

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A6876

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES DE APLAO, CASQUINA Y CASPANI

Región Arequipa
Provincia Castilla
Distrito Aplao



ABRIL
2019

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.	GENERALIDADES.....	3
2.1	UBICACIÓN.....	3
3.	ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS.....	4
4.	ASPECTOS GEOLÓGICO-GEODINÁMICOS EN LAS QUEBRADAS QUE GENERARON HUAICOS EL 7 DE FEBRERO DEL 2019.....	7
4.1	QUEBRADA DEL SECTOR APLAO.....	7
4.2	QUEBRADA EN EL SECTOR CASQUINA.....	12
4.3	QUEBRADAS DEL SECTOR DE CASPANI.....	17
4.3.1	QUEBRADA CASPANI 1.....	18
4.3.2	QUEBRADA CASPANI 2.....	20
5.	PELIGROS GEOLÓGICOS.....	23
5.1	CARACTERÍSTICAS DE LOS HUAICOS (FLUJO DE DETRITOS) DEL 07 FEBRERO DEL 2019.....	24
5.1.1	QUEBRADA DEL SECTOR DE APLAO.....	25
5.1.2	QUEBRADA SECTOR CASQUINA.....	27
5.1.3	QUEBRADA SECTOR CASPANI 1.....	28
5.1.4	QUEBRADA DEL SECTOR CASPANI 2.....	30
5.1.5	OTROS HUAICOS.....	31
5.2	ZONIFICACIÓN DE LOS FLUJOS DE DETRITOS DEL 07 DE FEBRERO.....	34
6.	SIMULACIÓN DE FLUJOS DE DETRITOS (HUAICOS) EN SECTOR DE APLAO.....	37
6.1	MÉTODO DE SIMULACIÓN NUMÉRICA.....	37
6.2	MÉTODO DE ESTUDIO DE FLUJOS DE DETRITOS (HUAICOS).....	37
6.3	SIMULACIÓN DE FLUJOS DE DETRITOS (HUAICO) DEL 7 DE FEBRERO DE 2019 EN APLAO.....	38
6.4	ZONAS AFECTADAS POR FLUJOS DE DETRITOS (HUAICOS) SEGÚN EL RESULTADO DE LA SIMULACIÓN.....	39
6	MEDIDAS CORRECTIVAS.....	44
6.2	MEDIDAS CORRECTIVAS ESTRUCTURALES.....	44
6.3	MEDIDAS CORRECTIVAS NO ESTRUCTURALES.....	44
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	46
	REFERENCIAS.....	48

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES DE APLAO, CASQUINA Y CASPANI

(Departamento Arequipa, Provincia Castilla, Distrito Aplao)

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), dentro de sus funciones brinda asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología, que permite identificar, caracterizar, evaluar y diagnosticar aquellas zonas urbanas o rurales, que podrían verse afectadas por fenómenos geológicos que pudiera desencadenar en desastres. Estos estudios, concebidos principalmente como herramientas de apoyo a la planificación territorial y la gestión del riesgo (planes de emergencia), son publicados en boletines, y reportes técnicos. Esta labor es desarrollada, principalmente, por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico a través de la ACT.7: Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres, CENEPRED, mediante Oficio N°131-2019/CENEPRED/DIFAT-1.0 solicitó al INGEMMET un informe técnico del nivel de peligrosidad de los anexos de Casquina, Aplao y Caspani, distrito de Aplao, Provincia Castilla, Departamento de Arequipa.

Para la evaluación de peligros geológicos en los sectores mencionados, el INGEMMET, a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, dispuso una brigada especializada en peligros geológicos para que evalué la zona afectada. La brigada estuvo conformada por los ingenieros Segundo Núñez, Jessica Vela, Yhon Soncco y Edu Taype. La inspección técnica se realizó los días 20, 21 y 22 de marzo del 2019, donde identificaron las causas de los eventos que afectaron a los sectores mencionados. Se realizaron adicionalmente sobrevuelos en drone obteniendo imágenes de la zona afectada, así como información para desarrollar un DEM de información con alta resolución con la cual se desarrollaron simulaciones o escenarios de huaicos para las zonas evaluadas.

Este documento presenta las observaciones geomorfológicas, geológicas y de peligros geológicos, de los sectores Aplao, Caspani y Casquina del distrito de Aplao, provincia de Castilla, ubicada en el departamento de Arequipa. El factor desencadenante fue una precipitación pluvial extraordinaria que ocurrió el jueves 7 de febrero, generándose huaicos (flujo de detritos) que afectó una importante zona urbana de Aplao.

1.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo principal del presente estudio es determinar las condicionantes geológicas y geodinámicas y del entorno geográfico de la zona (naturales o antrópicas), que originaron los huaicos que afectaron los sectores de Aplao, Caspani y Casquina, con ello se podrá implementar medidas correctivas en forma puntual e integral. Esto servirá para que las autoridades competentes actúen adecuadamente, en la prevención y reducción del riesgo de desastres de las localidades evaluadas.

Es importante mencionar que el INGEMMET a través de esta evaluación de peligro geológico contribuirá a la evaluación de riesgos geológico (EVAR) integral, competencia del CENEPRED, donde incluye los aspectos de vulnerabilidad.

2. GENERALIDADES

2.1 UBICACIÓN

La localidad de Aplao, jurisdicción del distrito del mismo nombre, capital de la provincia Castilla, región Arequipa, se encuentra ubicada a aproximadamente 107 km al noroeste de la ciudad de Arequipa. Se emplaza en el margen derecho del río Majes, a una altitud aproximada de 620 m s.n.m., en el piso del valle y laderas adyacentes de piedemonte del río Majes (figura 1).

La zona objeto del presente estudio (Caspani-Aplao-Casquina), está ubicada en las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud 16°4'35.17"S, Longitud 72°29'31.66"O.

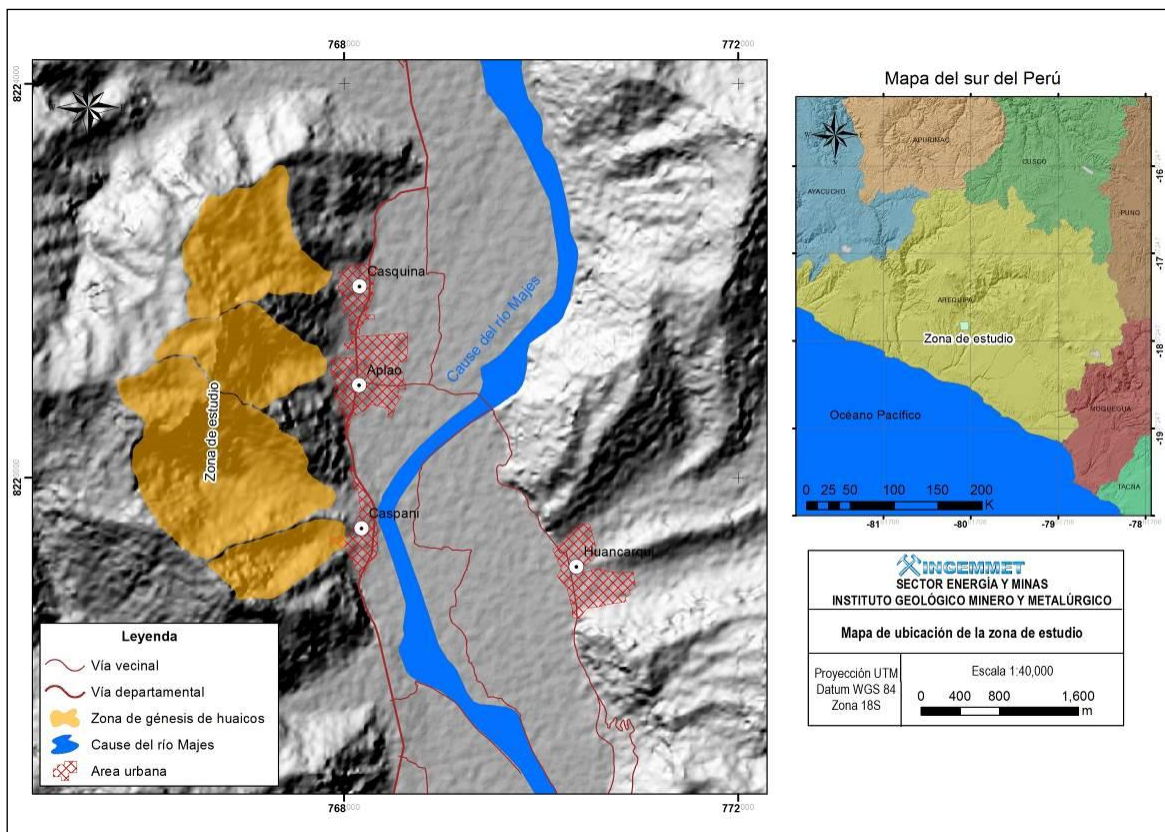


Figura 1: Ubicación de sector Aplao y el área objeto del presente estudio.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

Tomando como referencia los mapas geológicos de los cuadrángulos La Yesera (33-q) y Aplao (33-r), realizados por Pecho y Morales (1998) y Guizado y Guevara (1998), respectivamente, podemos indicar que el área comprendida entre Caspani-Aplao-Casquina, se encuentran afloramientos sedimentarios del Grupo Yura, conformados desde la base al tope por:

- Areniscas cuarcíticas de color gris blanco con estratificación sesgada y limoarcillas de color gris oscuras (Formación Labra).
- Areniscas cuarcíticas de color blanquecina con estratificación sesgada (Formación Hualhuani).
- En medio del paquete sedimentario de estratos del Grupo Yura, aflora de manera concordante con los depósitos sedimentarios un “sill” andesítico con textura porfírica, el cual presenta un color verde grisáceo.

Al otro lado del valle, en el sector del poblado Huancarqui, sobre la secuencia mencionada afloran depósitos de la Formación Sotillo, conformados de limolitas, limoarcillitas, areniscas limosas de color gris rojiza a marrón rojiza, y hacia el tope de estas secuencias se exponen depósitos de la Formación Moquegua, conformados por conglomerados, areniscas y limolitas grises (figura 2).

El piso del valle en el sector Aplao está conformado por una unidad netamente aluvio-proluvial, producto de depósitos del río Majes con aporte de sedimentos intermitentes depósitos de antiguos huaicos y (figura 3).

Desde el punto de vista geomorfológico los sectores de Aplao, Casquina y Caspina se encuentran sobre la unidad piedemonte proluvial (originada por huaycos), que presenta laderas agrestes con pendientes moderadas a pronunciadas, entre 25° a 70°. Las laderas inferiores, mezcla de niveles de terrazas aluviales del río Majes, y de piedemonte proluvial, presentan una inclinación menor a 5°; esta pendiente se incrementa al interior y aguas arriba de las quebradas (hacia sus cabeceras) alcanzando pendientes entre 5 y 25°.

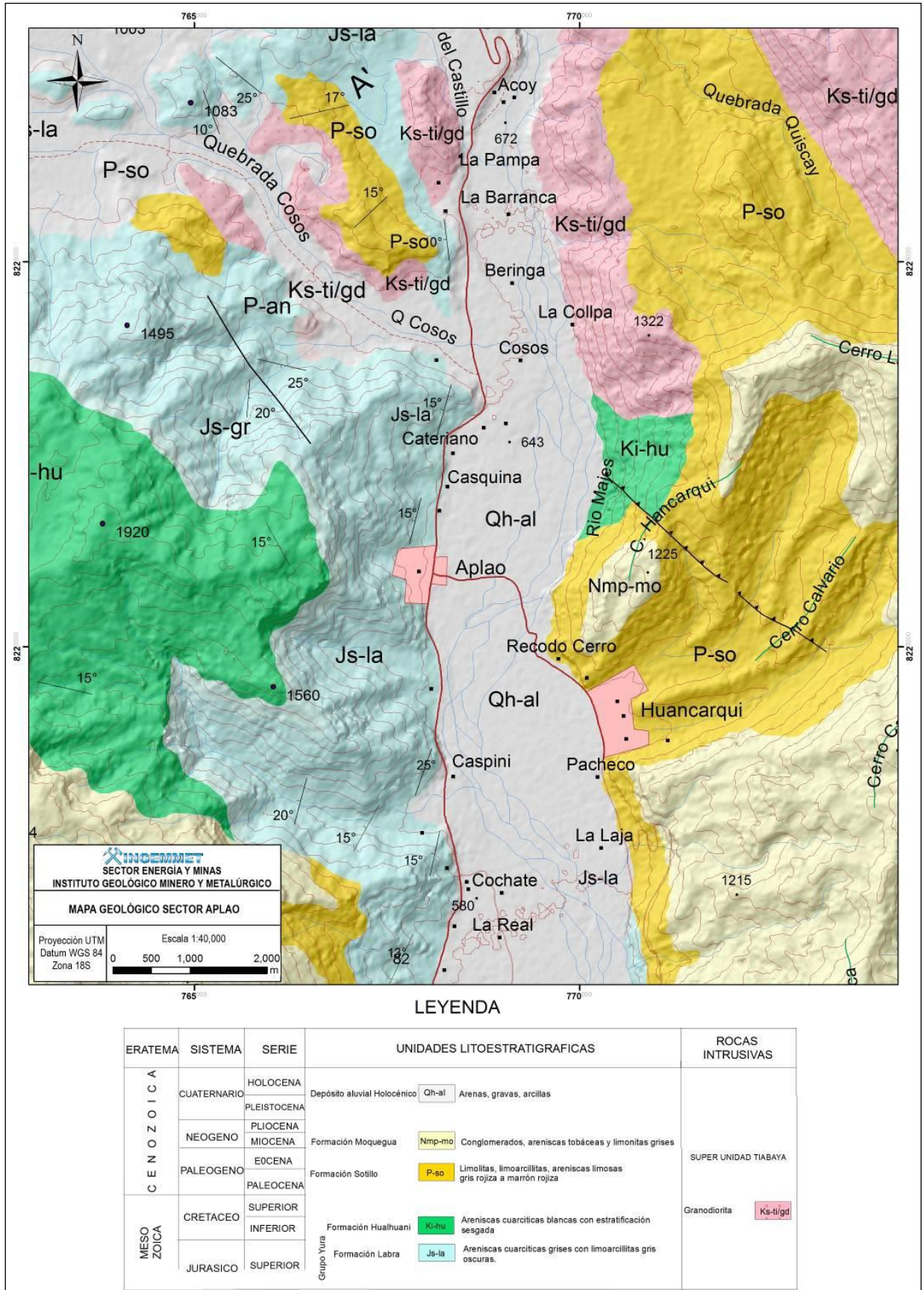


Figura 2: Mapa geológico de la zona de estudio. Tomado de los mapas geológicos del cuadrángulo 33-q y 33-r (Pecho & Morales, 1998; Guizado & Guevara, 1998).



