

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7042

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LAS QUEBRADAS DEL DIABLO Y CARAMOLLE EN TACNA

Región Tacna
Provincia Tacna
Distritos Alto de la Alianza y Ciudad Nueva



ABRIL
2020

CONTENIDO

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Metodología del trabajo	2
1.2 Objetivo del estudio	3
2. ASPECTOS GENERALES	3
2.1 Ubicación y accesibilidad	3
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	4
4. ASPECTO GEOMORFOLÓGICO	7
4.1 Geoformas de carácter depositacional y agradacional	7
4.2 Geoformas de carácter volcánico degradacional y erosional	7
5. ASPECTOS GEOLÓGICO-GEODINÁMICOS	8
6. ASPECTOS GEOLÓGICO-GEODINÁMICOS EN LA QUEBRADA DEL DIABLO QUE GENERO EL FLUJO DE LODO DEL 21 DE FEBRERO DEL 2020 ... 9	
7. ASPECTOS GEOLÓGICO-GEODINÁMICOS EN LA QUEBRADA CARAMOLLE QUE PODRIA GENERAR FLUJOS	11
8. PELIGROS GEOLÓGICOS	12
8.1 QUEBRADA DEL DIABLO	14
8.2 QUEBRADA CARAMOLLE	20
9. SIMULACION DE FLUJOS DE LODO EN LAS QUEBRADAS DEL DIABLO Y CARAMOLLE	24
10. ZONAS AFECTADAS EN BASE A LA SIMULACIÓN DE FLUJOS DE LODO EN LA QUEBRADA DEL DIABLO	24
11. ZONAS AFECTADAS EN BASE A LA SIMULACIÓN DE FLUJOS DE LODO EN LA QUEBRADA CARAMOLLE	26
12. MEDIDAS CORRECTIVAS	27
CONCLUSIONES	28
RECOMENDACIONES	28
REFERENCIAS	29

RESUMEN

El informe de evaluación contiene datos de observaciones realizadas en las quebradas Del Diablo y Caramolle, ubicadas en los distritos de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva respectivamente, dentro de la provincia y departamento de Tacna.

En la zona de estudio la distribución de las unidades litoestratigráficas van desde las más antiguas correspondientes a secuencias del Neógeno hasta depósitos actuales. Las unidades litoestratigráficas son: La Formación Huaylilla (Nm-hu_s), Formación Millo (Np-mi), depósitos aluviales (Qh-al2), depósitos residuales (Q-re) y depósitos de cenizas volcánicas (Qh-ce), (Acosta *et al*, 2010).

Las zonas evaluadas se encuentran sobre geoformas de carácter depositacional y agradacional, como también sobre geoformas de carácter volcánico degradacional y erosional.

Los peligros geológicos identificados en la zona evaluada están condicionados por la naturaleza litológica de la zona y pendiente de las laderas. Entre los principales y más recurrentes se encuentran las caídas de rocas, derrumbes, seguido de erosiones de laderas (cárcavas) y flujos de lodo, siendo este último uno de los que más afecta. Como ocurrido El 21 de febrero 2020, después de una lluvia excepcional.

Las quebradas Del Diablo y Caramolle se activan con lluvias excepcionales. Los cauces de estas quebradas no están definidos, por la ocupación antrópica (viviendas y vías de acceso). Entonces cuando se dan estos eventos afecta la infraestructura que se encuentra asentada en el cauce.

En las quebradas mencionadas se tienen geoformas de vertientes, originadas a partir del material acumulado; a lo largo de las quebradas se tienen procesos de erosión de ladera, que alimentan con material suelto al cauce de la quebrada, el cual aumenta la susceptibilidad a movimientos en masa, frente a lluvias excepcionales.

Los lotes que se encuentran dentro de las quebradas intermitentes Del Diablo y Caramolle son vulnerables a varios tipos de peligro de movimientos en masa, caída de rocas, derrumbes y principalmente flujos de lodo. Dichas viviendas se encuentran sobre antiguos depósitos de flujos.

Los terrenos están condicionados por presentar rocas volcánicas de mala calidad, con procesos de erosión de ladera, y procesos de movimientos en masa que se activan con lluvias excepcionales; por lo mencionado anteriormente las quebradas Del Diablo y Caramolle se consideran como ZONAS CRÍTICAS, DE PELIGRO ALTO.

Se recomienda colocar disipadores de energía en el cauce de ambas quebradas, empleando diques transversales (enrocado) y canalización del cauce con muros escalonados, estos trabajos tienen que ser realizados con estudios y profesionales especializados en el tema. además, la autoridad local pertinente debe emitir ordenanzas para prohibir la construcción de viviendas en zonas de Peligro Alto por movimientos en masa.

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; enmarcados dentro de la actividad ACT-7 “EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS Y CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS A NIVEL NACIONAL, en la dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico.

El 21 de febrero 2020, la ciudad de Tacna, el distrito Alto de la Alianza fue afectado por un flujo de lodo que descendió por la quebrada Del Diablo.

La dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico delegó a los ingenieros, Yhon Soncco, David Prudencio y Edu Taipe; para realizar la inspección en las quebradas mencionadas.

1.1 Metodología del trabajo

La metodología para la elaboración del presente informe consta básicamente de recopilación bibliográfica, trabajos de campo y gabinete, las cuales se describen a continuación:

1.1.1. Recopilación bibliográfica y trabajos de gabinete

Recopilación de recursos bibliográficos de estudios anteriores realizados en la zona de estudio.

- Geología escala 1:50,000, Acosta, H.; Mamani, M.; Alván, A.; Rodríguez, J. & Cutipa, M. (2012). Geología de los cuadrángulos de La Yarada, Tacna y Huaylillas (37-u, 37-v y 37-x), escala 1:50 000. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional
- Informe de Zonas críticas por peligros geológicos de la región Tacna. Considera que estas dos quebradas son susceptibles a flujos de detritos, Luque, G (2016).
- Informe de Evaluación geológica y geodinámica en la quebrada Del Diablo. Luque, G (2016).
- Se elaboraron mapas de fotointerpretación, para ello se utilizaron imágenes satelitales Rapid-Eye y Landsat de los años 2018 – 2019.

1.1.2. Trabajos de campo

El trabajo de campo se realizó en 4 días; donde se elaboró el cartografiado a detalle de los peligros geológicos.

1.1.3. Trabajo de gabinete

Los trabajos realizados en esta etapa consistieron en elaborar mapas geológicos y de peligros geológicos para la zona de estudio. Los trabajos culminaron con la redacción del informe técnico.

1.2 Objetivo del estudio

- Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos que afectan y podrían afectar la zona en mención.
- Emitir las conclusiones y recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros.

2. ASPECTOS GENERALES

2.1 Ubicación y accesibilidad

Las zonas de estudio se localizan en los distritos de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva, en la provincia y departamento de Tacna (figura 1).

Para acceder a la quebrada Del Diablo, desde el Paseo Cívico de Tacna (centro histórico de Tacna), empleamos una ruta que nos lleve hasta la plaza la Florida, en el distrito de Alto de la Alianza, la zona de estudio está ubicado a unos 300 metros al Noroeste de la plaza la Florida. El viaje dura aproximadamente 15 min.

Tramo		Km.	Tipo de vía	Duración
Paseo Cívico de Tacna	Plaza la Florida	3.3	asfaltada	12 min
Plaza la Florida	Quebrada Del Diablo	0.3	afirmada	3 min

La quebrada Del Diablo está ubicada en las siguientes coordenadas geográficas

Latitud: 17°59'51.51"S
 Longitud: 70°15'56.51"O

Para acceder a la quebrada Caramolle, desde el Paseo Cívico de Tacna (centro histórico de Tacna), empleamos una ruta que nos lleve hasta el colegio Cesar Cohalla, en el distrito de Ciudad Nueva, la zona de estudio está ubicado a 1.7 kilómetros al Norte del colegio. El viaje dura aproximadamente 30 min.

Tramo		Km.	Tipo de vía	Duración
Paseo Cívico de Tacna	Colegio Cesar Cohalla	7.0	asfaltada	20 min
Colegio Cesar Cohalla	Quebrada Caramolle	2.0	afirmada	10 min

La quebrada Caramolle está ubicada en las siguientes coordenadas geográficas

Latitud: 17°57'29.00"S
 Longitud: 70°13'51.18"O

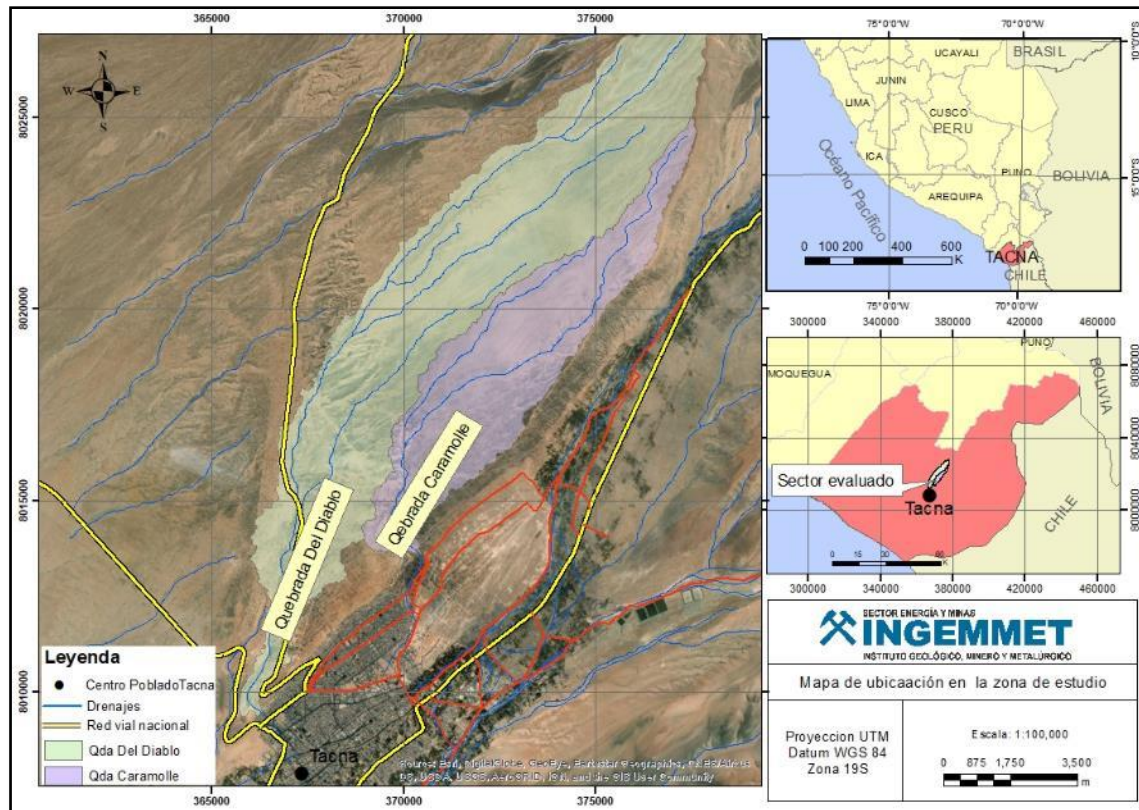


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

Las unidades litoestratigráficas que se aprecian en las quebradas Del Diablo y Caramolle son relativamente recientes, van del neógeno hasta la actualidad, se presentan como ignimbritas y conglomerados andesíticos de bloques gravas y arenas del Neógeno.

