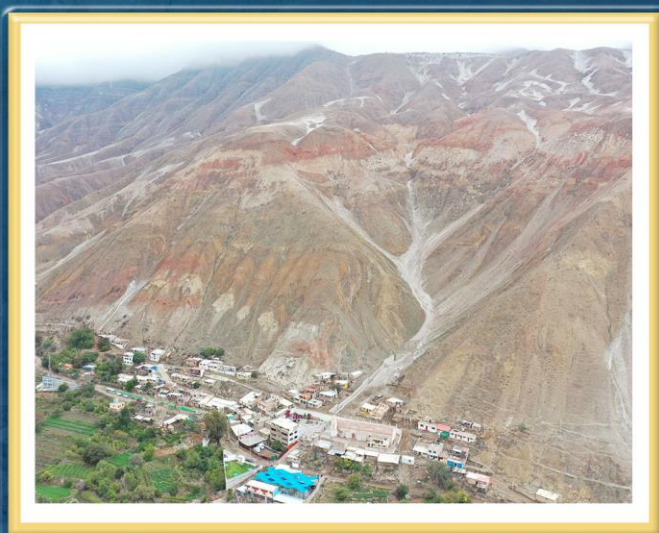


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7281

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJOS DE LODO EN LA ZONA URBANA DE LA CAPILLA

Departamento Moquegua
Provincia General Sánchez Cerro
Distrito La Capilla



JULIO
2022

**EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJOS DE LODO EN LA ZONA
URBANA DE LA CAPILLA**

Distrito La Capilla, Provincia General Sánchez Cerro, Departamento Moquegua

Elaborado por la Dirección de
Geología Ambiental y Riesgo
Geológico del INGEMMET

Equipo de investigación:

Yhon Hidelver Soncco Calsina

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Evaluación de peligros geológicos por flujos de lodo en la zona urbana de La Capilla. Distrito La Capilla, Provincia General Sánchez Cerro, Departamento Moquegua: Ingemmet, Informe Técnico N° A7281, 31p

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos del estudio	1
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	1
1.3. Aspectos generales	2
1.3.1. Ubicación	2
1.3.2. Accesibilidad	3
1.3.3. Precipitación pluvial	3
1.3.4. Población	3
2. DEFINICIONES	5
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	7
3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	7
3.1.1 Formación Puente (Js-pu)	7
3.1.2 Depósitos aluviales (Qh-al)	7
3.1.3 Depósito de caída de lapilli pómez	7
3.1.4 Depósitos de flujos de lodos	9
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	9
4.1 Pendiente del terreno	9
4.2 Unidades geomorfológicas	11
4.2.1 Geformas de carácter tectónico degradacional o denudativos	11
4.2.2 Geformas de carácter depositacional o agradacional	12
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	12
5.1 Peligro geológico por flujo de lodo	12
5.2 Flujos registrados por en COEN en la quebrada La Capilla	15
5.3 Peligro geológico por avalancha de detritos y erosión de ladera en cárcavas. 17	
5.4 Factores condicionantes	17
5.5 Factores desencadenantes	17
6. SIMULACIONES DE FLUJO DE LODO	18
6.1 Volúmenes empleados en la simulación del flujo	18
6.2 Resultados de simulación de flujos	20
7. CONCLUSIONES	22
8. RECOMENDACIONES	23
9. BIBLIOGRAFÍA	24
ANEXO 1: MAPAS	26

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos realizado en el distrito La Capilla, que pertenece a la jurisdicción de la Municipalidad Provincial de General Sánchez Cerro, departamento de Moquegua. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos en los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

En el área evaluada afloran areniscas y lutitas (Formación Puente), que se encuentran moderadamente meteorizada y muy fragmentadas; así mismo, se aprecian depósitos aluviales poco consolidados, conformado por bloques (30%), gravas (45%), arenas (20%) y (5%) de limos y arcillas, formando terrazas. En las laderas se aprecian depósitos no consolidados de lapilli, pómez y escasa ceniza provenientes de la erupción del volcán Huaynaputina (1600 d.C.), y en cauce de la quebrada La Capilla, se aprecia un depósito de flujo de lodo, compuestos de bloques (10 a 15%), gravas (15 a 20%) en matriz conformada por arena, limo y arcilla (65 a 75%). Los bloques más grandes poseen diámetros entre 20 a 30 cm y representan aproximadamente el 5 % de bloques.

Los peligros geológicos identificados corresponden a flujos de lodo, avalancha de detritos; así como también, procesos de erosión de ladera en cárcavas.

Los factores condicionantes para la ocurrencia de los peligros geológicos son:

- a) Rocas moderadamente meteorizadas y muy fracturadas de la Formación Puente y depósitos superficiales no consolidados provenientes la caída de lapilli, pómez y cenizas (erupción del volcán Huaynaputina-1600 d.C.)
- b) Pendiente del terreno que varían de fuerte a muy fuertes (15° - 45°), y por sectores escarpados (> 45°).

El cauce natural de la quebrada La Capilla al entrar a la zona urbana posee 12 m de ancho, mientras que el canal drenaje construido en el 2020 posee únicamente 3 m de ancho; además, este no cuenta con rampas de ingreso para realizar trabajos de descolmatación y/o hacer limpieza de los sedimentos que acarrear los flujos. Según los resultados de las simulaciones y modelos realizados, la ocurrencia de un flujo de lodo para eventos de lluvias extremas no respetará el canal drenaje construido en el 2020.

En base a las observaciones de campo y a las simulaciones numéricas de flujos de lodos, las infraestructuras que podrían ser dañadas son: viviendas aledañas al cauce de la quebrada La Capilla, la iglesia, plaza de armas e instalaciones de municipio.

Se concluye que la zona urbana del distrito La Capilla es considerado de **Peligro Muy Alto**, que puede ser afectado por flujo de lodo; en temporadas de lluvia intensas y/o prolongadas.

Finalmente, se brinda algunas recomendaciones que se consideran importantes, como calcular las capacidades del canal drenaje en la quebrada La Capilla, para ello emplear valores de lluvias extremas, empleado data de una ventana de tiempo mayor a 25 años.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la municipalidad distrital de La Capilla, según el Oficio N° 010-2022-MDLC-A; es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en la zona urbana del distrito La Capilla

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó al Ingeniero Yhon Soncco Calsina, para realizar la evaluación de peligros geológicos que afectan la zona urbana del distrito La Capilla. Los trabajos de campo se realizaron los días 08 al 13 de marzo del 2022.

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS y fotografías terrestres y aéreas), la cartografía geológica y geodinámica, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de la municipalidad distrital de La Capilla y las entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar el peligro geológico por flujo de lodo que se presentan en la zona urbana del distrito de La Capilla; evento que puede comprometer la seguridad física de la población, terrenos agrícolas y vías de comunicación.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de flujos.
- c) Emitir recomendaciones y alternativas de mitigación y reducción de desastres.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

- a) García, W. y Del Pino, M., (1998) Geología del cuadrángulo de Puquina 34-t, Carta Geológica a escala 1:100000. Boletín publicado por el Ingemmet. Describe al afloramiento de la Formación Puente.
- b) Atencio, E. y Romero, D. (2000). Carta Geológica del Perú: Actualización de la hoja 34-t-2 a escala 1:50000. Mapa publicado por Ingemmet. Se empleó como base geológica para la evaluación del distrito La Capilla.
- c) Informe técnico “Zonas críticas por peligros geológicos en el departamento Moquegua”. Luque, G. (2014). Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, En el informe menciona, que el área está sujeta a flujos de detritos.
- d) Japura, S. (2018). Tesis de grado “Estudio estratigráfico y sedimentológico del depósito de caída Pliniana de la erupción del año 1600 D.C. del volcán Huaynaputina”. En ella se explica en base a un estudio tefroestratigráfico de la caída Pliniana de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina, además de cálculos de parámetros eruptivos de dicha erupción. Muestran la dispersión y distribución de los depósitos tefras.

- e) Núñez, S. & Gómez, D. (2012) – Reporte preliminar de zonas críticas por peligros geológicos en la cuenca Río Tambo: informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 54 p. También disponible en: www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/723611/. En este manuscrito identifican peligros geológicos por movimientos en masa en la cuenca del río Tambo.
- f) Informe Técnico N° A6823, Peligros geológicos en las localidades de Torata, Yunga, La Capilla, Huatalaque, Coroise y Lucco, Región Moquegua (2018). En la localidad de La Capilla se identificaron, flujos de lodos y avalancha de detritos.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada corresponde a la zona urbana del distrito de La Capilla en la provincia General Sánchez Cerro, departamento de Moquegua (figura 1); el área se encuentra en las coordenadas siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas del sector evaluado en el distrito La Capilla

N°	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	267499	8146505	-16.752892°	-71.180991°
2	268137	8146506	-16.752946°	-71.175010°
3	268139	8145736	-16.759902°	-71.175070°
4	267500	8145735	-16.759848°	-71.181061°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Área evaluada	267799	8146051	-16.757023°	-71.178225°

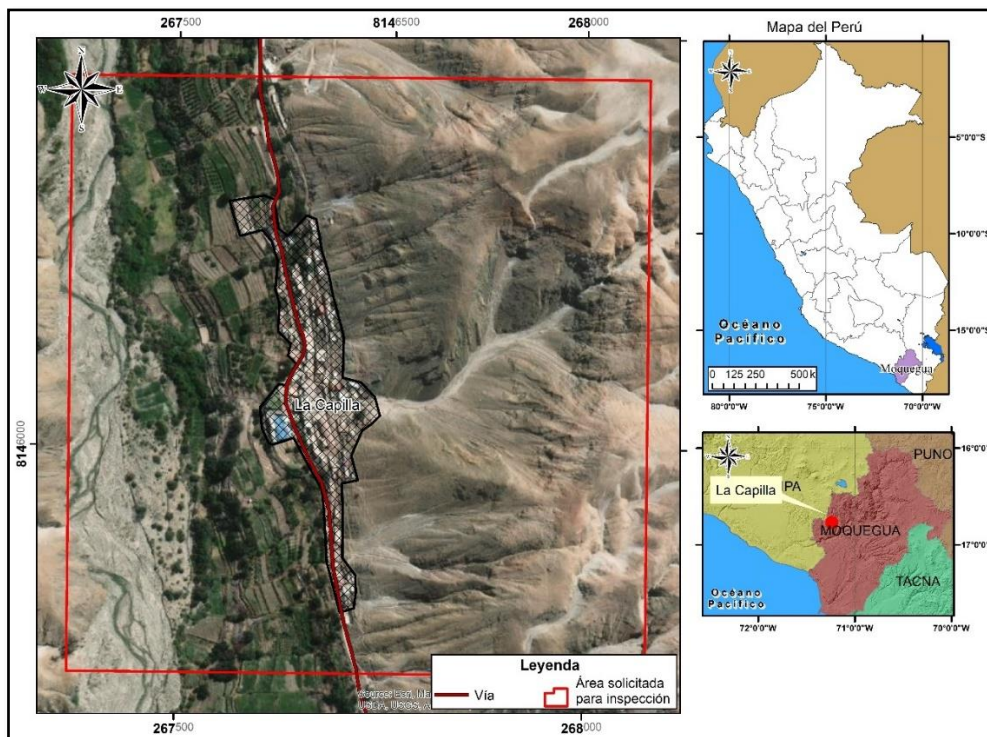


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el distrito La Capilla

1.3.2. Accesibilidad

El acceso a las áreas evaluadas es por vía terrestre, partiendo desde la sede del Ingemmet OD-Arequipa, y se sigue la siguiente ruta:

Cuadro 2. Rutas y accesos al distrito La Capilla.