Figura 3: Muestra el valle del río majes y la ciudad de Aplao.

4. ASPECTOS GEOLÓGICO-GEODINÁMICOS EN LAS QUEBRADAS QUE GENERARON HUAICOS EL 7 DE FEBRERO DEL 2019

Para un mejor entendimiento de los eventos sucedidos se describirán por separado, las características litológicas, geomorfológicas del cauce y márgenes de las quebradas, que se activaron con las lluvias extraordinarias el 7 de febrero del 2019.

4.1 QUEBRADA DEL SECTOR APLAO.

Litológicamente, en la cuenca alta y media se presentan dos tipos de roca, areniscas y andesitas (figuras 4 y 5). Las primeras presentan estratos con espesores entre 50 cm hasta de 5 m, con rumbo N65°0 y buzamiento 45°SO; el fracturamiento es de forma oblicua al rumbo de los estratos con rangos de 30 cm hasta de 3 m. Esto genera que se formen bloques sueltos e individuales con diámetros comprendidos entre 30 cm hasta de 5 m (figura 5),

Las andesitas se presentan en forma de diques, el fracturamiento es perpendicular a la superficie con disposición vertical (figura.6), a manera de disyunciones columnares; este fracturamiento genera bloques sueltos comprendidos entre 30 cm a 1m, formando canchales o derrubios angulosos a subangulosos.

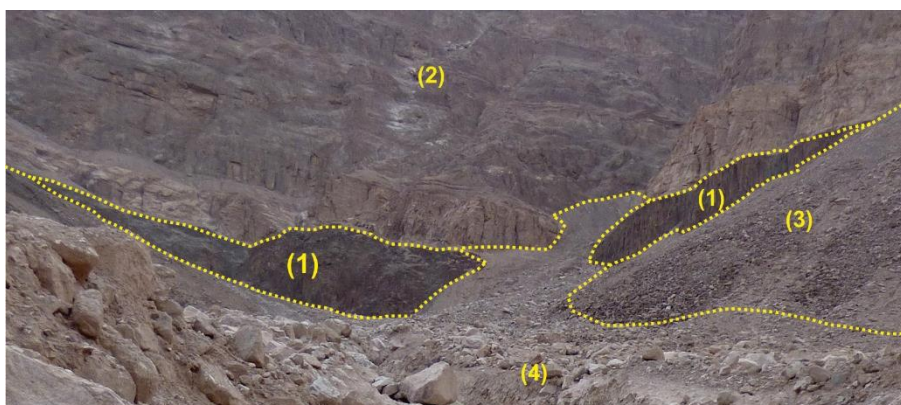


Figura 4. Se aprecia: (1) diques de andesitas y (3) secuencia de areniscas, (3), depósitos de avalanchas de detritos en las laderas (flujos no canalizados); (4) depósito del huaico.

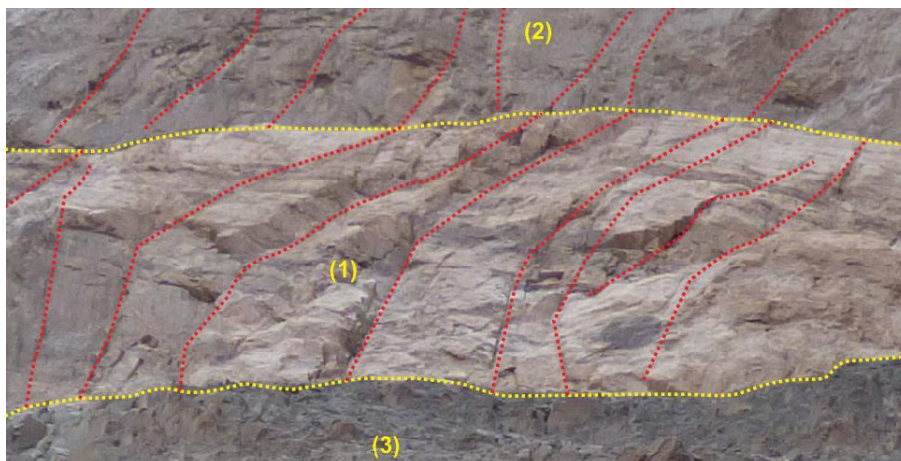


Figura 5. Estratos de areniscas, donde se aprecia un sistema de fracturamiento oblicuo a la estratificación (1) y (2). En la andesita se aprecia un fracturamiento intenso (3).

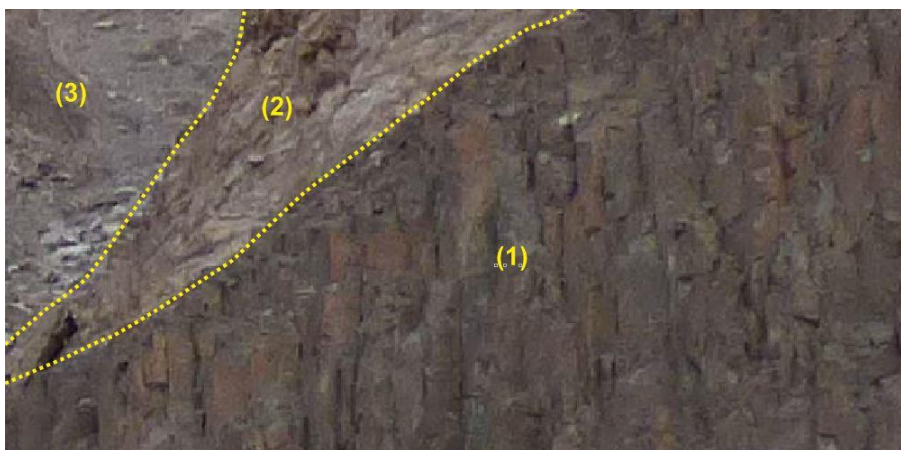


Figura 6. Se muestra un detalle del sistema de fracturamiento en las andesitas (1), perpendicular a la superficie.

El cauce de la quebrada tiene una longitud de 2500 m (**Cauce principal: CP**). La parte alta de esta microcuenca tiene una forma semicircular uniforme con longitud máxima de recorrido de 1700 m (figura 7), la parte más alta se encuentra a 1560 m s.n.m. y la parte baja en 950 m s.n.m., es decir un desnivel de 610m. Las laderas presentan pendientes comprendidas ente 45° a 70° (figura 8). Presenta dos afluentes: uno por la margen derecha (**A1**) y otro por la izquierda (**A2**). En el afluente de la margen derecha, en su cauce se observó material suelto proveniente de antiguos movimientos en masa que son de fácil remoción. En la quebrada afluente de la margen izquierda, en el cauce de la quebrada se aprecian bloques sueltos, hasta de 2 m.

La cuenca media presenta forma cónica alargada (figura 9), las laderas que la limitan tienen pendientes entre 25° a 45° (figura 10), la parte alta (inicio de la cuenca media) tiene un ancho hasta 70 m y la parte baja hasta 220 m, este sector se caracteriza por tener la mayor cantidad de bloques (figura 11). Las laderas de ambas márgenes, presentan cicatrices de antiguos movimientos en masa (avalancha de detritos). El cauce de la quebrada presenta pendiente menor a 10°. El cauce actual presenta anchos que varía entre 10 a 20 m.

Estos depósitos de avalanchas de detritos, se caracterizan por estar conformados por fragmentos soportados de bloques y gravas angulosas, englobados en una matriz arenosa.

La cuenca baja termina en forma de abanico con pendiente menor de 5° donde se asienta la localidad de Aplao. Este abanico fue formado por los depósitos proluviales de huaicos antiguos (figura 12).

A lo largo del cauce de la quebrada los bloques de rocas presentan tamaños comprendidos entre 30 cm a 5 m.

En conclusión las pendientes de las laderas que conforman esta quebrada varían entre 30° a 70°, localizándose en la cuenca alta.

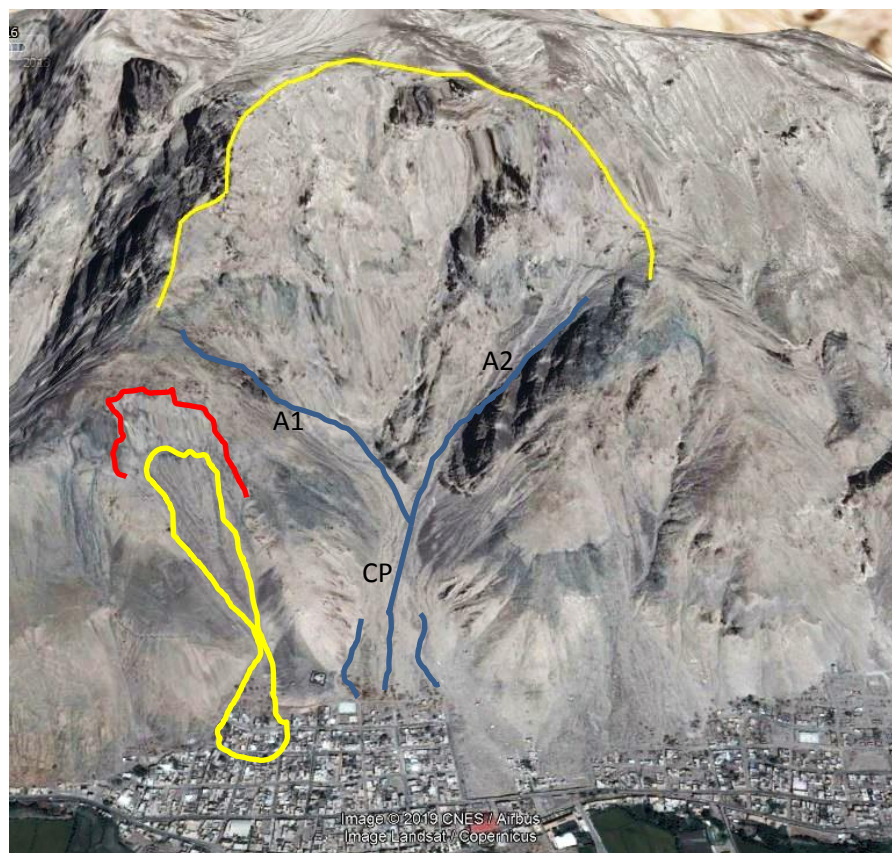


Figura 7. Se muestra la microcuenca, la cabecera tiene forma semicircular, en la parte baja se encuentra asentada la localidad de Aplao. La pendiente del cauce, la disposición de flujos antiguos y material proveniente de las laderas adyacentes, generan que en la parte terminal de la quebrada esta se divida en tres ramales.



Figura 8. Sector superior de la microcuenca, muestra la pendiente de los terrenos que varían entre 45° a 70°



Figura 9. Se muestra la diferencia del ancho que presenta el cauce de la quebrada, en el sector medio de la microcuenca.

- (a) Parte inicial: hasta 70 m
- (b) Parte final: hasta 220 m.



Figura 10. Pendiente de la ladera del flanco derecho de la microcuenca quebrada Aplao.



Figura 11. Izquierda, se observa los tamaños de los bloques en los depósitos de antiguos huaicos. Derecha, afluente de la margen izquierda, se aprecia en el cauce bloques sueltos con tamaños hasta de 2 m.



Figura 12. Vista de la localidad de Aplao, se muestra una forma de abanico (delimitado con línea amarilla).

Por lo observado en campo e imágenes satelitales, el sector medio y bajo de esta microcuenca, presenta tres cauces o ramales, uno por la izquierda, otro a la derecha y un central (figura 13), este último es el principal afectó severamente al sector de Aplao.



Figura 13. Imagen tomada con dron, donde se muestra los tres ramales de la quebrada que discurrieron hacia Aplao, aprovechando la pendiente; el cauce central que registró la mayor dinámica del flujo, afectando las viviendas de Aplao.

4.2 QUEBRADA EN EL SECTOR CASQUINA.

Litológicamente, en esta segunda microcuenca se presentan areniscas (figura 14) con estratos de espesores que varían entre 1 a 5 m, con rumbo N60°0, y buzamiento 50°SO, el fracturamiento en la roca es de forma oblicua al rumbo de los estratos con rangos de 30 cm hasta de 6 m, por ello que generan bloques sueltos comprendidos entre 30 cm hasta de 5 m.

También se apreció diques de andesitas (figura 15) en forma de diques, presentan fracturamiento perpendicular a la superficie, de disposición vertical. Las fracturas formadas este tipo de roca, se denomina disyunción columnar; formando bloques suelto comprendidos entre 30 cm a 1m.

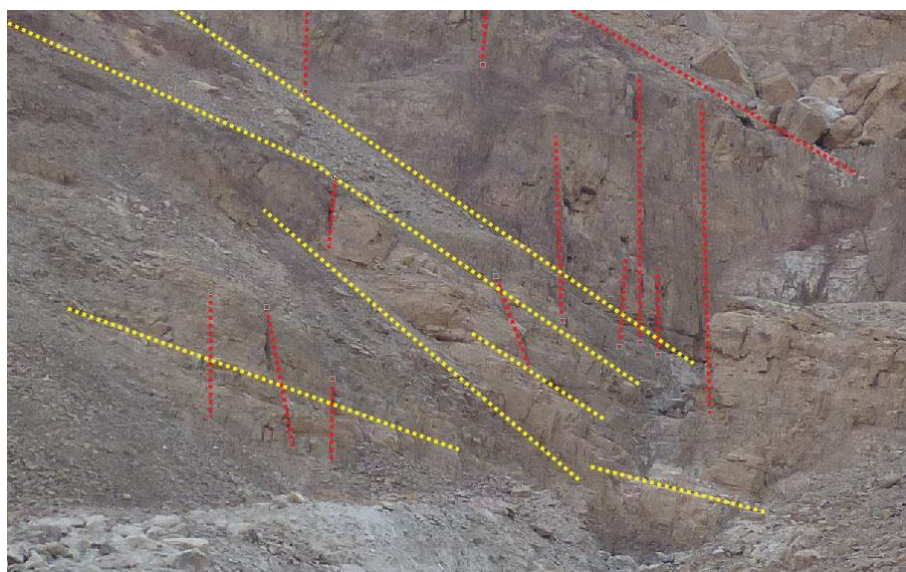


Figura 14. Se muestran los planos de estratificación en las areniscas (línea amarilla) y el sistema de fracturamiento oblicuo a estas (líneas rojas).



Figura 15. Se aprecia un cuerpo de andesita (línea amarilla), casi paralelo a la estratificación.