Sobre las ignimbritas y conglomerados se tiene depósitos de ceniza proveniente de la erupción volcánica del Huaynaputina.

Se describe las formaciones geológicas, tomando como base a la carta geológica del cuadrángulo de Pachía y Palca hoja 36v cuadrante II – III (Acosta *et al*, 2010), (figura 2).

Formación Huaylillas (Nm-hu_s). Constituida por depósitos conformados por ignimbritas riolíticas de color beige rosáceo; la edad que se le asigna de acuerdo a dataciones radiométricas es del Neógeno-Mioceno.

Esta se encuentra en la parte alta de la quebrada Del Diablo, como también en toda la quebrada Caramolle.

Formación Millo (Np-mi). Compuesta por depósitos conformados por conglomerados polimícticos de bloques, gravas y arenas poco consolidadas; la edad asignada es del Mioceno Superior al Plioceno; este tipo de depósitos indican una dinámica fluvial de la cuenca.

Estos depósitos se aprecian en forma de abanico sobre la quebrada Caramolle, además de estar cubierta en parte por depósitos recientes; la quebrada Del Diablo está impactada por procesos antrópicos, por lo que no se aprecia estos depósitos.

Depósitos aluviales (Qh-al2). Forman terrazas, están conformadas por conglomerados compuestos con fragmentos de roca polimícticos de formas redondeadas, presenta

escasa matriz de arena y arcillas; se ubican en zona bajas al pie de las laderas, ocupando gran parte de centro poblado de la ciudad de Tacna.

Depósitos residuales (Q-re). Son generados por la erosión de las ignimbritas, conformado de arenas, cuentan con poco transporte y se ubican en las partes altas del sector Choquechaca Nuevo Amanecer.

Depósitos de cenizas volcánicas (Qh-ce). Estas provienen de la erupción del volcán Huaynaputina (erupción de 1600), se caracteriza por ser de color gris muy claro a blanco y estar sueltas (Luque, 2016).

Se ubica al noreste de la ciudad de Tacna; Sobre este depósito se encuentra el cementerio municipal de Pocollay y sectores circundantes, además es parte de la ladera derecha del río Caplina.

Depósitos recientes coluviales y aluviales. Están compuestos por materiales heterométricos que van desde finos hasta bloques, provienen de caída de rocas. Generando piedemonte en laderas y en la base de los canales secos, que solo se activan en época de lluvias.

Depósitos Antrópicos. Están compuestos por escombros y desechos de la ciudad generados por la actividad del hombre, estos depósitos se encuentran en el abanico de la quebrada Del Diablo, en ambas márgenes (fue el relleno sanitario de la ciudad), además dentro de la quebrada hay puntos donde arrojan desechos como en el km 5 de la vía Tacna – Tarata (sector de granjas).

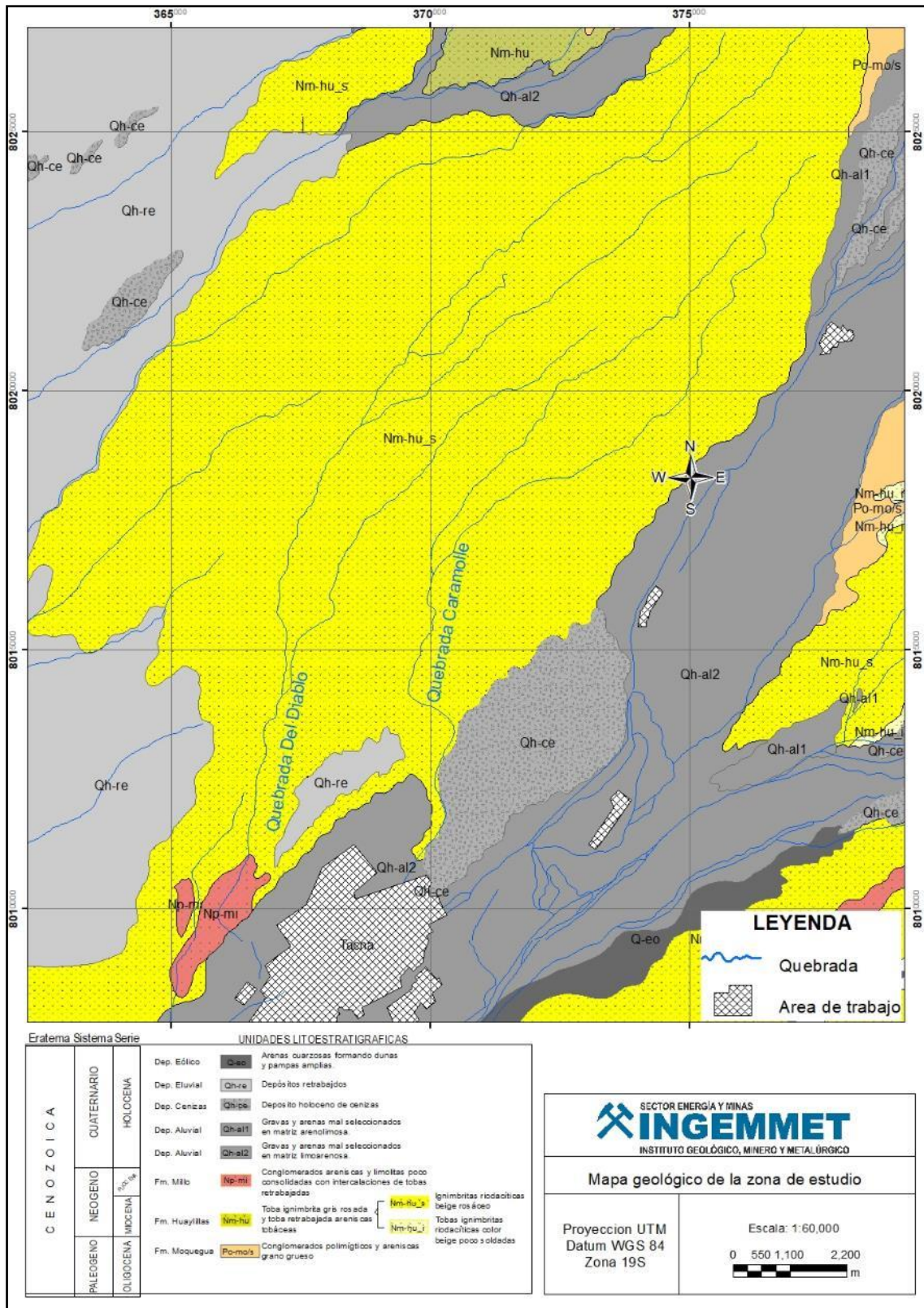


Figura 2. Se muestra el mapa geológico de la zona de estudio, tomado del cuadrángulo de Pachía hoja 36v cuadrante II - III y del cuadrángulo de Tacna hoja 37v cuadrante I - IV.

4. ASPECTO GEOMORFOLÓGICO

Las zonas evaluadas se encuentran sobre geoformas de carácter depositacional y agradacional, como también sobre geoformas de carácter volcánico degradacional y erosional (figura 3).

4.1 Geoformas de carácter depositacional y agradacional

a) Unidad de piedemonte

Son superficies suavemente inclinadas que corresponde a acumulaciones de materiales sueltos al pie de sistemas de montañas o colinas.

Subunidad vertiente aluvial o piedemonte aluvial: Geoforma con relieves suave-ondulado Se presenta en forma de abanicos que descienden por las quebradas, están constituidos por material inconsolidado, conformado por gravas en matriz limo arenosa se caracteriza por ser muy porosa y tener una distribución caótica. Se presenta en la explanada de la ciudad de Tacna y en los conos de las quebradas Del Diablo y Caramolle.

4.2 Geoformas de carácter volcánico degradacional y erosional

a) Unidad volcánica

Son acumulaciones de lava solidificada como los flujos piroclásticos que se desplazaron por la laderas o fragmentos lanzados al aire durante erupciones. Este tipo de geoformas están asociadas a la actividad volcánica, producto de la dinámica interna de la tierra y sus manifestaciones en superficie.

Subunidad colina o lomada piroclástica: Esta geoforma se caracteriza por tener lomadas con relieves ondulados, litológicamente compuesta por rocas piroclásticas reducidas por procesos denudativos, se caracteriza por presentar laderas disectadas y pendientes moderadas a bajas.

Esta unidad comprende en los distritos de Ciudad Nueva y Alto de la Alianza, la vía Tacna – Tarata, en la quebrada Caramolle la margen derecha.