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Arequipa - Puquina	Asfaltada	56	1 hora y 23 min
Puquina – La Capilla	Trocha carrozable	27.6	1 hora y 15 min

1.3.3. Precipitación pluvial

Según la información disponible de la estación meteorológica Quinistaquillas, del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi), los valores de precipitación se muestran en el gráfico 1. Donde se tiene una data de una ventana de tiempo que va desde 1964 hasta el 2013, con datos de precipitación diaria. La mayor precipitación es de aproximadamente 54 mm. La estación Quinistaquillas es la más próxima que cuenta con información de una ventana de tiempo de mayor a 25 años, (Gráfico 1).

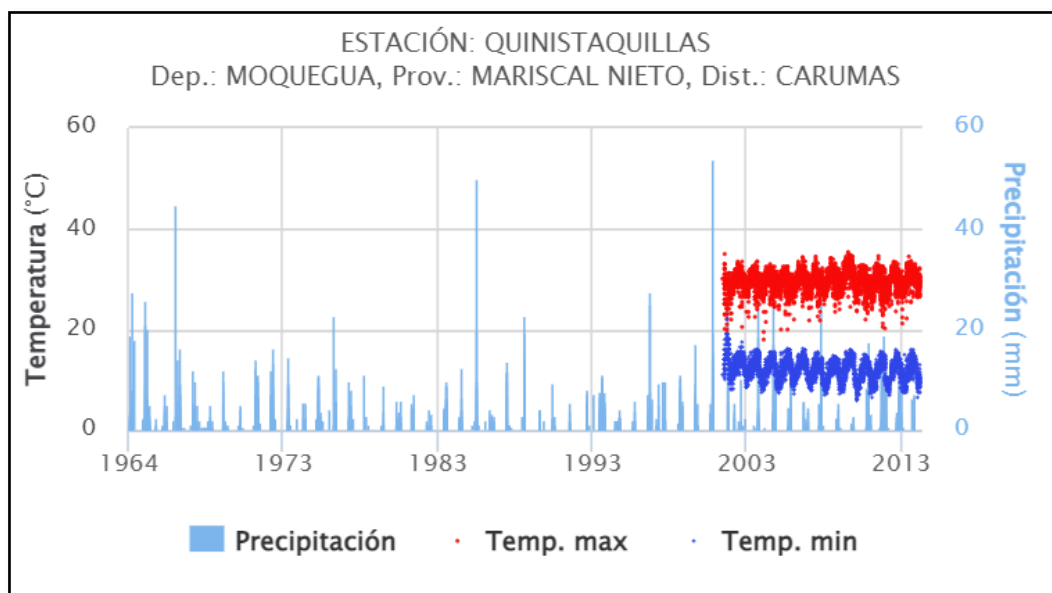


Gráfico 1. Precipitación diaria según la estación Quinistaquillas (Senamhi).

1.3.4. Población

El distrito de La Capilla tiene un territorio pequeño y es el cuarto distrito de la provincia General Sánchez Cerro menos poblado, de acuerdo con el XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda (CPV, 2017); suman 626 personas (Gráfico 2).

Según el Censo Nacional 2017, en el distrito la capilla las personas están distribuidas según el grupo etario siguiente: (0-17 años) 125 personas; (18-59 años) 316 personas y (60 años a más) 185 personas, (gráfico 3).

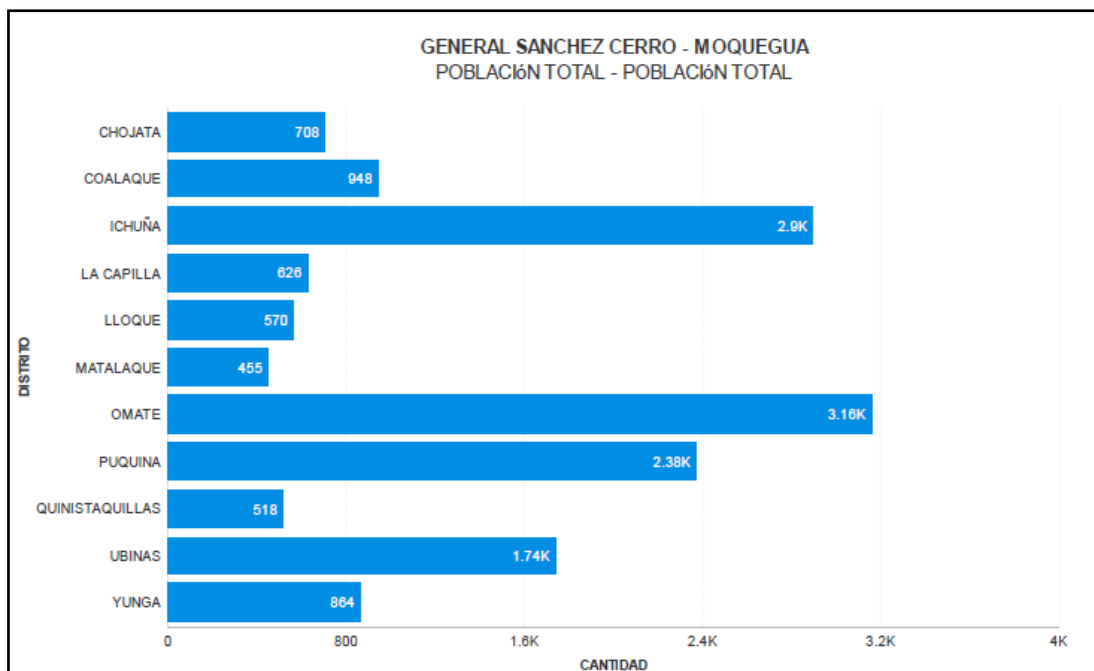


Gráfico 2. Población por distritos de la provincia General Sánchez Cerro.
<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/reporte-estadistico>

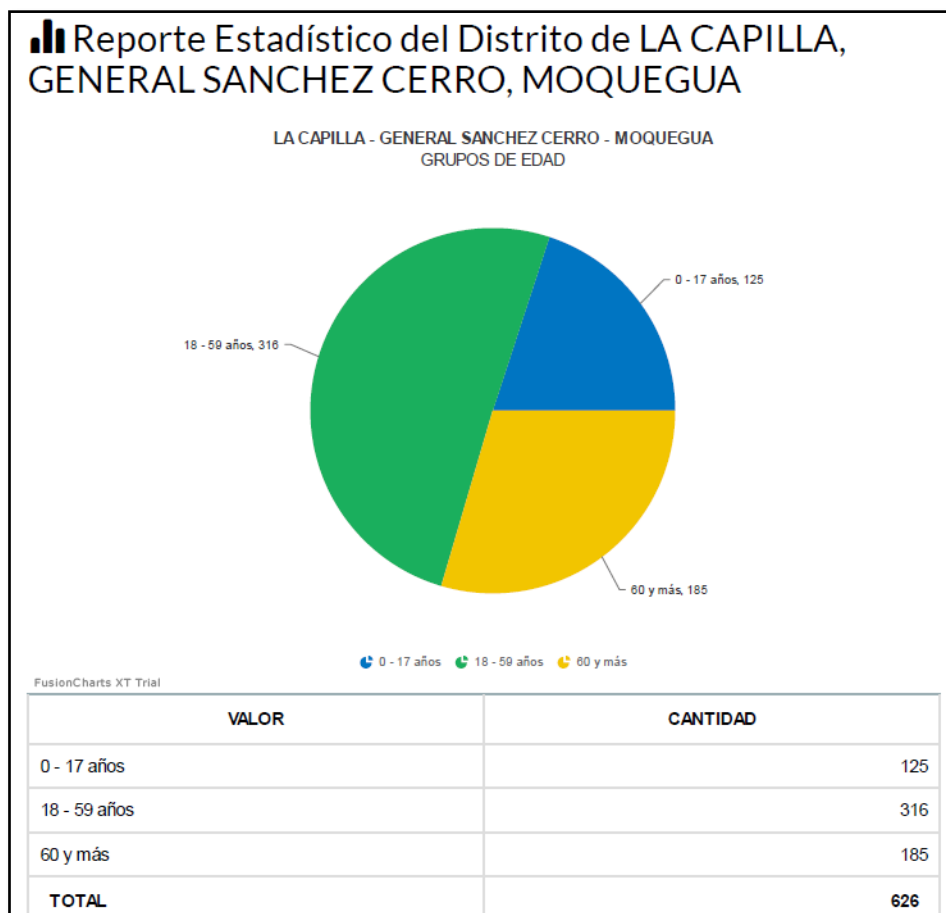


Gráfico 3. Población según grupo etario de La Capilla "Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas." Instituto Nacional de Estadística e Informática-INEI
<https://cenepred.gob.pe/web/>

2. DEFINICIONES

A continuación, se describe según los términos establecidos en el Proyecto Multinacional Andino - Movimientos en Masa GEMMA, del PMA: GCA:

AGRIETAMIENTO (cracking) Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

CORONA (crown) Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento, ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

DESLIZAMIENTO (slide) Son movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud" (Cruden, 1991), son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Harrod, 1989). Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc.

ESCARPE (scarp) sin.: escarpa. Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

FRACTURA (crack) Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

METEORIZACIÓN (weathering) Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes.

CAIDAS. La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido el material, cae desplazándose principalmente por el aire, y puede efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido, se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden & Varnes, 1996), es decir, con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s.

En función al mecanismo principal y la morfología de las zonas afectadas por el movimiento, así como del material involucrado, las caídas se subdividen en tres tipos principales: aludes, caída de rocas y derrumbes.