El cauce de la quebrada presenta un recorrido de 2100 m. La microcuenca, tiene una forma semicircular a irregular (figura 16), sobresale su parte alta presenta una longitud máxima de 1700 m, y una diferencia de desnivel de 600 m (altitud máxima de 1500 m s.n.m. y la baja es 900 m s.n.m). Las laderas presentan pendientes 35° hasta 60°. Muestra tres afluentes, distribuidos por la parte derecha, izquierda y central (figura 16) y un drenaje subparalelo controlado por la estratificación en las areniscas.

Según observado en las imágenes en la cuenca alta se muestran varios procesos de movimientos en masa (figura 17), de tipo deslizamientos y avalanchas de detritos, que aporta material suelto removible en el cauce principal de la quebrada por efectos de la lluvia y escorrentía generada. Los depósitos de ceniza volcánica, encontrados en la parte media y baja de la microcuenca Casquina, se disponen a manera de mantos de color blanquecino.

La parte media de esta microcuenca, presenta una forma alargada (figura 18). En ambas márgenes presenta pendientes en sus laderas entre 25 a 35° (figura 19) exponiendo depósitos de antiguos movimientos en masa (figura 20), generalmente coluviales, con acumulación de canchales. El cauce de la quebrada presenta una pendiente menor a los 10°, en su superficie presentan material suelto proveniente de huacos antiguos cubiertos en sectores por cenizas volcánicas¹ (figura 21).

¹ Estas cenizas volcánicas estarían asociadas a la erupción del volcán Huaynaputina del año 1600.



Figura 16. Imagen satelital donde se muestra la forma de la microcuenca tiene forma irregular, se resalta el poblado de Casquina. Se distingue el control en la red de drenaje (subparalelo) asociado a la estratificación.

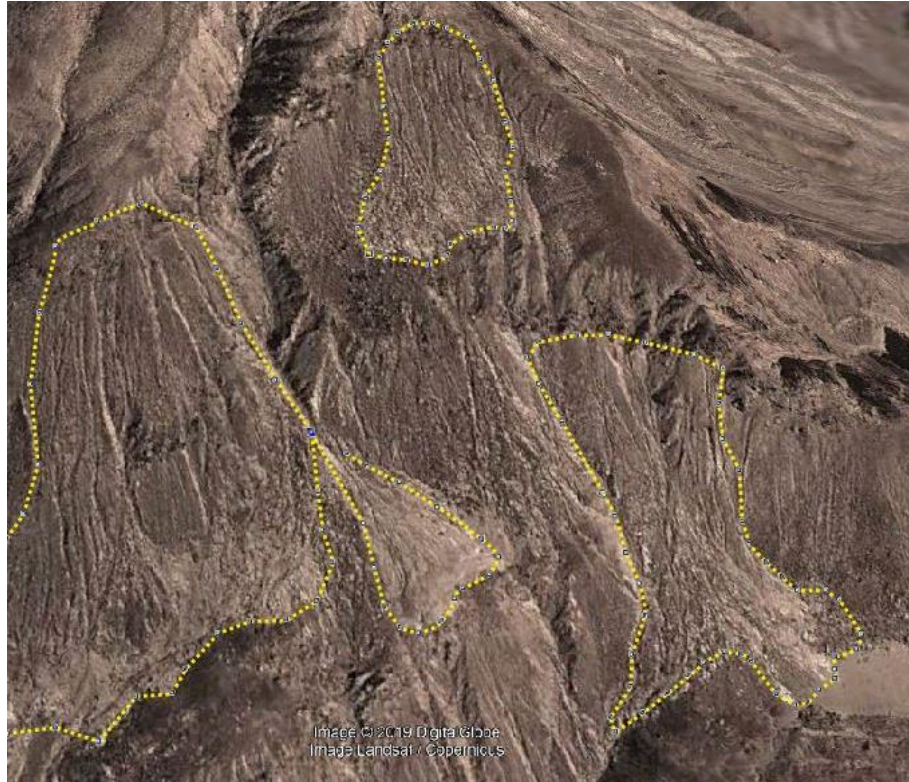


Figura 17. Procesos de movimientos en masa (avalanchas de detritos) delineados en líneas amarillas, ubicados en la parte alta de la microcuenca, afluente de la margen izquierda; muestran huellas de escorrentía pluvial.

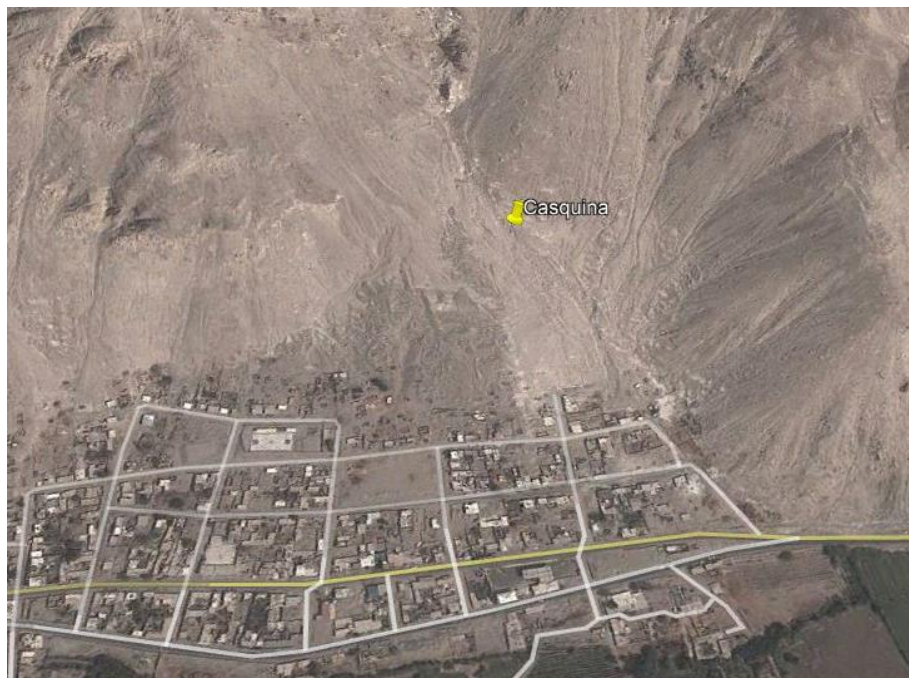


Figura 18. Sector medio y bajo de la microcuenca de la quebrada Casquina.



Figura 19. Sector medio de la microcuenca; se observa la ladera con pendiente de 35° y la acumulación de detritos.



Figura 20. Evidencias de movimientos en masa antiguos, generalmente por gravedad (con poca influencia de agua de lluvia)



Figura 21. Bloques de roca dejados por los diferentes eventos, se aprecia además la altura del depósito de huaico. En la superficie se aprecia material de color blanquecino, que corresponde a una capa de cenizas volcánicas. También se observa el socavamiento del cauce de la quebrada.

El cauce de la quebrada en la parte media-baja, muestra depósitos acumulados por de diferentes eventos de huaicos, material de fácil remoción. En este sector el cauce presenta

un ancho hasta 30 m, en la parte baja hasta 95 m (figura 22), este sector se caracteriza por tener la mayor cantidad de bloques. (figura 23).



Figura 22. Cauce en el sector medio de la microcuenca. El lado superior tiene una longitud de 35 m que se expande en la parte inferior hasta 95 m.



Figura 23. En la Vista se aprecia los bloques con tamaños de hasta de 2 m de diámetro, son de formas subangulosas.

En la parte baja la microcuenca presenta forma de abanico, formado por los depósitos dejados por huaicos antiguos, los cuales se caracterizan por presentar bloques y gravas angulosas de rocas tipo areniscas y escasos bloques de roca volcánicas, englobados en matriz arenosa; sobre ellos se muestra una capa de color blanco que corresponde a cenizas volcánicas. Los bloques de rocas tienen tamaños hasta de 5m. La pendiente en el cauce de la quebrada en este sector es menor a 5°, sobre la cual se encuentra la localidad de Casquina.

4.3 QUEBRADAS DEL SECTOR DE CASPANI.

Este sector muestra dos quebradas bien diferenciadas, para una mejor descripción se tratará cada una por separado; se les denominará quebrada Caspani 1 y quebrada Caspani 2.

4.3.1 QUEBRADA CASPANI 1

Litológicamente, esta microcuenca presenta un substrato conformado por areniscas con estratos de espesores que varían entre 1 a 5 m, se encuentran plegados. El estrato de arenisca presenta fracturamiento radial y perpendicular a la superficie del estrato rocoso flexionado; los rangos de fracturamiento va en el orden de 30 cm hasta de 5 m. Generan bloques sueltos comprendidos entre 30 cm hasta de 5 m (figura 24).

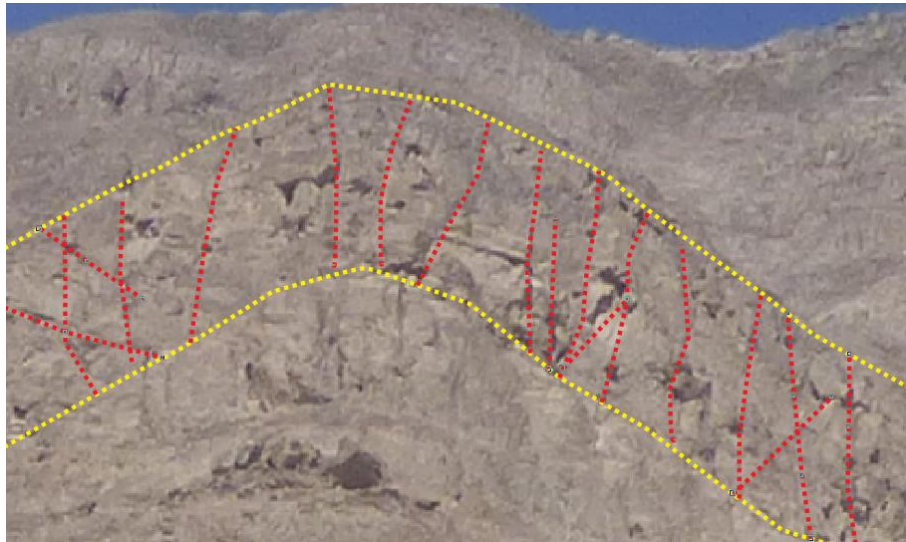


Figura 24. Estratificación en los estratos de areniscas plegadas (líneas amarillas). El fracturamiento se presenta en formas oblicuas y perpendiculares a la estratificación

El cauce de la quebrada tiene una longitud de 1700 m; en su parte alta recibe el aporte de dos afluentes principales que provienen de las partes laterales. La cabecera de la microcuenca es semicircular alargada (figura 25), con una longitud máxima de 1360 m, Tiene una altitud máxima de 1500 m s.n.m. y la parte inferior se encuentra en 840 m s.n.m (desnivel de 660m), las laderas presentan pendientes 25° hasta 45°.

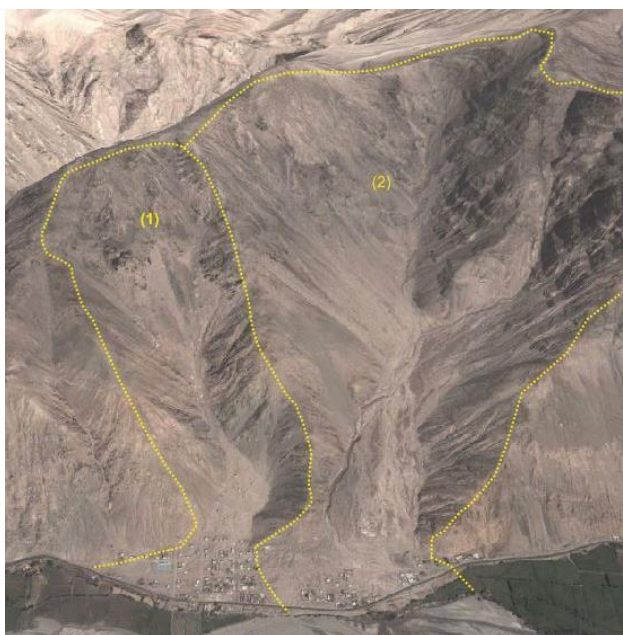


Figura 25. Vista en la que se observa las microcuencas Caspani (1) y Caspani (2).

El sector medio de la microcuenca, tiene forma de cono alargado; con longitud de 600 m, el ancho de su cauce en la parte superior es de 50 m en la parte inferior es 140 m (figura 26), en la parte central hace un recodo, cambio de dirección importante. En ambas márgenes, las laderas tienen pendientes entre 25° a 45° (figura 27), muestran depósitos de antiguos movimientos en masa (derrumbes). La pendiente longitudinal en el cauce de la quebrada es inferior a 10°; presenta material suelto proveniente de antiguos huaicos (figura 28).



Figura 26. Sector medio en la quebrada Caspani 1. Cauce de la quebrada alargado y estrecho en la parte alta, con un recodo y ensanchamiento en su margen izquierda aguas abajo, formando un cono alargado.



Figura 27. Las pendientes del terreno en la cuenca media, varían de 25° a 45°



Figura 28. Bloques encontrados en el cauce de la quebrada con tamaños que alcanzan diámetros de hasta de 2 m.

La parte terminal de la microcuenca donde se asienta parte de la localidad de Caspani, exhibe como resultado de los procesos de flujos antiguos, un abanico alargado. La pendiente del terreno (cauce antiguo de la quebrada) es menor a 5° (figura 29). Este depósito está compuesto por bloques de hasta un 60%, seguido de 20% de grava y 20% entre arena y limo.



Figura 29. Parte distal y terminal de la quebrada Caspani 1, abanico alargado, donde está asentado el sector de Casquina.

4.3.2 QUEBRADA CASPANI 2

Presenta estratos de areniscas fracturadas con espesores que varían entre 30 cm a 5 m. Las fracturas (figura 30) presentan espaciamentos entre 20 cm a 1 m, y se dispone en forma perpendicular y oblicua a la estratificación; que genera bloques sueltos con tamaños comprendidos entre 30 cm hasta de 5 m.

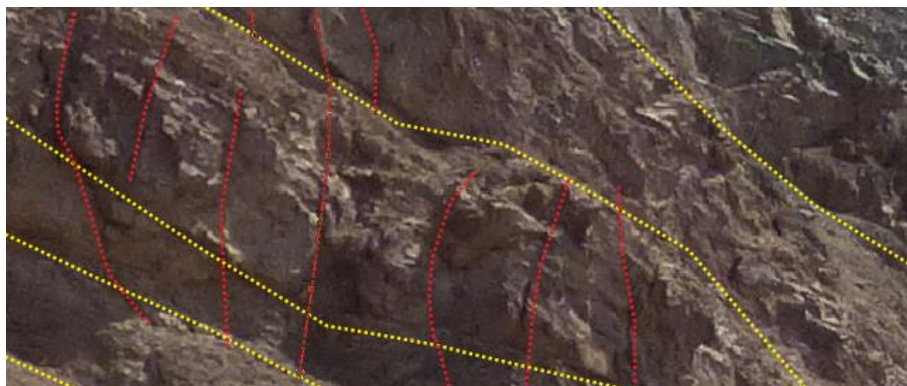


Figura 30. Estratificación en las areniscas (líneas amarillas), con fracturamientos espaciados (líneas rojas).