Subunidad planicie piroclástica disectada: Son áreas relativamente planas y extensas, tienen pendientes moderadas a llanas y está disectada por quebradas, que presentan profundidades de hasta 30 m aproximadamente. Está conformada por secuencia de ignimbritas cubierta por capa de depósitos volcánicos provenientes de la actividad volcánica del mioceno, se presenta hacia el oeste de la vía Tacna – Tarata y en la margen izquierda de la quebrada Del Diablo.



Figura 3. Se muestra las geoformas de la zona de estudio, tomado del INGEMMET.

5. ASPECTOS GEOLÓGICO-GEODINÁMICOS

Se delimitó la cuenca hidrográfica para un mejor estudio de los flujos de lodo que ocurrió el 21 de febrero del 2020, en las quebradas Del Diablo y Caramolle, esto se generó en base a una imagen digital referenciada de alta resolución y su modelo digital de elevaciones (DEM), para ello se utilizó el programa QGis.

Las rocas en toda la cuenca son de tipo ignimbritas riódacíticas fracturadas y presentan procesos de erosión (cárcavas), que generan materiales particulados en forma de arenas hasta bloques con diámetros menores a 1 m, ubicadas en las laderas y cauces de las quebradas (figura 4).

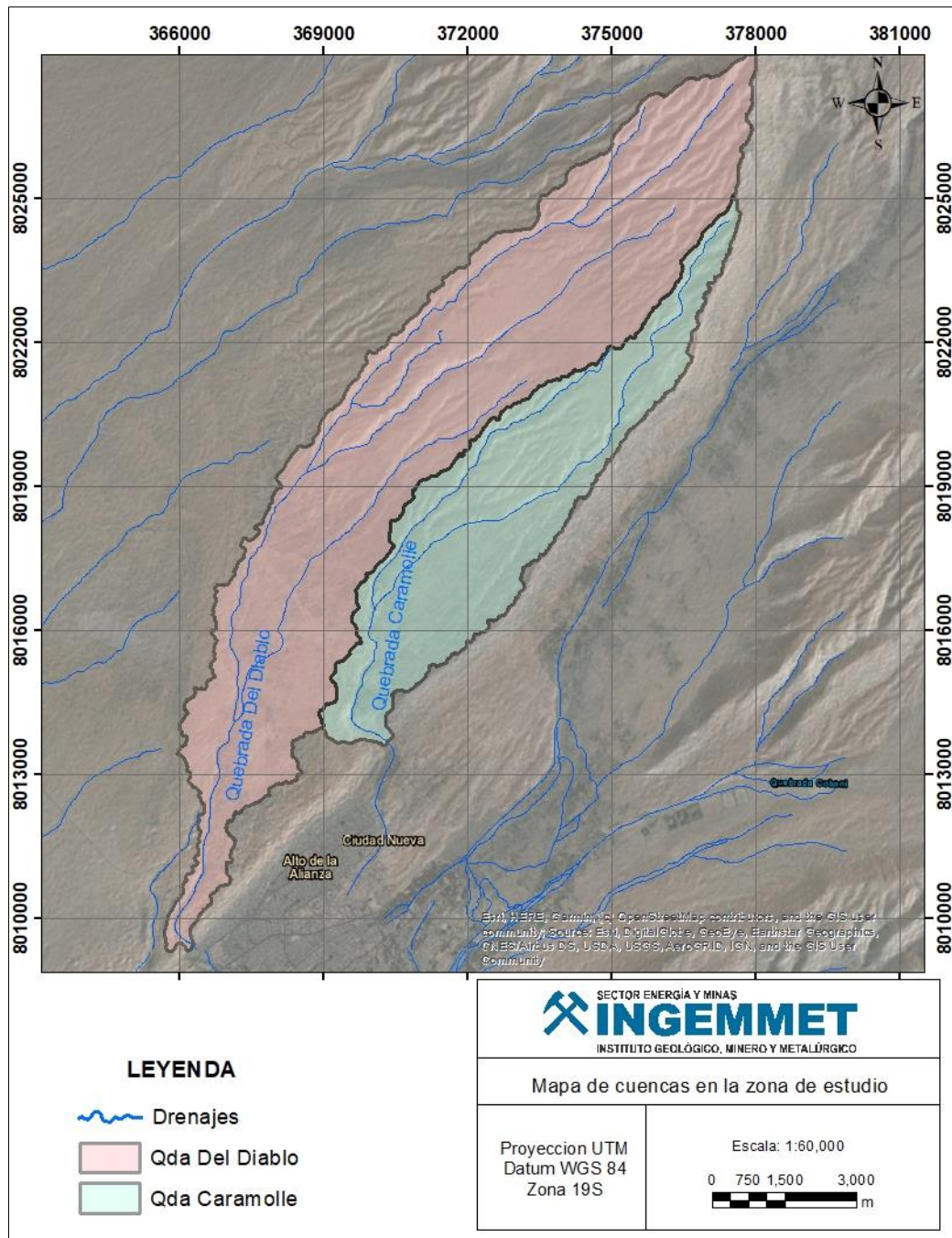


Figura 4. Se muestra las cuencas de la quebrada Del Diablo y Caramolle.

6. ASPECTOS GEOLÓGICO-GEODINÁMICOS EN LA QUEBRADA DEL DIABLO QUE GENERO EL FLUJO DE LODO DEL 21 DE FEBRERO DEL 2020

La cuenca es de forma alargada, la parte alta de la cuenca tiene una dirección predominante de N245° (suroeste) y en la parte baja cambia a N190° (suroeste), sus drenajes afluentes son casi paralelos al cauce principal de la misma.

La longitud de la cuenca tiene una distancia aproximada de 25 km y un área de 52'104,888 m², las laderas que conforman la quebrada presentan pendientes de 30° en promedio.

La cabecera de la cuenca presenta varias quebradas, la principal y más amplia, en la parte más alta presenta un ancho promedio de 318 m y en la parte más baja 17 m, con altura de 84 m (figura 5).

También se tiene terrazas generadas por los depósitos dejados por flujos antiguos, con espesores de hasta 10 m; en la cuenca baja el canal se estrangula, llega a tener un ancho de hasta 11 m (figura 6).

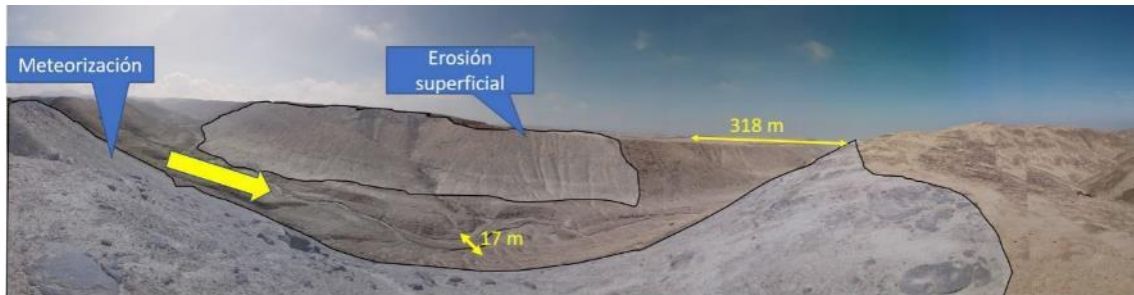


Figura 5. Vista panorámica de la parte alta de la cuenca sea aprecia los procesos erosivos y las dimensiones tomadas.

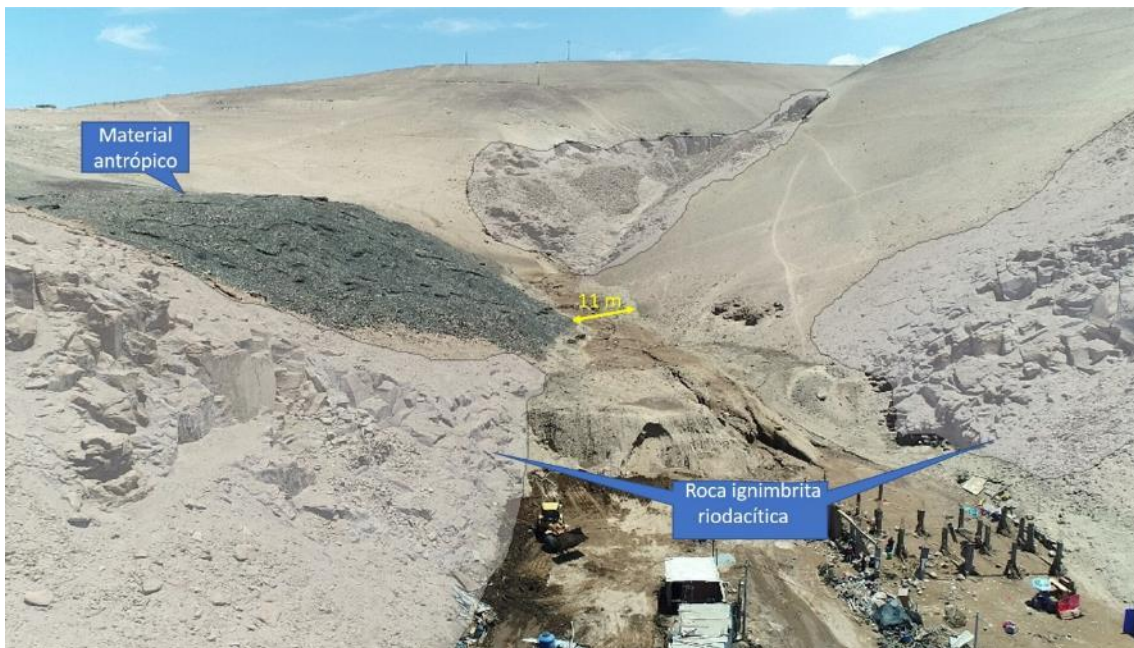


Figura 6. Vista panorámica de la parte baja de la cuenca en la quebrada Del Diablo se aprecia el estrangulamiento del cauce de la quebrada y el inicio del sector APV. La Florida donde se abre el abanico de la quebrada Del Diablo.