DERRUMBE: Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, que involucra desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros (Se presentan en laderas de montañas de fuerte pendiente y paredes verticales a subverticales en acantilados de valles encañonados. También se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de diferentes tipos de rocas; así como en depósitos poco consolidados.

EROSIÓN DE LADERAS: Se considera dentro de esta clasificación a este tipo de eventos, porque se les considera predecesoras en muchos casos a la ocurrencia de grandes eventos de movimientos en masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta gracias a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento), que entra en

contacto con el suelo, en el primer caso por el impacto y en el segundo caso por fuerzas tractivas que vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo generándose los procesos de erosión (Duque et al, 2016).

Los procesos de erosión de laderas también pueden tener como desencadenante la escorrentía formada por el uso excesivo de agua de regadío.

LAHAR: Se les denomina así porque durante su desplazamiento presentan un comportamiento semejante al de un fluido. Pueden ser rápidos o lentos, saturados o secos. 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. Los flujos se pueden clasificar de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral (canalizado o no canalizado)

CÁRCAVAS: La erosión en cárcavas es un fenómeno que se da bajo diversas condiciones climáticas (Gómez et al., 2011), aunque más comúnmente en climas semiáridos y sobre suelos estériles y con vegetación abierta, con un uso inadecuado del terreno o inapropiado diseño del drenaje de las vías de comunicación. 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 o por la concentración de flujos superficiales fomentados por obras de drenaje de caminos o carreteras.

AVALANCHA DE ESCOMBROS: Las avalanchas de escombros son deslizamientos súbitos de una parte de los edificios volcánicos. Se originan debido a factores de inestabilidad, tales como la elevada pendiente del volcán, presencia de fallas, movimientos sísmicos fuertes y/o explosiones volcánicas. Las avalanchas de escombros ocurren con poca frecuencia y pueden alcanzar decenas de kilómetros de distancia, se desplazan a gran velocidad, así por ejemplo en el caso del monte St. Helens, se estimaron velocidades del orden de 240 km/h Glicken, (1996). Los mecanismos del colapso, transporte y emplazamiento han sido mejor entendidos a partir de la erupción del volcán St. Helens en los EE. UU. (18 de mayo de 1980), donde se produjo el colapso sucesivo de tres bloques ubicados en el flanco norte.

ERUPCIÓN VOLCÁNICA: Las erupciones volcánicas son el producto del ascenso del magma a través de un conducto desde el interior de la tierra. El magma está conformado por roca fundida, gases volcánicos y fragmentos de roca. Estos materiales pueden ser arrojados con grados de violencia. Dependiendo de la composición química del magma, la cantidad de gases y en algunos casos por la interacción del magma con el agua.

Cuando el magma se aproxima a la superficie, pierde todo o parte de los gases contenidos en solución, formando burbujas en su interior; bajo estas condiciones, se pueden presentar dos escenarios principales:

- Si los gases del magma se liberan sin alterar la presión del medio, el magma puede salir a la superficie sin explotar. en este caso se produce una erupción efusiva.
- Si el magma acumula más presión de la que puede liberar, las burbujas en su interior crecen y el magma se fragmenta violentamente, produciendo una erupción explosiva.

ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA (IEV): Representa la magnitud de una erupción volcánica y es una escala que va de 0 a 8 grados.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

En análisis geológico se desarrolló en base a la Geología del Cuadrángulo de Puquina 34-t (W. García y M. Del Pino., 1998). Carta Geológica a escala 1:100 000 y la actualización de la hoja 34-t-2, (E. Atencio y D. Romero., 2000) a escala 1:50 000.

La cartografía geológica, se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotografías y observaciones de campo. (mapas 1).

3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

3.1.1 Formación Puente (Js-pu)

En base a los trabajos realizados por (E. Atencio y D. Romero., 2000), litológicamente está constituido de una sucesión monótona de bancos de areniscas y lutitas. En inmediaciones del distrito La Capilla esta unidad se encuentra moderadamente meteorizada y muy fragmentada (figura 2).

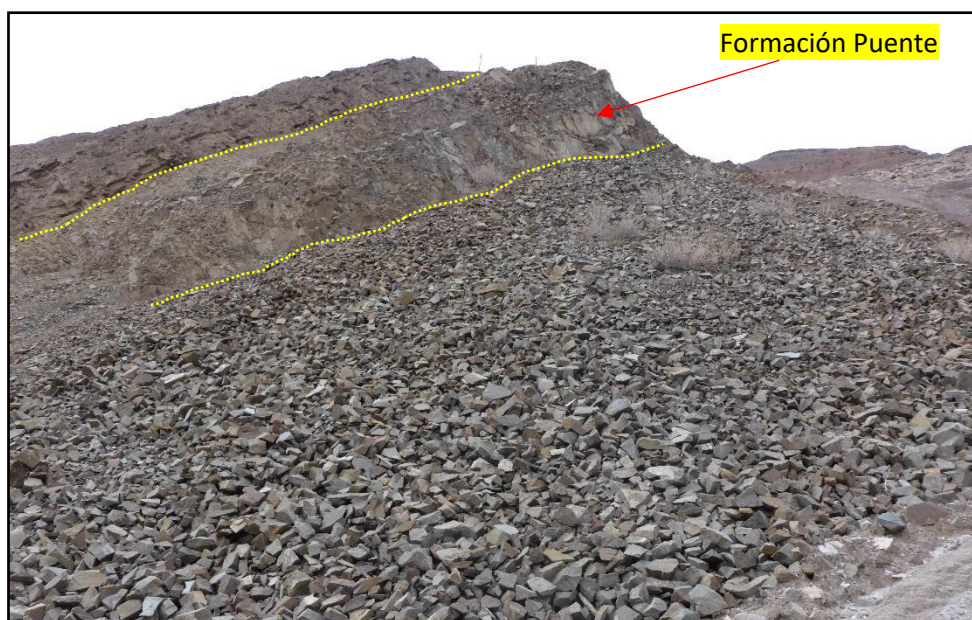


Figura 2. Afloramiento de la Formación Puente. (Coordenadas UTM WGS84 267811 E, 8146090 N).

3.1.2 Depósitos aluviales (Qh-al)

Depósitos recientes cuyos materiales han sido arrancados y transportados por el agua y depositados a poca distancia de su lugar de origen.

Estos materiales se presentan no consolidados y sus elementos no tienen ninguna selección, tratándose más bien de una mezcla heterogénea de rocas de diferentes tamaños y formas (angulosas a subredondeadas), los cuales van desde bloques (30%), gravas (45%), arenas (20%) y (5%) de limos y arcillas. En La Capilla, esta unidad se encuentra en ambos márgenes del río La Capilla, formando terrazas a diferentes niveles, utilizadas como terrenos de cultivo. Los bloques más grandes miden hasta 30 cm.

3.1.3 Depósito de caída de lapilli pómez

El depósito corresponde a uno de los primeros eventos producido por la erupción del volcán Huaynaputina en 1600 d.C., presenta líticos accidentales e hidrotermalizados, con

pómez de color blanquecinos, y de tamaños centimétricos. En La Capilla, estos se encuentran adosados en las laderas y se presentan no consolidados.



Figura 3. Depósito de caída de lapilli pómez. (Coordenadas UTM WGS84 267808 E, 8146050 N).

La Capilla se ubica en el eje de dispersión de la caída pliniana de lapilli pómez, de la erupción del volcán Huaynaputina en 1600 d.C. (figura 4). El cual expulsó un volumen de 8.60 a 9.93 km³, cubriendo un área de 128 072 km² en base a la isópaca de 1 cm. S. Japura., (2018). Todo el material volcánico disponible en las laderas, durante lluvias intensas y/o prolongadas son incorporados en los flujos.

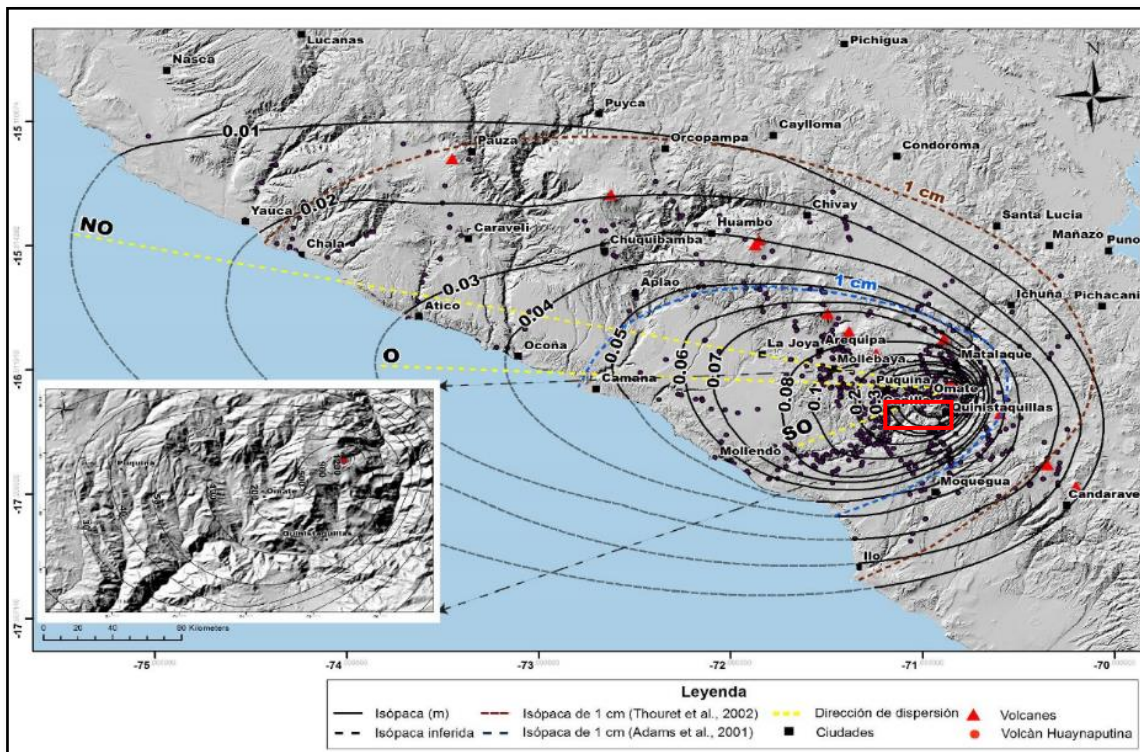


Figura 4. Mapa de isópaca del depósito de caída pliniana, donde se muestra la variación del espesor (cm) con la distancia respecto al cráter del volcán Huanaputina, (S. Japura., 2018).