El cauce de la quebrada alcanza una longitud de recorrido de 2500 m, recibe el aporte de dos afluentes principales que provienen de la parte central y lateral derecho de la microcuenca.

La cabecera de la microcuenca tiene forma semicircular irregular con longitud máxima de 3120 m (figura 31). Tiene un desnivel de 835 m la altitud máxima de 1670 m s.n.m. y la inferior es de 845 m s.n.m. Sus laderas tienen pendientes entre 25° y 45°.



Figura 31. Microcuenca de la quebrada Caspina 2.

En su sector medio la microcuenca, tiene una forma alargada (980 m de longitud), variando el ancho de su cauce de la quebrada entre 90 m en la parte superior 290 m en la parte baja (figura 32). Las pendientes de las laderas oscilan entre 25° a 35° (figura 33). Se observan depósitos de antiguos movimientos en masa como derrumbes. En su parte terminal la quebrada forma de cono alargado con una longitud de 980 m y una pendiente longitudinal menor a los 10°.



Figura 32. Sector medio inferior de la quebrada Caspani 2, que forma un cono alargado. Inicia (A) con un ancho de 90 m ensanchándose hasta alcanzar los 290 m (B).



Figura 33. Pendientes de las laderas que varían entre 25°y 35°.

La parte baja de esta microcuenca termina en forma de abanico alargado (figura 34). Formado por los depósitos dejados por los huaicos antiguos. La pendiente longitudinal en el cauce antiguo de la quebrada es menor a 5°.



Figura 34. Desembocadura de la quebrada Caspani 2.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

En el cauce y desembocadura de las quebradas que surcan a las estribaciones andinas, se encuentra materiales inconsolidados como resultado de los flujos de detritos o huaicos antiguos que tiene una periodicidad aún no determinada. A estos eventos se les denomina así porque durante su desplazamiento presentan un comportamiento semejante al de un fluido.

Pueden ser rápidos o lentos, saturados o secos y originarse a partir de otros procesos, como deslizamientos o desprendimientos de rocas (Varnes, 1978). Son capaces de transportar grandes volúmenes de fragmentos rocosos de diferentes tamaños y alcanzar grandes extensiones de recorrido, más aun si la pendiente es mayor.

Según Hungr & Evans (2004) los flujos se pueden clasificar de acuerdo al tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral (canalizado o no canalizado, figura 35) y otras características que puedan hacerlos distinguibles. Por ejemplo, se tienen flujos de detritos (huaicos), flujos de lodo, avalanchas de detritos, de roca, etc.

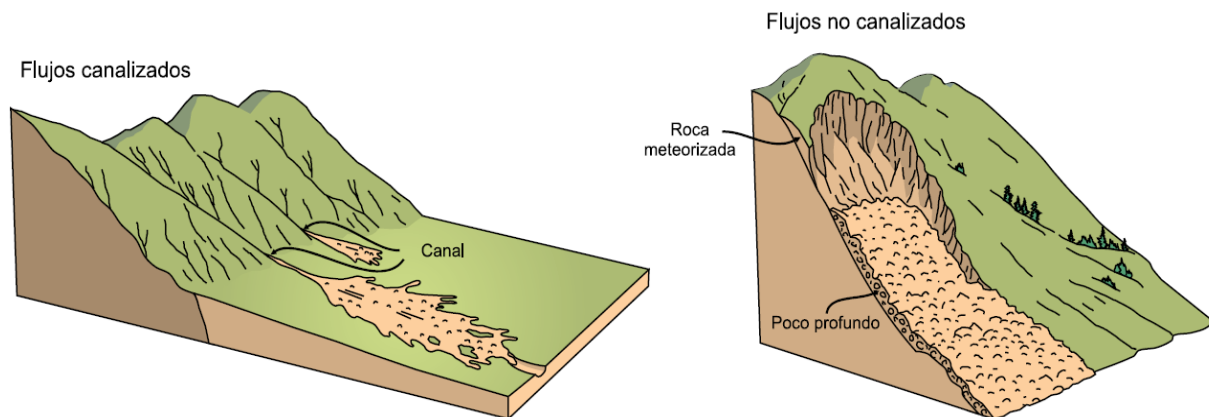


Figura 35. Esquema de flujos canalizados y no canalizados (Cruden y Varnes, 1996)

En este tipo de procesos se muestra una zona de inicio que forma un embudo, una zona de transición o tránsito y una zona de deposición en abanico como se muestra en la (figura 36). (Bateman y otros, 2006).

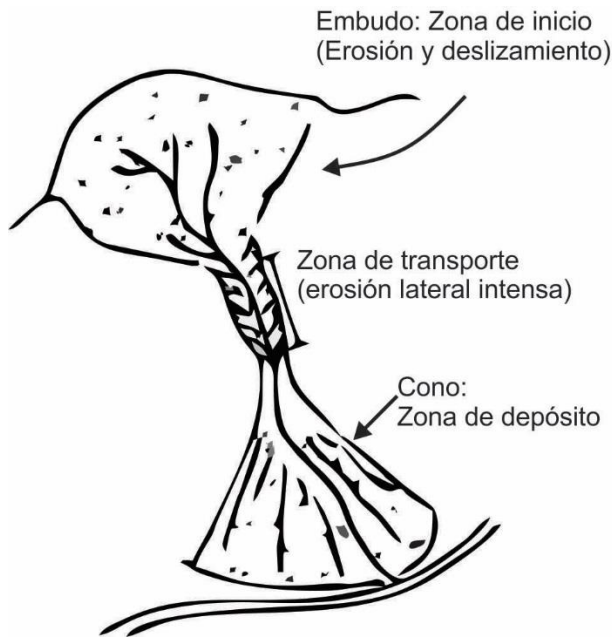


Figura 36. Esquema de generación de un flujo (Modificado de: Bateman y otros, 2006).

Normalmente los flujos canalizados buscan retomar su lecho natural. El potencial destructivo de estos procesos está dominado por su velocidad y la altura alcanzada por el material arrastrado. Por ello estos eventos son muy violentos y tienen una gran cantidad de energía que destruye todo lo que encuentran a su paso. Por tanto es muy importante una caracterización geológica detallada de los eventos, asociada al grado de peligro al que está expuesta un área determinada.

Zavala & Vílchez (2007) y Luque & Rosado (2014), en los informes de zonas críticas de la cuenca del río Camaná-Majes y la región Arequipa, mencionan a este sector evaluado, como una zona crítica, que puede ser afectada por flujos de detritos; en estos informes también se mencionan algunas medidas correctivas.

En los sectores de Aplao, Casquina y Caspani, el día 07 de febrero se presentaron flujos de detritos que afectaron a dichos sectores, trayendo consigo viviendas destruidas, afectadas; la vía Corire-Aplao-Chuquibamba fue afectada parcialmente.

5.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS HUAICOS (FLUJO DE DETRITOS) DEL 07 FEBRERO DEL 2019

Estos flujos ocurrieron aproximadamente a 17:30 horas, detonados por una intensa lluvia ocurrida en el sector de Aplao.

Los datos de la estación meteorológica del Senamhi en Aplao, registraron que el día 07 de febrero llovió un total de 9.8 mm. Sin embargo, es importante señalar lo señalado por los pobladores, que el día mencionado, la lluvia se presentó con una mayor intensidad en las cumbres de los cerros.

Para una mejor entendimiento de los huaicos ocurridos el día 07 de febrero se hará una descripción de cada uno de los procesos ocurridos en las quebradas.

El sector es muy susceptible a la generación de flujos de detritos y lodo, inundaciones de detritos, caída y avalanchas de detritos.

5.1.1 QUEBRADA DEL SECTOR DE APLAO

En esta quebrada su cuenca de recepción presenta laderas con pendientes que varían entre 45° a 70°. El 07 de febrero a consecuencia de la lluvia extraordinaria, el agua al discurrió por las laderas pronunciadas, adquirió gran velocidad, poder erosivo y capacidad de transporte de materiales. Al descender por las laderas, removió el material de los antiguos movimientos en masa, generando de esta manera avalanchas de detritos y un flujo canalizado o huaico.

Se produjeron tres flujos, dos laterales y uno en la parte central (figura 37), este último movilizó material grueso que se desplazó lo largo de la calle Bolognesi, en este evento se movilizaron bloques comprendidos entre 50 cm hasta 2 m.

Se constató que el flujo en la parte central, desde su ápice en la parte media de la microcuenca, se bifurca en varios ramales (figura 38), que se unen en su trayecto, por ello el flujo remueve bloques hasta de 4 m.

La mayor parte de los bloques removidos son de naturales areniscosa (80%) el resto es de las andesitas, ambos son de formas subangulosas. Los materiales removidos con mayor porcentaje han provenido de los depósitos antiguos de huaicos.

El cauce de la quebrada, por efecto del paso del huaico, fue socavada en varios sectores alcanzando hasta 1.5 m de profundidad. El cauce por donde discurrió agua y material de huaico alcanzó entre 7 a 10 m de ancho.

El flujo al encausarse por la calle Bolognesi, encontró obstáculos, como son viviendas sobresalidas; estas fueron las que sufrieron mayores daños, por el impacto directo del huaico, sobre ellas (figura 39) pues acarrió un mayor porcentaje de material grueso y bloques (Figura 48).

Los ramales laterales, en las márgenes izquierda y derecha movilizaron principalmente lodo, ocasionaron menores daños menores en la población.

Los daños ocasionados por este flujo de detritos, según datos obtenidos en la municipalidad de Aplao, fueron 18 viviendas afectadas, y una persona fallecida.



Figura 37. Se muestra las direcciones que tomaron los flujos de detritos, siendo el evento de la parte central la que originó mayor daño a las viviendas.



Figura 38. En la vista se aprecian los ramales del flujo en la parte central.

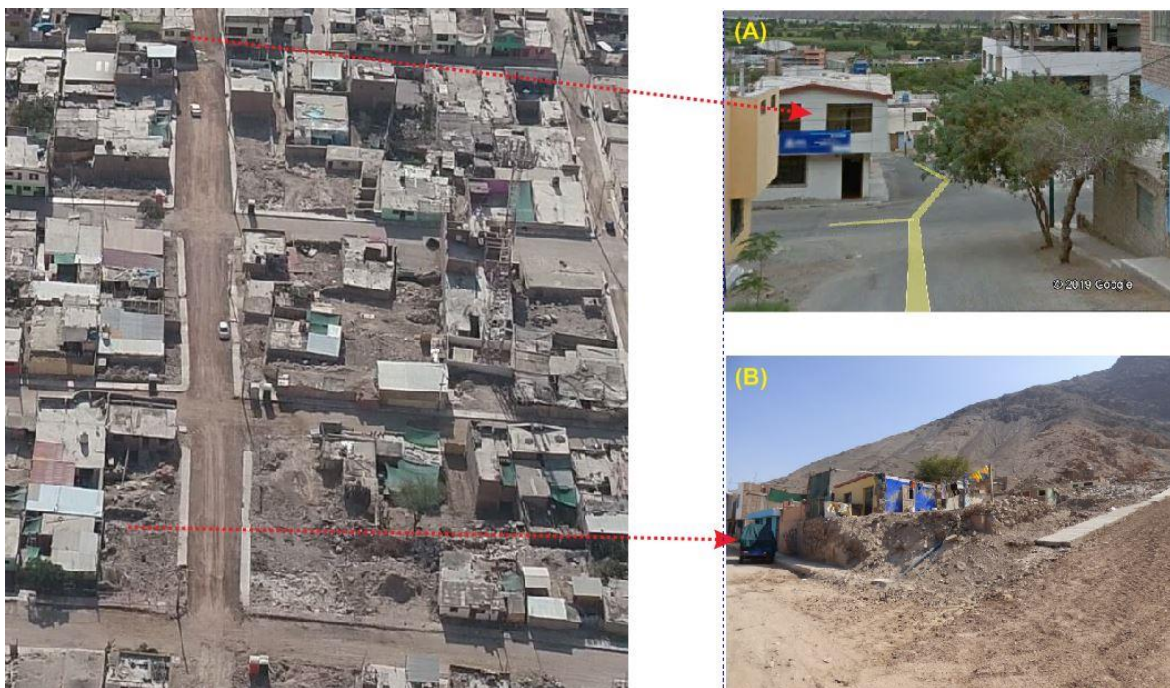


Figura 39. (A) Vista tomada del Google Earth. Se aprecia el estrechamiento de la calle al existir una vivienda que fue un obstáculo para el paso del huaico. (B) Vivienda destruida por el flujo de detritos del 07 de febrero del 2019.

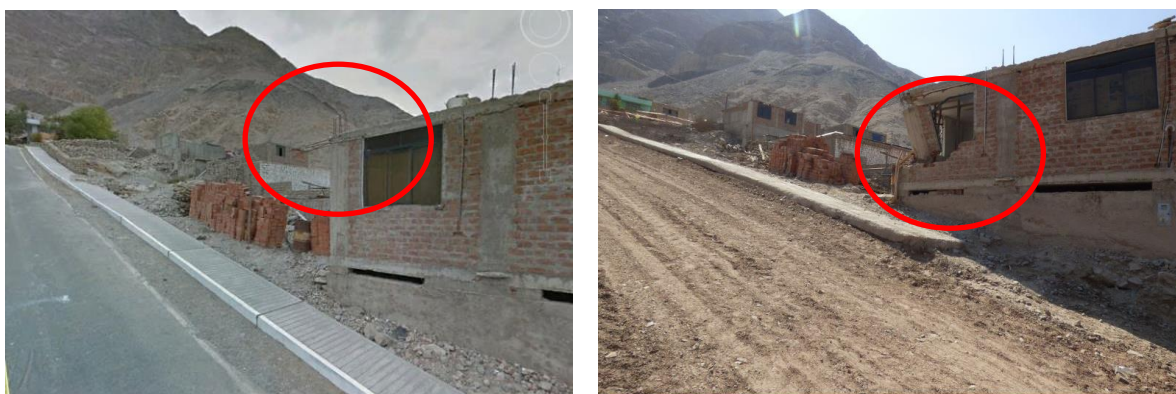


Figura 40. Vivienda afectada por el flujo de detritos. Izquierda, vista de la derecha correspondiente al año 2014.