Los procesos dinámicos que generan material suelto en la cuenca son:

- a) La meteorización genera descomposición en las rocas, que produce material suelto como arenas y bloques que alimentan al cauce de la quebrada.
- b) Procesos de erosión de ladera, en surcos y cárcavas que generan la movilidad del material suelto por gravedad y acción de los agentes atmosféricos u otros.

Esto dos procesos son la fuente principal de aporte de material suelto hacia el cauce de la quebrada, que en el evento del 21 de febrero afecto a los sectores de las APV. La Florida y San Pedro.

7. ASPECTOS GEOLÓGICO-GEODINÁMICOS EN LA QUEBRADA CARAMOLLE QUE PODRÍA GENERAR FLUJOS

La cuenca presenta una forma alargada, la parte alta de la cuenca tiene una dirección predominante N240° (suroeste) y la cuenca baja tiene N200° (suroeste), sus drenajes son casi paralelos al cauce principal que aportan material suelto, tiene una distancia aproximada de 15 km y un área de 24'749,358 m², presenta laderas con pendientes muy fuertes en promedio 36°.

La parte alta de la cuenca presenta dos quebradas principales, que al unirse llegan a formar un cauce con ancho de 4 m, la amplitud entre laderas de ambas márgenes tiene un ancho promedio de 450 m. La altura entre cauce y la cima más alta llega hasta 45 m aproximadamente.

En la parte baja de la cuenca de la quebrada principal, la longitud entre las cimas de ambas márgenes presenta un ancho de hasta 200 m, el cauce de la quebrada llega a tener un ancho de hasta 4 m, la altura entre la cima y el cauce es de 30 m en ambas márgenes, se aprecian depósitos adosados a la ladera provenientes de antiguos flujos que llegan a tener una altura de hasta 1.8 m respecto al fondo del canal (figura 7).



Figura 7. Se muestra una vista de la parte baja de la cuenca en la quebrada Caramolle indicando los depósitos y las dimensiones tomadas en la zona.

Los procesos dinámicos que generan material en la cuenca son:

- La meteorización intensa, que ha generado la descomposición de los minerales constituyentes de las rocas además de trasladarlos hasta el canal, dando lugar a material suelto como arenas y bloques de 30 cm de diámetro, además se observa bloques de hasta 3 m, distribuidos erráticamente en las laderas.
- La erosión de ladera, en surcos y en cárcavas que transportan material suelto; así como también, la acción del viento, la lluvia y la gravedad hacen llegar dicho material hasta el canal de la quebrada.

Estos procesos son la fuente principal de aporte de material suelto hacia el cauce de la quebrada, dicho material con lluvias excepcionales originará los movimientos en masa, como la ocurrida el 21 de febrero.

8. 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 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 aún si la pendiente es mayor.

En este tipo de procesos 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 8). (Bateman y otros, 2006).

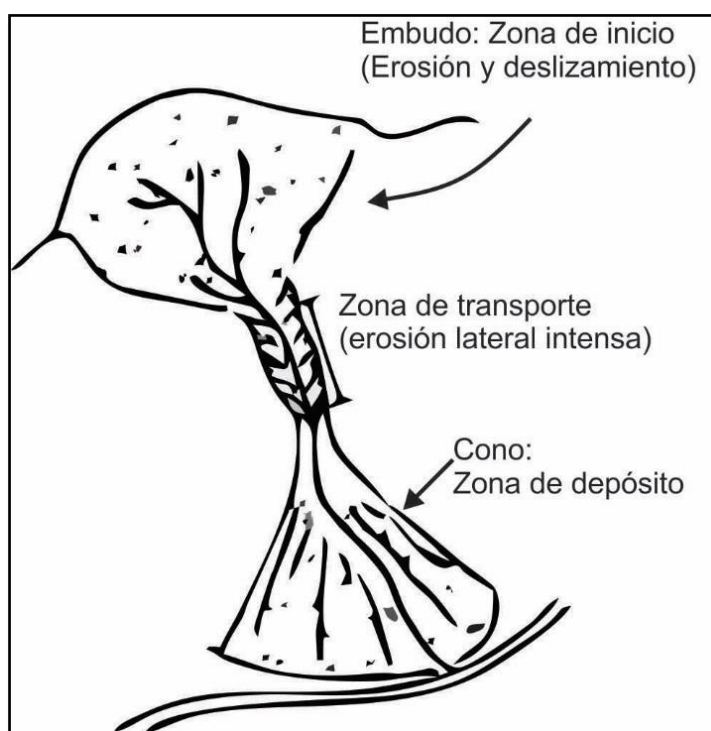


Figura 8. Esquema de generación de un flujo (Modificado de: Bateman y otros, 2006).

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 lo tanto, es muy importante una caracterización geológica detallada de los eventos, asociada al grado de peligro al que está expuesta un área determinada.

En el Estudio de Riesgos Geológicos del Perú Franja N° 1, Boletín N°23. (2000), y en el informe de zonas críticas en la región de Tacna, Luque G. (2016), mencionan a los

sectores evaluados, como Críticos por peligro geológico, que puede ser afectada por flujos de lodos (figura 9), Además, en el informe de evaluación geológica – geodinámica de la quebrada Del Diablo, Luque G. y Gómez D. (2016), concluye que la zona de La Florida, por las condiciones geodinámicas que se presentan en la zona, como escarpas irregulares y probables flujos en caso de lluvias excepcionales; la quebrada Del Diablo es considerada de PELIGRO ALTO.

30. Asociación de vivienda La Florida (Alto de la Alianza)		
<p>Área sujeta a huaicos*, caída de rocas y derrumbes. Huaico excepcional en la quebrada del Diablo, con lluvias excepcionales puede afectar a viviendas de la Asoc. de Vivienda La Florida. Con presencia de caída de rocas y derrumbes en la margen izquierda de la quebrada. En caso de un sismo, las viviendas que se encuentran al pie de las laderas de los cerros La Cripta pueden ser afectadas, así como poder colapsar por estar edificadas sobre depósitos de relleno (poco o nada compactados). En la margen derecha se ubica un antiguo botadero de basura abandonado que genera derrumbes y aporta material al cauce, además de poner en riesgo la salud de sus habitantes.</p>	<p>Con lluvias excepcionales puede afectar viviendas del sector La Florida, aguas arriba puede afectar tramo de carretera Tacna-Tarata</p>	<p>Limpieza y encauzamiento del cauce de la quebrada. Delimitar la franja marginal de la quebrada; así como prohibir la construcción de viviendas dentro de la faja marginal de las quebradas. Reubicar viviendas que se encuentran dentro de la faja marginal de la quebrada. Construir defensa Ribereña. Reubicación del botadero de basura. Es necesario que las municipalidades hagan programas de sensibilización para impedir que siga la propagación de asentamientos humanos hacia las laderas de los cerros y cauces de quebradas secas.</p>
35. Quebrada Caramolle (Pocollay/Ciudad Nueva)		
<p>Área sujeta a huaicos, flujo de lodos*, derrumbes y caída de rocas. Huaicos excepcionales en la quebrada Caramolle, aunque parece poco probable que en la actualidad se generen flujos de detritos o flujos de lodo, pues en la zona son escasas las lluvias. Sin embargo, se tienen evidencias de depósitos de flujos de lodo que discurrieron por el cauce de la quebrada Caramolle; de presentarse afectarían a las viviendas y granjas de aves y cerdos que se encuentran dentro del cauce. Hay que tener en cuenta eventos excepcionales de intensas precipitaciones pluviales. Debido a la ausencia de obras que minimicen el efecto de un flujo de lodo o detritos, ante un posible evento o avenida extrema que se podría desplazar por la quebrada Caramolle, se incrementa el grado de vulnerabilidad en la zona.</p>	<p>Puede afectar viviendas ubicadas en los límites de los distritos Pocollay y Ciudad Nueva, y cementerio Municipal de Pocollay.</p>	<p>Limpieza de cauce. Construir defensas ribereñas. Definir la faja marginal de la quebrada y prohibir la construcción de viviendas dentro de ella. Reubicar viviendas y granjas de animales que se encuentran dentro del cauce. Se recomienda realizar estudios geotécnicos para el diseño de muros de contención, muros disipadores de energía, canalización de la quebrada y reordenamiento del sector.</p>

Figura 9. Zonas críticas en la región de Tacna, (tomado del informe de Luque G. 2016)

CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO DE LODO DEL 21 FEBRERO DEL 2020

El pasado 21 de febrero se presentaron flujos de lodos en la quebrada Del Diablo y Caramolle, esta última en menor intensidad. El flujo de la quebrada Del Diablo afectó al distrito de Alto de la Alianza, destruyó viviendas, gran parte de infraestructura ubicada en el cauce de la quebrada y cono de deyección.

Estos flujos ocurrieron aproximadamente a 21:00 horas, desencadenados por una lluvia intensa ocurrida en la parte alta de Tacna.

Los datos de la estación meteorológica del Senamhi en Tacna, registraron que el día 21 de febrero llovió un total de 23 mm. Sin embargo, es importante mencionar lo señalado por los pobladores, que días anteriores al 21 de febrero, ya se habían presentado lluvias en Tacna, el cual probablemente fue saturando los suelos en la parte media de la quebrada Del Diablo.

Para un mejor entendimiento de los flujos de lodo ocurridos el día 21 de febrero se hará una descripción de cada uno de los procesos ocurridos en las quebradas.

8.1 QUEBRADA DEL DIABLO

La quebrada Del Diablo posee una cuenca amplia de recepción amplia, presenta laderas con pendientes que varían entre 40° a 50°. En muchos sectores se observó desmonte relleno el cauce de la quebrada, en la zona también está ubicado el antiguo botadero de basura municipal.

Además, se apreció en dos sectores del cauce de la quebrada rellenos de tierra construidos para el paso vehicular, como parte de una vía improvisada que comunica ambos márgenes de la quebrada (figura 10).

