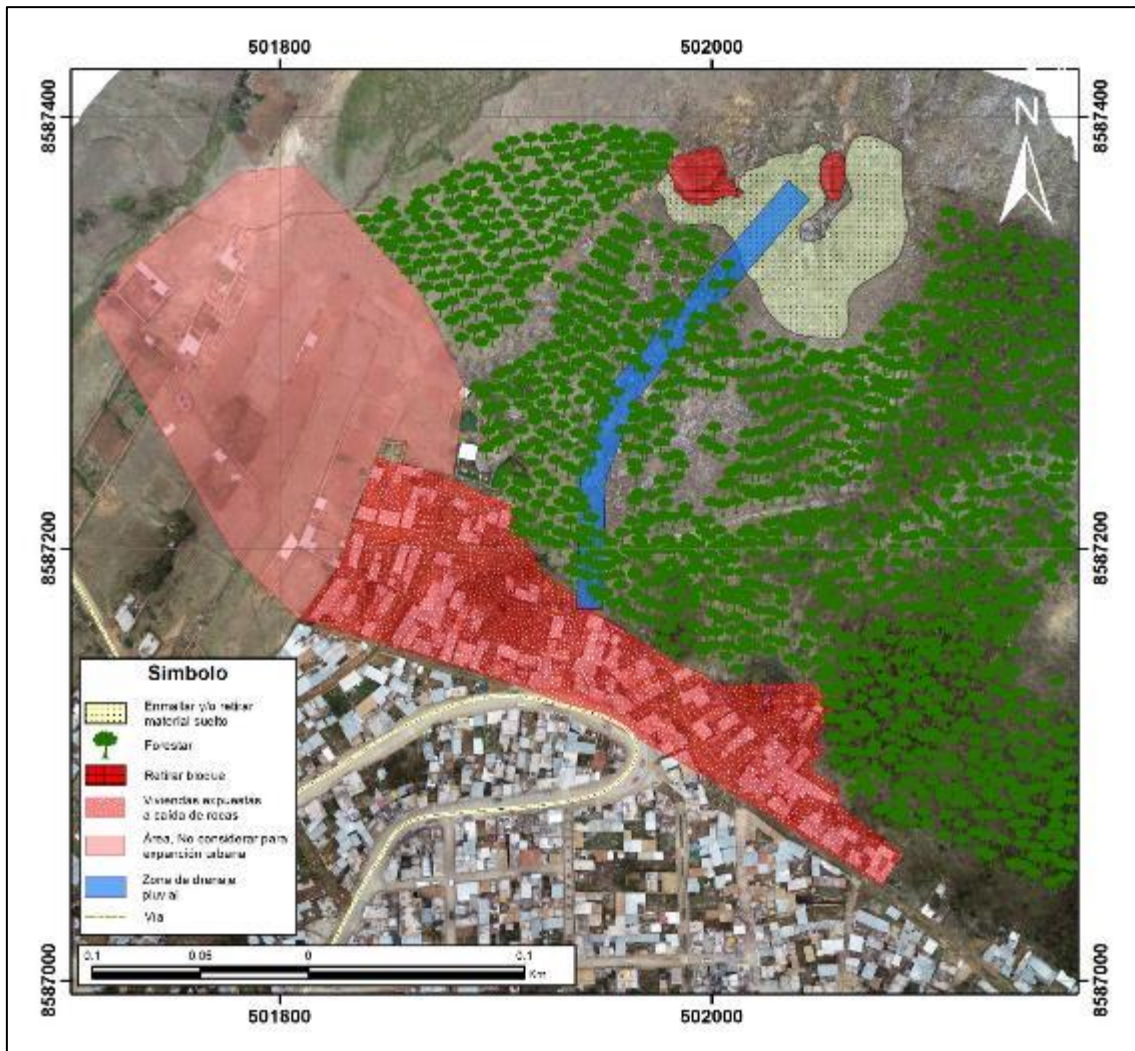


Figura 28. Propuesta de intervención.

## CONCLUSIONES

1. Geomorfológicamente el barrio la Quinta Boliviana, se encuentra emplazado sobre terrazas aluviales y depósitos coluvio deluviales, al pie del cerro Aparinacu, de laderas abruptas con pendientes superiores a 40° de montañas en roca volcánico-sedimentaria.
2. La geología de la zona la constituyen principalmente afloramientos de las formaciones Chunumayo y Tantara además de depósitos aluviales, proluviales y coluviales.
3. La saturación de suelos se incrementa en época de lluvias (entre diciembre y marzo). Las fuertes precipitaciones pluviales generan meteorización y desmovilización de depósitos coluviales de las escarpadas laderas del cerro Aparinacu.
4. La ciudad de Huancavelica tiene registros históricos de sismos de importantes intensidades, que afectaron a la población y localidades cercanas. Los epicentros son principalmente subductivos y de probables fuentes corticales cercanas activas.
5. Las laderas del cerro Aparinacu, presenta susceptibilidad de alta a muy alta, a peligros por movimientos en masa.
6. En los trabajos de campo se identificaron caída de rocas, deslizamientos flujos antiguos y erosión de ladera. Estos eventos son desencadenados principalmente en la época de lluvias.
7. Las viviendas del barrio la Quinta Boliviana se ubica al pie de la ladera de condiciones morfológicas con pendiente escarpado de más de 45°, su litología está constituida principalmente por roca caliza muy fracturada y meteorizada. La caída de rocas, del mes de marzo se generaron sobre los 4000 m.s.n.m., teniendo una altura de 170 m, una distancia de recorrido de 230 m desde el punto de inicio. El sector presenta bloques sueltos propensos a caer. Los bloque desprendidos que afectaron viviendas tienen dimensiones entre 0.5 a 1.2 m de diámetro. También se observan bloques de eventos antiguos hasta 4 m de diámetro.
8. Según el análisis de escorrentía, se identifican dos crestas que encierran una zona de escorrentía superficial y concentración de drenaje que actúa transportando aguas y sedimentos (clastos, arenas en matriz limoarcillosa) durante la ocurrencia de intensas lluvias, hacia las viviendas recientemente afectadas.
9. La simulación de caída de rocas, utilizando el software Rocfall - Rocscience se considera bloques de roca que tenga peso entre 50 y 100 kg y ladera de pendiente muy fuerte (>45°) para los dos escenarios generados, se obtiene los siguientes resultados:
  - a) para laderas homogéneas, formadas por substrato rocoso con suelo y cobertura vegetal, resultado una distancia máxima de recorrido en condiciones actuales de 270 m.
  - b) ladera sin cobertura vegetal alcanza una distancia hasta los 320 desde el punto de inicio. Cabe resaltar que los datos de estas simulaciones deben ser aplicados considerando las condiciones geomorfológicas y geológicas pasadas y actuales, las que están limitadas en su descripción por la antropización actual de la ladera.
10. La ladera del sector con coordenadas 502037 O; 8587616 N, muestra evidencia de deslizamientos activos y antiguos, flujos antiguos y actuales procesos