5.1.2 QUEBRADA SECTOR CASQUINA

El flujo de detritos movilizó bloques con diámetros de hasta 4 metros. El depósito dejado por el huaico está compuesto por bloques de hasta un 60% seguido de 20% de grava y 20% entre arena y limo. Los bloques y gravas estos se caracterizan por tener formas subangulosas, la mayor cantidad son bloques de areniscas (80%) el resto de rocas de andesitas.

En la parte alta la microcuenca presenta laderas con pendientes que varían entre 25° a 45°. Las aguas de lluvia, concentradas en este sector, descendieron por las laderas, adquiriendo paulatinamente velocidad y poder erosivo, incorporando nuevo material al flujo principal por la erosión de los depósitos de los depósitos de huaicos antiguos y de las laderas (Figura 48).

Una característica del depósito es la presencia de una pátina blanquecina, proveniente de las acumulaciones de ceniza volcánica existentes en las laderas (perteneciente a la erupción del volcán Huaynaputina del año 1600). Este depósito se encuentra ubicado en la cuenca alta en el afluente de la margen izquierda.

En huaico se canalizó por la margen izquierda (figura 41), en su recorrido afectó corrales de ganado porcino y la vía de acceso Corire-Aplao-Chuquibamba. Según la municipalidad de Aplao afectó siete viviendas.

El cauce de la quebrada, después del huaico alcanzó una profundidad de 5 m; estimándose que el huaico llegó a socavar hasta 3 m de profundidad. El ancho del cauce de la quebrada alcanzó hasta 10 m.



Figura 41. La línea amarilla muestra el trayecto que adquirió el flujo de detritos ocasionado recientemente. Con líneas rojas se demarca antiguos movimientos en masa, ubicados en la margen izquierda de la quebrada.

Es importante mencionar que al momento de la inspección de campo, se observó que esta quebrada se profundizó en 3 m, después del evento del 07 de febrero.

5.1.3 QUEBRADA SECTOR CASPANI 1

El flujo de detritos movilizó bloques con diámetros de hasta 4 metros. Se apreció que este depósito está compuesto por bloques de hasta un 60% seguido de 20% de grava y 20% entre arena y limo. Los bloques y gravas estos se caracterizan por ser de formas subangulosas, la mayor cantidad de naturaleza areniscosa (80%) el resto es de tipo andesitas.

En la parte alta de la microcuenca se tiene material suelto proveniente de antiguos movimientos en masa, además las laderas tienen pendientes que varían entre 25° a 45°, estos dos factores condicionantes fueron aprovechado por el agua de lluvia, dando el inicio del flujo de detritos.

Al descender el flujo adquirió velocidad y aumento del poder erosivo, removi6 e incorpor6 material suelto disponible en el cauce de la quebrada.

Al desplazarse el flujo por la parte media de la microcuenca, form6 albardones en sus extremos (figura 42), con alturas comprendidas entre 50 cm a 1 m, conformados por gravas, arena-limo y escasos bloques.

Está quebrada, en la parte la cuenca media superior fue socaba hasta 2 m (figura 43).

El flujo se canalizó por la parte central, afect6 viviendas, postes de tendido eléctrico y vía de acceso Corire-Aplao-Chuquibamba (Figura 49).



Figura 42. Se aprecia el paso dejado por el flujo y los albardones o levés en ambas márgenes.



Figura 43. Se aprecia la altura que alcanzó el flujo (con albardones) y el socavamiento de la quebrada; pequeñas chorreras en la margen derecha.

5.1.4 QUEBRADA DEL SECTOR CASPANI 2

El flujo de detritos movilizó bloques con diámetros de hasta 5 metros (figura 44). Se apreció que este depósito está compuesto por bloques de hasta un 60% seguido de 20% de grava y 20% entre arena y limo. Los bloques y gravas se caracterizan por ser de formas subangulosas, la mayor cantidad son de naturaleza areniscosa de formas subangulosas.

En la parte alta la microcuenca presenta laderas con pendientes que varían entre 25° a 45°, se apreció material suelto acumulado por antiguos movimientos en masa, que fueron movilizados por la lluvia intensa.

Al concentrarse y fluir el agua de lluvia por las laderas, erosionó y adquirió velocidad y por ende aumentó su poder erosivo, esto ocasionó la remoción de los depósitos antiguos de movimientos en masa ubicados en las laderas y del cauce de la quebrada.

El cauce de la quebrada tiene una profundidad de hasta 6.8 m, el flujo reciente incrementó la profundidad de la quebrada hasta en 1 m (Figura 45).

Los huaicos que se presentaron en las dos quebradas afectaron 24 viviendas (figura 46), (Fuente: municipalidad de Aplao), además se observó postes de tendido eléctrico destruidos (Figuras 46 y 49), también afectó la vía de acceso Corire-Aplao-Chuquibamba.



Figura 44. En la vista se observa un gran bloque de areniscas que fue movilizado por el huaico.



Figura 45. Se muestra la profundidad de la quebrada.



Figura 46. Izquierda se aprecia una vivienda afectada y parcialmente enterrada por el flujo. Derecha, sector que destruyó viviendas, se aprecian los vestigios de postes de tendido eléctrico y lozas de viviendas.

5.1.5 OTROS HUAICOS.

En otro sector de Aplao, se observó otros depósitos de huaicos antiguos, la quebrada de este sector no se activó con las lluvias que se generaron el 07 de febrero del 2019, porque la lluvia se concentró en la parte alta más no en la cuenca media.

La fuente de origen de estos huaicos se inicia a media ladera a manera de derrumbes (figura 47)



Figura 47. Depósitos de antiguos huaicos

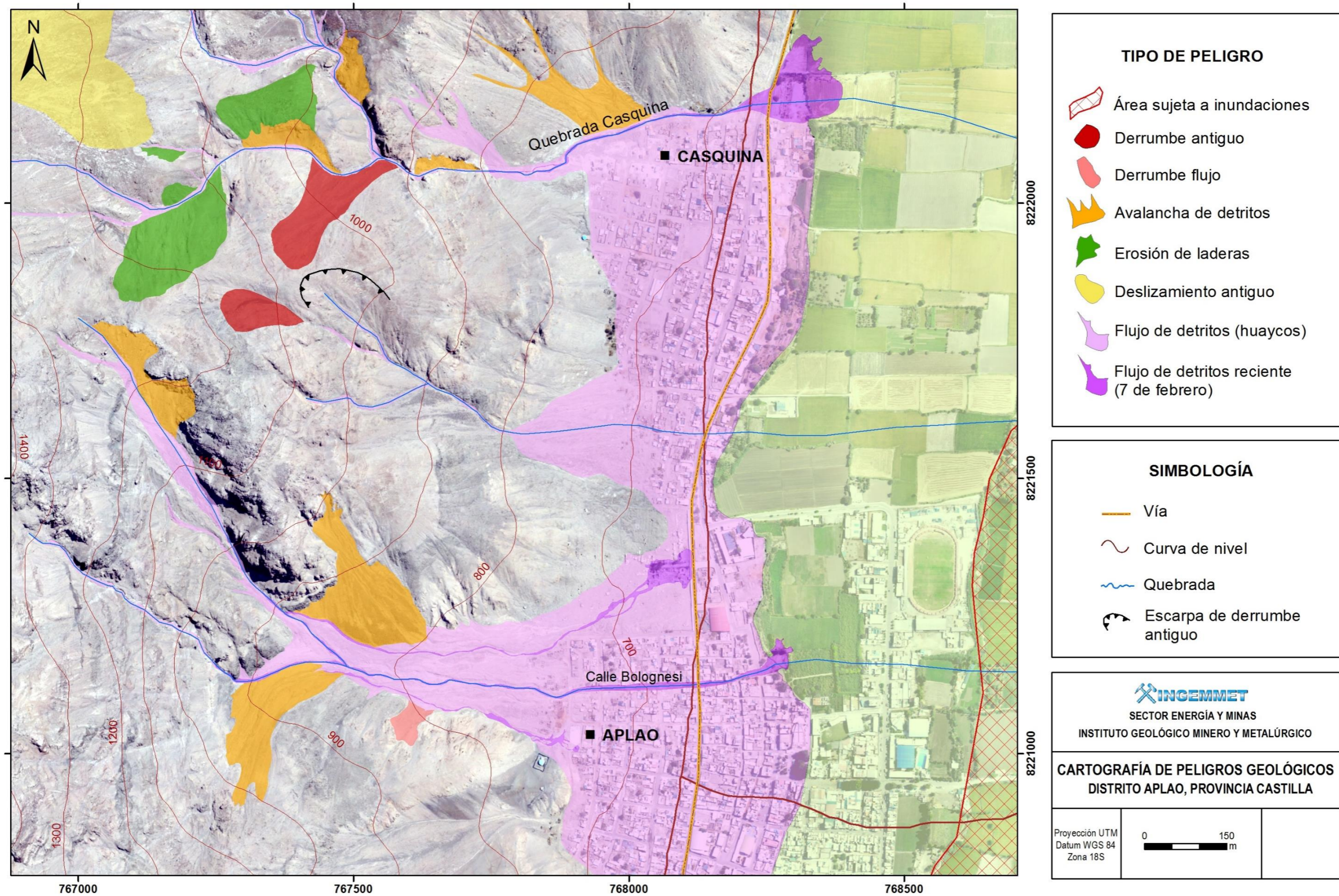


Figura 48. Mapa de peligros geológicos en las quebrada Casquina y de Aplao.

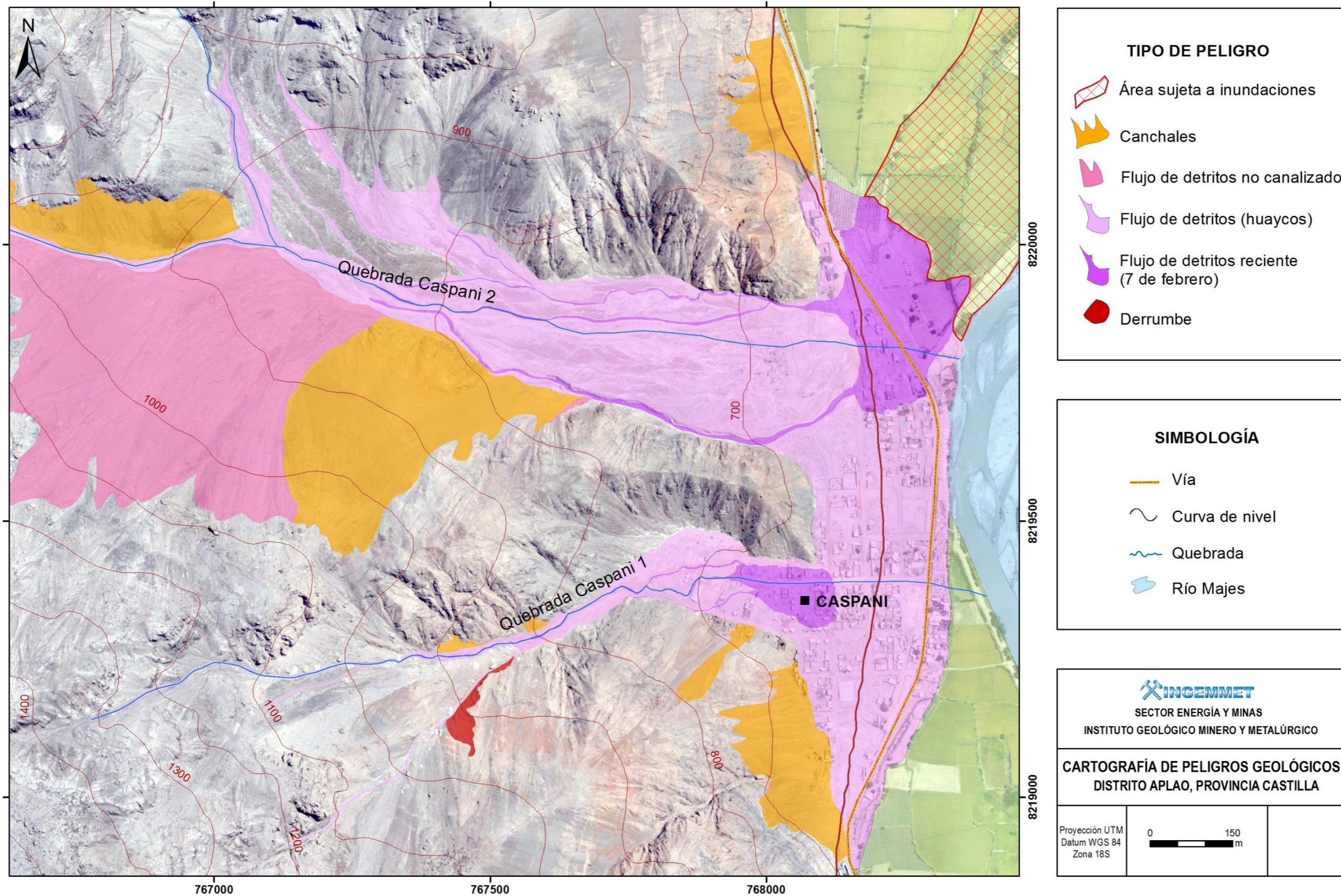


Figura 49. Peligros geológicos del sector de las quebradas Caspani 1 y 2.

5.2 ZONIFICACIÓN DE LOS FLUJOS DE DETRITOS DEL 07 DE FEBRERO.

La presente zonificación del grado de peligro se ha realizado en base a los eventos sucedidos el 07 de febrero del 2019 y la cartografía de eventos anteriores interpretada en los trabajos de campo y gabinete.

5.2.1 Zona de Peligro muy alto

Se considera las zonas por donde descendieron los flujos recientes y las zonas de aportes que han tenido de la parte de la cuenca media y alta. Además, se incluye la zona por donde discurrió el flujo.

En el sector urbano de Aplao, este nivel se encuentra por el terreno que discurre la calle Bolognesi y las viviendas aledañas a las casas, por donde descendió el flujo, y afectó viviendas y produjo la pérdida de una vida humana.

En los extremos laterales, se generaron flujos que afectaron corrales de ganado.

En el sector Casquina, se considera los sectores por donde discurrió el flujo, afecto corrales de ganado porcino y siete viviendas. Hay que considerar que esta zona es la que tiene una mayor cuenca de recepción, donde se ha identificado una serie de peligros geológicos.

