SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET

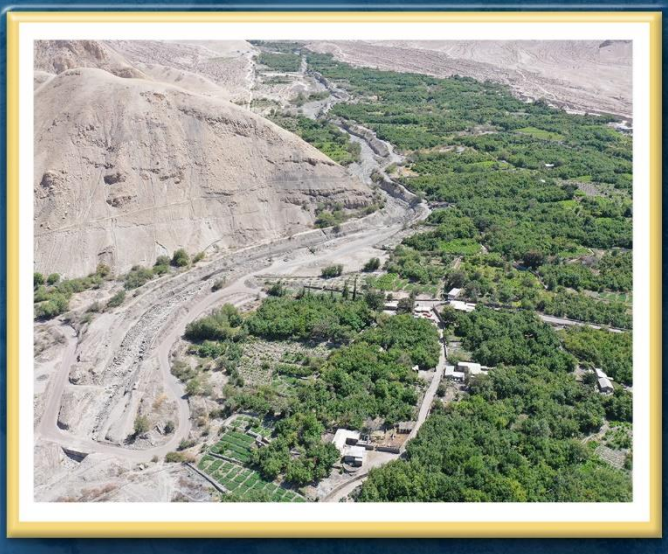
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico Nº A7212

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE DETRITOS (LAHARES) EN EL CENTRO POBLADO YALAQUE Y EN LA QUEBRADA EL VOLCÁN

Departamento Moquegua
Provincia General Sánchez Cerro
Distritos La Capilla y Quinistaquillas



ENERO
2022

VERSIÓN N° 001 CARÁTULA DE INFORME TÉCNICO - INGEMMET / 04.01.19

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

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 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

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 4
1.3.3. Precipitación pluvial 4
2. DEFINICIONES 5
2.1. Erupción volcánica 5
2.2. Erupción pliniana (Subpliniana y Ultrapliniana) 5
2.3. Flujo 6
2.4. Flujo de detritos (lahares) 6
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS 7
3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS 8
3.1.1 Formación Labra (Js-la) 8
3.1.2 Unidad Yarabamba. 9
3.1.3 Formación Gramadal (Js-gr) 9
3.1.4 Depósitos aluviales (Qh-al) 10
3.1.5 Depósito de caída de lapilli pómez 10
3.1.6 Depósitos flujo piroclástico (Qh-Cpf) 10
3.1.7 Depósitos de lahares (Qh-la) 12
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS 12
4.1 Pendiente del terreno 12
4.2 Unidades geomorfológicas 14
4.2.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional o denudativos 14
4.2.2 Geoformas de carácter depositacional o agradacional 15
5. PELIGROS GEOLÓGICOS 16
5.1 Peligros geológicos por movimientos en masa 17
5.2 Flujo de detritos (lahares) en el centro poblado Yalaque. 17
5.3 Flujo de detritos (lahares) en la quebrada El Volcán en Quinistaquillas 21
5.4 Posibles obras de infraestructura que podrian ser dañadas por futuros flujos de detritos (lahares) en el centro poblado Yalaque 24
5.5 Posibles obras de infraestructura que podrian ser dañadas por futuros flujos de detritos (lahares) en la quebrada El Volcán en Quinistaquillas 25
5.6 Lahares históricos en la quebrada El Volcán 28

5.7 Factores condicionantes 28
5.8 Factores desencadenantes 28
6. SIMULACIONES DE FLUJO DE DETRITOS (LAHARES) 29
6.1 Volúmenes empleados en la simulación de flujos de detritos (lahares) 29
6.2 Resultados de simulación de flujos de detritos (lahares) en el centro poblado Yalaque del distrito de La Capilla 31
6.3 Resultados de simulación de flujos de detritos (lahares) en sector quebrada El Volcán del distrito de Quinistaquillas 33
7. CONCLUSIONES 34
8. RECOMENDACIONES 36
BIBLIOGRAFÍA 37
ANEXO 1: MAPAS 38

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos realizado en el centro poblado Yalaque, en el distrito La Capilla y en la quebrada El Volcán en distrito de Quinistaquillas, que pertenecen 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 de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

En ambos sectores, afloran rocas medianamente a muy fracturada y ligeramente meteorizada de la Formación Labra, conformadas por areniscas cuarzosas, cuarcitas y lutitas. Así mismo, en el centro poblado Yalaque esta Formación es instruida por la unidad Yarabamba, ligeramente meteorizados y medianamente fracturados, conformado por diorita de color gris rojizo. Y depósitos aluviales a lo largo de la quebrada Yalaque y formando abanicos en las desembocaduras de las quebradas, estos están conformados por bloques y gravas en escasa matriz fina, no consolidados. En las laderas se aprecia paquetes adosados de la caída de lapilli pómez de la erupción del 1600 d.C. del volcán Huaynaputina. Además, en la quebrada El Volcán, al tope de las secuencias se aprecia un depósito no consolidado de flujos piroclásticos. En su cauce se observa depósitos consolidados de lahares, están compuestos de bloques, gravas y limos, posee espesores que van desde 3 m a 7 m

El peligro geológico en el centro poblado Yalaque está dado por flujo de detritos (lahares); se ha identificado tres quebradas con características favorables para la generación de flujos de detritos (lahares). En ellas se observan pequeños lahares que no tuvieron mucho alcance. Los factores condicionantes para la ocurrencia de estos flujos de detritos (lahares) es la presencia de rocas muy fracturadas y ligeramente meteorizadas de la Formación Labra y depósitos adosados, no consolidados la de la caída de lapilli pómez que corresponde a la erupción del 1600 d.C. del volcán Huaynaputina. Y la pendiente de los terrenos que varían de (1°-5°), a una zona media de las laderas donde se observa cambios abruptos a terrenos muy fuertes (25°- 45°) y a muy escarpados (> 45°).

En la quebrada El Volcán, se han identificado dos depósitos de lahares recientes, el primero proveniente de la quebrada Tasata y el segundo de la quebrada El Volcán. Estas llegan a medir hasta 7 m de espesor, el primero se caracteriza por ser de color beige claro y el segundo, de color gris oscuro. El factor condicionante para la ocurrencia de estos flujos de detritos (lahares) es la presencia de rocas fracturadas y ligeramente meteorizadas de la Formación Labra, la Formación Gramadal, el cual posee rocas muy fracturadas y altamente meteorizadas, y depósitos adosados, no consolidados de la de caída de lapilli pómez que corresponde a la erupción del 1600 d.C. del volcán Huaynaputina. También está la presencia de depósito no consolidado de flujos piroclásticos de la erupción de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina.

Se concluye que, el centro poblado Yalaque es considerado de **Peligro Alto**. Mientras que el sector quebrada El Volcán, es considerado de **Peligro Muy Alto**, ambos sectores pueden ser afectados por flujo de detritos (lahares); en temporadas de lluvia intensas y/o prolongadas.

Finalmente, se brinda algunas recomendaciones que se consideran importantes, como canalizar el cauce, disipadores de energía, entre otros; para que las autoridades competentes pongan en práctica.

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 las solicitudes de las municipalidades distritales de La Capilla y Quinistaquillas, según los Oficios N° 065-2021-MDCA-A y 019-2021-A/MDQ respectivamente; es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en el centro poblado Yalaque en La Capilla y en el sector quebrada El Volcán en Quinistaquillas.

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 y terrenos agrícolas del centro poblado Yalaque y sector quebrada El Volcán. Los trabajos de campo se realizaron los días 09, 10, 11 y 12 de noviembre del 2021.

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 las municipalidades distritales de La Capilla y Quinistaquillas 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 detritos (lahares) que se presentan en el centro poblado Yalaque en el distrito de La Capilla y en el sector quebrada El Volcán en distrito de Quinistaquillas; 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 flujo de detritos (lahares)
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 Labra, compuesto por areniscas cuarzosas blanquecinas, de grano medio bien seleccionado, con intercalaciones de calizas micríticas y niveles de sills de composición andesítica.

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 centro poblado Yalaque en el distrito de La Capilla.

c) García, W., (1998). Geología del cuadrángulo de Omate 34-u, Carta Geológica a escala 1:100000. Boletín publicado por el Ingemmet. Describe el afloramiento de la Formación Labra, conformado por areniscas cuarzosas, cuarcitas y lutitas en los niveles inferiores; areniscas, areniscas calcáreas y lutitas con algunos lentes

calcáreos en los niveles medios y finalmente cuarcitas y lutitas en los niveles superiores.

d) Quispesivana L. y Zapata, Z. (2000). Carta Geológica del Perú: Actualización de la hoja 34-u-4 a escala 1:50000. Mapa publicado por Ingemmet. Se empleó como base geológica en los trabajos realizados en la quebrada El Volcán en el distrito de Quinistaquillas.

e) Informe técnico "Zonas críticas por peligros geológicos en el departamento Moquegua". Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, Luque, G. (2014): En cuyo informe mencionan, que el área está sujeta a flujos de detritos, derrumbes, deslizamiento y erosión de laderas. El material donde está asentado el poblado de Quinistaquillas está conformado por depósitos de flujos piroclásticos, de fácil remoción. Debido a lluvias excepcionales puede generarse huaicos que discurrirían a través de las cárcavas. Afectaría a la localidad de Quinistaquillas, a la vía afirmada Quinistaquillas-Matalaque y terrenos de cultivo.

f) 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.