de erosión, condicionados por un gran deslizamiento antiguo de 350 m de corona y 30 de altura entre corona y pie. Este evento antiguo condiciono la actúa morfología de la ladera con pendientes superiores a las 40°. Actualmente se observa reactivaciones, a modo de agrietamientos y repacion en el sector con coordenadas 501900 O; 8587437 N. El sector con coordenadas 501839 O; 8587618 N muestra la presencia de procesos de erosión activos, en los flancos y cuerpo de un flujo antiguo, orientados hacia el S. El carcavamiento de la parte alta predispone la ocurrencia de movimientos en masa hacia las viviendas y lotes ubicados al pie.

11. Por las condiciones geológicas y morfológicas actuales, se presentan eventos de tipo caída de rocas, la ladera del cerro Aparinacu considerado inestable debido a la ocurrencia de eventos como el ocurrido el mes de marzo del 2018. Por lo tanto las viviendas del barrio la Quinta Boliviana ubicadas al pie de la ladera, estos siendo vulnerables ante nuevos eventos: el área se considera como Zona Critica, de muy alto peligro a eventos por movimientos en masa. Por lo que se encuentra en Peligro Inminente ante la presencia de lluvias intensas y/o excepcionales y sismos.

## RECOMENDACIONES

1. Reforestar completamente la ladera del cero Aparinacu y prohibir la deforestación de la misma.(Figura 28)
2. Implementar un sistema de monitoreo de la zona. Puede ser visual, topográfico y de ser posible instrumental.
3. Restringir el acceso de personas al afloramiento que presenta bloques colgados o donde se generan caída de rocas.
4. Retirar (desquinchar) progresivamente los bloques suspendidos, resaltado en la figura 28. Estos deben ser retirados asegurando mediante enmallado o un sistema de anclaje entre sí, así evitar que se desprenda hacia el flanco sur. Estos trabajos deben ser diseñados y dirigidos por profesionales con experiencia en el tema.
5. Retirar las rocas sueltas o enmallar las zonas a aporte de rocas, resaltadas en la figuras 24, 25 y 26.
6. Implementar de un sistema de drenaje para la zonas de acumulación de agua y escorrentía superficial visibles en la figura 15 (Figura 27).

## REFERENCIAS

- Silgado, E. (1978). "Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974)", Bol. 3, Serie C, Instituto de Geología y Minería, Lima-Perú, 133 pp., 1978
- Tavera, H., Agüero, C., & Fernández E., (2016). Catálogo general de isosistas para sismos peruanos. IGP - Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida / Unidad de Sismología.
- Vilchez, M., Luque, G. & Rosado, M. (2013) – Estudio de riesgo geológico en la región Piura. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 52, 250 p., 9 mapas.
- Romero, D.; Torres, V. (2003). Mapa geológico actualizado del cuadrángulo de Huancavelica (26-n), INGEMMET, DGR.
- Zabala, B. & Velarde, T. (2008). "Caracterización geológica de los depósitos superficiales en las Pampas de Nazca Líneas y Geoglifos de Nazca". INGEMMET, Informe Técnico, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, p. 11.
- Varnes, D. J., 1978, Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176, p. 9–33.
- Evans, S.G., y Hungr, O., 1993. The analysis of rock fall hazard al the base of talus slope: Canadian Geotechnical Journal, v. 30, p.620-636.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007) - Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.
- Pfeiffer, T.J., and Bowen, T.D. (1989) - "Computer Simulation of Rockfalls." Bulletin of Association of Engineering Geologists. Vol. 26, No. 1. 1989. pp135-146.
- Wu, Shie-Shin "Rockfall evaluation by computer simulation" Transportation Research Records.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996, Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247, p. 36–75.
- USGS 2004 - Landslide Types and Processes, U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey, <https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf>
- Pierson, T.C., 1986, Flow behaviour of channelized debris flows, Mount St. Helen's, Washington, en Abrahams, A.D., ed., Hillslope processes: Boston, Allen and Unwin p. 269–296.

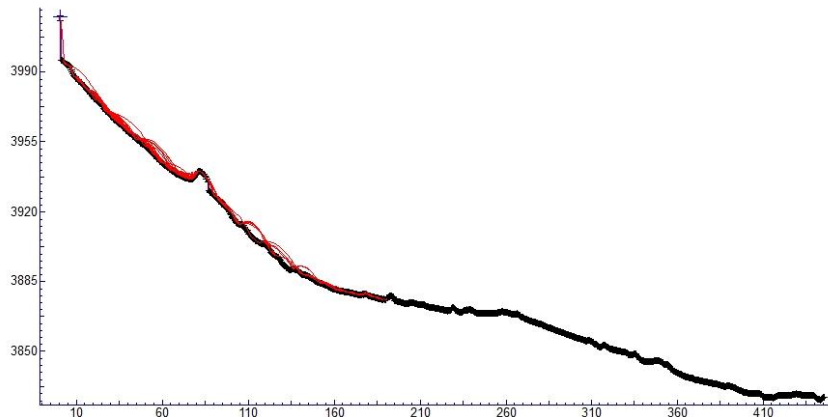
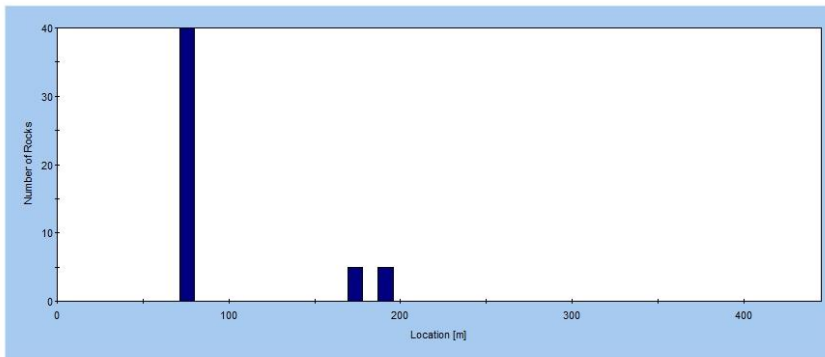
- Lucía, A.; Vicente, F.; Martín-Moreno, C.; Martín-Duque, J.F.; Sanz, M.A.; De Andrés, C.; Bodoque, J.M.; 2008. Procesos geomorfológicos activos en cárcavas del borde del piedemonte norte de la Sierra de Guadarrama (Provincia de Segovia, España). Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sec. Geol.), 102: 47-69.
- Shruithi, R. B. V., Kerle, N., & Jetten, V. G. (2011). Object - based gully feature extraction using high spatial resolution imagery. *Geomorphology*, 134(3-4), 260-268. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.07.003