En el sector Caspani, se considera los sectores por donde discurrieron los flujos (conos deyectivos), que afectaron viviendas. En el sector de la quebrada Caspani 2, en su cuenca de recepción, se presenta una serie de eventos, que alimentan con material suelto al cauce de la quebrada.

a) Zona de peligro alto

Se considera las zonas constituidas por los depósitos dejados por los huaicos antiguos, los terrenos están conformados por bloques (60%), gravas (20%) y arenas con limos (20%). Estos terrenos son de fácil remoción.

b) Zona de peligro medio

Se considera las laderas de los cerros, que no son afectados por movimientos en masa, con escasos procesos de erosiones de ladera, pero en caso de lluvias excepcionales o de sismos, podrían desestabilizarse y generar nuevo material que aportarían al cauce de la quebrada.

c) Zona de peligro bajo

Se considera a la zona de terraza, formada por los antiguos cauces del río Majes, es poco probable que sea afectada por movimiento en masa, pero si puede ser afectada por inundación y erosión fluvial.

Comentarios

En caso de presentarse una mayor cantidad de lluvia, esto traerá como consecuencia flujos que generan mayores volumen de sólidos, esto tendrá una mayor afectación en la zona urbana.

Por ello es necesario, tener conocimiento del comportamiento de las lluvias, registradas en la zona. Es decir, tener un registro histórico de lluvias, para determinar el umbral detonante de los huaicos, para ello se necesitaría una data histórica de lluvias.

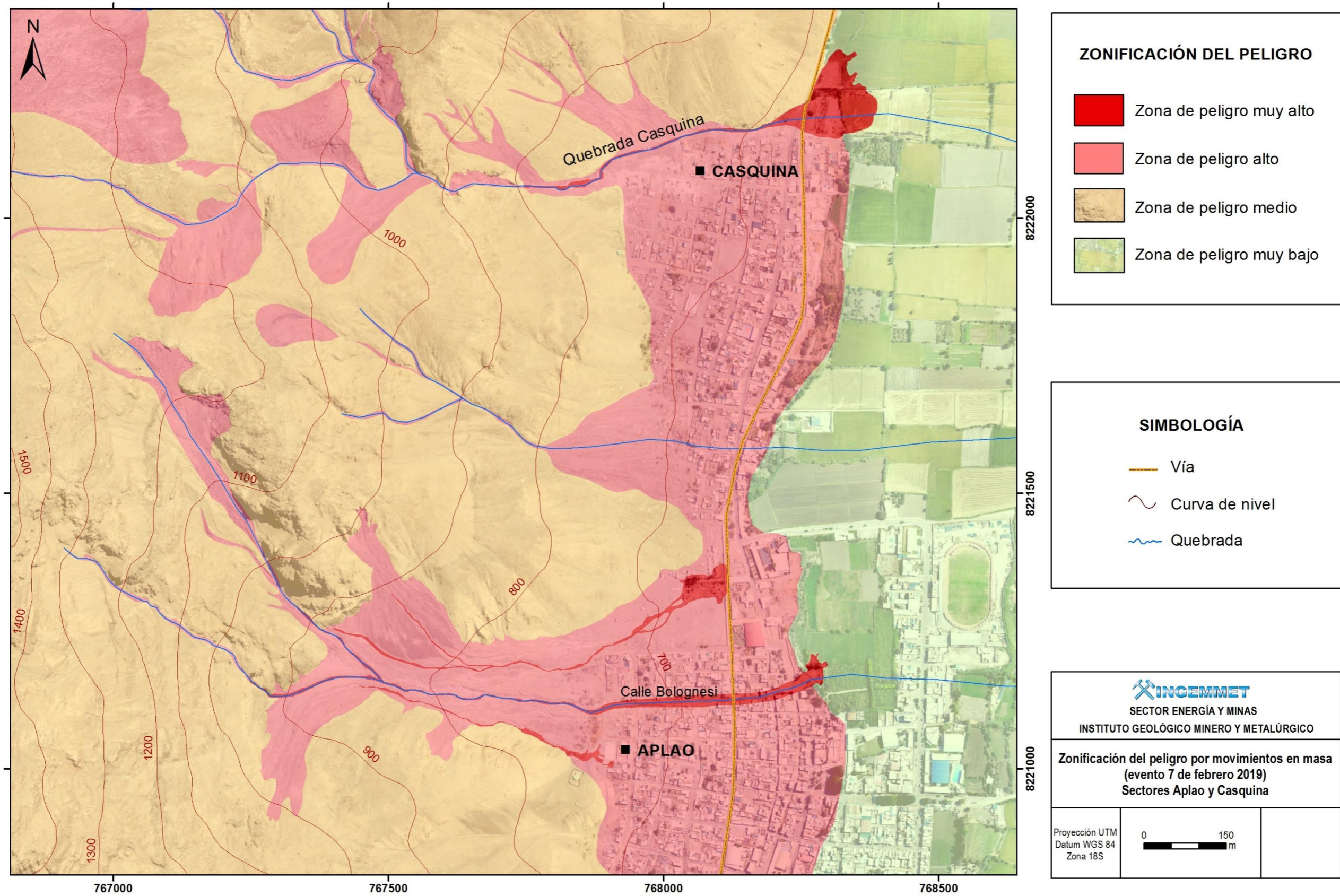


Figura 50. Zonificación de peligros del sector de Aplao y Casquina, del evento del 07 de febrero 2019

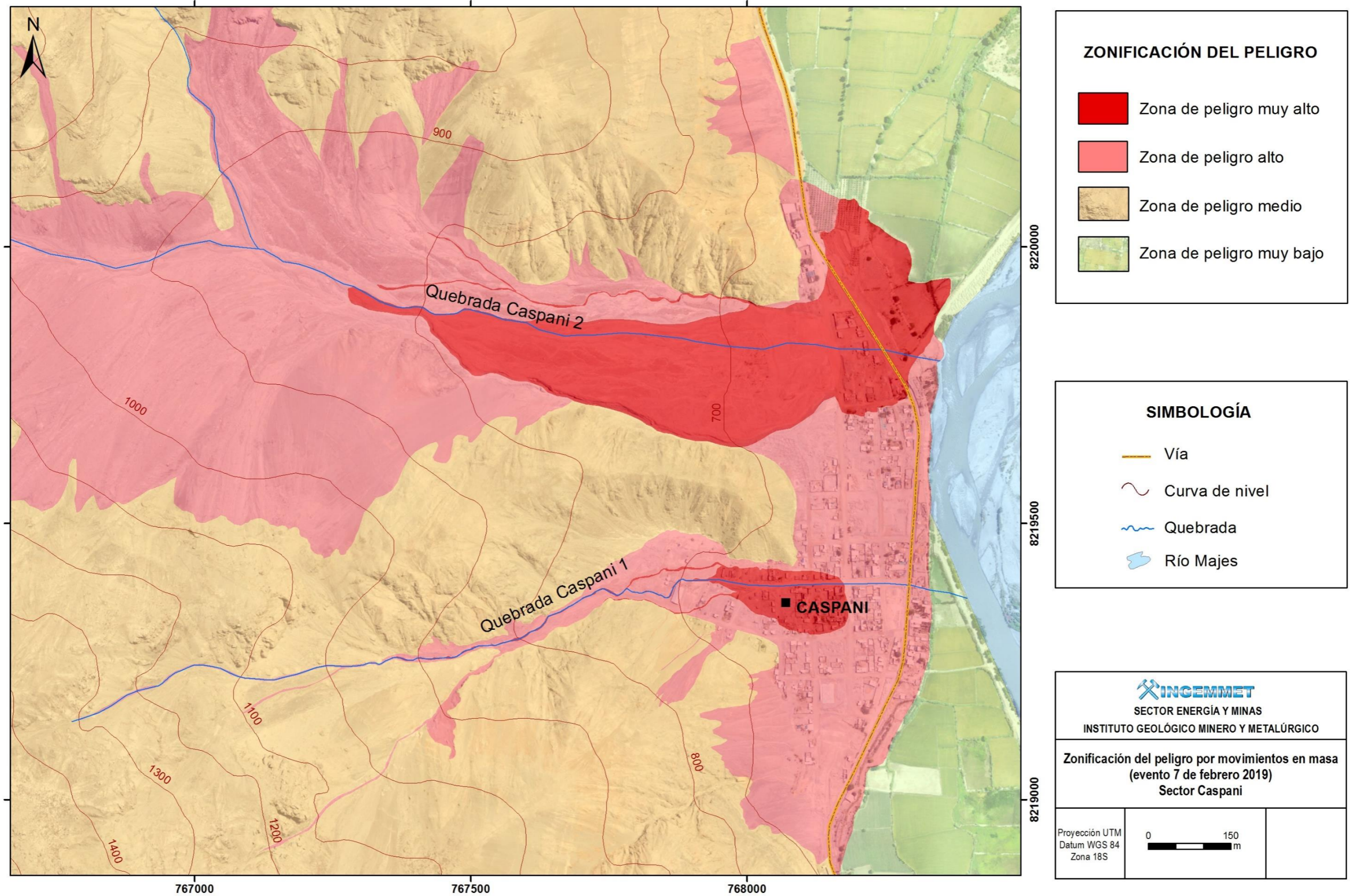


Figura 51. Zonificación de peligros del sector de las quebradas Caspani 1 y 2, del evento del 07 de febrero 2019

6. SIMULACIÓN DE FLUJOS DE DETRITOS (HUAICOS) EN SECTOR DE APLAO

Adicionalmente, en el presente informe se presentan escenarios de huaicos para la zona evaluada, utilizando como base la data obtenida con los sobrevuelos en dron para generar modelos de elevación digital.

Para la construcción de mapas en el cual representamos escenarios de flujos de detritos (huaicos) empleamos el método de simulación numérica.

6.1 MÉTODO DE SIMULACIÓN NUMÉRICA

Este método se basa en la aplicación de modelos numéricos asistidos por computadora.

Los modelos del tipo simulación numérica, son una simplificación cuantitativa de la realidad, según Griswold (2004) estos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Modelos de base física
- Modelos de base estadística, llamados empíricos
- Modelos de base física y estadística

La clasificación de las simulaciones numéricas hechas por Griswold, (2004), están basadas en el comportamiento de flujos de escombros, lahares/huaicos y avalanchas de escombros.

6.2 MÉTODO DE ESTUDIO DE FLUJOS DE DETRITOS (HUAICOS)

Para la modelización de los flujos de detritos, se utilizó el modelo de base física, empleando el código VolcFlow. Para la determinación de las zonas de afectación.

VolcFlow.

Este programa fue creado en el *Laboratorio Magmas et Volcanes, Universidad Blaise Pascal, en Clermont Ferrand* (Francia; Kelfun *et al.*, 2005), diseñado especialmente para simular flujos gravitacionales.

El programa VolcFlow permite simular la trayectoria de flujos densos, flujos diluidos a partir de los flujos densos y la sedimentación de los flujos diluidos, basado en el promedio vertical de las ecuaciones de conservación de la masa (Ecuación 1) y la cantidad de movimiento (Ecuaciones 2 y 3). Los valores empleados, para correr los distintos flujos se describen más adelante.

Dónde:

h: Es el espesor del flujo

u: = (u,v) es la velocidad del flujo

α : Pendiente del terreno

ρ : Densidad aparente

T: Retardo de esfuerzo - "Savage y Hunter (1989)"

Kaccpass: Coeficiente de presión terrestre - "Inverson y Denlinger (2001)"

Requerimiento durante el procesamiento con el código VolcFlow	Programas que utiliza
(Angulo interno)-delta_interneo(°)	Matlap
(Angulo de lecho)- delta_basal (°)	Surfer
Cohesión (fuerza por unidad de área) (Kpa)	Photoshop
(Densidad) (kg/m ³)	ArcGis
(viscosidad) (Pa.s)	
Volumen (m ³)	
Tiempo de emisión (s)	
Tiempo de simulación (s)	

Tabla 1. Parámetros de los flujos y programas necesarios para el procesamiento con VolcFlow

Para trabajar en el código VolcFlow, se construyó un modelo de elevación digital (DEM), a partir de fotografías tomadas con dron. El DEM posee una resolución de 30 cm.

6.3 SIMULACIÓN DE FLUJOS DE DETRITOS (HUAICO) DEL 7 DE FEBRERO DE 2019 EN APLAO

La simulación de flujos de detritos en las quebradas del sector de Aplao, se realizó según el método de simulación numérica mediante el código VolcFlow, explicado anteriormente. Para ello, se determinó un escenario por flujos de detritos para cada quebrada, en base a cálculos de volúmenes, tomando en cuenta datos de precipitaciones, área de las zonas de generación flujos de detritos en las microcuencas de cada quebrada (figura 52), y el porcentaje de contenidos de agua y sólidos.

- a) La zona de generación de flujos de detritos en la microcuenca de la quebrada Caspani 1, posee un área aproximada de 650 m²
- b) La zona de generación de flujos de detritos en la microcuenca de la quebrada Caspani 2, posee un área aproximada de 2500 m²
- c) La zona de generación de flujos de detritos en la microcuenca de la quebrada Aplao, posee un área aproximada de 850 m²
- d) La zona de generación de flujos de detritos en la microcuenca de la quebrada Casquina, posee un área aproximada de 1300 m²

En base al valor de precipitación de 10 mm, tomados del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú), de la estación meteorológica APLAO, ubicado en la ciudad del mismo nombre. Se consideró los siguientes volúmenes de flujos de detritos para cada quebrada:

- a) Para el flujo de detritos la quebrada Caspani 1 se calculó un volumen de 11000 m³,
- b) para el flujo de detritos de la quebrada Caspani 2 se calculó un volumen de 45000 m³,
- c) para el flujo de detritos de la quebrada Aplao se calculó un volumen de 15000 m³,
- d) para el flujo de detritos de la quebrada Casquina se calculó un volumen de 20000 m³