g) Cueva, K. (2018), realizó un informe de la Pasantía de Investigación sobre el cálculo de densidad, análisis granulométrico de la erupción de 1600 d.C., del volcán Huaynaputina. Laboratorio de Magmas y Volcanes, Universidad Clermont Auvergne, Clermont Ferrand – Francia. En ella muestra la disposición y características de los depósitos de caída.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

Las áreas evaluadas corresponden al centro poblado de Yalaque en el distrito de La Capilla y en el sector quebrada El Volcán en el distrito de Quinistaquillas, ambos de la provincia General Sánchez Cerro, departamento de Moquegua (figuras 1 y 2); las áreas se encuentran en las coordenadas siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas del sector evaluado en el centro poblado Yalaque en La Capilla

N°	*UTM - WGS84 - Zona 19S*		*Geográficas*	
	Este	*Norte*	*Latitud*	*Longitud*
1	260781.38 m	8145115.02 m	16°45'53.18"S	71°14'38.83"O
2	261522.42 m	8145123.81 m	16°45'53.16"S	71°14'13.81"O
3	261528.27 m	8144277.54 m	16°46'20.69"S	71°14'13.94"O
4	260786.16 m	8144273.62 m	16°46'20.54"S	71°14'38.99"O
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Zona evaluada	261133.29 m	8144660.43 m	16°46'8.09"S	71°14'27.12"O

Cuadro 2. Coordenadas del sector quebrada El Volcán en Quinistaquillas

N°	*UTM - WGS84 - Zona 19S*		*Geográficas*	
	Este	*Norte*	*Latitud*	*Longitud*
1	299898.00 m	8146730.00 m	16°45'13.85"S	70°52'37.84"O
2	301711.00 m	8146730.00 m	16°45'14.41"S	70°51'36.64"O

3	301711.00 m	8148963.00 m	16°44'1.78"S	70°51'35.93"O
4	299898.00 m	8148963.00 m	16°44'1.22"S	70°52'37.13"O
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Zona evaluada	300871.00 m	8147774.00 m	16°44'40.20"S	70°52'4.66"O

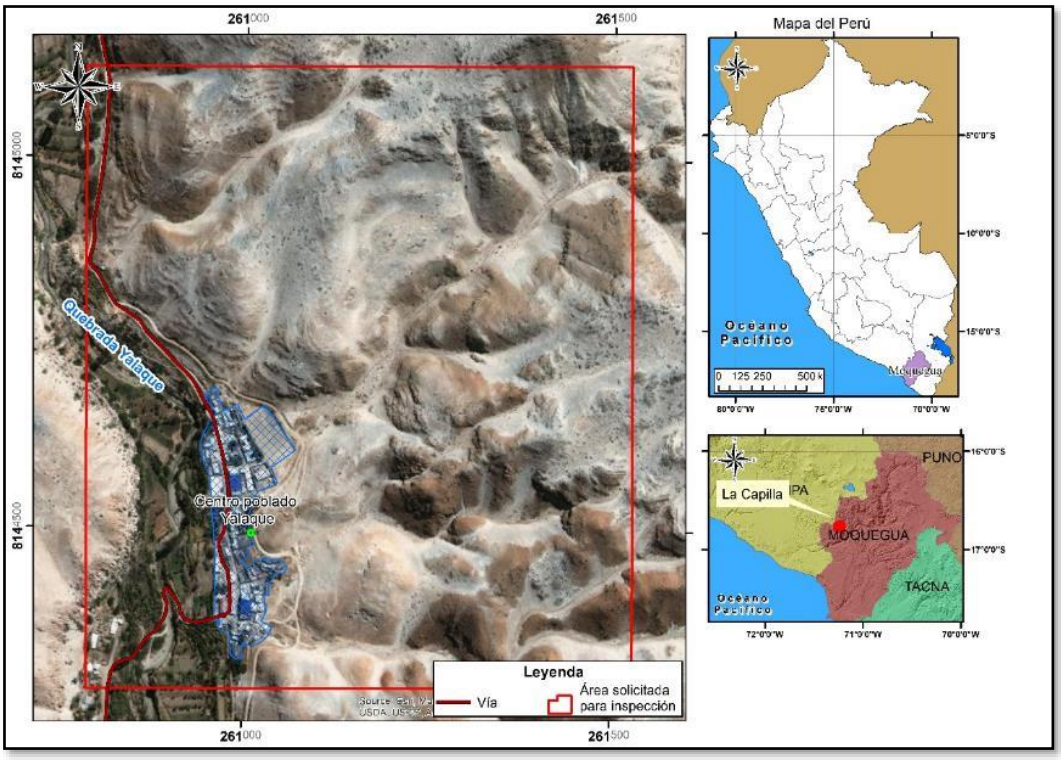


Figura 1. Ubicación del centro poblado Yalaque en el distrito La Capilla

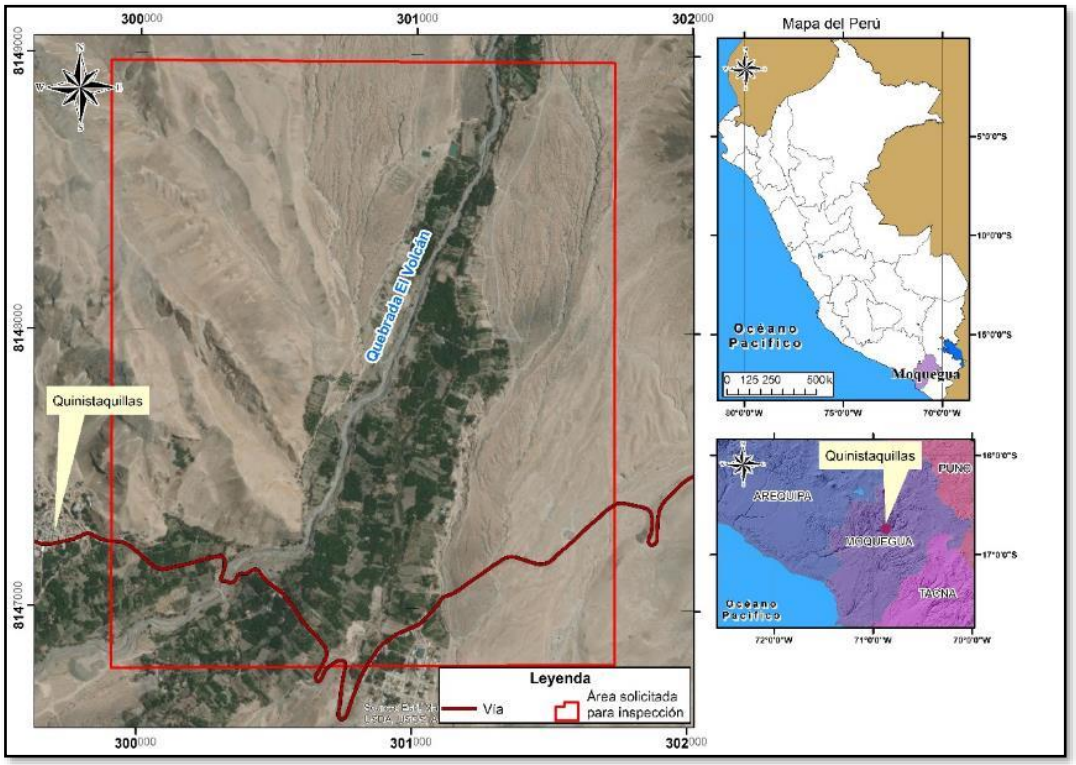


Figura 2. Ubicación del sector quebrada El Volcán en el distrito Quinistaquillas

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 **3.** Rutas y accesos al centro poblado Yalaque en el distrito La Capilla.

Ruta	*Tipo de vía*	*Distancia (km)*	*Tiempo estimado*
Arequipa - Puquina	Asfaltada	56	1 hora y 23 min
Puquina – La Capilla	Trocha carrozable	27.6	1 hora y 15 min
La Capilla - Yalaque	Trocha carrozable	15	45 min

Cuadro 4. Rutas y accesos al sector quebrada El Volcán en el distrito Quinistaquillas.

Ruta	*Tipo de vía*	*Distancia (km)*	*Tiempo estimado*
Arequipa - Puquina	Asfaltada	56	1 hora y 23 min
Puquina - Omate	Trocha carrozable	65	1 hora y 46 min
Omate - Quinistaquillas	Trocha carrozable	32	50 min
Quinistaquillas – Quebrada El Volcán	Trocha carrozable	1.5	5 min

1.3.3. Precipitación pluvial

Según la información disponible del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi), de la estación Quinistaquillas, 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.