3.1.4 Depósitos de flujos de lodos

El depósito de flujo de lodo que se observa en la quebrada La Capilla proviene de eventos sin-eruptivos, los cuales pueden desencadenarse muchos años después de una erupción volcánica. En el área evaluada están compuestos de bloques (10 a 15%), gravas (15 a 20%) en matriz conformada por arena, limo y arcilla (65 a 75%). Los bloques más grandes poseen diámetros entre 20 a 30 cm y representan aproximadamente el 5 % de bloques. Poseen formas subredondeadas por el poco recorrido desde las laderas.

El depósito posee una potencia variable desde 0.2 a 1 m, en la quebrada La Capilla se observa que estos depósitos poseen hasta 25 cm de potencia, y se encuentran ligeramente consolidados (figura 4).



Figura 5. Depósitos de flujo de lodo en la quebrada La Capilla. (Coordenadas UTM WGS84 267773 E, 8146053 N).

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1 Pendiente del terreno

Las pendientes de terrenos varían de suavemente inclinados (5° - 15°), en el fondo de las quebradas se aprecian pendientes fuertes (15° - 25°). En cambio, en las laderas se observa cambios abruptos de terrenos con pendientes muy fuertes (25° - 45°), a muy escarpados ($> 45^{\circ}$), en las paredes.

Se elaboró un mapa de pendientes en base al modelo de elevación digital (DEM), de 10 cm de resolución, a partir de fotogrametría con dron (mapa 2). También se elaboró un ortomosaico del área evaluada, (figura 5). Las pendientes se muestran en la figura 7.

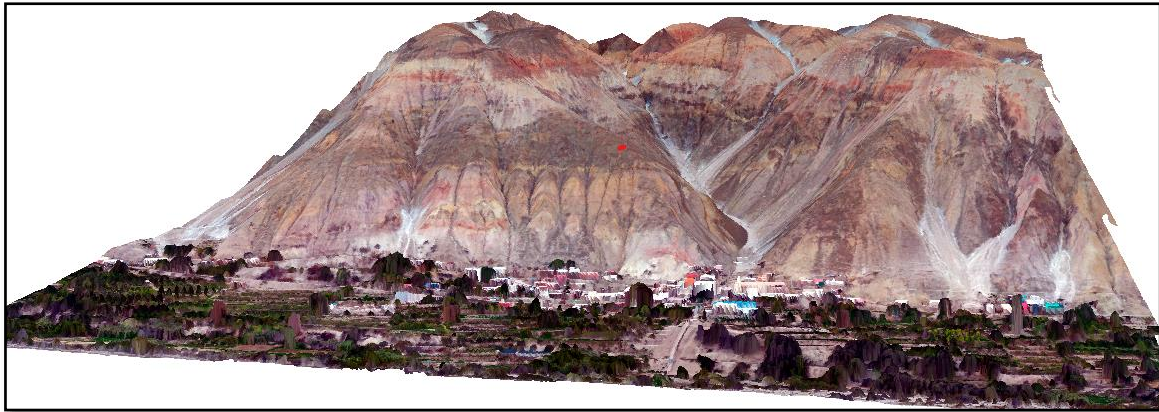


Figura 6. Ortomosaico del área evaluada.



Figura 7. Muestra las pendientes en La Capilla.

Cuadro 4. Clasificación de pendientes.

Rangos de pendientes del terreno (°)	CLASIFICACIÓN
<1	Llano
1 – 5	Suavemente inclinado
5 – 15	Moderado
15 – 25	Fuerte
25 – 45	Muy fuerte a escapado
>45	Muy escarpado

4.2 Unidades geomorfológicas

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en el sector evaluado, se ha empleado la publicación de Villota (2005) y la clasificación de unidades geomorfológicas utilizadas en los estudios del Ingemmet; cuyas concepciones se basan en considerar el efecto de los procesos morfodinámicos siguientes:

- Geoformas de carácter tectónico degradacional o denudativos
- Geoformas de carácter depositacional o agradacional.

La evolución del relieve en La Capilla se presenta en el mapa geomorfológico (mapa 3).

4.2.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional o denudativos

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes, Villota, (2005). Así en el área evaluada se tienen las siguientes unidades:

4.2.1.1 Unidad de Montaña

Es la unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 m de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub-aguda, semi redondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas y que presenta un declive promedio superior al 30% (FAO, 1968).

Montaña en roca sedimentaria (RM-rs): Esta subunidad geomorfológica ocupa la mayor parte del área estudiada en La Capilla. Presenta cerros con altura superior a 300 m desde su línea base, con laderas que presentan anticlinales y sinclinales. Presenta laderas erosionadas, con pendientes que varían desde fuertes hasta abruptas (25° - 45°). Litológicamente está compuesta por secuencias sedimentarias como areniscas y lutitas de la Formación Puente, las cuales se caracterizan por presentar caídas de rocas y originan flujos de lodos en áreas con procesos de erosión de laderas (figura 8).



Figura 8. Montaña en roca sedimentaria (RM-rs) (Coordenadas UTM WGS84 267931 E, 8146105 N).

4.2.2 Geformas de carácter depositacional o agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosiónales que afectan las geformas anteriores; se tienen las siguientes unidades y subunidades:

4.2.2.1 Unidad de planicie

Son geformas asociadas a depósitos coluviales y aluviales, limitados por depósitos de piedemonte o ladera de montaña, caracterizados por presentar pendientes bajas a llanas.

Terraza aluvial (T-al): Se presenta formando bancos o graderías de sedimentación aluvial, ubicadas en los márgenes de las quebradas y frentes de conos de deyección. Este tipo de geformas se identificaron en las márgenes del río La Capilla, están conformados por material subanguloso y subredondeado polimíctico, en matriz areno limoso. Los coloides van desde bloques (30%), gravas (45%), arenas (20%) en escasa matriz fina de hasta (5%) de limos y arcillas.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

El peligro geológico evaluado en el distrito La Capilla, corresponde a movimientos en masa de flujo de lodo y avalancha de detritos. Asimismo, se aprecian procesos de erosión de ladera en cárcavas.

Estos procesos son el resultado del modelamiento del terreno, tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como geometría del terreno, pendiente de la ladera, tipo de roca, drenaje superficial y cobertura vegetal.

Se tiene como “detonantes” de este tipo de eventos, las lluvias intensas y/o prolongadas y movimientos sísmicos.

La cartografía de peligros se muestra en el mapa 4.

5.1 Peligro geológico por flujo de lodo

El área de estudio presenta una geodinámica muy activa, representada por flujo de lodo; evidencia de ellos son los flujos ocurridos recientemente, en marzo del 2015 y enero del 2017, según reportes del Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN).

Por la zona urbana de La Capilla, cruza la quebrada del mismo nombre, el cual nace sobre los 2280 m s.n.m. Presenta 1.55 k de recorrido, hasta su desembocadura al río La Capilla. La cuenca de la quebrada está conformada por un drenaje subparalelo y detrítico, (figura 9).



Figura 9. Microcuenca quebrada La Capilla

La zona urbana del distrito La Capilla está ubicada sobre abanicos formados por depósitos de flujos antiguos, (figura 10).

Por la zona también cruza la única vía de comunicación de los poblados ubicados valle abajo, así como la zona agrícola del distrito La Capilla.



Figura 10. Quebrada La Capilla.

Los depósitos de lodo recientes en la quebrada La Capilla, están conformados por matriz de ceniza y limos (65 a 70 %) y lapilli, gravas y bloques de areniscas (25 a 30 %). (figuras 11 y 12).

En las laderas de la quebrada se aprecia abundante material suelto, conformado principalmente por cenizas y lapilli pómez provenientes de la erupción del volcán Huaynaputina (1600). Además, se aprecian areniscas y lutitas (Formación Puente) que se encuentran moderadamente meteorizada y muy fragmentadas. Cuyos bloques rellenan los cauces de las quebradas en el área. En este tipo de litología se aprecia abundante erosión de ladera en cárcavas.

Las precipitaciones pluviales excepcionales, intensas y/o prolongadas podrían generar nuevos flujos de lodos. Similares a los ocurridos en los años 2015 y 2017. Los cauces actuales de las quebradas se encuentran colmatados de bloques, gravas y arenas, posee matriz conformada por limos y arcillas, provenientes de antiguos flujos de detritos. Además, existe buena disponibilidad de material suelto en las laderas, los cuales podrían ser incorporados en los flujos, ello aumentaría el volumen del flujo y por ende el poder destructivo.

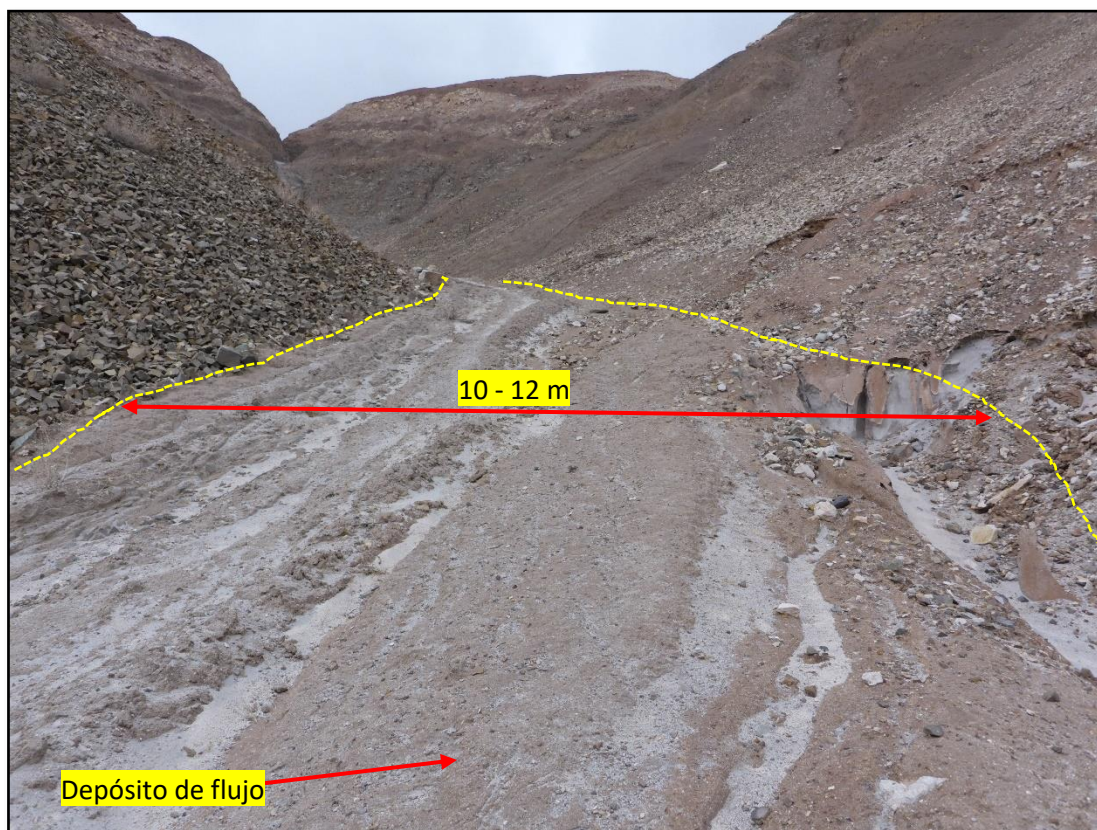


Figura 11. Depósito de flujo en la quebrada La Capilla (Coordenadas UTM WGS84 267766 E, 8146053 N)



Figura 12. Depósito de flujo de lodo en la quebrada La Capilla (Coordenadas UTM WGS84 267766 E, 8146053 N)

5.2 Flujos registrados por en COEN en la quebrada La Capilla

Según la recopilación de información de la base de datos del Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) se detallan los flujos recientes en la quebrada La Capilla, (figuras 13 y 14).