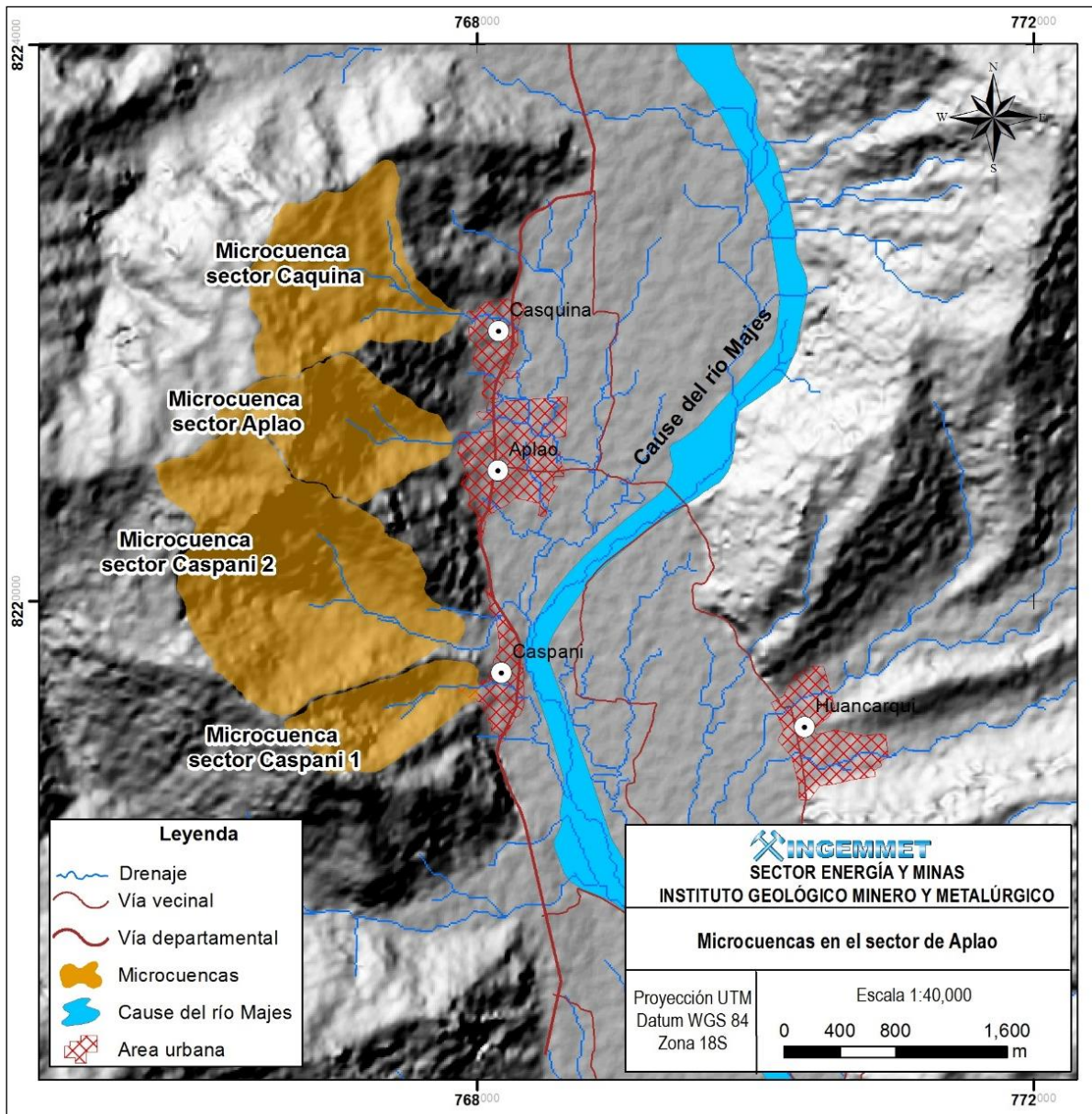


Figura 52. Muestra las zonas de generaciones de flujos de detritos en el sector de Aplao.

6.4 ZONAS AFECTADAS POR FLUJOS DE DETRITOS (HUAICOS) SEGÚN EL RESULTADO DE LA SIMULACIÓN

De acuerdo a los resultados de la simulación para flujo de detritos emplazado el 7 de febrero del 2019, se muestran las zonas afectadas en cada quebrada.

a) Quebrada Caspani 1:

Las zonas afectadas son: a) la parte alta de la zona urbana, b) las dos calles principales que empiezan desde la parte alta de la zona urbana, c) un tramo de la carretera departamental que cruza la parte baja de la zona urbana, d) zona agrícola ubicada aproximadamente a 80 m. por debajo de la carretera departamental que cruza el sector, (figura 52, 56 y 57).

b) Quebrada Caspani 2:

Las zonas afectadas son: a) un sector del extremo norte de la zona urbana, b) un tramo de la carretera departamental que cruza la parte baja de la zona urbana, c) zona agrícola ubicada aproximadamente a 160 m. por debajo de la carretera departamental que cruza el sector, (figura 53, 56 y 57).

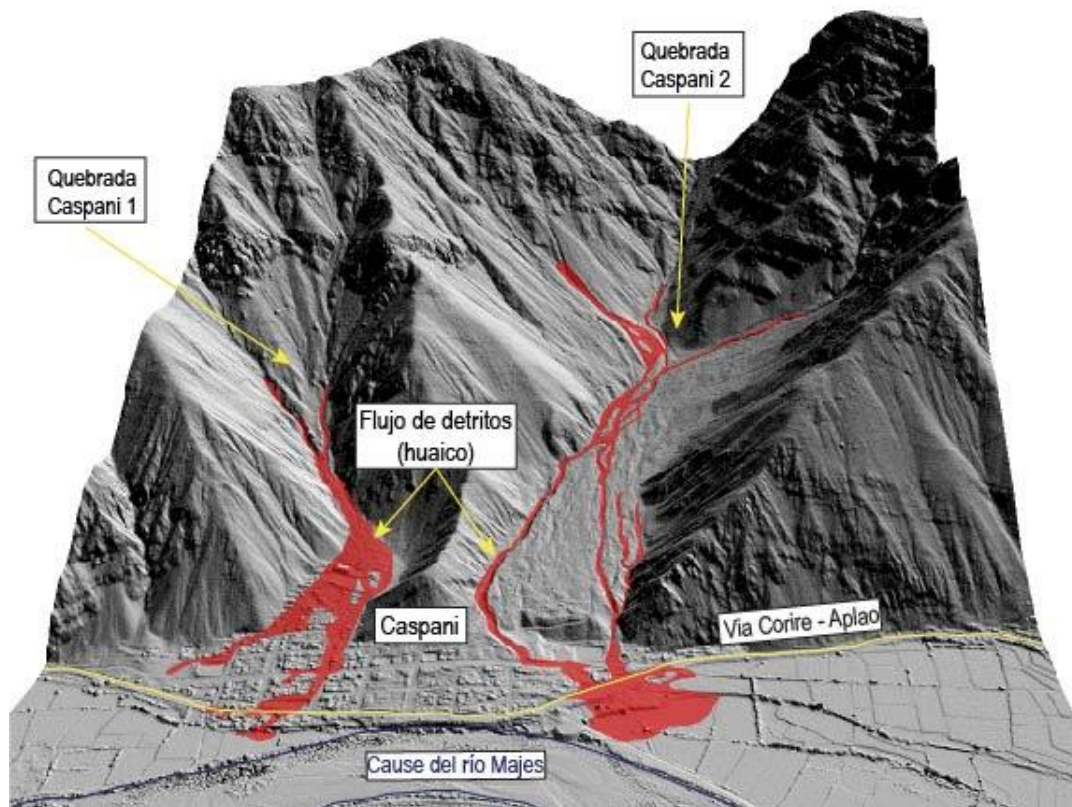


Figura 53. Simulación de flujos de detritos para las quebradas Caspani 1 y Caspani 2.

c) Quebrada Aplao:

Las zonas afectadas son: a) el flujo de detritos desciende por la calle Bolognesi, b) otra zona afectada es un tramo de la calle Libertad, c) zona agrícola ubicada aproximadamente 140 m. por debajo de la calle Castilla, (figura 54, 56 y 57).

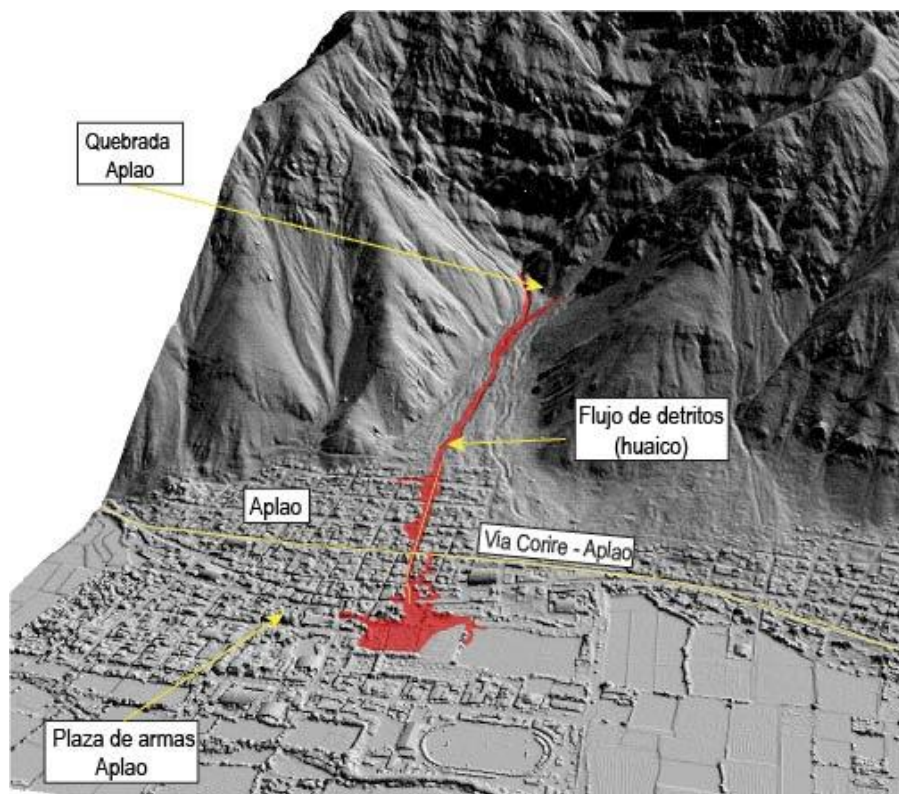


Figura 54. Simulación de flujos de detritos para la quebrada Aplao.

d) Quebrada Casquina

Las zonas afectadas son: a) el extremo norte de la zona urbana, b) un tramo de la carretera departamental que cruza la zona urbana, c) zona agrícola ubicada aproximadamente a 170 m. por debajo de la carretera departamental que cruza el sector (figura 55, 56 y 57).

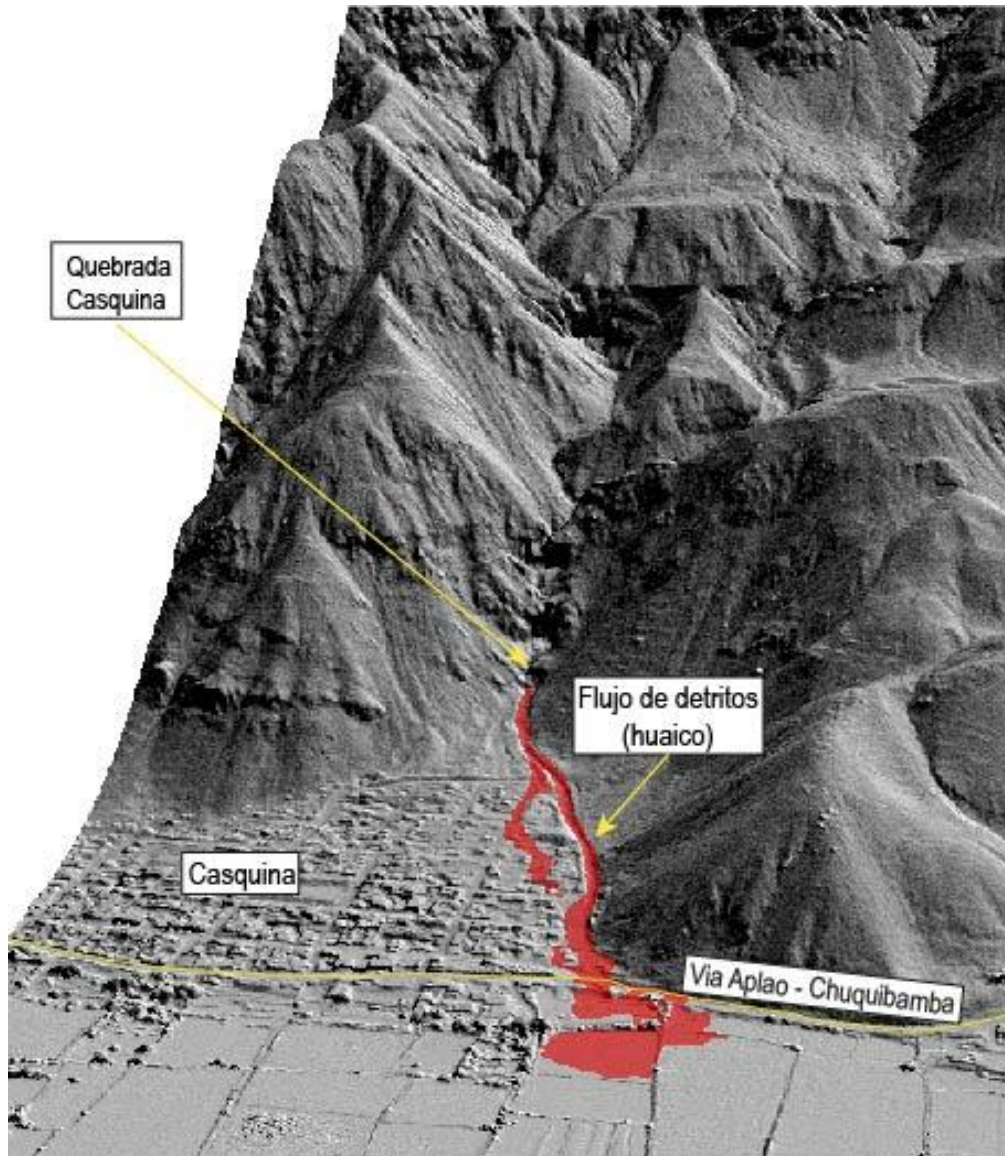


Figura 55. Muestra la simulación de flujos de detritos para las quebradas Casquina