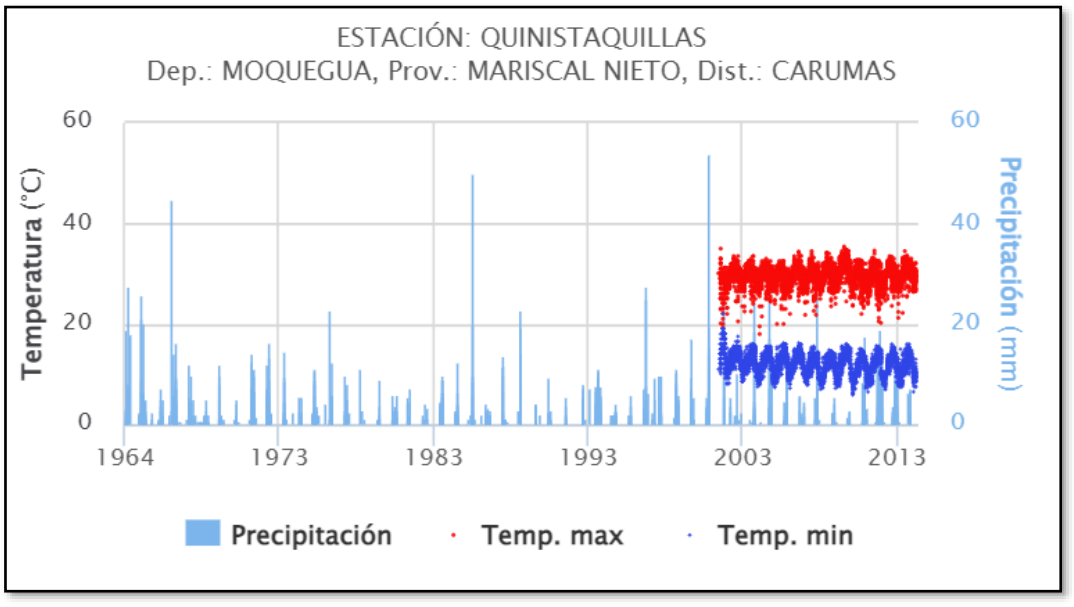


Gráfico 1. Precipitación diaria según la estación Quinistaquillas (Senamhi).

2. DEFINICIONES

2.1. 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 cresen y el magma se fragmenta violentamente, produciendo una erupción explosiva.

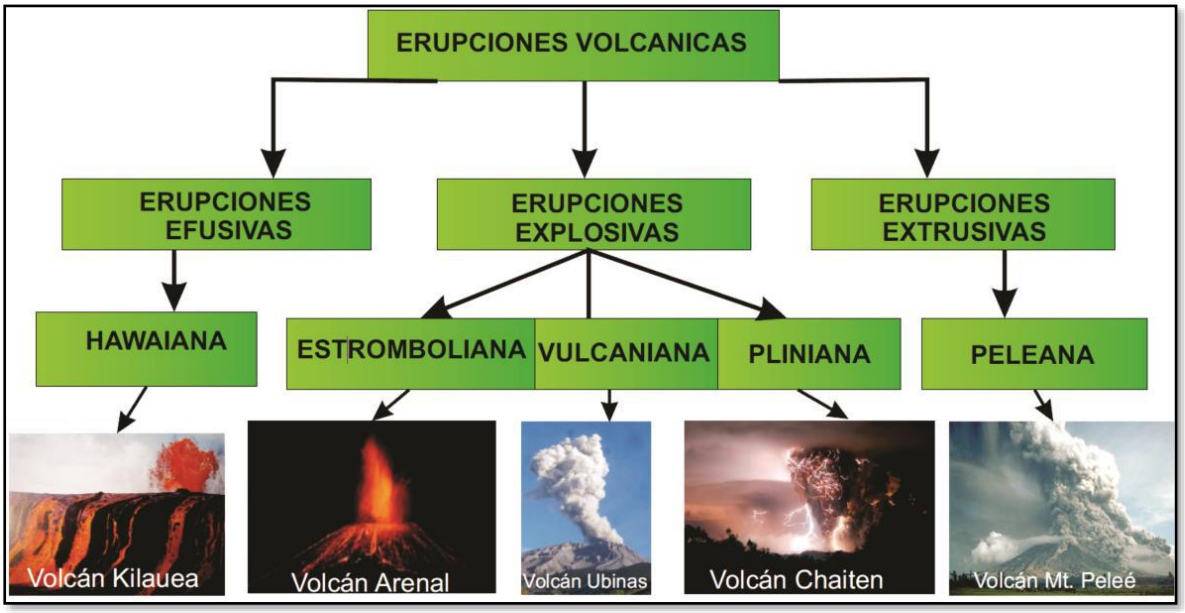


Figura 3. Cuadro de resumen, erupciones volcánicas

2.2. Erupción pliniana (Subpliniana y Ultrapliniana)

Es un tipo de erupción volcánica, bautizadas con ese nombre en honor a Plinio el Joven (62 - 113), quien describió los eventos de la erupción del volcán Vesubio, los cuales han sido de notable utilidad en los estudios vulcanológicos modernos, fueron usadas por los vulcanólogos para entender las erupciones de enorme energía y tamaño. Gerardo J. Soto Bonilla (2015).

En el Perú el volcán Huaynaputina presento una erupción pliniana, en 1600 d.C. (figura 4)

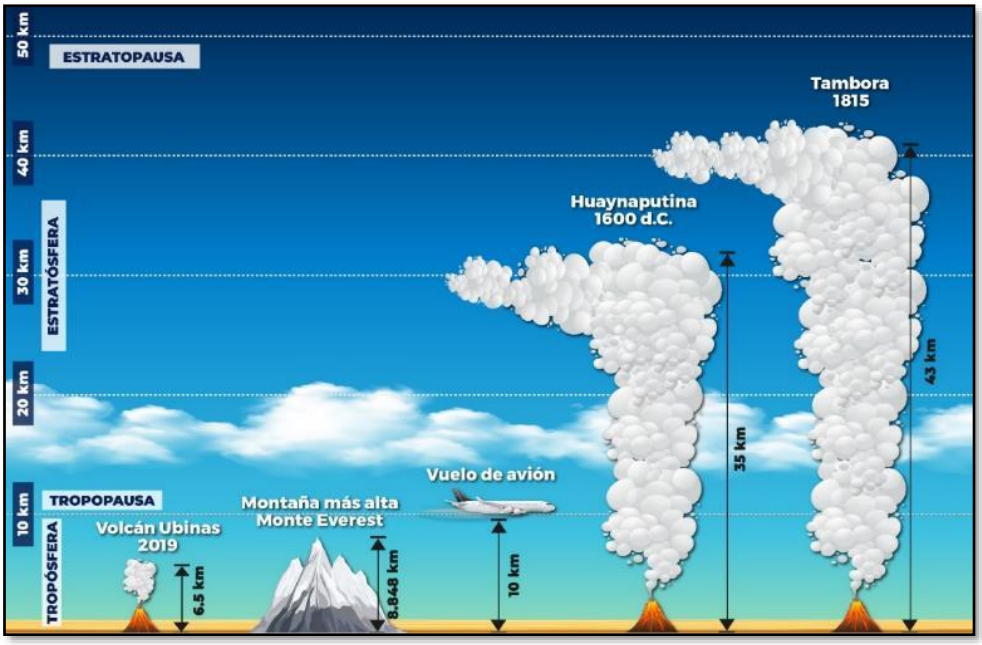


Figura 4. Altura de la columna eruptiva de la erupción del volcán Huaynaputina del año 1600 d.C., comparada con las erupciones de otros volcanes, Tambora de 1815; Monte Santa Elena 1980 y Ubinas 2019 (compilado de Prival et al. 2020; Thouret et al. 2002; Ingemmet, 2019; Harris et al. 1981).

2.3. Flujo

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea deslizamiento o una caída de rocas. Estos pueden ser canalizados (flujos de detritos o huaicos) y no canalizados (avalanchas) (figura 5).

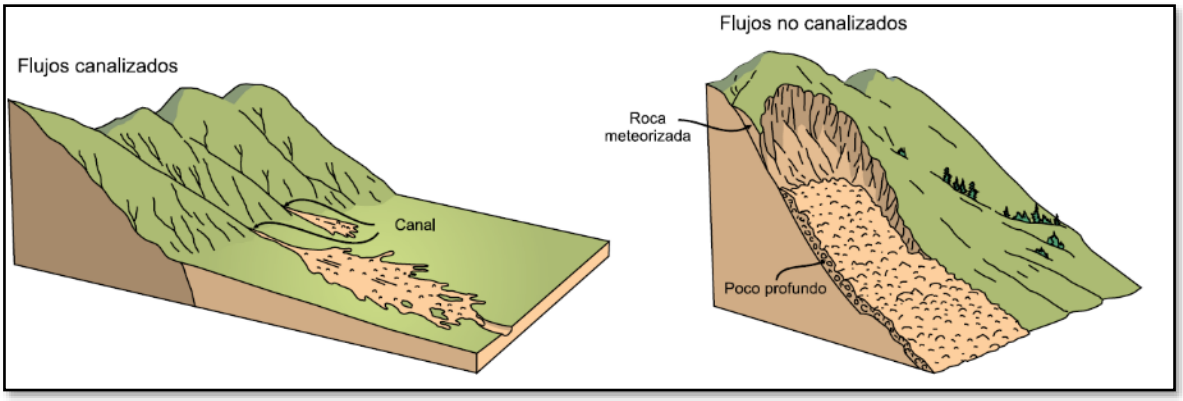


Figura 5. Esquema de flujos canalizado y no canalizados, según Cruden y Varnes (1996)

2.4. Flujo de detritos (lahares)

Los lahares son una mezcla de partículas volcánicas de tamaños diversos, movilizados por el agua y que fluyen rápidamente (20-60 km/h) por valles y quebradas originados en los volcanes. Se generan en períodos de erupción o de tranquilidad volcánica (Tilling, 1989). Existen algunos mecanismos que dan lugar a la formación de lahares. Para cada caso particular se necesita de una fuente de agua apropiada, abundante material rocoso (fácilmente erosionable) y un relieve importante (altas pendientes). Las fuentes de

agua pueden ser variadas, por ejemplo, intensas lluvias, un glaciar, lagunas cratéricas, lagunas superficiales e intraglaciares (bolsones de agua en el interior del glaciar o hielo muerto), aguas subterráneas, represamiento temporal de drenajes naturales (figura 6).