Cuadro 6. Resumen de los últimos flujos emplazados en La Capilla

AÑO DE OCURRENCIA DE HUAICOS/SECTOR	REPORTE/INFORME
25 de marzo del 2015	N° 466-21/04/2015/COEN-INDECI
13 de enero del 2017	N° 046-14/01/2017 /COEN-INDECI

Fuente: Reportes del COEN



Figura 13. Flujos emplazados en marzo del 2015, en La Capilla. (Fotografía - Agencia Peruana de Noticias)



Figura 14. Flujos emplazados en enero del 2017, en La Capilla. (Fotografía - Diario el Correo)

5.3 Peligro geológico por avalancha de detritos y erosión de ladera en cárcavas.

En las laderas de quebrada La Capilla se aprecian abundante material suelto, adosado, que en tiempos de lluvia son removidos y generan avalanchas de detritos. El material transportado está conformado por bloques (90%), gravas (5%) y arena (5%). Se denominan flujos no canalizados, (figura 15).

Además, en las laderas se aprecian procesos de erosión de ladera de tipo cárcavas, (figura 15).

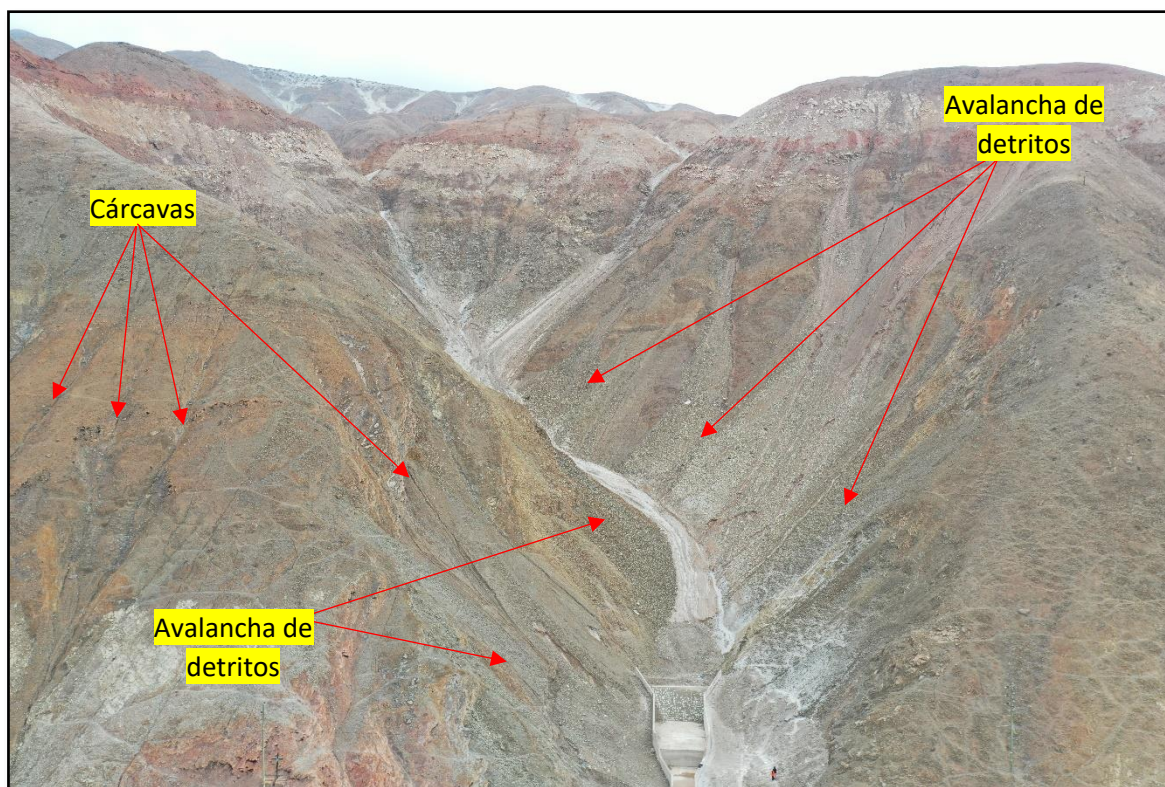


Figura 15. Avalancha de detrito y procesos de erosión de ladera en la quebrada La Capilla.

5.4 Factores condicionantes

- Presencia de rocas de areniscas y lutitas moderadamente meteorizada y muy fragmentadas (Formación Puente). Se tiene también depósitos no consolidados de caída de lapilli pómez de la erupción del volcán Huaynaputina de 1600 d.C.
- La pendiente de los terrenos varía de suavemente inclinados ($5^\circ - 15^\circ$), en el fondo de las quebradas se aprecian pendientes fuertes ($15^\circ - 25^\circ$). En cambio, en las laderas se observa cambios abruptos de terrenos con pendientes muy fuertes ($25^\circ - 45^\circ$), a muy escarpados ($> 45^\circ$).

5.5 Factores desencadenantes

- Lluvias intensas prolongadas o extraordinarias (según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, el periodo de lluvia en la sierra Occidental de Perú se da en los entre los meses de diciembre a febrero), las aguas saturan los terrenos,

umentando el peso del material y las fuerzas tendentes al desplazamiento, los flujos también son generados por lluvias intensas y/o prolongadas.

- Los movimientos sísmicos pueden generar desprendimientos de rocas desde las partes altas. Según el diseño sismorresistente, del reglamento nacional de edificaciones, aprobada por decreto supremo N°011-2006-vivienda. La zona evaluada se ubica en la zona 3, con un factor Z de 0.35. “El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

6. SIMULACIONES DE FLUJO DE LODO

La simulación de flujos de lodo fue realizada con el código VolcFlow, (Kelfun et al., 2005), el cual 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 parámetros empleados, para correr los distintos flujos se describen más adelante.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\mathbf{hu}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mathbf{hv}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\mathbf{hu}) + \frac{\partial}{\partial x}(\mathbf{hu}^2) + \frac{\partial}{\partial y}(\mathbf{huv}) = \mathbf{ghsin}\alpha_x - \frac{1}{2}\mathbf{Kactpass} \frac{\partial}{\partial x}(\mathbf{gh}^2\mathbf{cos}\alpha) + \frac{\mathbf{T}_x}{\rho} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\mathbf{hv}) + \frac{\partial}{\partial x}(\mathbf{hvu}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mathbf{hv}^2) = \mathbf{ghsin}\alpha_y - \frac{1}{2}\mathbf{Kactpass} \frac{\partial}{\partial y}(\mathbf{gh}^2\mathbf{cos}\alpha) + \frac{\mathbf{T}_y}{\rho} \quad (3)$$

Donde:

- 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 - “Inversion y Denlinger (2001)”

La simulación se realizó en un modelo digital de elevación (DEM) de 20 cm, el cual se elaboró a partir de fotogrametría con dron.

6.1 Volúmenes empleados en la simulación del flujo

El parámetro de volumen es uno de los datos más importantes en el código VolcFlow, su cálculo es dificultoso, para ello se empleará la metodología utilizada en trabajos anteriores, debido a que se obtuvieron buenos resultados.

El volumen de un flujo está dado por la sumatoria del volumen de agua y el de sedimentos, en base a porcentajes proporcionales. Por lo tanto, el volumen total de un flujo está dado por la ecuación número 1.

$$\boxed{V_t(\text{flujo}) = V_{\text{agua}} + V_{\text{sedimentos}}} \quad \dots\dots (1)$$

Según algunos autores el porcentaje varía desde 40 % de sedimentos y 60 % de agua (Vascones, 2009); 50% de agua y 50% de sedimentos (Vallance, 2000); 70% de agua y 30% de sedimentos (Córdoba *et al.*, 2014).

La principal fuente de agua para el cálculo del volumen de los flujos en el Perú está dada por la precipitación de lluvias intensas y excepcionales. Para ello se toman valores de precipitación de las estaciones meteorológicas del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú).

Los flujos de detritos en una quebrada se generan en la parte alta de la cuenca, durante su recorrido pasan por una zona de transporte para finalmente depositarse en las partes bajas formando abanicos (Bateman *et al.*, 2006).

El volumen de agua involucrado depende directamente de la precipitación de lluvias expresado en P (mm) y el área de la zona de generación de flujo representado como A (m²), (figura 16), cuyo límite horizontal está dado por el divortium aquarum o línea divisoria de aguas, la cual es una línea imaginaria que traza la separación entre dos vertientes o cuencas fluviales limítrofes (Casaverde, 2011); mientras que el límite vertical está representado por zonación dada por Bateman *et al.*, (2006).