ANEXO 1

**SECCIONES SECTOR FUENTE PA**

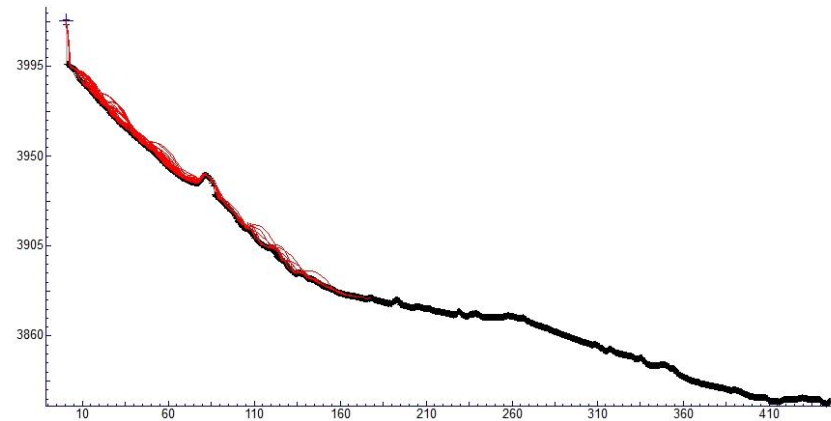
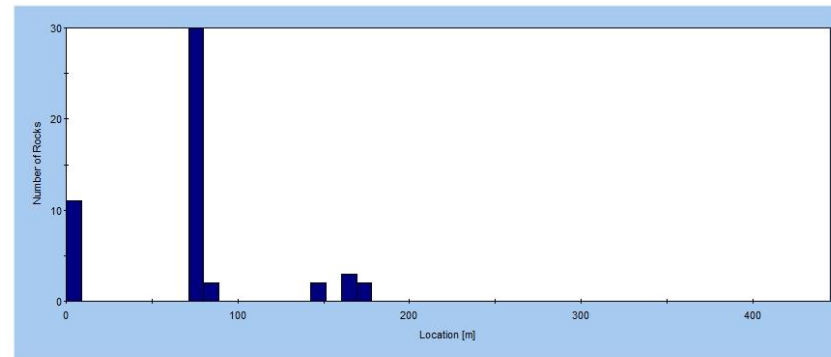
**PA\_1 (Ladera con escasa cobertura)**

Horizontal Location of Rock End-points



**PA\_1\_COM (Ladera actual)**

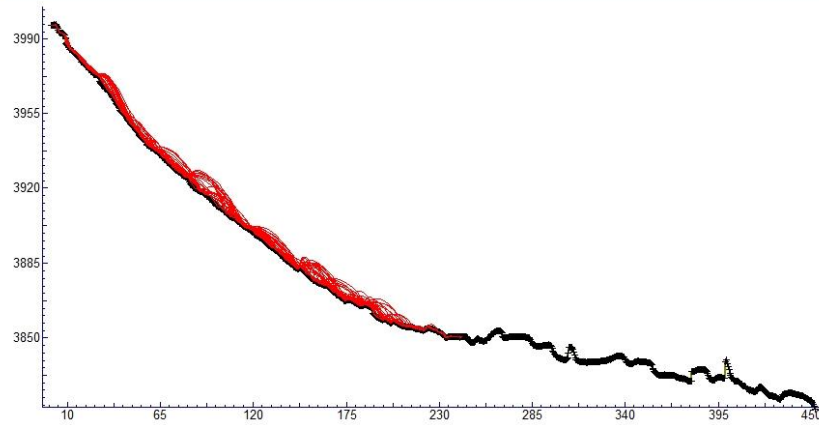
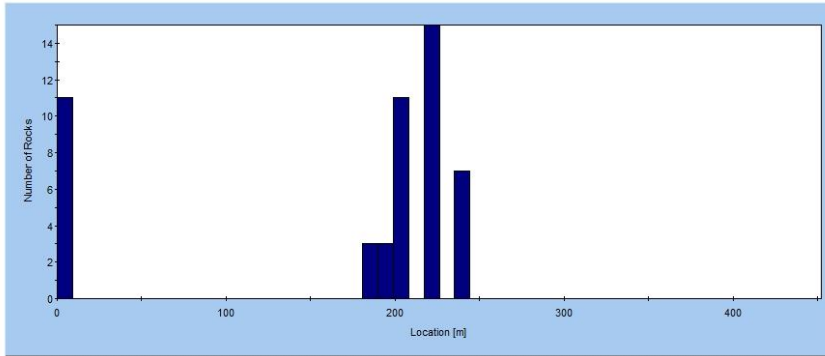
Horizontal Location of Rock End-points