Son fenómenos peligrosos, debido a que por su alta densidad pueden mover y arrastrar objetos de gran tamaño y peso tales como rocas, vehículos, árboles, o cualquier infraestructura que se encuentre a su paso. Posee una sección transversal y un área de inundación (Iverson et al., 1998).

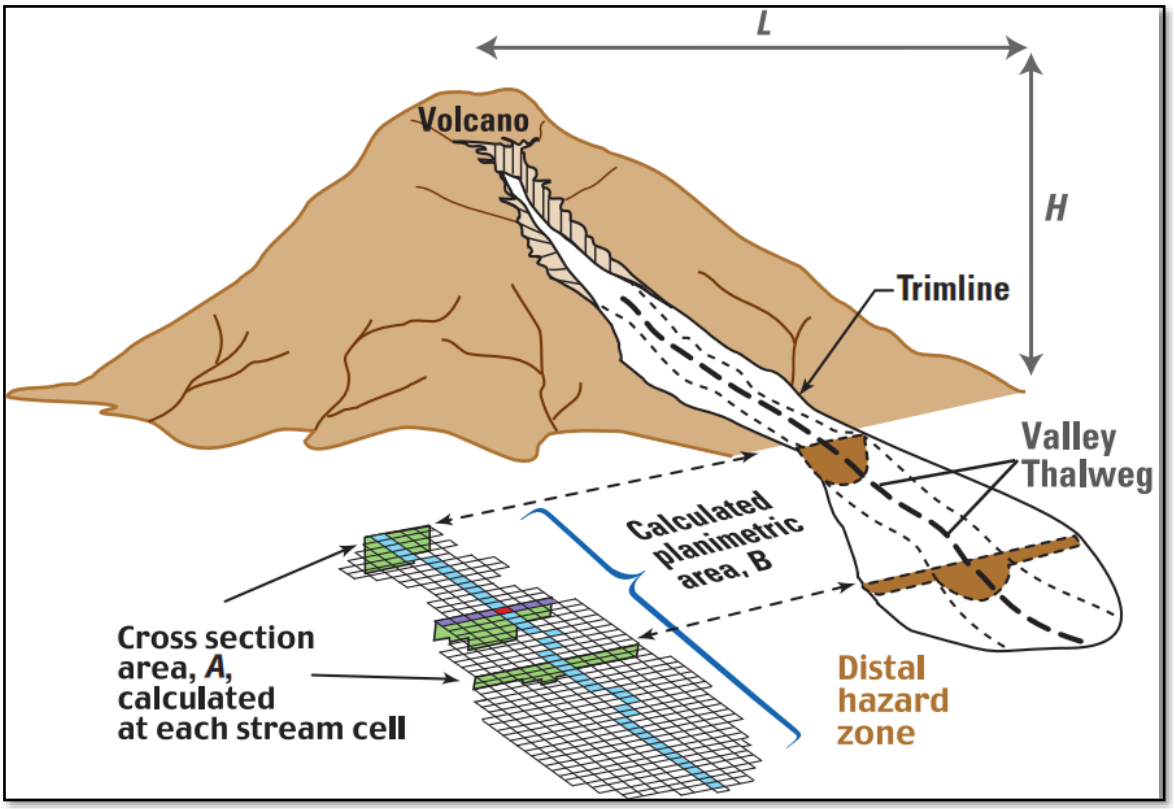


Figura 6. Muestra las secciones transversales A: es el área de inundación de un lahar en una sección de corte del canal, B: es el área de inundación de un lahar en su sección planimétrica. (Iverson et al., 1998).

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

En el centro poblado Yalaque, el análisis geológico se desarrolló en base a la Geología del cuadrángulo de Puquina 34-t (W. Garcia 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.

En el sector Quebrada El Volcán, el análisis geológico se desarrolló en base a la Geología del cuadrángulo de Omate 34-u W. García (1998). Carta Geológica a escala 1:100 000 y la actualización de la hoja 34-u-4, (L. Quispesivana y A. Zapata., 2000) a escala 1:50 000.

La cartografía geológica, se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotografías y observaciones de campo. (Anexo 1 - mapas 1 y 2).

3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

3.1.1 Formación Labra (Js-la)

Litológicamente consiste en areniscas cuarzosas, cuarcitas y lutitas en los niveles inferiores; areniscas, areniscas calcáreas y lutitas con algunos lentes calcáreos en los niveles medios y finalmente cuarcitas y lutitas en los niveles superiores. García. W. (1978).

En inmediaciones del centro poblado Yalaque en el distrito La Capilla y en el sector quebrada El Volcán en el distrito de Quinistaquillas, se observan que la secuencias, se encuentra medianamente a muy fracturada y ligeramente meteorizada (figuras 7 y 8).

Esta unidad en el área de estudio del centro poblado Yalaque es instruida por la Super unidad Yarabamba, el cual forma los picos altos en la margen izquierda de la quebrada Yalaque.

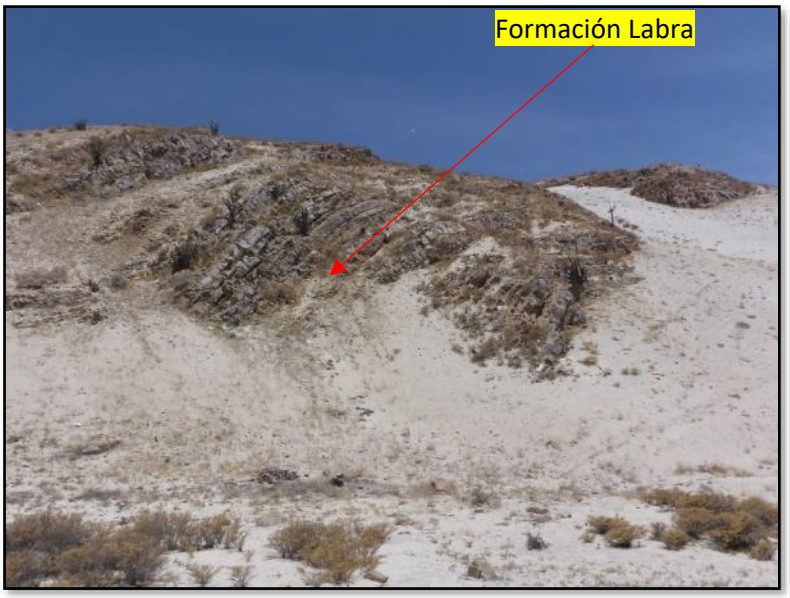


Figura 7. Afloramiento de la Formación Labra. (Coordenadas UTM WGS 84 261204 E, 8144672 N).

En Quinistaquillas esta unidad aflora en la margen derecha de la quebrada El Volcán, formando colinas. En esta unidad se generan desprendimientos de rocas, este se acumula en el cauce de la quebrada Tasata.

Figura 8. Afloramiento Formación Labra. (Coordenadas UTM WGS 300900 E, 8151490 N).

3.1.2 Unidad Yarabamba.

Son afloramientos de rocas intrusivas conformadas principalmente de dioritas de color gris rojizo, el cual forma los picos altos en la margen izquierda de la quebrada Yalaque. Se encuentra ligeramente meteorizada y medianamente fracturada.

3.1.3 Formación Gramadal (Js-gr)

Los afloramientos de esta formación son muy reducidos. Litológicamente están compuestos por areniscas cuarzosas blanquecinas, de grano medio bien seleccionado, con intercalaciones de calizas micríticas y niveles de sills de composición andesítica. García. W. (1978).

En inmediaciones del sector quebrada El Volcán, se observan que la secuencia, se encuentra muy fracturada y altamente meteorizada (figura 9).

En Quinistaquillas esta unidad aflora en la margen derecha de la quebrada El Volcán, formado colinas. En esta unidad se generan movimientos en masa de tipo caída de rocas.

Figura 9. Formación Gramadal. (Coordenadas UTM WGS84 300577 E, 8147286 N).

3.1.4 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, gravas en escasa matriz fina.

En el centro poblado Yalaque, aflora en las márgenes del cauce la quebrada Yalaque.

En Quinistaquillas, este depósito aflora en ambas márgenes de la quebrada El Volcán. Asociado a movimientos en masa de tipo flujos de detritos (lahares)

3.1.5 Depósito de caída de lapilli pómez

El depósito corresponde a uno de los primeros eventos producido por la erupción del 1600 d.C. del volcán Huaynaputina. Presenta líticos accidentales e hidrotermalizados, con pómez de color blanquecinas, y de tamaños centimetritos (figura 10).

En Yalaque estos se encuentran adosados en las laderas y se encuentran no consolidados.

En la quebrada El Volcán se observa que estos depósitos poseen hasta 5 m de potencia, se aprecia que el depósito se encuentra no consolidado. Asociado a movimientos en masa de tipo flujo de detritos (lahares).

Figura 10. Depósito de caída de lapilli pómez. (Coordenadas UTM WGS84 301277 E, 8150555 N).

3.1.6 Depósitos flujo piroclástico (Qh-Cpf)

Estos depósitos de flujos piroclásticos corresponden al tercer y más devastador evento producido por la erupción de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina. En Calicanto estos depósitos tienen un color blanquecino con espesores de 1.5 hasta 4 m. Los depósitos

piroclásticos fueron de hasta 3 tipos, los canalizados y espesos emplazados en los valles, los no canalizados y otros que desbordaron del valle central hacia los lados, con cobertura delgada debida a desborde en los bordes de valle o en terrazas y sobre interfluvios delgados entre los valles pre-1600. (K. Cueva et al 2018).