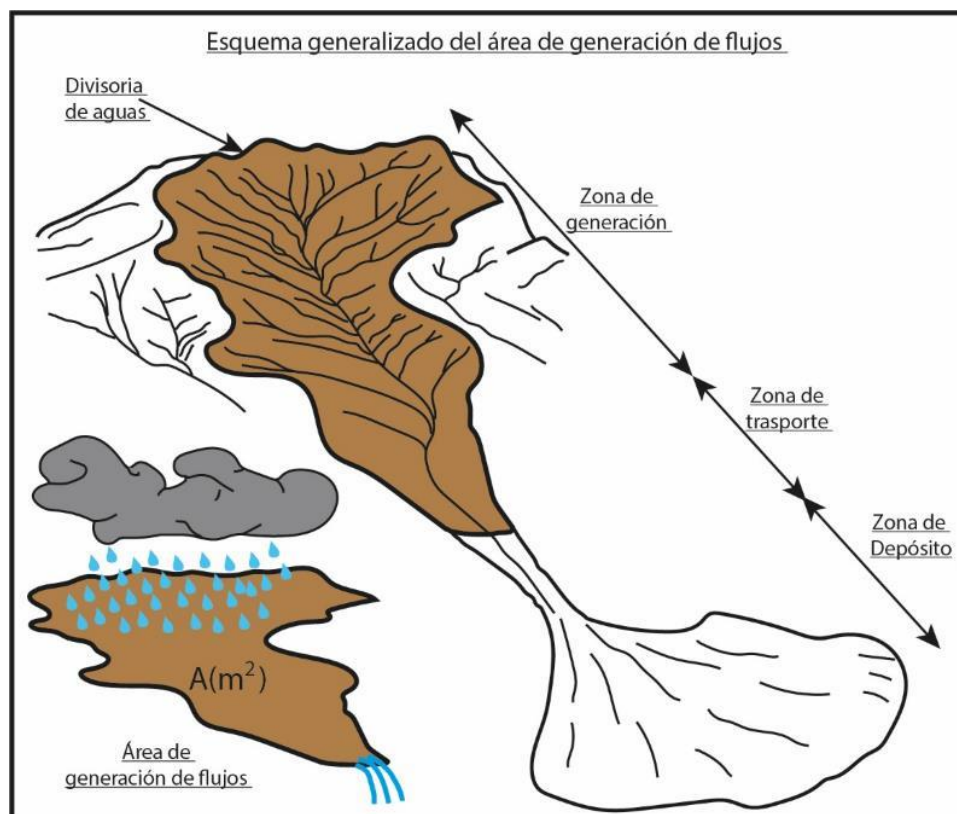


Figura 16. Esquema generalizado del área de generación de un flujo (Soncco., *et al* 2021).

Según la información disponible del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi), en base a los datos de la estación Quinistaquillas, se cuenta con datos de una ventana de tiempo de 49 años, desde 1964 hasta el 2013, datos de precipitación diaria (gráfico 1).

Para el cálculo de los volúmenes de flujos en La Capilla se empleó 54 mm de precipitación. Además, se tomó la relación de 60% de agua y 40% de sedimentos empleados por Vascones, (2009). Es importante mencionar que para nuestros cálculos no se considera la infiltración.

Para la quebrada La Capilla se calculó el siguiente volumen.

Cuadro 7. Resumen de volumen de flujos

Quebrada	Precipitación 54 mm
La Capilla	60000 m ³

6.2 Resultados de simulación de flujos

De acuerdo con los resultados de la simulación para futuros flujos en la quebrada La Capilla, se muestran las zonas que podrían ser afectadas, para un escenario de precipitación extrema. Según la estación Quinistaquillas del SENAMHI, Donde se tiene una data de una ventana de tiempo, desde 1964 hasta el 2013, con datos de precipitación diaria. La mayor precipitación es de aproximadamente 54 mm.

Se muestra el resultado de la simulación de flujo de lodo. El cual se realizó sobre un modelo digital de elevación de 10 cm/ pix, (figuras 17), (mapa 5).

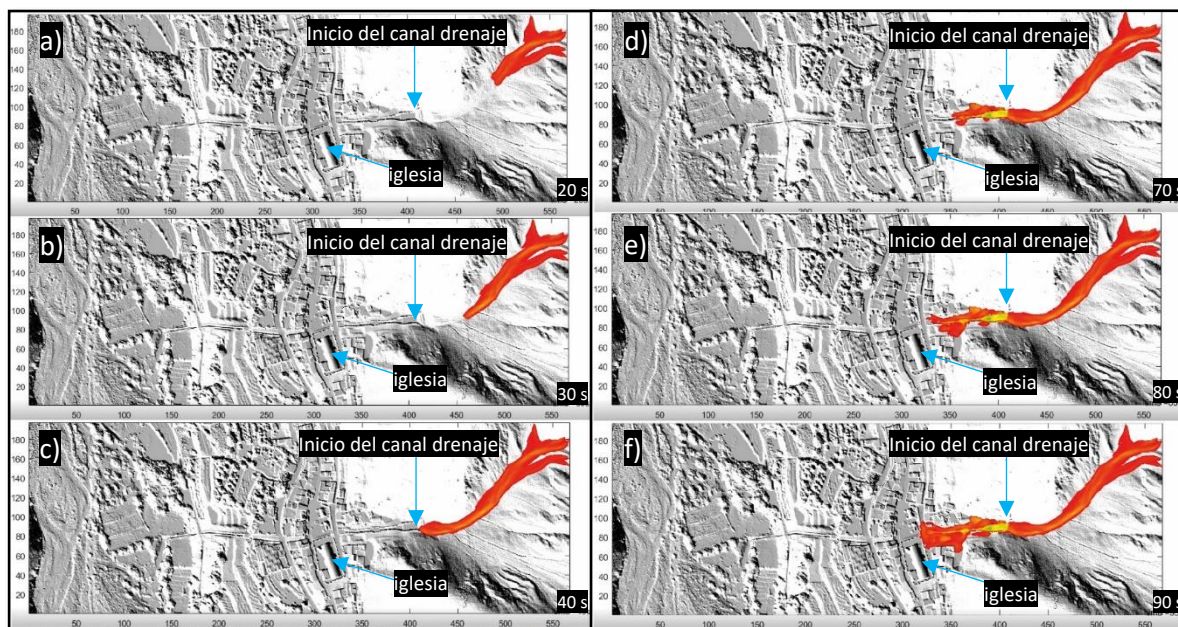


Figura 17. Simulación de flujos de lodo, a,b,c,d,e y f) muestran del comportamiento del flujo a lo largo del tiempo; en c) el flujo alcanza el canal drenaje construido en el 2020, se observa que empieza a rebasarlo; en d,e y f) se observa claramente que el flujo no respeta el canal drenaje.

Según el mapa de simulación de flujo de lodo (mapa 5), las infraestructuras afectadas son viviendas ubicadas en el cauce de la quebrada La Capilla, la iglesia de La Capilla, plaza de La Capilla y las instalaciones de municipio.

El canal drenaje de La Capilla, debió ser construido teniendo en cuenta cálculos de volúmenes y caudales de flujos para eventos extremos de precipitación. Es importante aclarar que en la quebrada La Capilla no solo se presentará únicamente escorrentía de agua, sino más bien, flujos de lodos, el cual consiste en una mezcla de agua y sedimentos de variado tamaño, que van desde las arcillas hasta bloques. Según algunos autores, el porcentaje de detritos y agua varía desde:

- 60 % de agua y 40 % de sedimentos (Vascones, 2009)
- 50 % de agua y 50 % de sedimentos (Vallance, 2000)

- 70% de agua y 30 de sedimentos (Córdoba et al, 2014)

El cauce de la quebrada La Capilla al entrar a la zona urbana posee 12 m de ancho, y normalmente se abre formando un abanico aluvial, donde se ubica el poblado La Capilla. Pero la construcción del canal drenaje ha reducido el cauce hasta 3 m (figura 18), si bien es cierto es un canal profundo, este mínimamente debería mantener el ancho inicial del cauce de la quebrada. Además, el canal no cuenta con rampas de ingreso para realizar trabajos de descolmatación y/o hacer limpieza de los sedimentos que un flujo arrastra y deposita.

Es importante aclarar que los resultados de las simulaciones, según la figura 17 muestra que un flujo para eventos de lluvias extremas no respetara el canal drenaje construido en el 2020.



Figura 18. Canal drenaje La Capilla

7. CONCLUSIONES

- a) En el área evaluada afloran areniscas y lutitas (Formación Puente), que se encuentran moderadamente meteorizada y muy fragmentadas. Así mismo, se aprecian depósitos aluviales que forman terrazas, están conformadas por bloques (30%), gravas (45%), arenas (20%) y limos y arcillas (5%), sobre la cual se desarrolla la actividad agrícola. En las laderas de la quebrada La Capilla, se aprecian depósitos no consolidados de lapilli pómez, con escaza ceniza. El último evento generó un depósito de flujo de lodo, compuestos de bloques (10 a 15%), gravas (15 a 20%) en matriz conformada por arena, limo y arcilla (65 a 75%). Los bloques más grandes poseen diámetros entre 20 a 30 cm y representan aproximadamente el 5 % de bloques.
- b) En La Capilla se apreció peligros geológicos como flujo de lodo, avalancha de detritos y procesos de erosión de ladera (cárcavas). Eventos condicionados por la presencia de rocas moderadamente meteorizada y muy fragmentadas (Formación Puente) y depósitos adosados, no consolidados de la caída de lapilli pómez (erupción del 1600 d.C. del volcán Huaynaputina); y la pendiente de los terrenos que varían de fuerte (15° - 25°), muy fuerte (25° - 45°) a muy escarpada (> 45°).
- c) En base a las observaciones de campo y a las simulaciones numéricas de flujos, las infraestructuras que podrían ser dañadas por un eventual evento de flujos son: viviendas aledañas al cauce de la quebrada La Capilla, iglesia, plaza de armas e instalaciones del municipio.
- d) El cauce de la quebrada La Capilla al entrar a la zona urbana posee 12 m de ancho, el cual para la construcción del canal drenaje ha sido reducido hasta 3 m. Otra deficiencia que tiene es que el canal no cuenta con rampas de ingreso para realizar trabajos de descolmatación y/o hacer limpieza de los sedimentos que dejan los flujos.
- e) Según los resultados de las simulaciones, la ocurrencia de un flujo de lodo, para eventos de lluvias extremas, no respetará el canal drenaje construido en el 2020.
- f) El sector La Capilla, no cuenta con buena planificación urbana, no se ha considerado los sectores susceptibles a movimientos en masa u otros procesos que podrían afectar la integridad física de los pobladores e infraestructuras expuestas.
- g) 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 nuevos flujos de lodo.
- h) De acuerdo con las condiciones, geológicas, geomorfológicas y geodinámica externa, se concluye que, la zona urbana del distrito La Capilla se considera de **Peligro Muy Alto**, y puede ser afectado por flujo de lodo, que pueden ocurrir en temporadas de lluvias intensas y/o prolongadas.