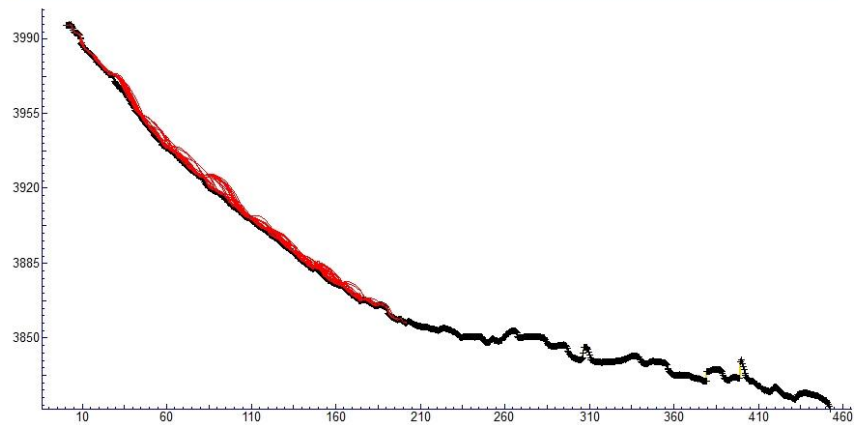
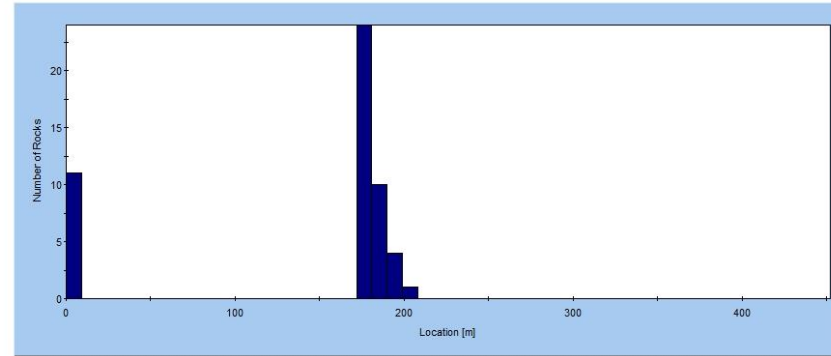
**PA\_2 (Ladera con escasa cobertura)**

Horizontal Location of Rock End-points



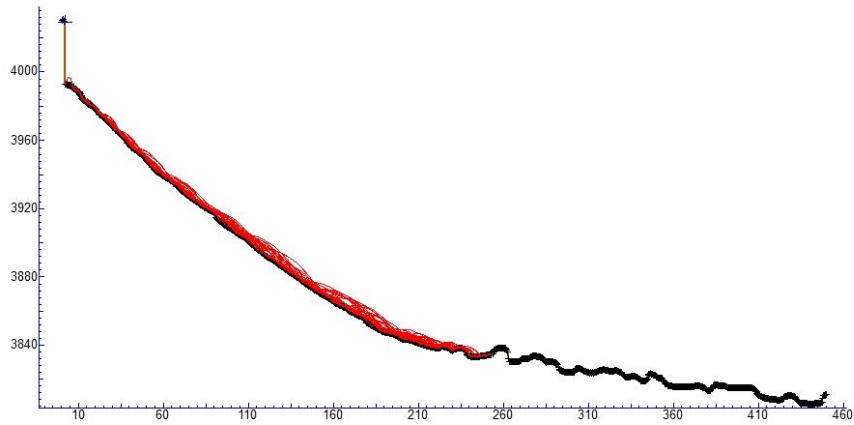
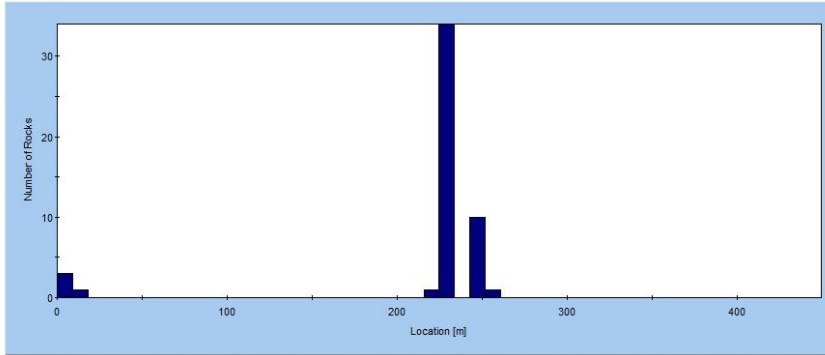
**PA\_2\_COM (Ladera actual)**

Horizontal Location of Rock End-points



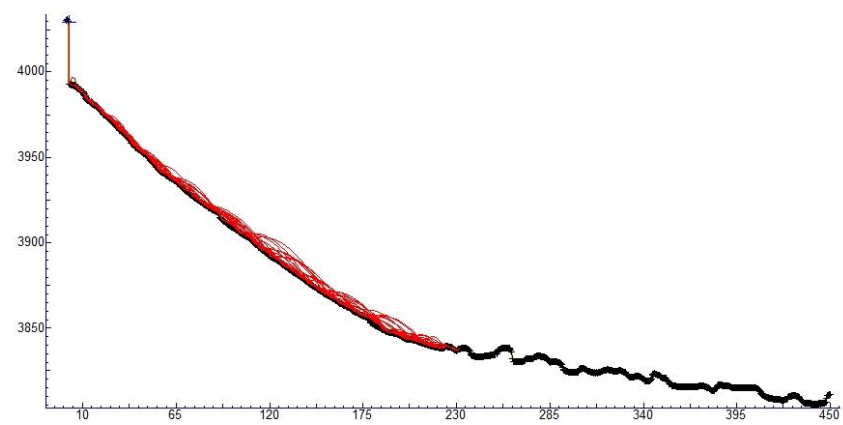
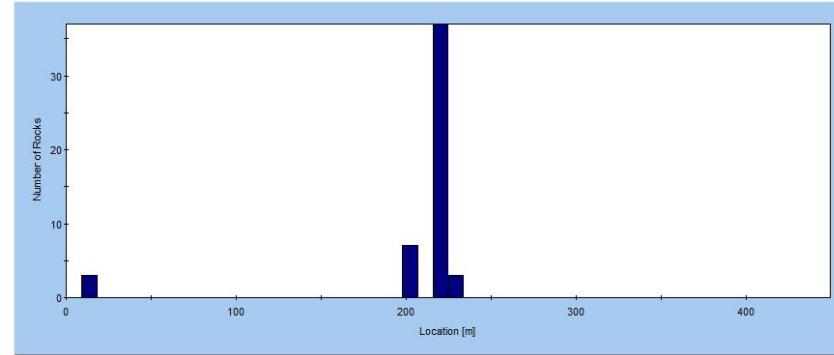
**PA\_3 (Ladera con escasa cobertura)**