En la quebrada El Volcán se observa que estos depósitos poseen hasta 12 m de potencia, se aprecia que el depósito se encuentra no consolidado (figuras 11 y 12).
En estos depósitos se generan movimientos en masa de tipo caída de rocas y flujo de detritos (lahares).

Figura 11. Depósito de flujo piroclástico en la quebrada El Volcán. (Coordenadas UTM WGS84 301245 E, 8152690 N).

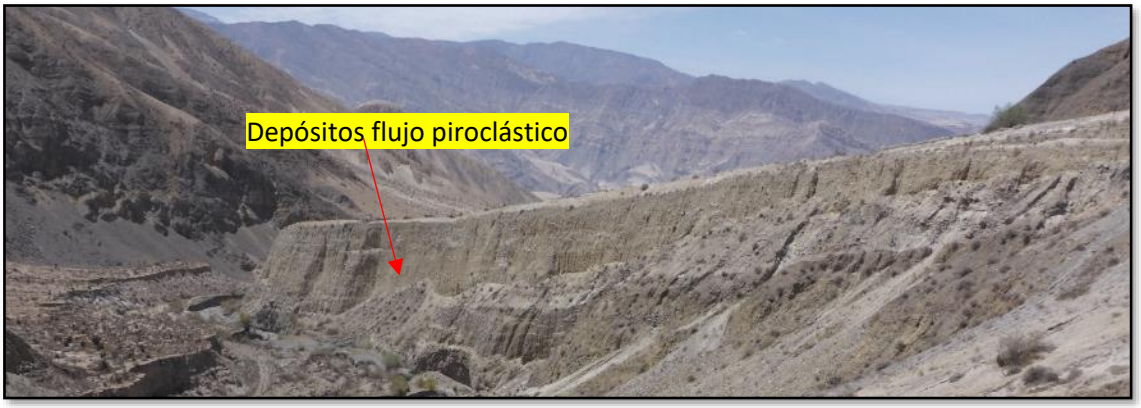


Figura 12. Depósito de flujo piroclástico en la margen derecha de la quebrada El Volcán. (Coordenadas UTM WGS84 301317 E, 8151477 N).

3.1.7 Depósitos de lahares (Qh-la)

Los depósitos de lahares que se observan en la quebrada El Volcán son de un evento sin-eruptivos los cuales pueden desencadenarse muchos años después de una erupción volcánica. Están compuestos de bloques, gravas y arenas, posee espesores que van desde 3-5 m, y es rico en bloques. Posee 60 a 65 % de matriz y 35 a 40de bloques. Los bloques más grandes poseen entre 2 a 4 m de diámetro y representan aproximadamente el 20% de bloques.

En la quebrada El Volcán se observa que estos depósitos poseen hasta 5 m de potencia, y se encuentran consolidados (figura 13). En esta unidad se generan movimientos en masa de tipo derrumbes y flujo de detritos (lahares).

Figura 13. Depósitos de lahares en la quebrada El Volcán. (Coordenadas UTM WGS84 301298 E, 8150400N).

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1 Pendiente del terreno

En el centro poblado Yalaque: Las pendientes de terrenos varían de llanos a inclinados suavemente (1°-5°), una zona media de las laderas donde se observa cambios abruptos a terrenos muy fuertes (25°- 45°), a muy escarpados (> 45°), e inclinaciones de terrenos de pendiente moderada (5°-10°) en la parte alta (figura 14).

Se elaboró un mapa de pendientes en base al modelo de elevación digital (DEM), de 20 cm de resolución, elaborado a partir de fotogrametría con drone (anexo 1 - mapa 3).

Figura 14. Muestra las pendientes en el centro poblado Yalaque

Quebrada El Volcán en Quinistaquillas: Las pendientes de terrenos varían de llanos a inclinados suavemente (1°-5°), una zona media de las laderas donde se observa cambios del terreno a pendientes muy fuertes (25°- 45°) (figura 15).

Se elaboró un mapa de pendientes en base al modelo de elevación digital (DEM), de 12.5 m de resolución, Se elaboró un mapa de pendientes en base al modelo de elevación digital (DEM), de 12.5 m, tomado del portal EARTH-DATA - Alaska Satellite Facility Distributed (ASF DAAC) de la NASA (anexo 1 - mapa 4).

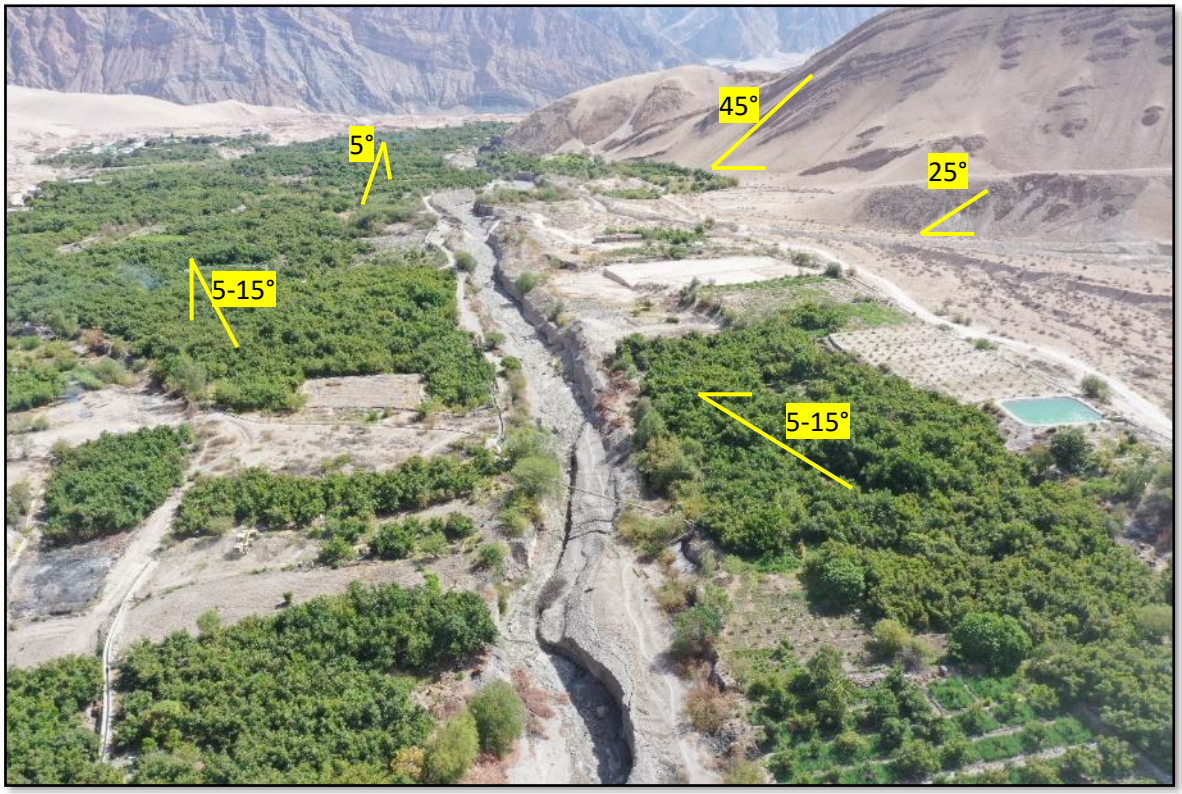


Figura 15. Pendientes de terreno en el sector quebrada El Volcán

Cuadro 5. 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 el centro poblado Yalaque en La Capilla, se presenta en el mapa geomorfológico (anexo 1 - mapa 5).

La evolución del relieve en la quebrada El Volcán en Quinistaquillas, se presenta en el mapa geomorfológico (anexo 1 - mapa 6).

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 metros 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 Quinistaquillas. Presenta cerros con altura superior a 300 m desde su línea base, con laderas que presentan anticlinales y sinclinales. Presenta pendientes erosionadas que varían desde fuertes hasta acantilados (25° - 45°). Litológicamente está compuesta por secuencias sedimentarias jurásicas y cretácicas (limoarcillitas, areniscas, arcillitas carbonosas y secuencias calcáreas) de las formaciones Labra y Gramadal, las cuales se caracterizan por presentar caídas de rocas y originan flujos de detritos o huaicos en áreas con procesos de erosión de laderas.

Montaña en roca intrusiva (RM-ri): Se encuentran conformando elevaciones alargadas y de pendiente moderada a escarpado >45°, compuesto por rocas intrusivas de la Super Unidad Yarabamba. Esta unidad se aprecia en la parte alta del centro poblado de Yalaque. Esta subunidad es susceptible a generar caída de rocas.

4.2.1.2 Colina y lomada

Están representadas por colinas y lomadas de relieve complejo y en diferentes grados de disección, de menor altura que una montaña (menos de 300 metros desde el nivel de base local) y con inclinación de laderas promedio superior a 9° (FAO, 1968), conforman alineamientos de carácter estructural y denudativo, que en conjunto ocupan un área de 17.24% dentro de las regiones. Está unidad se ubica próxima a la unidad de montañas y viene a formar parte de las estribaciones andinas. En la zona evaluada se asocia litológicamente a rocas de tipo intrusivo.

Colina y lomada disectada en roca sedimentaria (RCLD-rs): Subunidad geomorfológica cubierta por abundante vegetación donde se tienen asociaciones de colinas y lomadas modeladas en rocas sedimentarias que han sufrido una intensa denudación, encontrándose con un alto grado de disección producidos por quebradas.