8. RECOMENDACIONES

1. Calcular las capacidades del canal drenaje en la quebrada La Capilla, para ello emplear valores de lluvias extremas, empleado data hidrometeorológica de una ventana de tiempo mayor a 25 años.
2. La autoridad local pertinente debe emitir ordenanzas para prohibir:
 - La construcción de viviendas en zonas de alto peligro por movimientos en masa y en los cauces de las quebradas.
 - La ocupación en las fajas marginales o el límite natural de un río o quebrada.
 - Expansión urbana hacia los cauces de las quebradas.
3. Forestar las laderas, para evitar que el material suelto discurra hacia el cauce de la quebrada.
4. Canalizar la quebrada, respetando su cauce natural.
5. Ver la posibilidad de construir muros disipadores de energía o construcción de trinchos.
6. Realizar trabajos de reforestación que propicien el crecimiento de áreas verdes en la microcuenca de la quebrada La Capilla.
7. Estableces sistemas de alerta temprana para flujos.

9. BIBLIOGRAFÍA

Atencio, E. y Romero, D., (2000) actualización geología del cuadrángulo de Puquina hoja 34-t-2, a escala 1:50 000

Corominas, J. & García Y agüe A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. I V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3,1051-1072

Cruden, D. M., Varnes, D.J., (1996). Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.

Cueva, K.; Mariño, J.; Thouret, J. C.; Japura, S. & Macedo, L. (2018) - Pueblos enterrados por la erupción de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina: geología del sector de Calicanto y Chimpapampa. En: Foro Internacional: Los volcanes y su impacto, 8, Arequipa, PE, 26-27 abril, 2018, Libro de resúmenes. Arequipa: INGEMMET, pp. 96-100. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1474>

García W. y Del Pino M., (1998). Geología 34-t). Carta Geológica a escala 1:100 000

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. Ingeniería Geológica. 2002 (1ra. Ed); 2004 (2da. Ed); 2009 (3ra. Ed) Prentice Hall Pearson Educación, Madrid, pp 750.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Evaluación de peligros geológicos por flujo de detritos (lahares) en el centro poblado Yalaque y en la quebrada El Volcán. Distritos La Capilla y Quinistaquillas, Provincia de General Sánchez Cerro, Departamento Moquegua: Ingemmet, Informe Técnico N° A7212, 54p

Luque, G., Pari, W., Dueñas, K. & Huamán, M. (2020) - Peligro geológico en la región Moquegua. Ingemmet, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 75, 252 p., 9 mapas.

Luque, G. & Rosado, M. (2014) - Zonas críticas por peligros geológicos en la región Moquegua: primer reporte, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 62 p.

Mapa de susceptibilidad de movimientos en masa generado por el Ingemmet (<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>)

Núñez, S. & Gómez, D. (2012) – Reporte preliminar de zonas críticas por peligros geológicos en la cuenca Río Tambo: informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 54 p.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). Movimientos en Masa en la región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ad, Landslides analisis and control: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 176, p. 9-33

Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafol3gicos y zonificaci3n f3sica de tierras. Espa3a: Instituto Geogr3fico Agust3n Codazi.

ANEXO 1: MAPAS

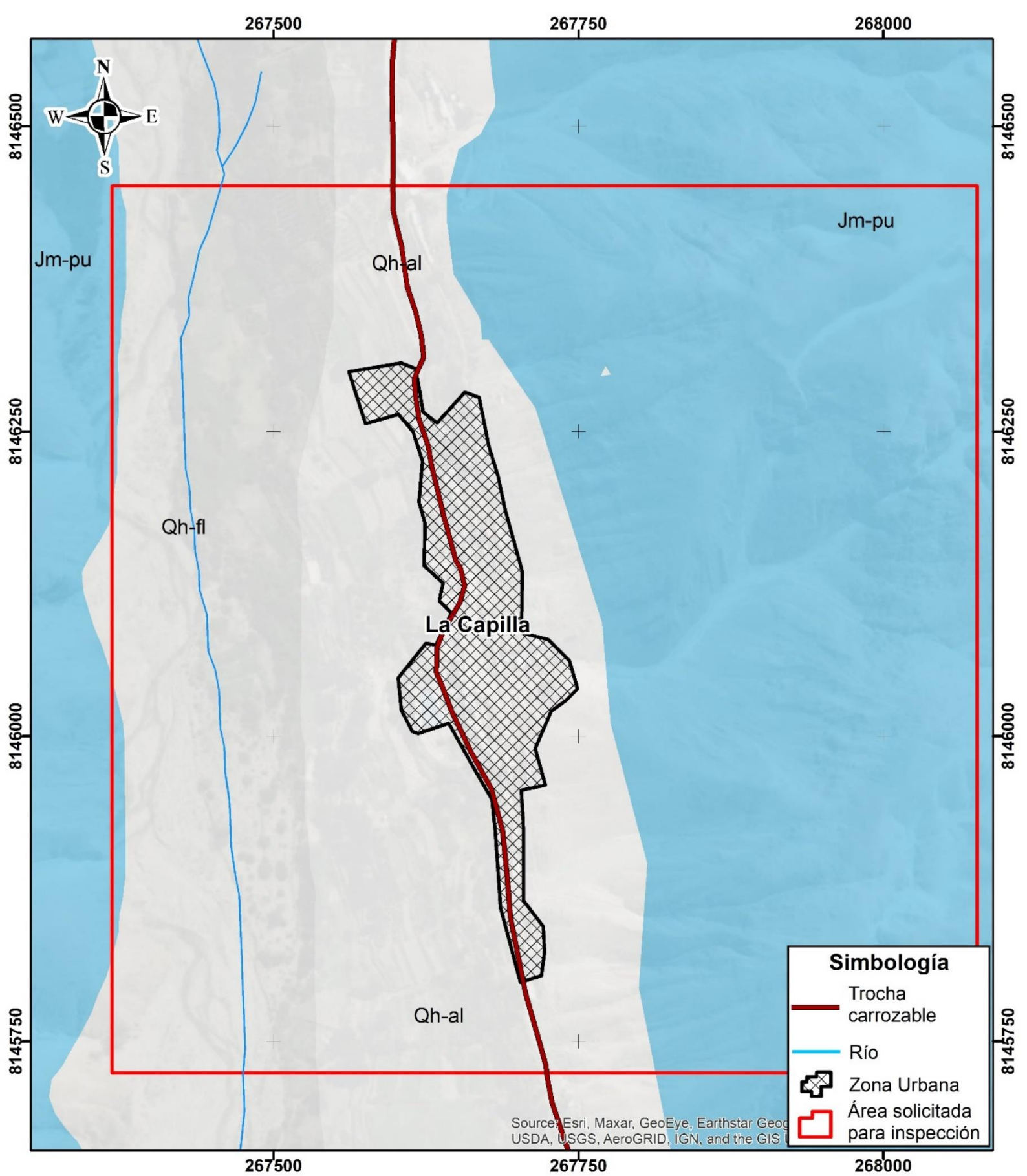
Mapa 1: Geología de la zona urbana del distrito La Capilla, modificado de (W. Garcia y M. Del Pino., 1998), modificado del mapa a escala 1:50,000.

Mapa 2: Pendientes de la zona urbana del distrito de La Capilla a partir de un modelo digital de elevaciones de 10 cm de resolución. Fuente: Elaboración Propia

Mapa 3: Geomorfología de la zona urbana del distrito La Capilla a partir de la clasificación de unidades geomorfológicas utilizadas en los estudios del Ingemmet. Fuente: Ingemmet, modificado del mapa a escala 1:200,000.

Mapa 4: Cartografía de peligros geológicos por flujo de lodo en la zona urbana del distrito de La Capilla. Fuente: Elaboración Propia


Mapa 5: Mapa de simulación de flujo de lodo en la quebrada La Capilla. Fuente: Elaboración Propia




Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Simbología

-  Trocha carrozable
-  Río
-  Zona Urbana
-  Área solicitada para inspección

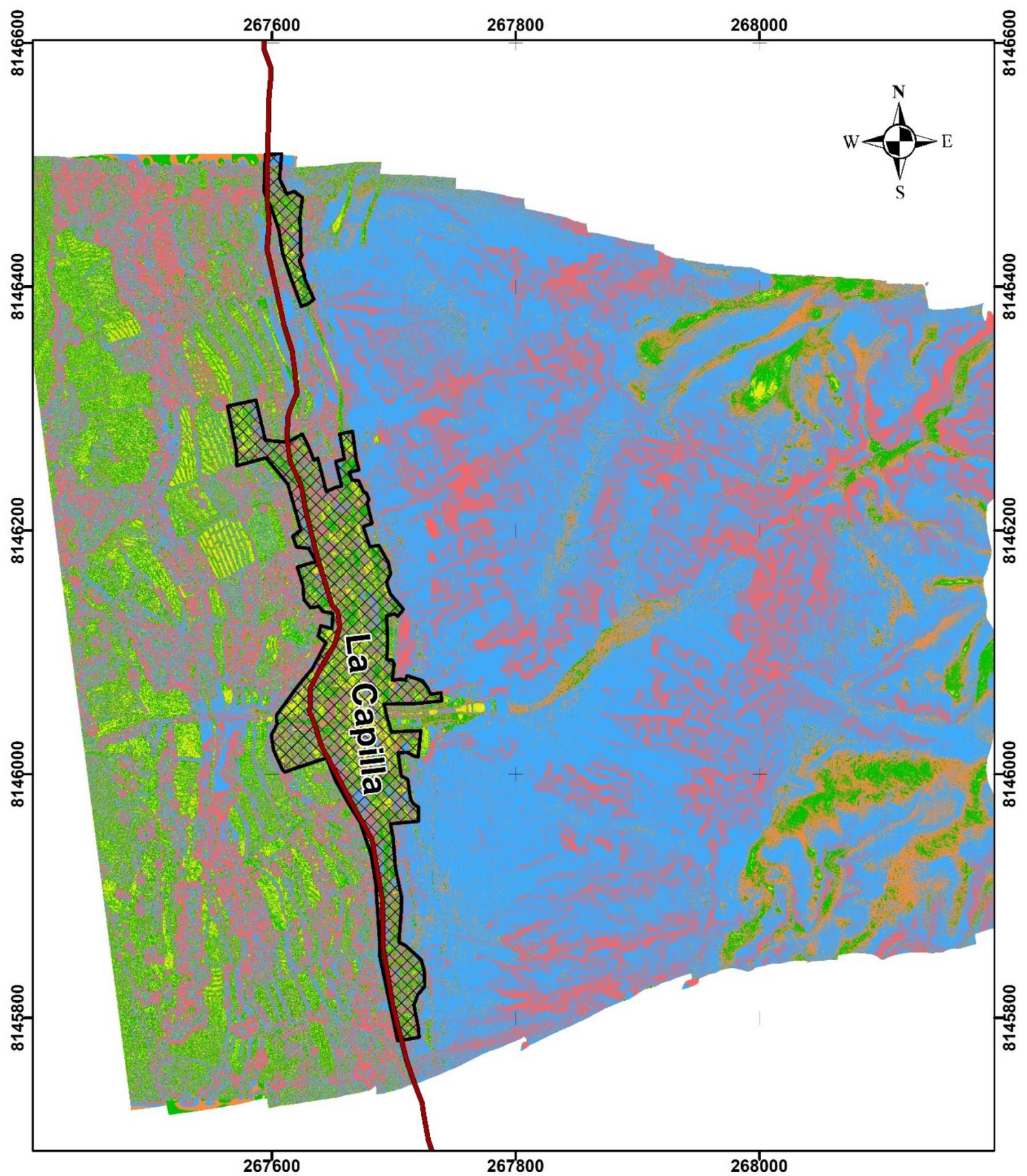
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
 **INGEMMET**
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA GEOLÓGICO DE LA CAPILLA