Horizontal Location of Rock End-points



**PA\_3\_COM (Ladera actual)**

Horizontal Location of Rock End-points



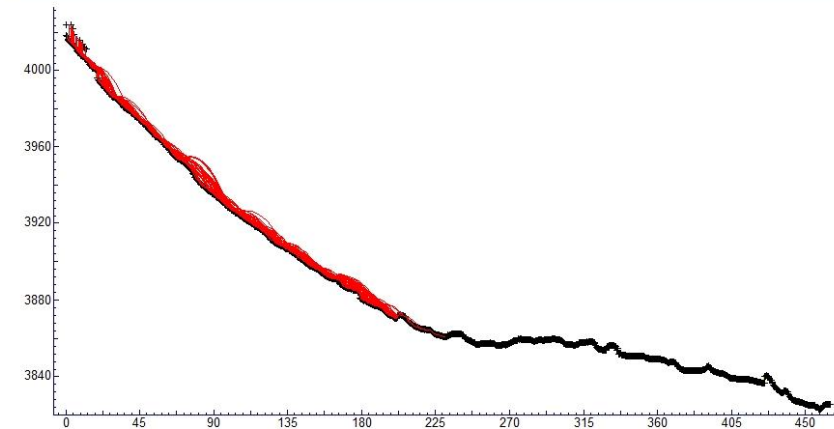
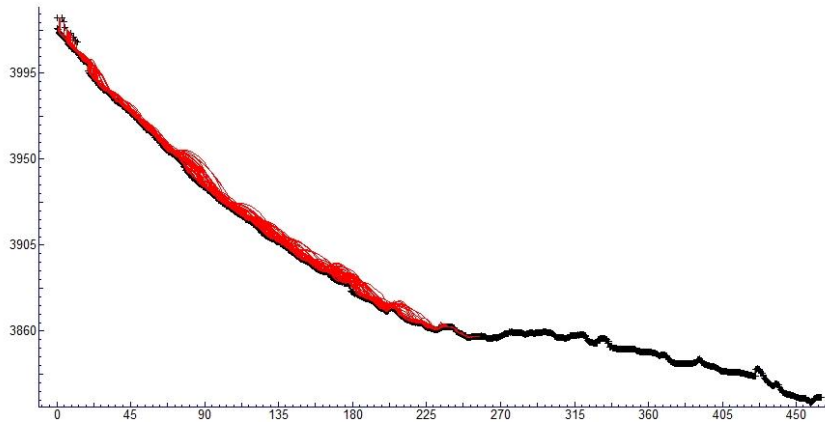
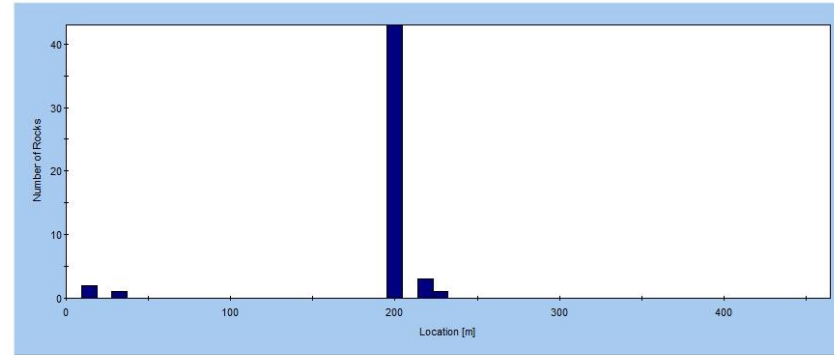
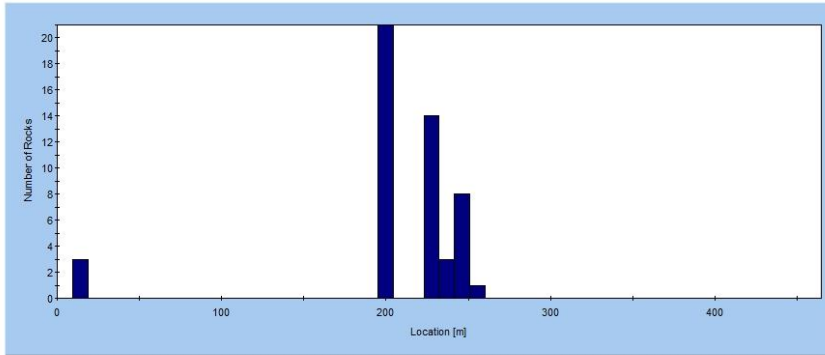
**SECCIONES SECTOR FUENTE PB**

**PB\_1 (Ladera con escasa cobertura)**

**PB\_1\_COM (Ladera actual)**

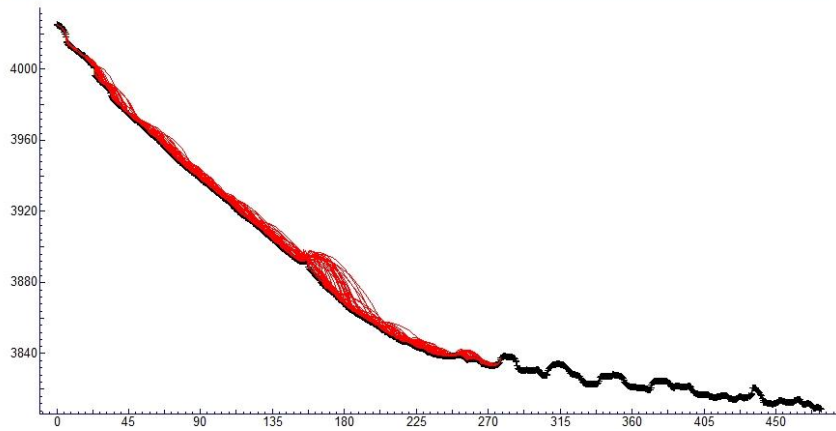
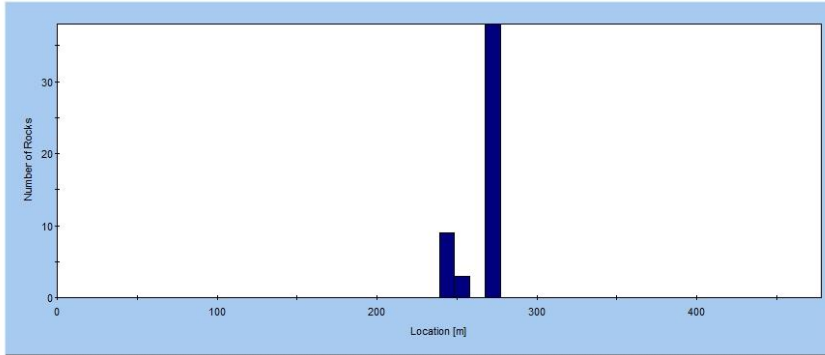
Horizontal Location of Rock End-points