4.2.2 Geoformas 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 geoformas anteriores; se tienen las siguientes unidades y subunidades:

4.2.2.1 Unidad de planicie

Son geoformas 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 geoformas se identificaron en las márgenes de la quebrada Yalaque, en el centro poblado del mismo nombre. Se encuentran, conformados por material subanguloso y subredondeando polimíctico, en matriz areno limoso con escasos finos.

4.2.2.2 Unidad de piedemonte

Corresponde a acumulaciones de materiales sueltos al pie de sistemas de montañas o colinas.

Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at): Es una planicie inclinada extendida al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Está formado por la acumulación de corrientes de agua estacionales, de carácter excepcional. En el área de estudio está representado por el abanico aluvial de la quebrada El Volcán en Quinistaquillas.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

El peligro geológico evaluado en el centro poblado Yalaque en el distrito de La Capilla y en el sector quebrada El Volcán en distrito de Quinistaquillas corresponde a movimientos en masa de tipo flujo de detritos (lahares) (Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007). Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de la Cordillera de los Andes, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas.

Este tipo de movimientos en masa 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 evento las lluvias intensas y/o prolongadas.

Los sectores evaluados en el presente informe se encuentran en el eje de dispersión de la caída pliniana de lapilli pómez, de la erupción de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina (figuras 16 y 17). El cual expulsó un volumen de 8.60 a 9.93 km^3, cubriendo un área de 128 072 km^2 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 de detritos (lahares).

Figura 16. Cráteres del volcán Huaynaputina después de la erupción en 1600 d.C. K. Cueva (2018)

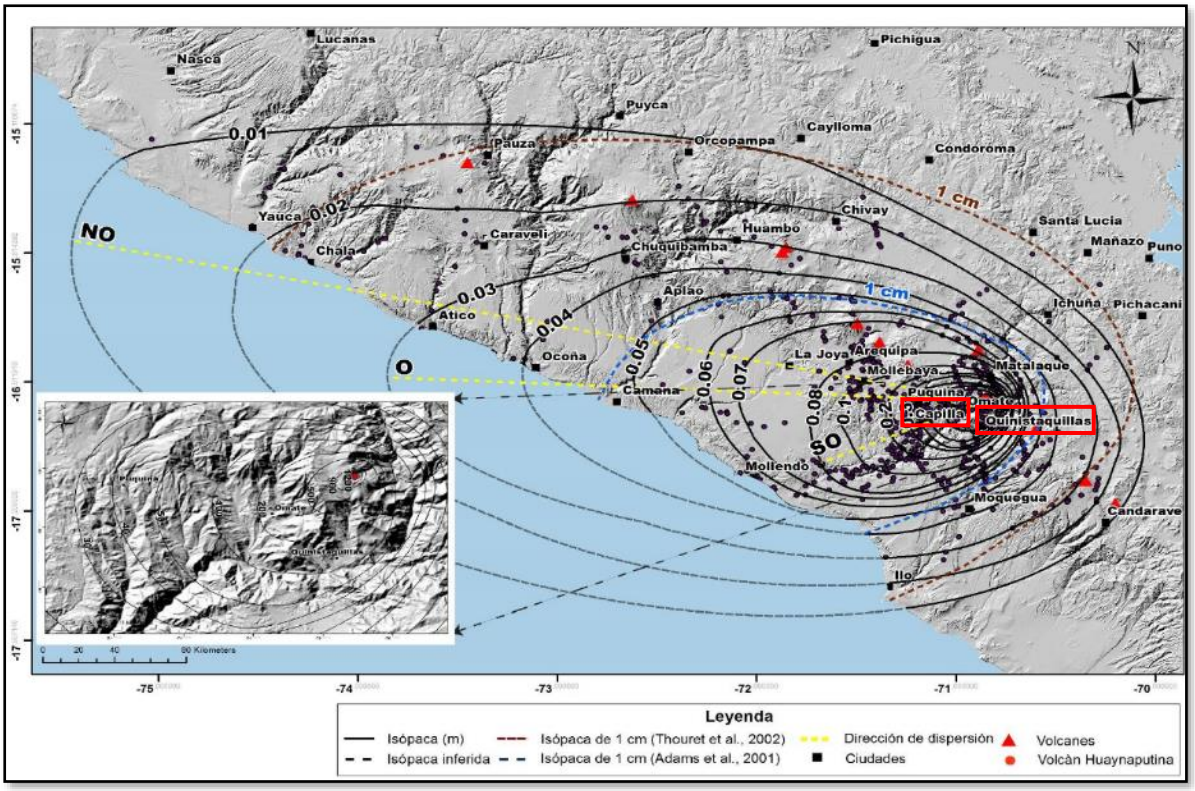


Figura 17. Mapa de isópacas del depósito de caída pliniana, donde se muestra la variación del espesor (cm) con la distancia respecto al cráter del volcán Huanaputina, S. Japura., (2018).

5.1 Peligros geológicos por movimientos en masa

En las áreas de estudio se presentan una geodinámica muy activa, representada por flujo de detritos, algunos reactivados, como el ocurrido recientemente, en el 2018 en la quebrada El Volcán en Quinistaquillas.

Nota: La descripción del peligro geológico por flujo de detritos (lahares) se realizó en la parte intermedia de la quebrada El Volcán en el distrito de Quinistaquillas y en la quebrada carrizal en el centro poblado Yalaque en el distrito La Capilla.

5.2 Flujo de detritos (lahares) en el centro poblado Yalaque.

Se identificaron tres quebradas, con características favorables para la generación de flujos de detritos (lahares). Las quebradas se ubican en la parte alta de la zona urbana del centro poblado (figura 18), estas se encuentran rellenas por depósitos no consolidados de caída de lapilli pómez, originado por la erupción de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina, ubicado a 43 k al Noreste de Yalaque (anexo 1 - mapa 7).

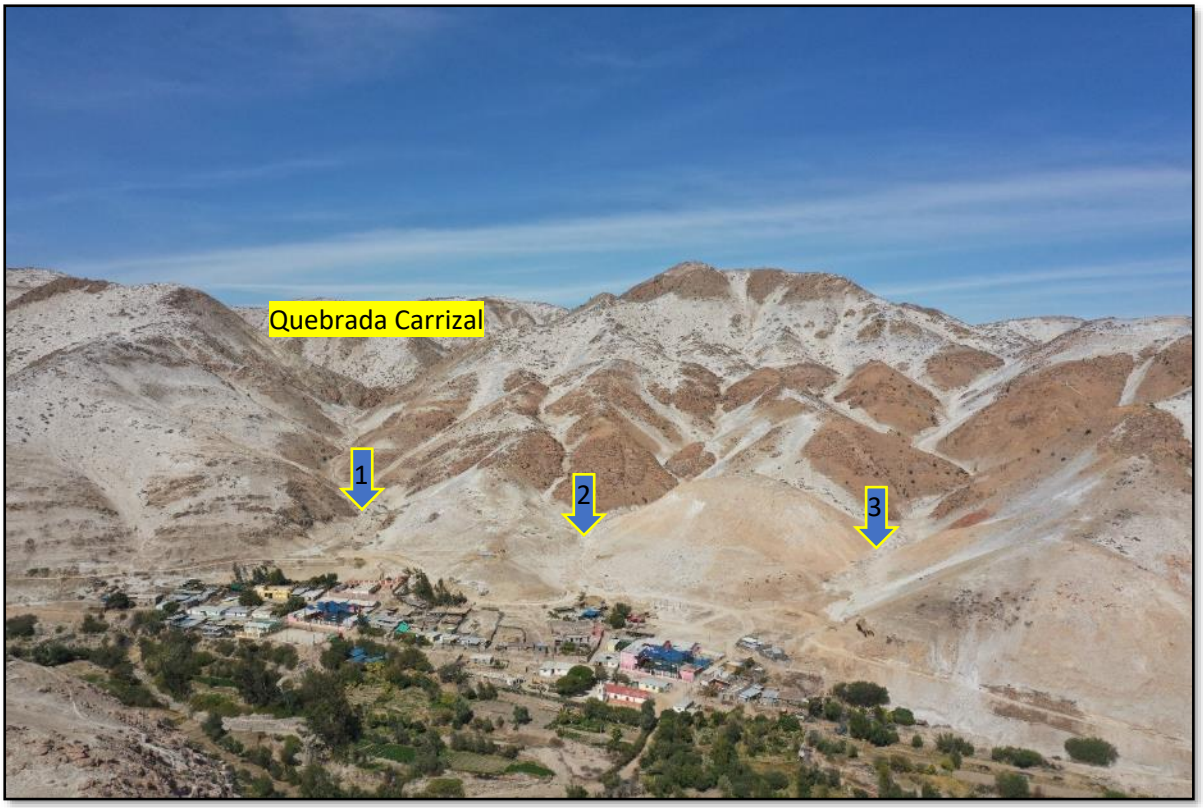


Figura 18. Quebradas en el centro poblado Yalaque.

En las quebradas se aprecian depósitos de pequeños lahares, de corto recorrido, son de color beige, se encuentran endurecidos, poseen 70 % de matriz y 30 % de bloques (figura 19). Además, se observan secuencias de la Formación Labra, ligeramente meteorizadas, estas rocas podrían ser arrancadas y arrastradas por los flujos en temporadas de lluvia intensa.