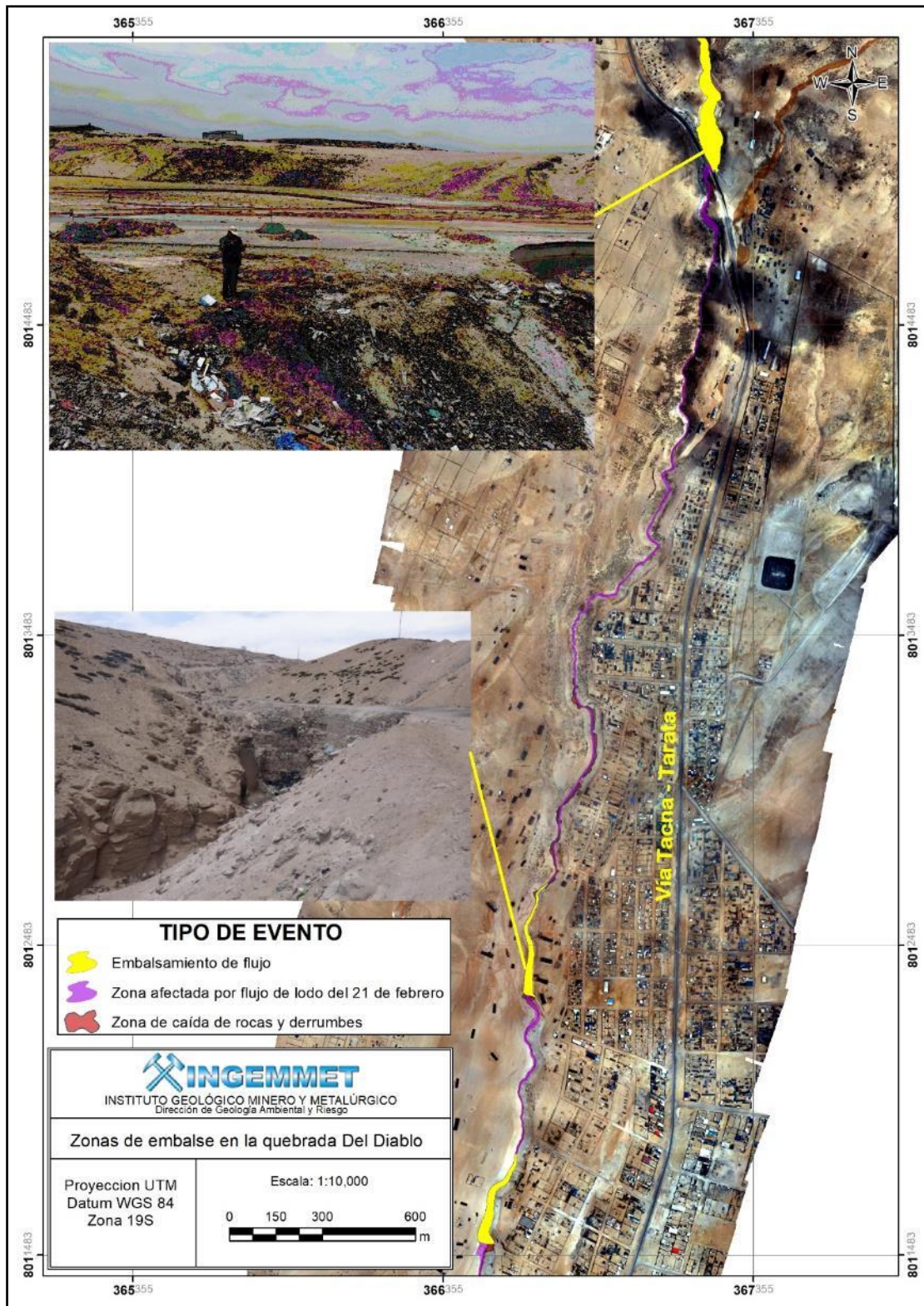


Figura 10. Cartografiado de zonas de embalsamiento en la quebrada Del Diablo.

El pasado 21 de febrero a consecuencia de la lluvia extraordinaria en la parte baja y media de la cuenca, se generó un flujo de lodo, el cual movilizó material arenoso, que se desplazó y depositó a lo largo de su recorrido.

La quebrada Del Diablo cruza los distritos de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva, en su cuenca media y baja, en donde no tiene un cauce definido, por la ocupación antrópica de las viviendas, por ello estas zonas fueron las más afectadas.

El agua al discurrir por el cauce de la quebrada, adquirió gran velocidad, poder erosivo y capacidad de transporte de materiales. Al descender por él cauce, removió toda estructura localizada en su cauce, además incorporo a su volumen material de los antiguos movimientos en masa, generando de esta manera mayor volumen del flujo de lodo, el cual movilizó material arenoso con bloques erráticos englobados en una matriz fina. Estos bloques van desde 10 cm hasta 30 cm, son de composición riódacíticas de color beige rosáceo, son fragmentos arrancados del flujo piroclástico que aflora en las laderas de las quebradas. Estos bloques representan volumen menor al 5 % del flujo.

Se produjo un flujo que en su trayectoria afectó viviendas de los sectores A.H.M El Mirador, La Florida y San Pedro, principalmente la calle San Antonio, el mercado La Rotonda, el terminal terrestre Tacna, así como, calles en las partes bajas por donde se encauso el flujo de lodo. Av. Zarumilla, Av. Jorge Basadre, calle Arias Araguez hasta la altura del estudio Jorge Basadre (figura 16).

La mayor parte del material removido proviene de la erosión de rocas volcánicas, que alimentan con arena y bloques de ambas márgenes de la quebrada. Por efecto del paso del flujo de lodo el cauce fue socavado en varios sectores alcanzando profundidades de hasta 2 m

El flujo al encausarse por la intersección de las calles Túpac Amaru y Las Rosas, tomo la calle San Antonio como su principal cauce, donde encontró obstáculos, como son viviendas sobresalidas, estas sufrieron mayores daños, por el impacto directo del flujo, (figura 11). El flujo de lodo también discurrió por las calles Los Lirios, Los Jazmines, Los Claveles, Los Rosales.



Figura 11. Viviendas afectadas por el flujo, vista de la izquierda y la vista de la derecha correspondiente al año 2013. Calle San Antonio.

La disponibilidad de material de suelos arenosos adosados en las laderas de la quebrada en la cuenca media, la actividad antropogénica en cuenca baja, además de la carencia de un canal que drene las aguas provenientes desde la parte alta de la quebrada Del Diablo, la califica como zona de **Peligro Alto**, frente a ocurrencias de flujos de lodo (figura 12).



Figura 12. Quebrada Del Diablo, parte alta del distrito Alto de la Alianza, sector A.H.M. el Mirador.

Se identificó también peligros por derrumbes y caída de rocas desde las partes altas, ya descritos en el informe técnico A 6712 del INGEMMET, debido a las condiciones intrínsecas de la zona, como rocas fracturadas, diaclasamiento de las rocas en dirección de la pendiente de las laderas, material suelto en las laderas (inestable si se saturan de agua, o frente a fuertes sismos). Estas condiciones son frecuentes en laderas conformadas por rocas volcánicas del tipo ignimbrita. La presencia de estos peligros podría afectar nuevamente a las viviendas ubicadas en las partes bajas de la quebrada Del Diablo, así como también a las viviendas ubicadas en las laderas de la quebrada, (figura 13).



Figura 13. Ladera izquierda de la quebrada Del Diablo, parte alta del distrito Alto de la Alianza, sector A.H.M. el Mirador.

En las laderas de la quebrada Del Diablo se identificó peligros por erosión de laderas del tipo (cárcavas), se desarrollan en suelos sueltos poco resistentes. La erosión en cárcavas es un fenómeno que se da bajo diversas condiciones climáticas, aunque más

comúnmente en climas semiáridos y sobre suelos estériles y con vegetación abierta. Las incisiones que constituyen las cárcavas, se ven potenciadas por avenidas violentas y discontinuas típicas del clima mediterráneo, lluvias intensas o continuas sobre terrenos desnudos (figuras 14). Los materiales acarreados por las cárcavas aportan material al fondo de las quebradas. Todos estos materiales fueron acarreados y depositados en el abanico de deyección de la quebrada Del Diablo (figuras 15).

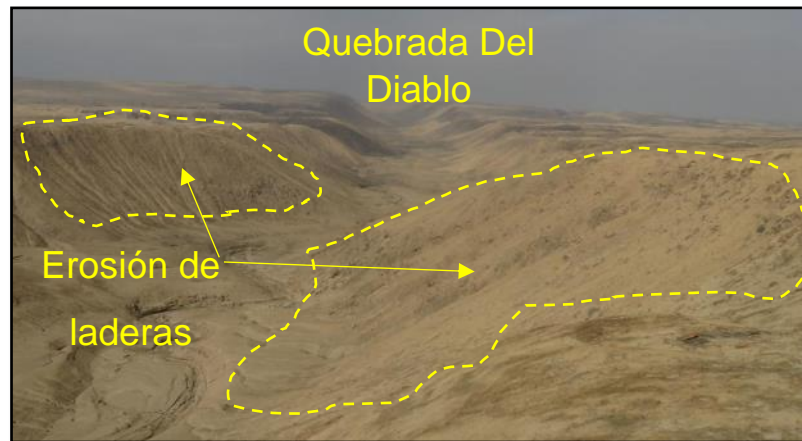


Figura 14. Intensa erosión de ladera en la cuenca media y alta de la quebrada Del Diablo



Figura 15. Quebrada Del Diablo fotografía aérea de la zona afectada.