Horizontal Location of Rock End-points



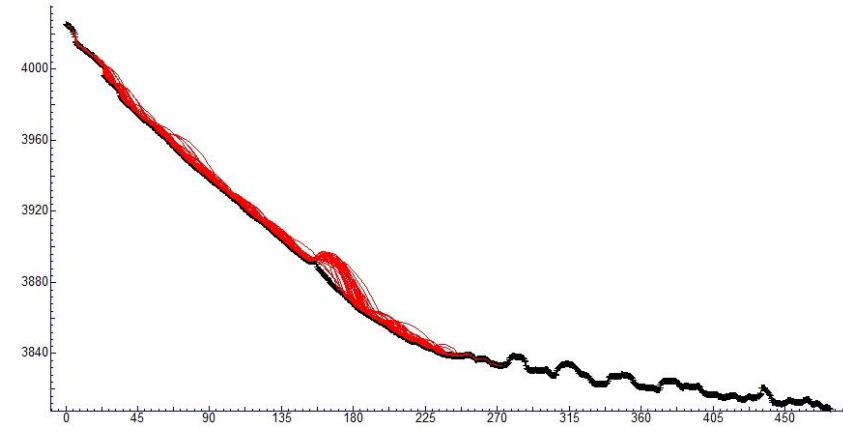
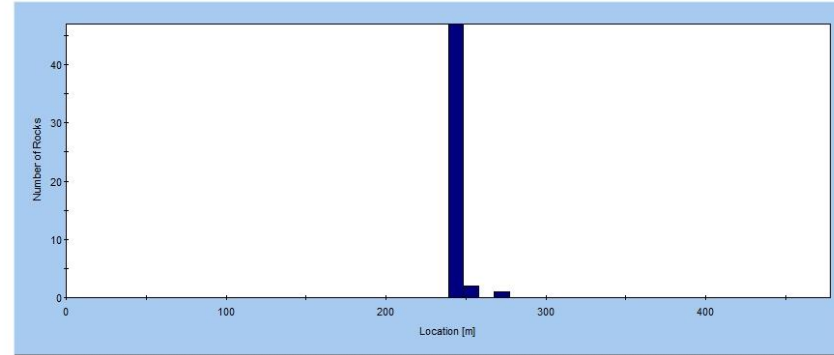
**PB\_2 (Ladera con escasa cobertura)**

Horizontal Location of Rock End-points



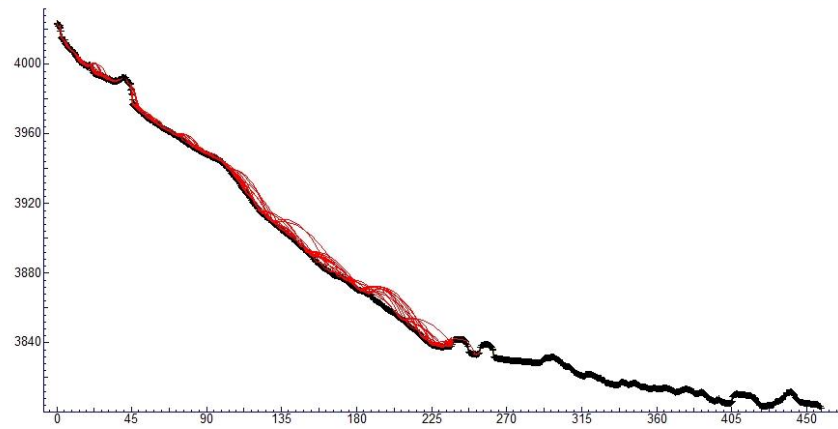
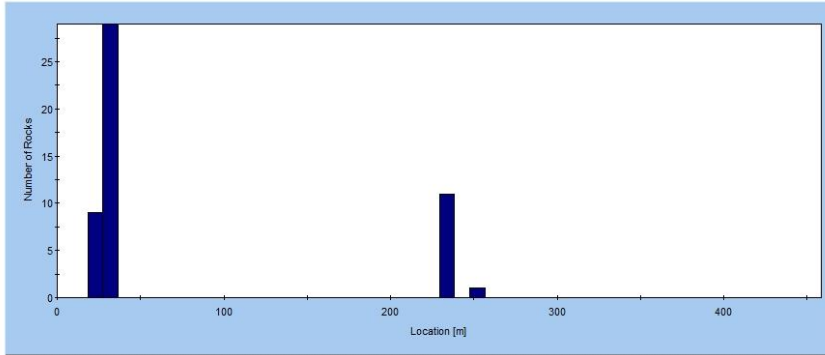
**PB\_2\_COM (Ladera actual)**

Horizontal Location of Rock End-points



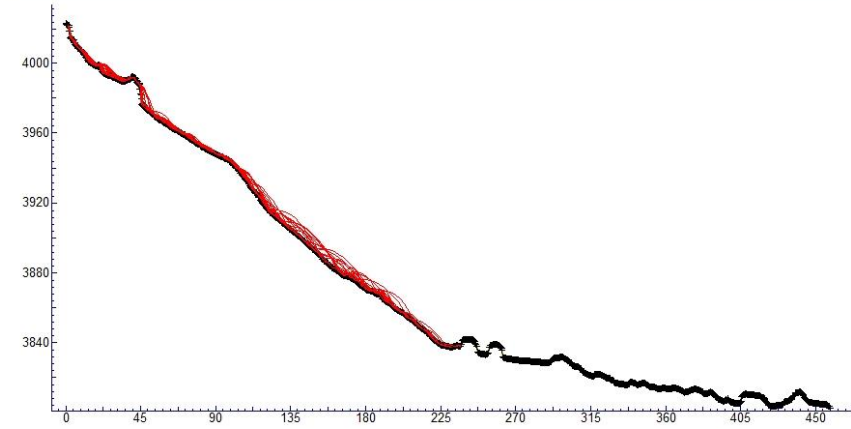
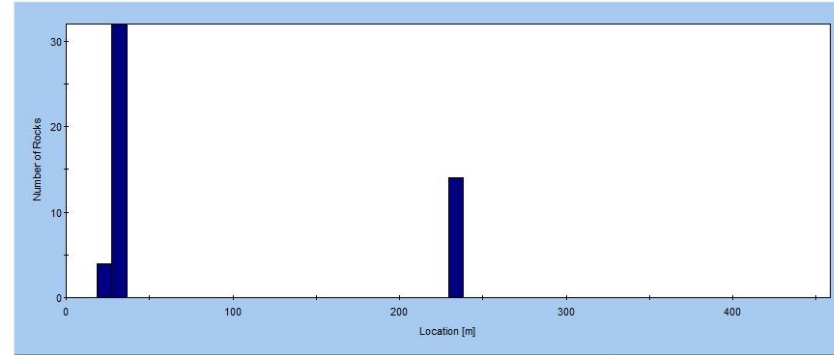
**PB\_3 (Ladera con escasa cobertura)**