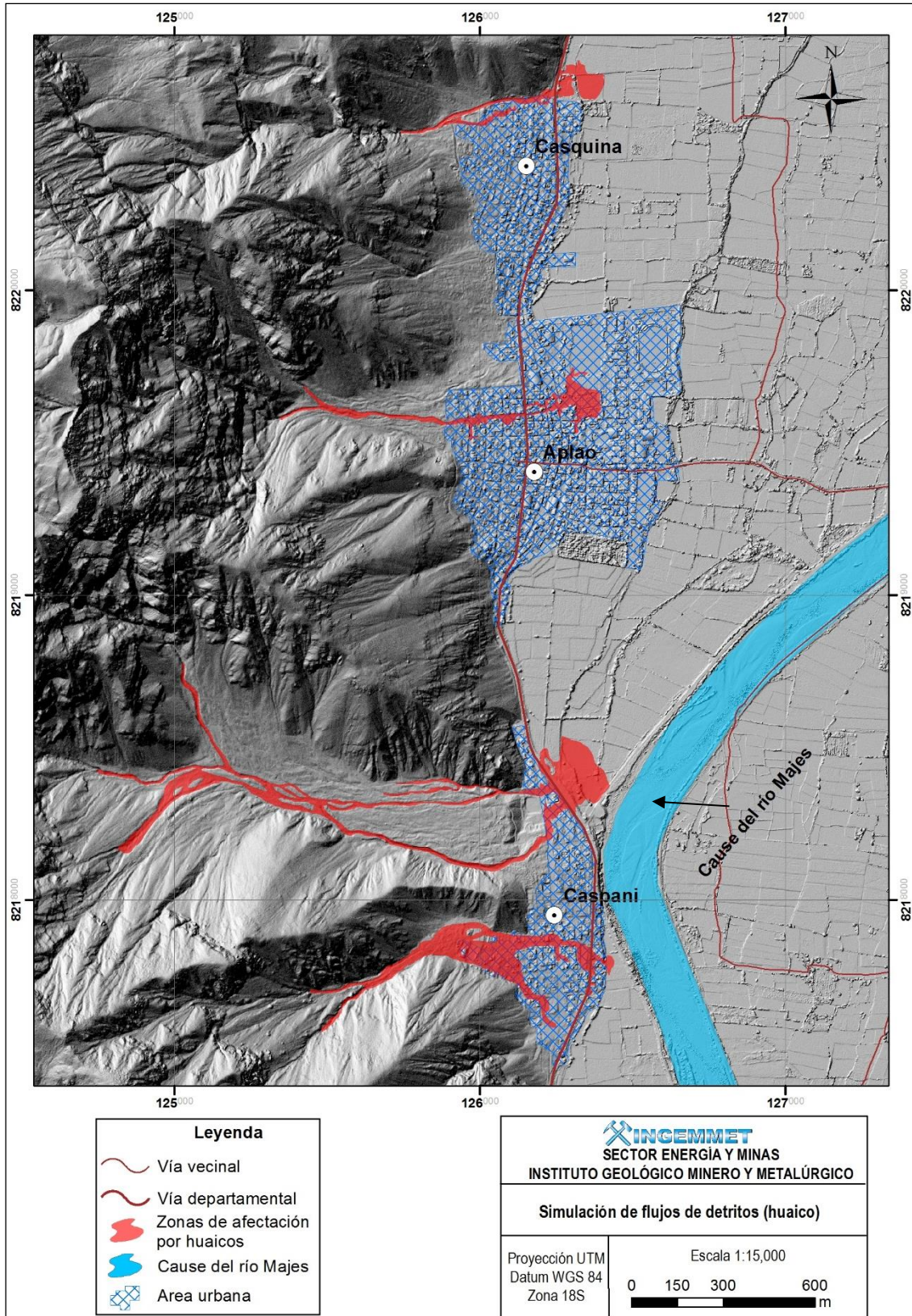


Figura 56. Simulación de flujos de detritos del 7 de febrero del 2019, para los tres sectores evaluados.

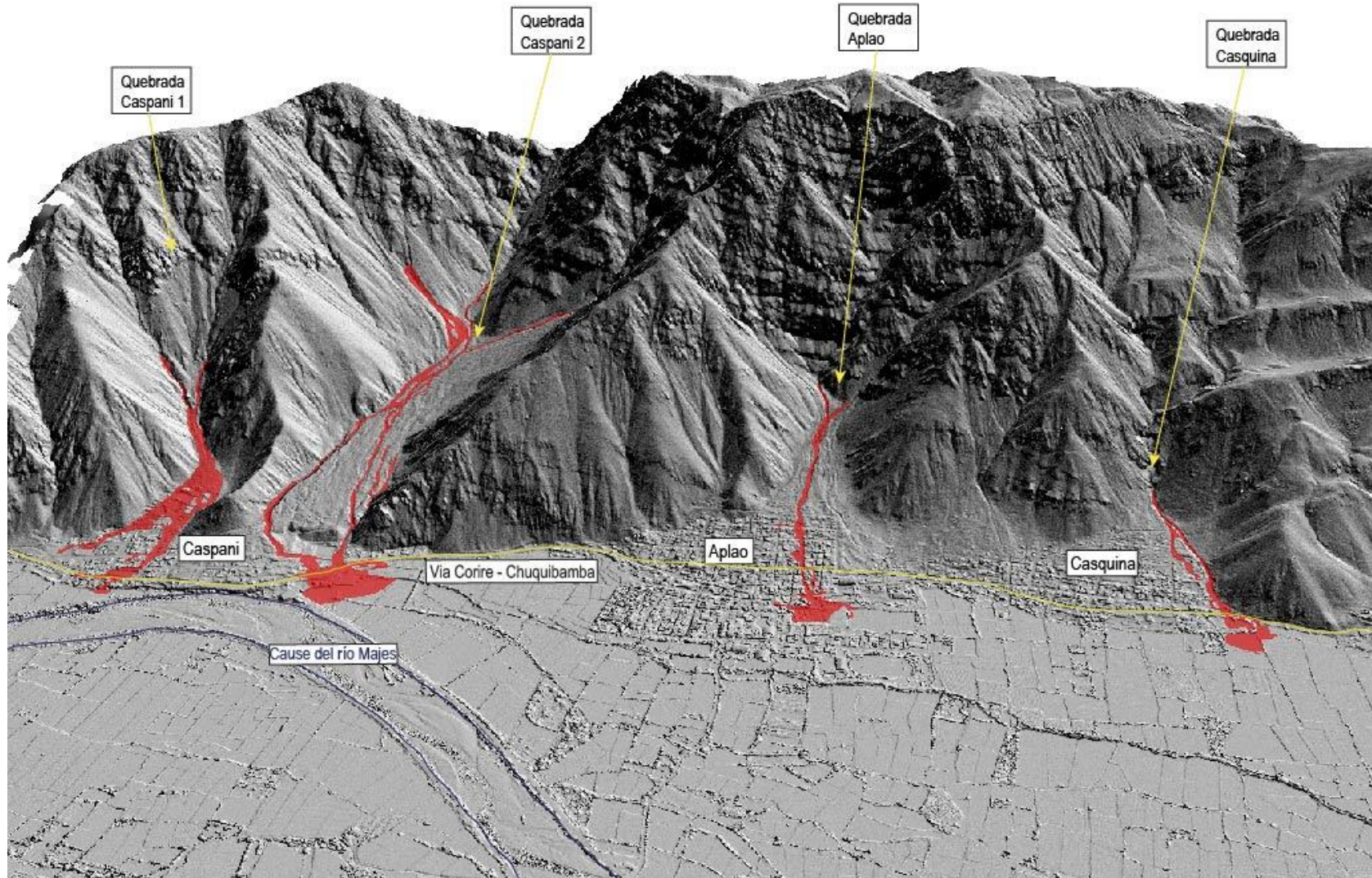


Figura 57. Imagen oblicua donde se visualiza lateralmente los flujos de detritos del 7 de febrero del 2019 en el sector de Aplao, modelado con el Código VolcFlow.

6 MEDIDAS CORRECTIVAS

6.2 MEDIDAS CORRECTIVAS ESTRUCTURALES

- Para la parte central de la quebrada Aplao se debe diseñar un canal hidráulico técnicamente racional a las características de los flujos y dinámica presentadas, con la finalidad de darle un curso a la quebrada hacia el río Majes, para evitar daños de presentarse nuevos eventos por lluvias excepcionales.
- Los cauces de las quebradas se deben canalizar, para ello se debe respetar la sinuosidad que tienen las quebradas.
- Para el caso de cauces estrechos (menores a 15 metros y alturas de aproximadamente 6 metros) con perfil transversal en forma de V, se puede considerar previa evaluación geotécnica, el uso de mallas de retención de detritos.
- Desatar los bloques inestables de la ladera. Se podría considerar fragmentar los bloques inestables que tengan dimensiones menores a 1,50 m, en base al sistema de dilatación y contracción. Este proceso consiste en quemar la roca y una vez que alcance una alta temperatura (color rojo), agregar agua. Esto ocasionará una contracción muy violenta, dando como resultado su fragmentación. Esto también aplica a los fragmentos de roca mayores de menores de 5 m, encontrados en el depósito antiguo.
- Forestar el depósito, con árboles de raíces profundas para darle una mayor estabilidad al terreno.

a) Para Aplao

- Para el desfogue en la quebrada de Aplao en su parte central (Av. Bolognesi), se debe canalizar y profundizar el cauce de la quebrada, no se debe crear nuevos cauces. Para determinar la profundidad del nuevo cauce, se tendrá que realizar estudios hidráulicos específicos, considerando además el tamaño máximo de los bloques que pueden ser arrastrados por el flujo.
- Es necesario dejar un espacio libre para la salida a los posibles flujos que se puedan presentar en un futuro, para ello se tendrá que reubicar las viviendas de la calle Bolognesi.
- Una vez reubicadas las viviendas de la calle Bolognesi se deberá construir una calle canal, para que el curso del futuro huaico discurra directamente hasta el río Majes.
- El encausamiento de la quebrada se debe iniciar desde la parte donde se unen los dos afluentes, respetando la sinuosidad de la quebrada.

6.3 MEDIDAS CORRECTIVAS NO ESTRUCTURALES

- Es necesario para la gestión local del riesgo de desastres establecer un plan de emergencia local o vecinal, con la ubicación de lugares de resguardo y vías de escape.

Este plan debe ser socializado en la población y generar conciencia de los procesos que pueden afectarlos y cómo prevenir sus daños. Las capacitaciones pueden ser proporcionados por la subgerencia de Defensa Civil de la Municipalidad de Aplao y el INGEMMET.

- El municipio de Aplao debe trabajar en la normativa que prohíba la expansión urbana hacia los cauces de las quebradas. Debería colocarse letreros de advertencia, con lemas referidos al grado de peligro en el que se encuentra la zona. Es necesario además planificar la reubicación de las viviendas que se ubican actualmente en el cauce de las quebradas hacia sitios seguros.
- Efectuar estudios geotécnicos y de ingeniería de detalle para canalizar adecuadamente los flujos. Para saber las dimensiones de los canales, se deben hacer primero los modelos de avenidas usando caudales extremos de los últimos años. Esto permitirá construir medidas adecuadas para impedir el ingreso de los flujos hacia las zonas urbanas. Estos modelos requieren datos de lluvias, máximas en 24 horas para 15 años (como mínimo) para poder pronosticar.

Considerando los escenarios o simulaciones realizadas se debe elaborar escenarios futuros con una mayor cantidad de lluvias. Esto permitirá mejorar el diseño de la canalización y profundización de la quebrada.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a) El 07 de febrero, se generaron huaicos que afectaron las localidades de Aplao, Casquina y Caspani. El factor detonante fue la lluvia excepcional que dio el 07 de febrero 2019.
- b) La zona donde se encuentran asentadas las localidades de Aplao, Casquina y Caspani, se encuentran sobre antiguos depósitos de huaicos, las quebradas que los surcan se activan en época de lluvias excepcionales.
- c) El cartografiado de procesos geológicos superficiales, de estos tres sectores nos demuestra que existen procesos antiguos de movimientos en masa, podrían reactivarse durante la época de lluvias excepcionales.
- d) Las quebradas que cruzan las localidades de Aplao, Casquina y Caspani, en su cuenca media y baja no tienen un desfogue definido, porque las viviendas han invadido el cauce natural de las quebradas.
- e) Se tiene una mala planificación urbanística en el distrito de Aplao, no se ha considerado los sectores susceptibles a movimientos en masa u otros procesos que podrían generar desastres futuros en el distrito.
- f) Dadas las condiciones intrínsecas del área evaluada, se determinó una elevada susceptibilidad a movimientos en masa, que de presentarse lluvias excepcionales es muy posible que ocurran otros eventos similares.
- g) La parte alta de la microcuenca de la quebrada Casquina, es una de las más grandes de las cuatro evaluadas, donde se aprecia abundante material suelto proveniente de antiguos movimientos en masa. De generarse una lluvia de mayor cantidad a la registrada en el 2019, es probable que se presente un flujo de mayores dimensiones, esto afectaría a la población que está asentada en este sector. Por ello es recomendable su reubicación.
- h) Para la quebrada de Aplao
 - Canalizar la quebrada desde la unión de las quebradas afluentes hasta su desembocadura.
 - Profundizar y anchar su cauce, para ello se tendrán que realizar estudios de hidráulica.
 - Reubicar las viviendas que se encuentran en la calle Bolognesi, una vez reubicadas las viviendas, en este sector se construirá una calle canal, para que desfogue de la quebrada hacia el río Majes.
 - Para los cauces laterales del sector de Aplao, sus nacientes deben canalizarse hacia el sector central.
- i) En el sector Caspani, las quebradas tienen un amplio cauce siendo necesaria la reubicación de las viviendas.

- j) La autoridad local pertinente debe emitir ordenanzas para prohibir:
 - La construcción de viviendas en zonas de alto peligro por movimientos en masa
 - La ocupación en las fajas marginales o el límite natural de un río o quebrada.
 - Por ningún motivo debe continuar la expansión urbana hacia los cauces de las quebradas.

- k) Se recomienda que el SENAMHI evalúe la instalación de pluviómetros en la parte alta, media y baja de las quebradas evaluadas, lo que permitirá tener información meteorológica fidedigna que sirvan para analizar a futuro la ocurrencia de los flujos de detritos en este sector.

- l) La elección del área de reubicación debe contar con una opinión técnica multisectorial que incluya la información señalada en el punto anterior. Es necesario un trabajo integral, solo de esa forma se evitarán más muertes.

- m) Realizar trabajos de reforestación que propicien el crecimiento de áreas verdes en las microcuencas de las quebradas del distrito de Aplao, que muestren una recurrencia o indicios de actividad pasada de flujos de detritos o huaicos, principalmente en aquellas cuya desembocadura estén ocupadas por zonas pobladas.

- n) Estableces sistemas de alerta temprana.

REFERENCIAS

Cruden, D.M. and Varnes, D.J., Landslides Types and Processes in Turner, A.K and Schuster, R.L. editores (1996). Landslides Investigation and Mitigation, Special Report 247, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 672 p.

Hungr, O. y Evans, S.G. (2004). Entrainment of debris in rock avalanches: an analysis of a long run-out mechanism: Geological Society of America Bulletin, v.

Luque, G., Rosado, M. (2014). Zonas críticas por peligros geológicos en la región Arequipa. INGEMMET. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Informe Técnico. Primer Reporte. 114 p.

Varnes, J. (1978). Slope movements types and processes. En: SCHUSTER, L. y KRIZEK, J. Ed, Landslides analysis and control. Washington D.C. National Academy Press Transportation Research Board Special Report 176, p.

Zavala, B., Vilchez, M. y Rosado, M. (2008). Zonas Críticas por peligros geológicos en la cuenca del río Camaná-Majes-Colca. INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Primer Reporte. Informe Técnico. 40 p.

Zavala, B. & Rosado, M. (2011). Riesgo geológico en la Región Cajamarca. INGEMMET Serie C Geodinámica e Ingeniería Geológica. Boletín N°44, p407.