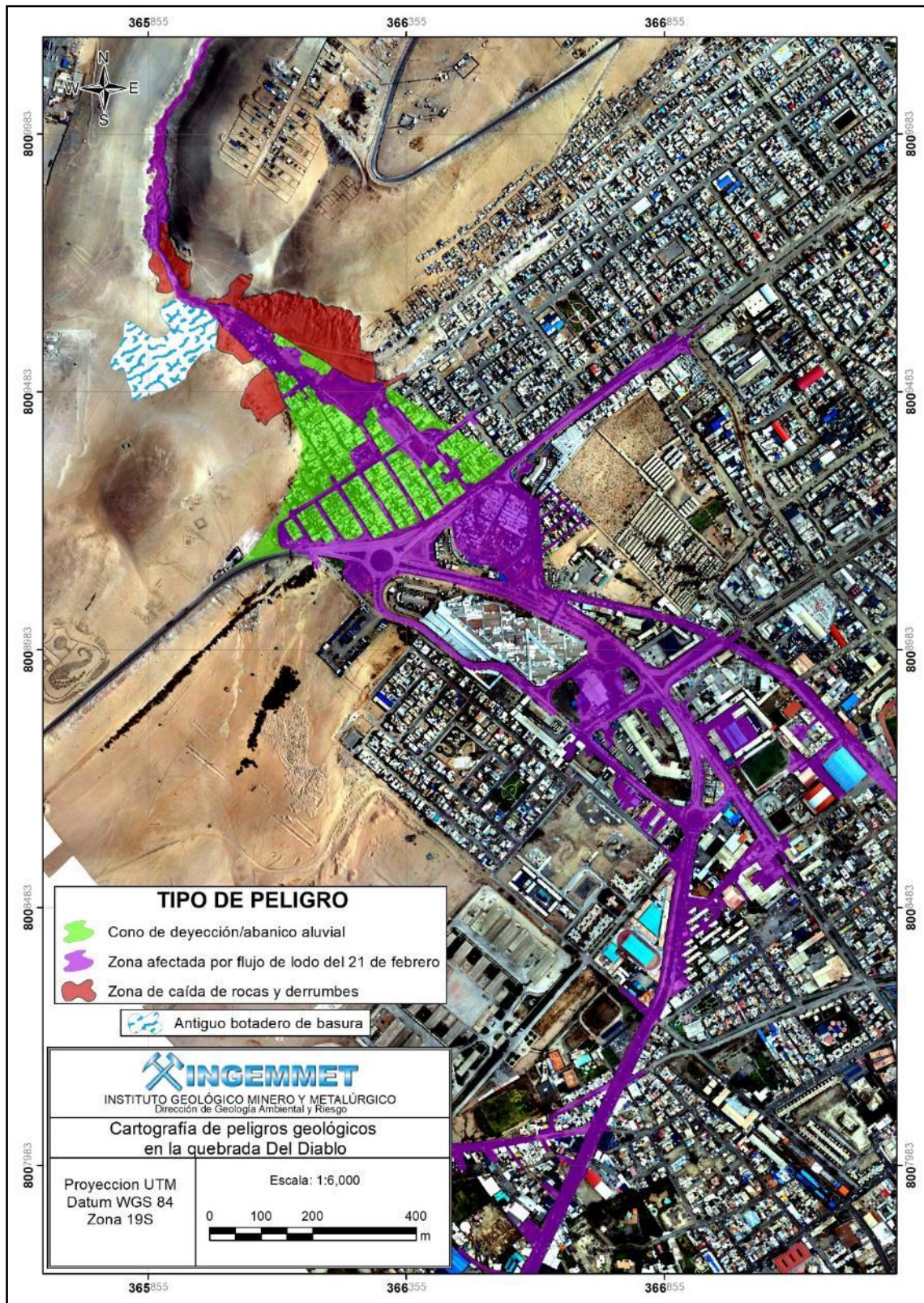


Figura 16. Mapa de Cartografiado de peligros geológicos en la quebrada Del Diablo.

8.2 QUEBRADA CARAMOLLE

La quebrada Caramolle posee una cuenca de recepción el cual presenta laderas con pendientes que varían entre 45° a 75°. En muchos sectores se evidencia la presencia de flujos antiguos.

El pasado 21 de febrero a consecuencia de la lluvia extraordinaria en Tacna, al igual que en la quebrada Del Diablo, se produjo un flujo de lodo de volumen moderado, el cual movilizó material arenoso englobado en una matriz fina, el flujo de lodo logro embalsarse en un dique de tierra construido por la municipalidad de Ciudad Nueva, al inicio del abanico de eyección de la quebrada.

Estructuras elaboradas sin un buen estudio podrían ser un arma de doble filo, para el flujo de lodo del 21 de febrero, este dique de tierra funciono y disminuyo la fuerza del flujo de lodo. Pero cuando estos flujos son de mayor volumen pueden romper de manera brusca los diques; en muchos casos, con el volumen acumulado de flujo, adquieren mayor fuerza y mayor poder destructivo.

La quebrada Caramolle se abre en el distrito Ciudad Nueva, en su cuenca media y baja no tienen un desfogue definido, porque las viviendas han invadido el cauce natural, por ello este sector serían la zona más afectada frente a eventuales ocurrencias de flujos de lodo.

El agua al discurrir por el cauce de la quebrada, podría adquirir gran velocidad, poder erosivo y capacidad de transporte de materiales.

De darse un flujo de lodo de mayores dimensiones, removería toda estructura localizada en el cauce, además incorporaría a su volumen material de los antiguos movimientos en masa, a lo largo de su recorrido, esto afectaría a las infraestructuras que se encuentra en la parte baja.

La disponibilidad de material de suelos arenosos adosados en las laderas de la quebrada en la parte alta de la cuenca, la actividad antropogénica en cuenca media y baja, además de la inexistencia de un canal que drene las aguas provenientes de la quebrada, hace esta zona de **Peligro Alto**, frente a ocurrencias de flujos de lodo (figura 17).

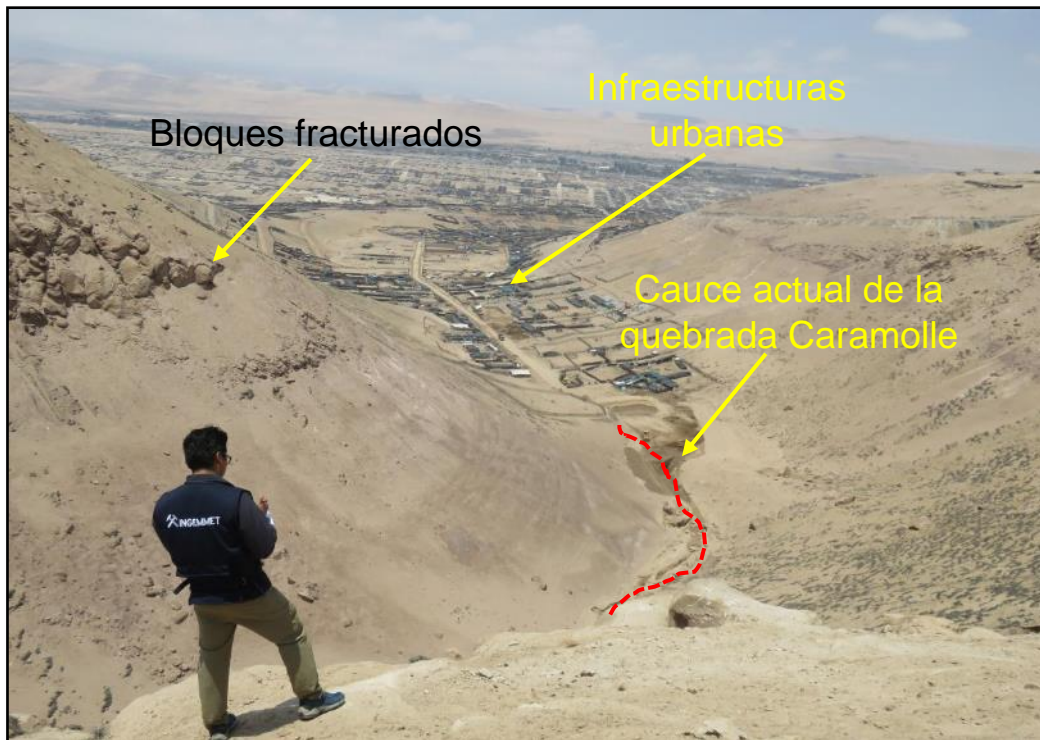


Figura 17. Quebrada Caramolle, parte alta de la zona urbana del distrito Ciudad Nueva

Es importante mencionar, en la cuenca media - baja de la quebrada Caramolle, se identificó hasta 4 episodios de flujos de lodo, principal indicativo de que la quebrada Caramolle es una zona geodinámicamente activa, (figura 18).



Figura 18. Secuencia intercalada de flujos antiguos y depósitos fluvio-aluviales, el afloramiento posee más de 5 metros de potencia, ubicado al fondo de la quebrada Caramolle.

Se identificó también peligros por derrumbes y caída de rocas, se localizan en las partes altas, se generan por tener condiciones intrínsecas como:

- a) Rocas fracturadas y diaclasadas a favor de la pendiente de las laderas.
- b) Material suelto inestable en las laderas
- c) Si el material se satura de agua, pierde estabilidad
- d) Rocas meteorizadas, de fácil remoción.

La presencia de estos peligros podría afectar las viviendas ubicadas en las partes bajas de la quebrada Caramolle, así como también a los corrales de animales que se ubican en la parte alta del distrito Ciudad Nueva, (figuras 19 y 20).

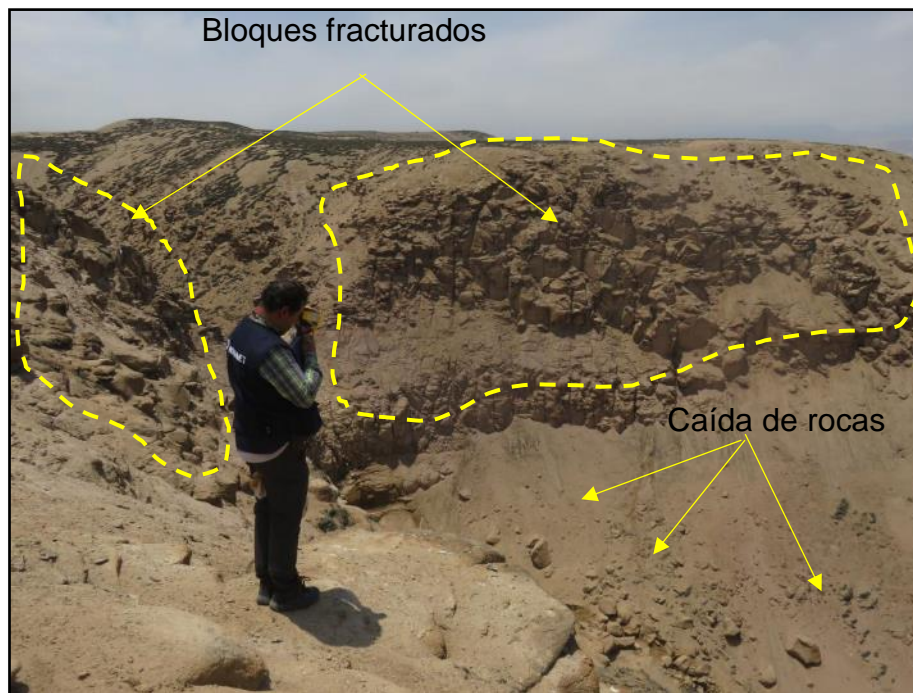


Figura 19. Quebrada Caramolle, caída de rocas desde las partes altas de la quebrada.