Horizontal Location of Rock End-points



**PB\_3\_COM (Ladera actual)**

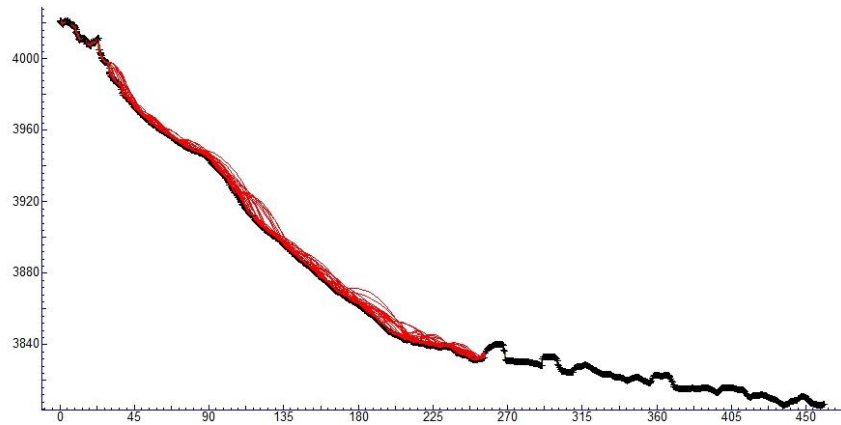
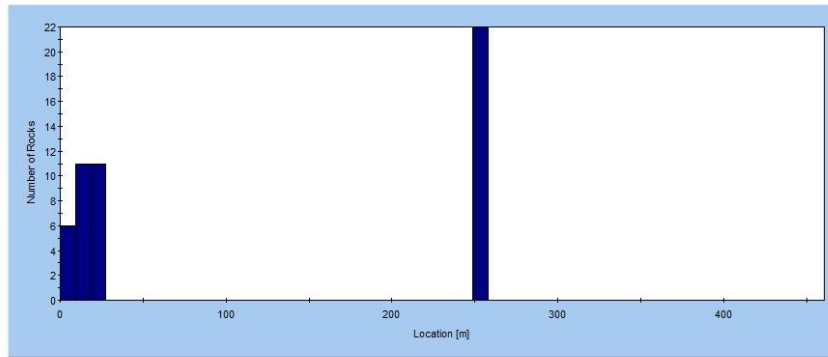
Horizontal Location of Rock End-points



**SECCIONES SECTOR FUENTE PC**

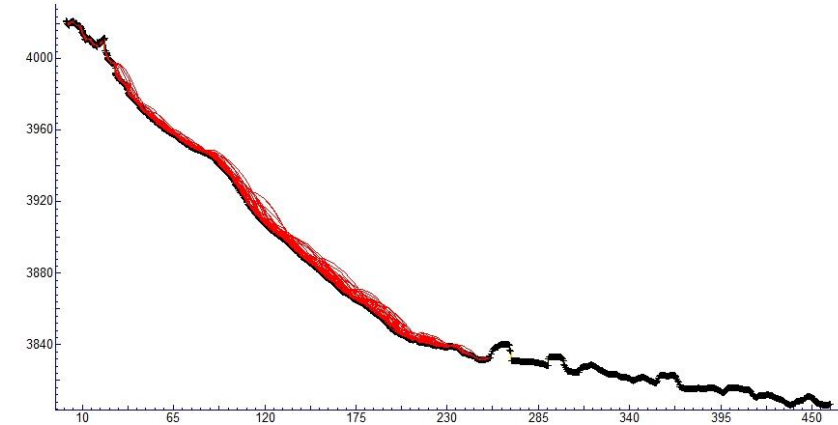
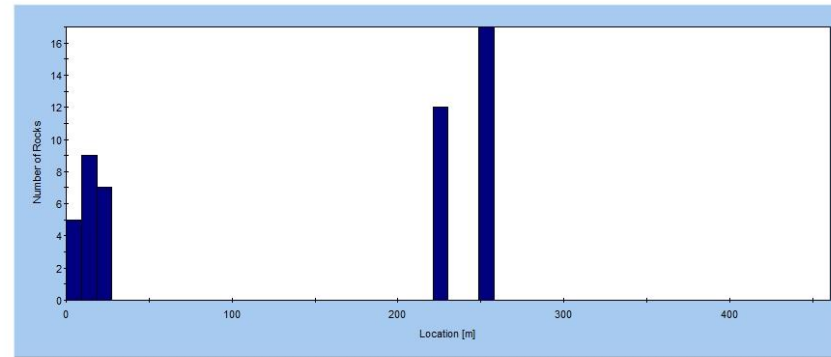
**PC\_1 (Ladera con escasa cobertura)**