En la primera quebrada, denominada Carrizal, se aprecia abundante material suelto, además en esta quebrada se ubica un botadero de basura. Todos estos materiales podrían ser arrastrados por los flujos, de esta manera incrementaría el volumen y poder destructivo de los mismos.

Los procesos dinámicos que generan material suelto las quebradas 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 las quebradas.

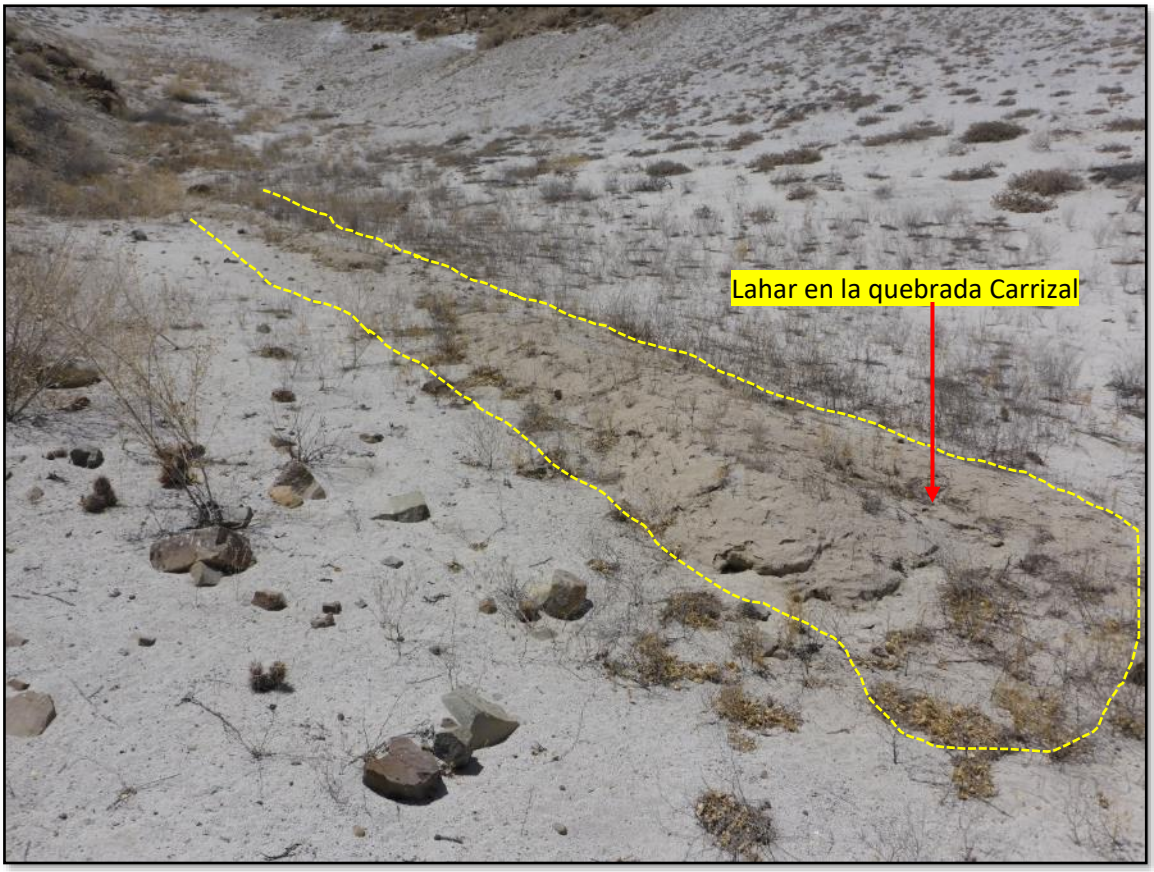


Figura 19. Depósito de lahar en la margen izquierda de la quebrada Carrizal en el centro poblado Yalaque. (Coordenadas UTM WGS84 261555 E, 8144917 N)

Las precipitaciones pluviales excepcionales en este sector podrían generar flujos de detritos, se tienen evidencias de depósitos acumulados en el cauce de la quebrada producto de antiguos flujos.

En el cauce actual de la quebrada se encuentra un botadero (figura 20), el estadio del centro poblado de Yalaque, y cruce de trochas y carreteras. Las laderas de la quebrada son inestables porque contiene material suelto. Todo ello compromete la seguridad física de las viviendas que se encuentran ubicadas en pleno cauce.

Las viviendas del centro poblado Yalaque están asentadas sobre abanicos aluviales, como se muestra en la figura 21. Además, durante la visita de campo se pudo observar que los cauces de las quebradas se pierden al ingresar a la zona urbana, no están definidos, la actividad antrópica los ha rellenado para la construcción de viviendas e infraestructuras públicas (figura 22).

Figura 20. Botadero en la quebrada Carrizal en el centro poblado Yalaque. (Coordenadas UTM WGS84 261102 E, 8144646 N)

Figura 21. Viviendas sobre abanicos aluviales

Figura 22. Quebrada carrizal, en la zona urbana de Yalaque.

5.3 Flujo de detritos (lahares) en la quebrada El Volcán en Quinistaquillas

La quebrada El Volcán nace en el flanco Oeste del edificio volcánico del volcán Huaynaputina, a una altitud de 4738 m s.n.m. y se une al río Tambo a una altitud de 1527 m s.n.m. es decir posee un desnivel de 3211 m, y posee un recorido de 23 km de Norte a Sur.

El cauce de la quebrada El Volcán en su recorrido desciende cerca de la zona urbana de Quinistaquillas y Chimpapampa, además, cruza una amplia zona agrícola (figura 23). En el sector las laderas se encuentran cubiertas por potentes depósitos no consolidados de caída de lapilli pómez y depósitos de corrientes de densidades piroclásticas (PDC) (figura 24), originados por el colapso de la columna eruptiva de la erupción de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina (anexo 1 - mapa 8).

Figura 23. Quebrada El Volcán en Quinistaquillas

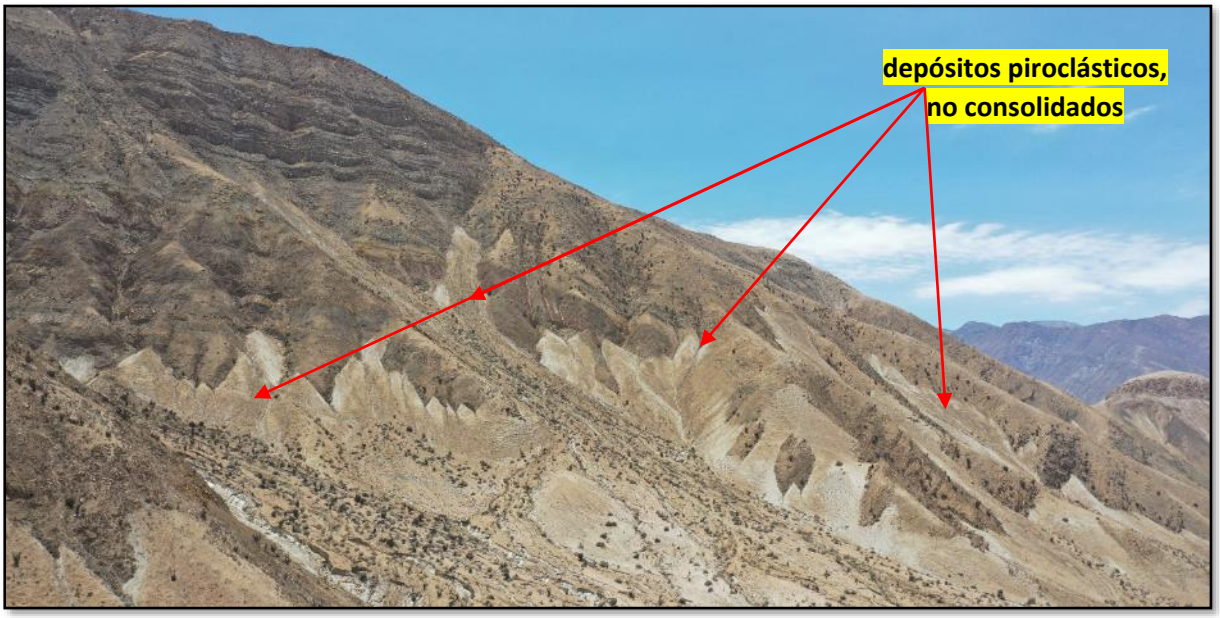


Figura 24. Depósitos piroclásticos de la erupción de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina.

En la quebrada El Volcán se pudo identificar el depósito del lahar emplazado en febrero del 2020 (figura 25). El depósito posee espesores que varían de 4 m a 7 m y presenta algunos bloques de dimensiones métricas (figura 26). Está conformado por 60% a 70% de matriz y 30% a 40 % de bloques. Los bloques más abundantes poseen entre 1 cm y 20 cm de diámetro y representan más del >50% de bloques. Los bloques más grandes miden de 4 m a 5 m de diámetro, pero representan menos del 5%.