En las laderas de la quebrada Caramolle también se identificó peligros por erosión de laderas del tipo (Cárcavas), estas se desarrollan en suelos sueltos poco resistentes. La mayoría de estos eventos se encuentran en parte alta y media de la cuenca Caramolle.

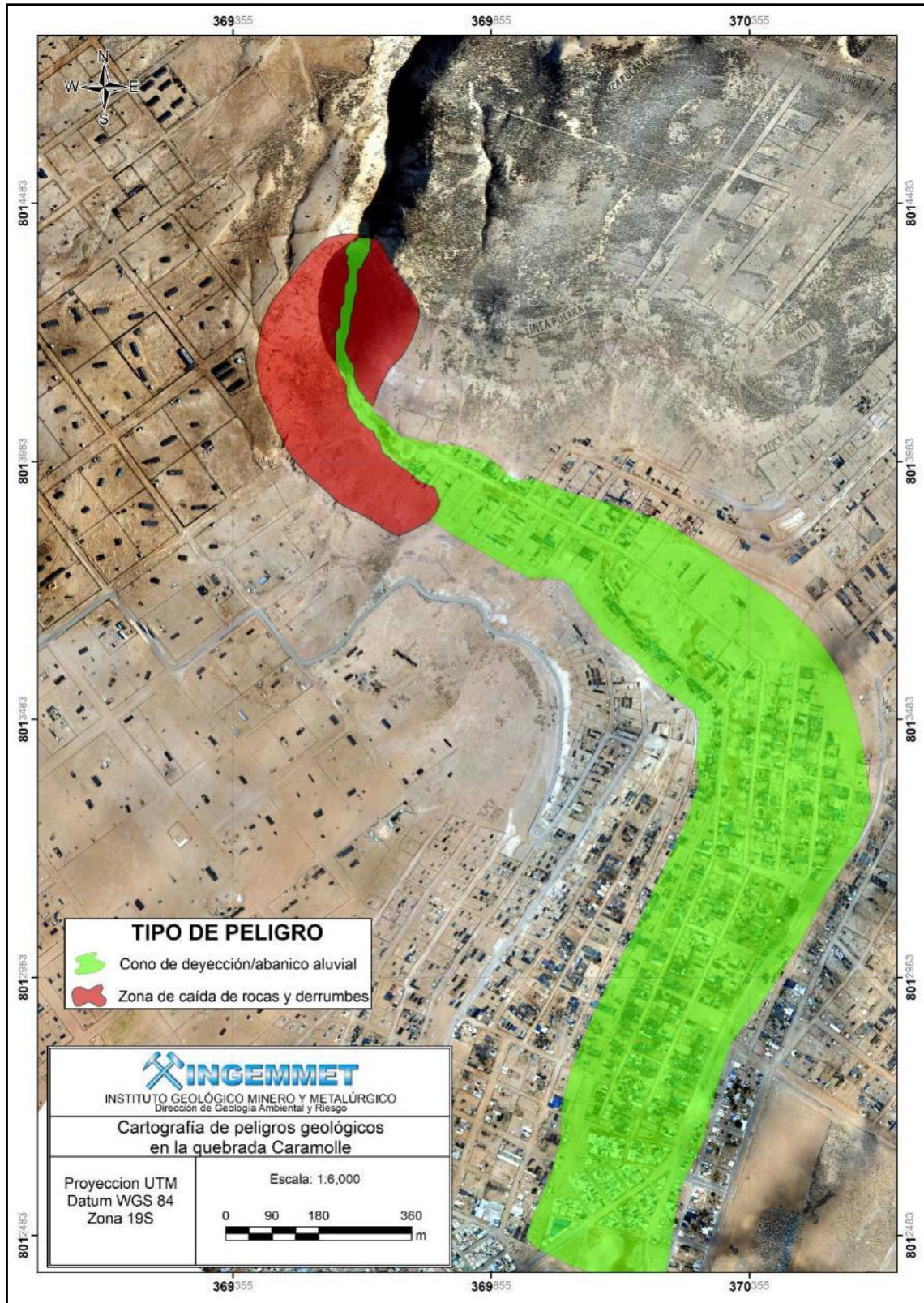


Figura 20. Mapa de Cartografiado de peligros geológicos en la quebrada Del Diablo.

9. SIMULACIÓN DE FLUJOS DE LODO EN LAS QUEBRADAS DEL DIABLO Y CARAMOLLE

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

Para la construcción de mapas en el cual se representa escenarios de flujos de lodo se empleó el método de simulación numérica. 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 20 cm

Se realizó el método de simulación numérica mediante el código VolcFlow, para realizar la simulación de flujos de detritos para las quebradas mencionadas. 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 lodo en las microcuencas de cada quebrada (figura 4), y el porcentaje de contenidos de agua y sólidos. Se consideró lo siguiente.

- a) La zona de generación de flujos de detritos en la microcuenca de la quebrada Del Diablo, posee un área aproximada de 52104888 m²
- b) La zona de generación de flujos de detritos en la microcuenca de la quebrada Caramolle, posee un área aproximada de 24749358 m²

En base al valor de precipitación de 23 mm, tomados del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú), se consideró los siguientes volúmenes de flujos de detritos para cada quebrada:

- a) Para el flujo de lodo de la quebrada Del Diablo, se calculó un volumen de 2'000,000 m³
- b) Para el flujo de lodo de la quebrada Caramolle, se calculó un volumen de 900,000 m³

10. ZONAS AFECTADAS EN BASE A LA SIMULACIÓN DE FLUJOS DE LODO EN LA QUEBRADA DEL DIABLO

La simulación de flujos de hasta 2'000,000 m³ de volumen en la quebrada Del Diablo, muestran que los resultados son similares al evento ocurrido el 21 de febrero.

Las zonas afectadas son:

- a) Viviendas ubicadas en el cono de deyección de quebrada Del Diablo, entre ellas tenemos las APV. La Florida y San Pedro.
- b) Mercado la Rotonda, una de las zonas más afectadas.
- c) Viviendas aledañas al ovalo la Rotonda.
- d) Viviendas ubicadas en la Av. Circunvalación Oeste, donde está ubicado el mercado mayorista Grau Tacna, el terminal terrestre nacional e internacional.
- e) Calle Ana Aranguez, donde el flujo se bifurco hacia la calle en mención.
- f) Por la Av. Jorge Basadre Grohmann, el flujo se encauzó siguiendo la dirección de la Av.
- g) Por último, el flujo se canalizó por la Av. Zarumilla (figura 21)

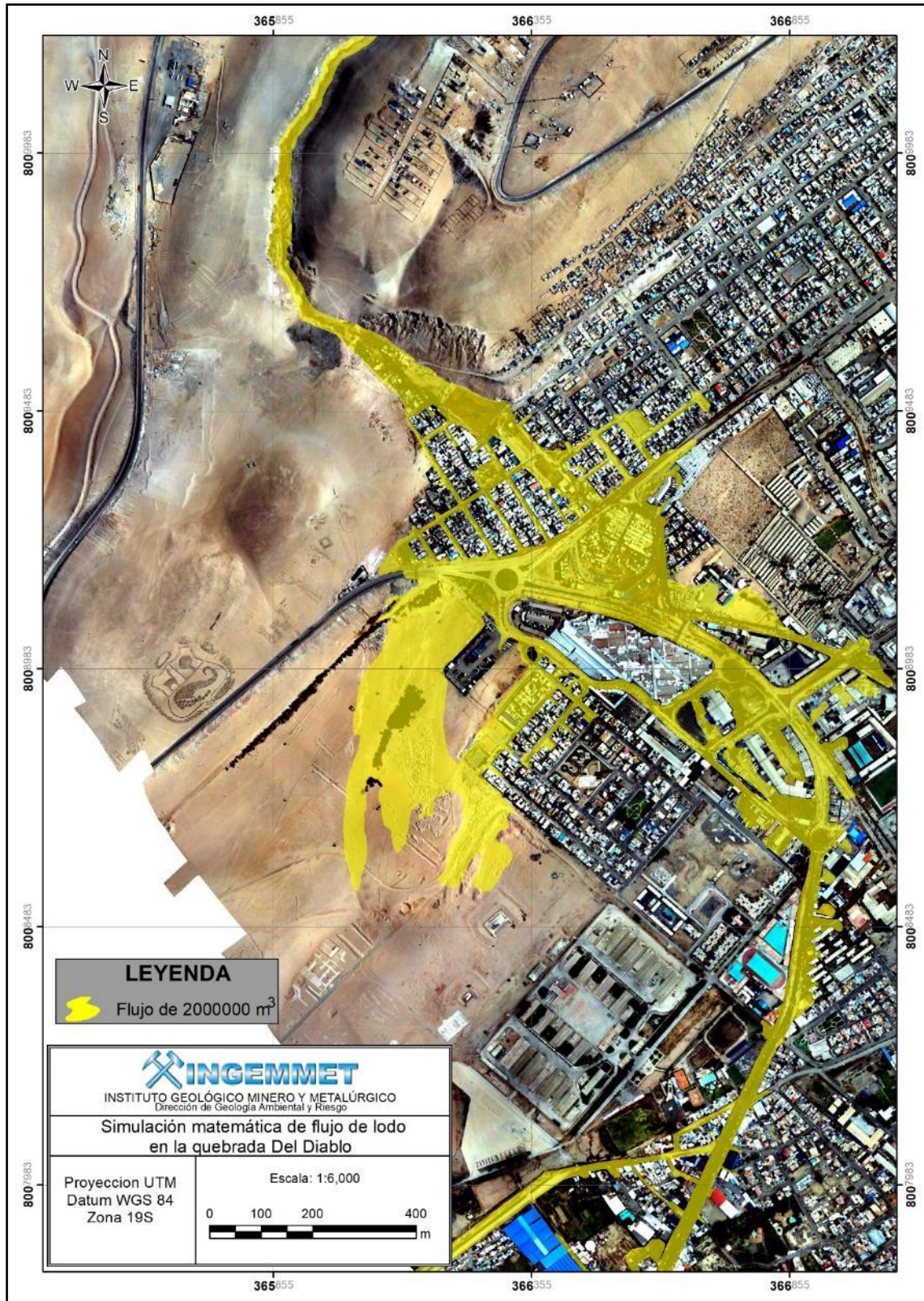


Figura 21. Mapa de Simulación de flujo de lodo en la quebrada Del Diablo.