Horizontal Location of Rock End-points



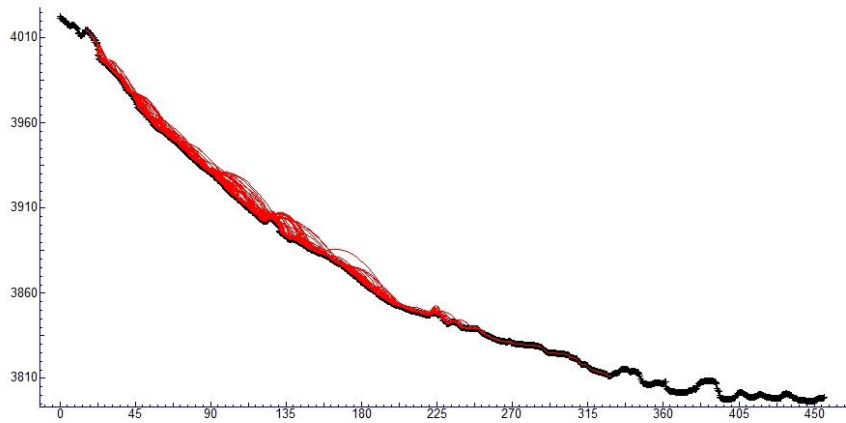
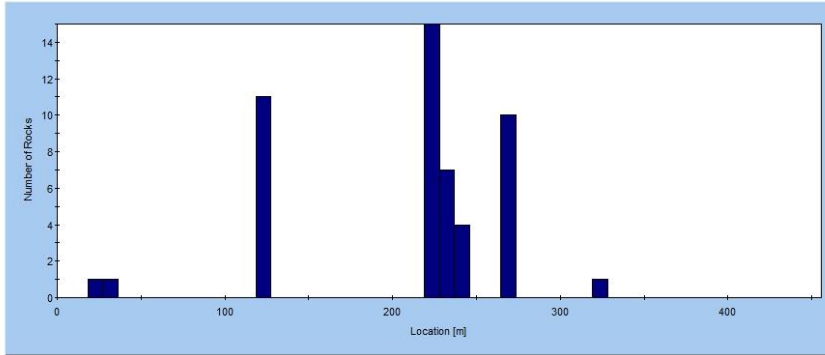
**PC\_1\_COM (Ladera actual)**

Horizontal Location of Rock End-points



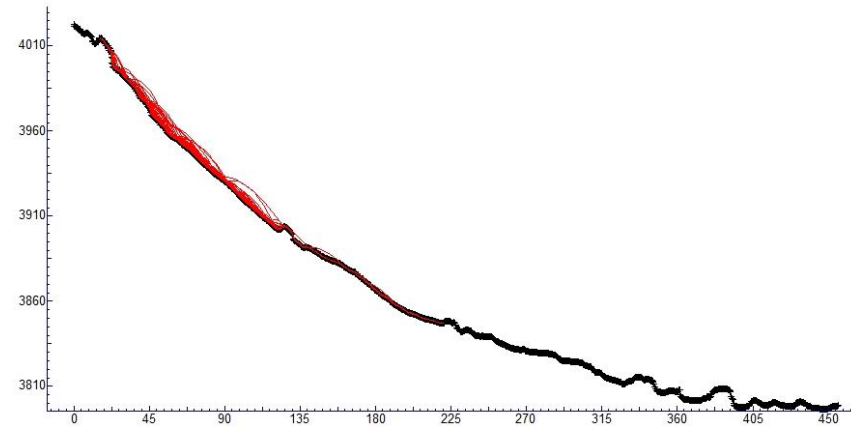
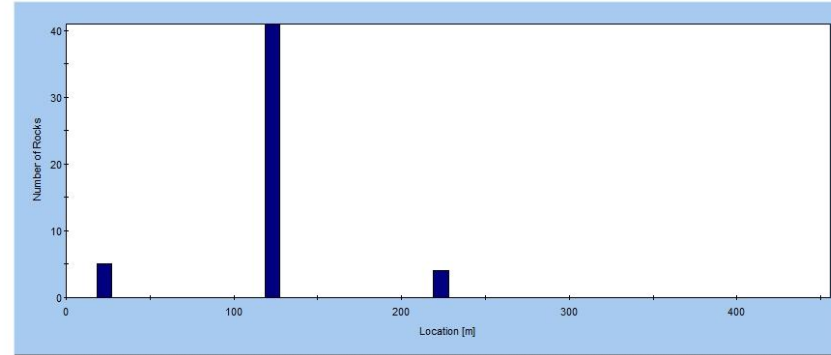
**PC\_2 (Ladera con escasa cobertura)**

Horizontal Location of Rock End-points



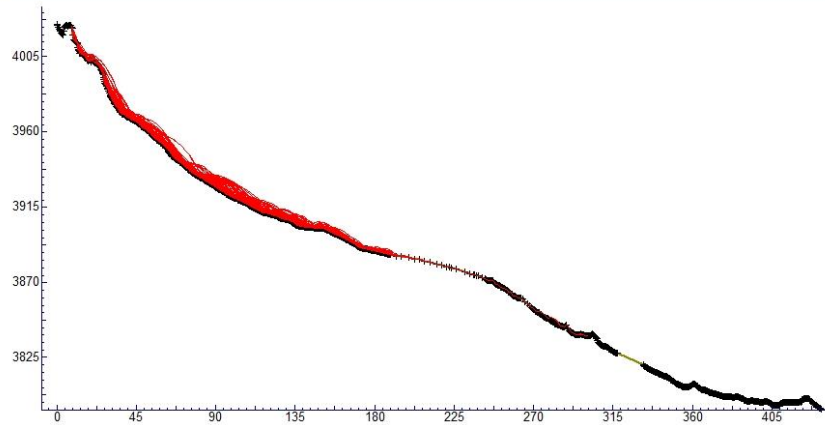
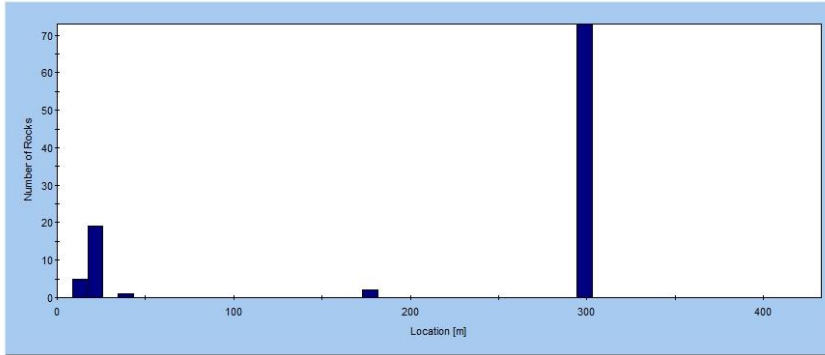
**PC\_2\_COM (Ladera actual)**

Horizontal Location of Rock End-points



**PC\_3 (Ladera con escasa cobertura)**

Horizontal Location of Rock End-points



**PC\_3\_COM (Ladera actual)**

Horizontal Location of Rock End-points