Proyección UTM	Escala 1:4,000	Mapa N° 1
Datum WGS 84	0 30 60 120	
Zona 19S	 m	

Unidad litoestratigráfica

Qh-fl	Gravas y arenas en matriz limoarenosa, incluye conos aluviales.
Qh-al	Gravas, arenas inconsolidadas
Jm-pu	Limoarcillitas con intercalación rítmica de areniscas con restos fósiles



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA DE PENDIENTES DE LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE LA CAPILLA


Proyección UTM
 Datum WGS 84
 Zona 19S


Escala 1:4,000
 0 30 60 120 m

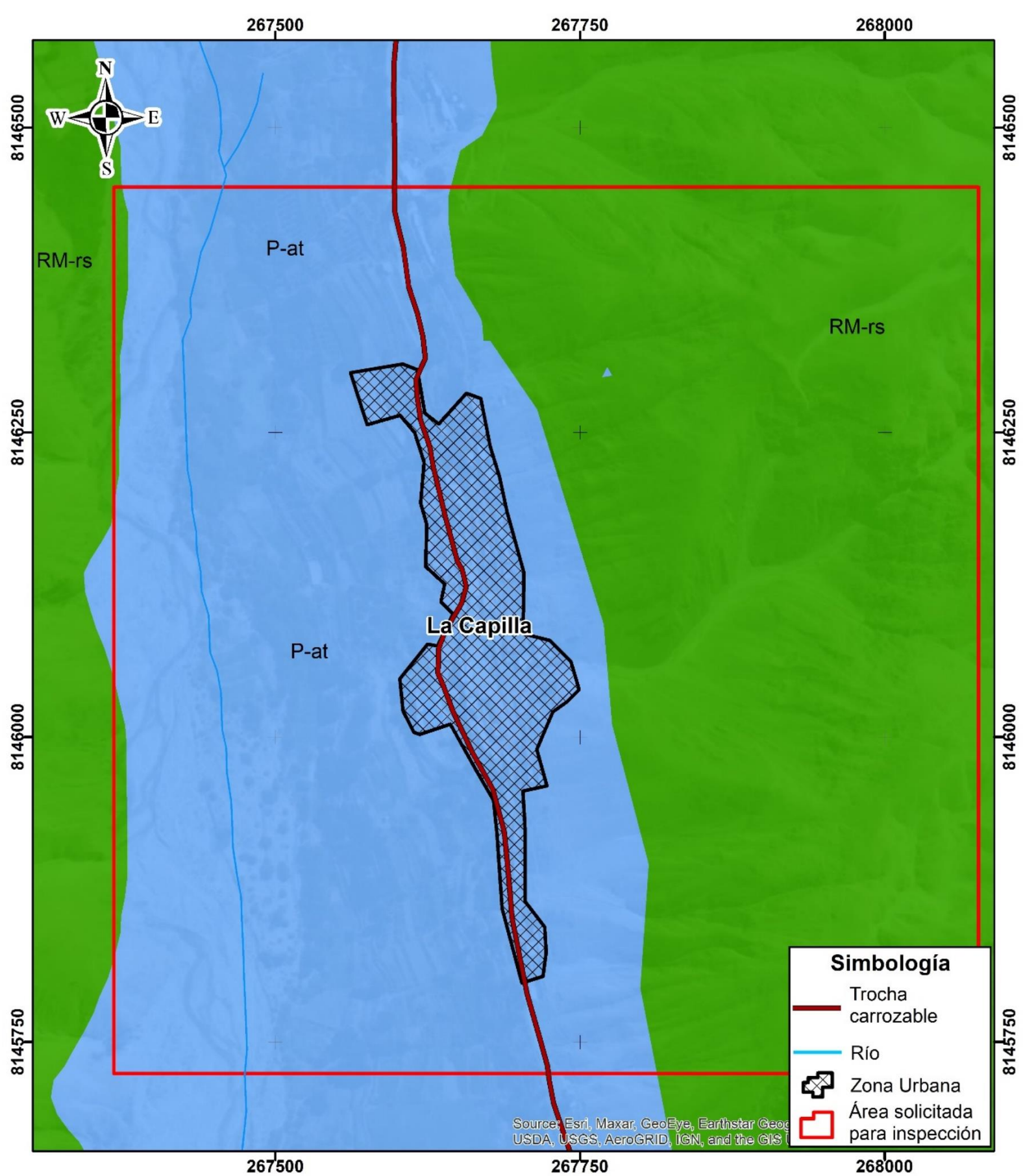
Mapa N° 2

Pendientes (Grados)	
	< 1 Llano
	1 - 5 Suavemente inclinado
	5 - 15 Moderado
	15 - 25 Fuerte
	25 - 45 Muy fuerte
	> 45 Muy escarpado

Simbología

 Trocha carrozable

 Zona Urbana



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA CAPILLA

Proyección UTM
 Datum WGS 84
 Zona 19S

Escala 1:4,000

0 30 60 120 m

Mapa N° 2

Unidad geomorfológicas

- T-al Terraza aluvial
- RM-rs Montaña en roca sedimentaria

267500

267750

268000

8146500

8146500

8146250

8146250

8146000

8146000

8145750

8145750

267500

267750

268000



RMAs

La Capilla

SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

CARTOGRAFÍA DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA DISTRITO LA CAPILLA

Proyección UTM
Datum WGS 84
Zona 19S

Escala 1:4,000
0 30 60 120
m

Mapa N° 4

Peligros geológicos

- Cárcavas
- Flujo de lodo
- Avalancha de detritos

Simbología

- Trocha carrozable
- Zona Urbana
- Área solicitada para inspección

267600 267650 267700 267750 267800 267850

8146150

8146100

8146050

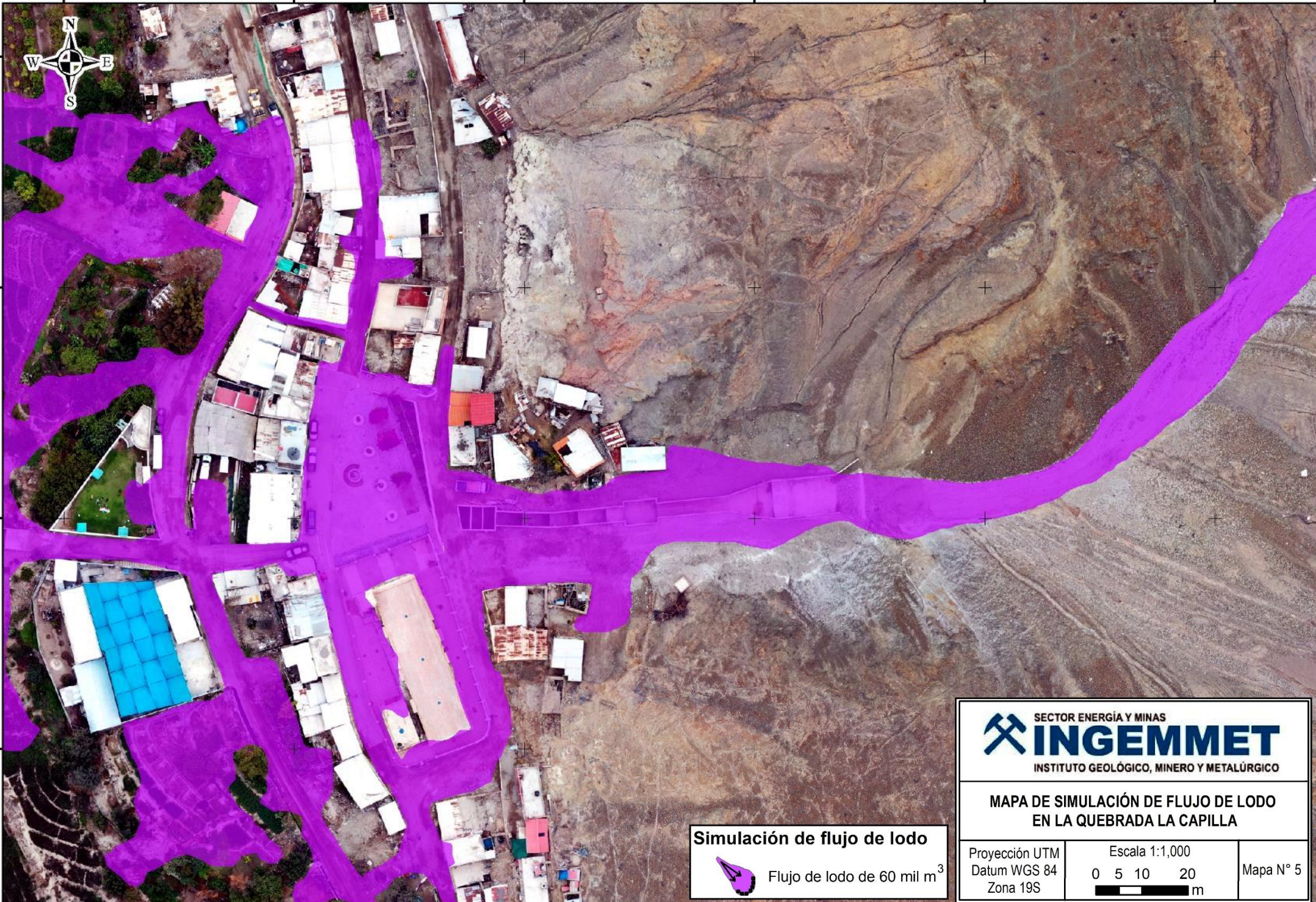
8146000

8146150

8146100

8146050

8146000



Simulación de flujo de lodo



Flujo de lodo de 60 mil m³



MAPA DE SIMULACIÓN DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA LA CAPILLA

Proyección UTM
Datum WGS 84
Zona 19S

Escala 1:1,000
0 5 10 20
m

Mapa N° 5

267600 267650 267700 267750 267800 267850