11. ZONAS AFECTADAS EN BASE A LA SIMULACIÓN DE FLUJOS DE LODO EN LA QUEBRADA CARAMOLLE

La simulación de flujos de 900,000 m³ de volumen en la quebrada Caramolle, muestran que las zonas afectadas serían: a) las viviendas ubicadas en el cono de deyección de quebrada Caramolle, b) viviendas en la calle aviación y la Av. artesanos. (figura 22)

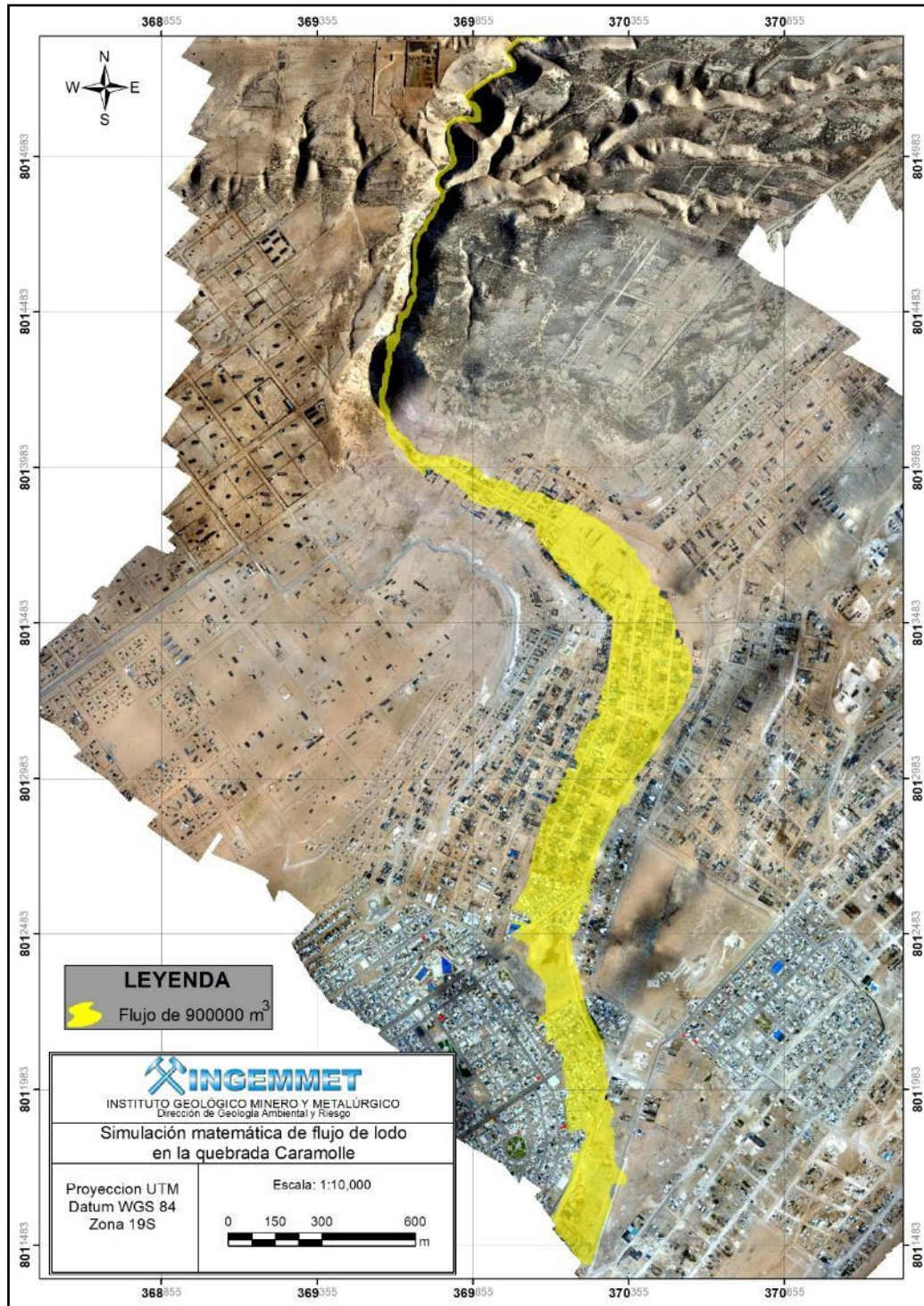


Figura 22. Mapa de Simulación de flujo de lodo en la quebrada Caramolle.

12. MEDIDAS CORRECTIVAS

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 proporcionadas por la subgerencia de Defensa Civil de las Municipalidades competentes y el INGEMMET.

Las autoridades deben 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 30 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

1. Las laderas de la quebrada están conformadas por roca volcánica pertenecientes a La Formación Huaylillas, de mala calidad, donde se generan procesos de erosiones de ladera. Estos procesos generan material suelto que alimentan al cauce de las quebradas.
2. Las condiciones geológicas, como roca de mala calidad, material suelto sobre las quebradas y pendientes del terreno (40°-70°), hacen estas zonas susceptibles a movimientos en masa.
3. El flujo de lodo del 21 de febrero, tuvo como factor desencadenante la lluvia extraordinaria que se dio ese mismo día, pero días anteriores (18, 19 y 20 de febrero) se presentaron lluvias que contribuyeron con la inestabilidad del sector.
4. El flujo de lodo, en la quebrada Del Diablo afecto los sectores de APV La Florida y San Pedro, asentados sobre el cauce. En la quebrada Caramolle afecto a las viviendas ubicadas en el cono de deyección.
5. Los cauces de las quebradas Del Diablo y Caramolle que cruzan a los distritos de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva, han sido modificados por la actividad antrópica, habiéndose estrechado. No tienen cursos definidos y las viviendas se encuentran asentadas sobre los cauces de las quebradas
6. En ambas quebradas también se evidencian peligros por caída de rocas a causa del grado de fracturamiento del macizo rocoso y de la intensa erosión en la zona.
7. Según los cálculos obtenidos en la quebrada Del Diablo se movilizó un volumen de dos millones de metros cúbicos de flujo, y en la quebrada Caramolle se movilizó novecientos mil metros cúbicos de flujo.
8. Las quebradas Del Diablo y Caramolle, por las características geológicas, son consideradas como ZONAS CRITICAS POR FLUJO DE LODO y de PELIGRO ALTO.

RECOMENDACIONES

1. Colocar disipadores de energía en el cauce de ambas quebradas, empleando diques transversales (enrocado) y canalización del cauce con muros escalonados, estos trabajos tienen que ser realizados con estudios y profesionales especializados en el tema.
2. La autoridad local pertinente debe emitir ordenanzas para prohibir la construcción de viviendas en los cauces de las quebradas Del Diablo y Caramolle por ningún motivo se debe continuar y permitir la expansión urbana en esta zona.
3. Reubicar las viviendas ubicadas en el cauce de las quebradas Del Diablo y Caramolle, ambas zonas poseen alta susceptibilidad a movimientos en masa como caída de rocas en caso de sismos y flujos en caso de lluvias excepcionales.



Ing. EDU LUIS TAIPE MAQUERHUA
Especialista en Peligros
Geológicos
INGEMMET


César Augusto Chacaltana Budiel
Director de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

REFERENCIAS

- Acosta, H.; Mamani, M.; Alván, A.; Oviedo, M. & Rodríguez, J. (2011). Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca (36-v y 36-x), escala 1:50 000. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 139, 96 p.
- Acosta, H.; Mamani, M.; Alván, A.; Rodríguez, J. & Cutipa, M. (2012). Geología de los cuadrángulos de La Yarada, Tacna y Huaylillas (37-u, 37-v y 37-x), escala 1:50 000. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 145, 108 p.
- Bateman, A., Medina, M, Steiner, F, Velasco, D. (2006). “Estudio Experimental sobre flujos granulares hiperconcentrados”. XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Ciudad Guayana, Venezuela.pp. 1-10
- Cruden, D.M. y Varnes, D.J. (1966). Landslide types and process, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washington D. C., National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247, 36-75 p.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2000). Estudio de Riesgo Geológicos del Perú, Franja N°1. INGEMMET. Boletín. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, n. 23, 290 p.
- Luque, G (2016). Evaluación geológica y geodinámica en la quebrada Del Diablo. Informe técnico serie – A. INGEMMET. Nacional, 20 p.
- Luque, G (2016). Zonas críticas por peligros geológicos en la región Tacna. Informe técnico serie – A. INGEMMET. Nacional, 52 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2028>
- 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
- Wilson, J. (1963). Geología de los cuadrángulos de La Yarada, Tacna y Huaylillas (37-u, 37-v y 37x). INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 6, 69 p.