El depósito se caracteriza por ser de color gris oscuro, es masivo, está ligeramente compactado y presenta una superficie ligeramente rugosa. La matriz es limo-arcillosa, rica en vesículas de diámetro menores al milímetro. Los bloques poseen litología heterogénea, conformado por lavas, bloques de domo, pómez, fragmentos hidrotermalizados y en menor porcentaje se encuentran fragmentos de rocas del sustrato sedimentario, principalmente areniscas cuarzosas, cuarcitas y lutitas

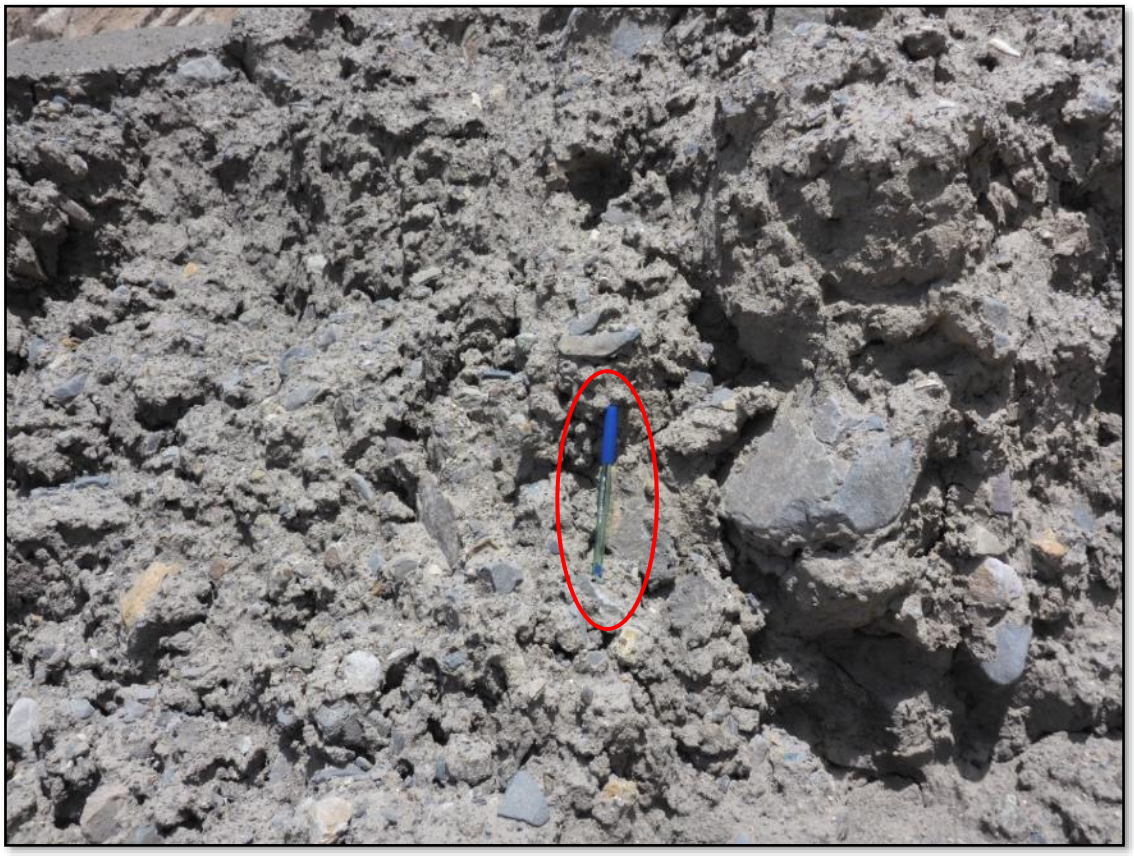


Figura 25.26 Depósitos de lahares de la quebrada El Volcán. (Coordenadas UTM WGS84 301294 E, 8150434 N).

Figura 27. Bloques métricos arrastrados por el lahar en la quebrada Volcán. (Coordenadas UTM WGS84 301296 E, 8148768 N).

La quebrada El Volcán tiene un afluente principal que es la quebrada Tasata, el cual nace a una altitud de 3380 m s.n.m. y posee un recorrido de 6.3 km desde su origen hasta su confluencia.

Figura 28. Confluencia de la quebrada Tasata y la quebrada El Volcán.

En la quebrada El Volcán también se pudo identificar un depósito del lahar proveniente de la quebrada Tasata (figura 29). El depósito posee espesores que varían de 2 m a 3 m. Está conformado por 60% a 70% de matriz y 30% a 40 % de bloques. Los bloques más abundantes poseen entre 1 cm y 25 cm de diámetro y representan más del >50% de bloques. Los bloques más grandes miden de 40 cm a 50 cm de diámetro, pero representan menos del 5%.

El depósito se caracteriza por ser de color beige claro, es masivo, está ligeramente compactado y presenta una superficie ligeramente rugosa. La matriz es limo-arcillosa, rica en vesículas de diámetro menores al milímetro. Los bloques poseen litología heterogénea, conformado por lavas, bloques de domo, pómez, fragmentos hidrotermalizados y se encuentran fragmentos de rocas del sustrato sedimentario, principalmente areniscas cuarzosas, cuarcitas y lutitas.

Figura 29. Depósitos de lahares de la quebrada Tasata. (Coordenadas UTM WGS84 301298 E, 8150400N).

5.4 Posibles obras de infraestructura que podrian ser dañadas por futuros flujos de detritos (lahares) en el centro poblado Yalaque

Las infraestructuras que podrían ser dañas por un eventual flujo de detritos en el centro poblado Yalaque, son: la institución educativa San Isidro Labrador, la institución educativa Inicial 271, la iglesia de centro poblado, y las viviendas de la zona urbana de Yalaque. Todos ellos están en el cauce de las quebradas que descienden desde la parte alta (figura 30).

En la quebrada Pecon, aproximadamente 100 m de la vía se encuentra dentro del cauce de la quebrada y se observan restos de flujos de detritos recientes (figura 31).

La quebrada Pampa Blanca ubicado en coordenadas UTM WGS84 260743 E, 8143264 N, también podría ser afectada por flujos de detritos (lahares), debido a que no cuenta con un cauce definido al entrar a la zona urbana.

Tanto en la quebrada Pecon y Pampa Blanca se aprecia abundante material suelto en las laderas como en el cauce de las quebradas. Estas podrían ser incorporadas fácilmente en un flujo de detritos (lahares).

Figura 30. Infraestructura en Yalaque.

Figura 31. Quebrada Pecon. (Coordenadas UTM WGS84 261550E, 8146149N).

5.5 Posibles obras de infraestructura que podrian ser dañadas por futuros flujos de detritos (lahares) en la quebrada El Volcán en Quinistaquillas

En la quebrada El Volcán, las infraestructuras que podrían ser dañas por un eventual flujo de detritos son: Canales de agua, pases aéreos de tuberías, trochas carrozables, área de cultivo y viviendas que se encuentran cerca del cauce de la quebrada (figuras 32, 33, 34, 35 y 36)

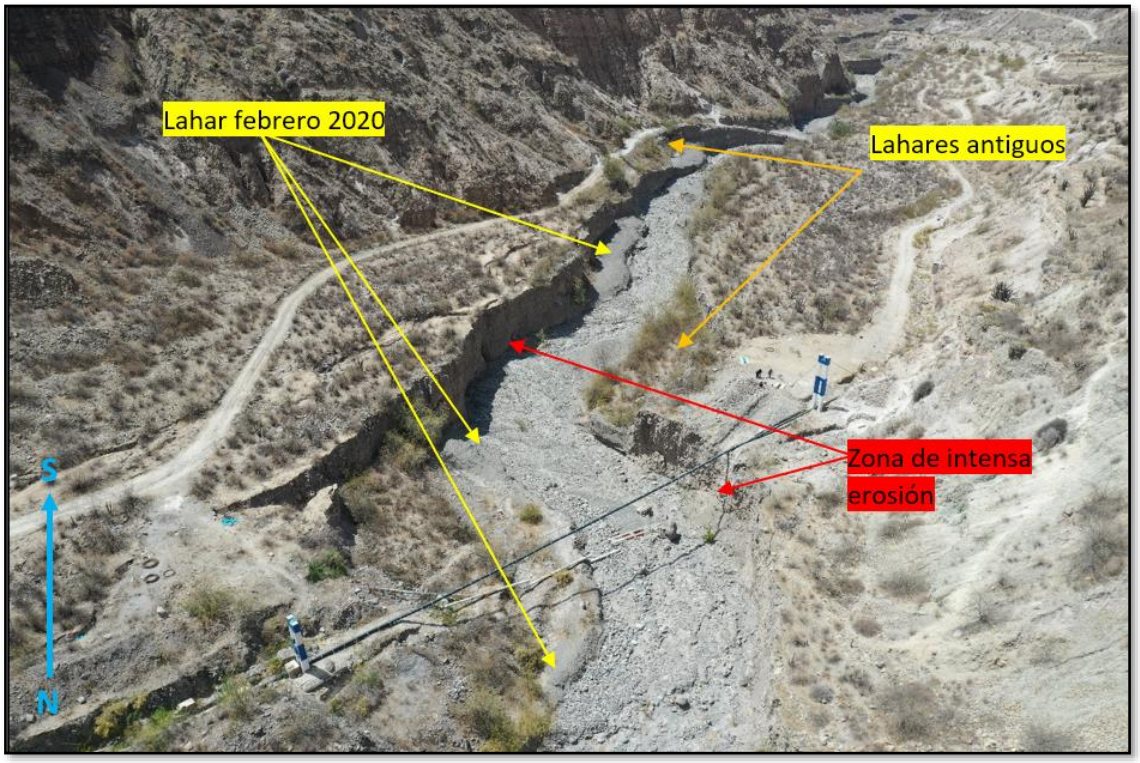


Figura 32. Pase aéreo de tubería en la quebrada El Volcán. (Coordenadas UTM WGS84 301319E, 8153128N).

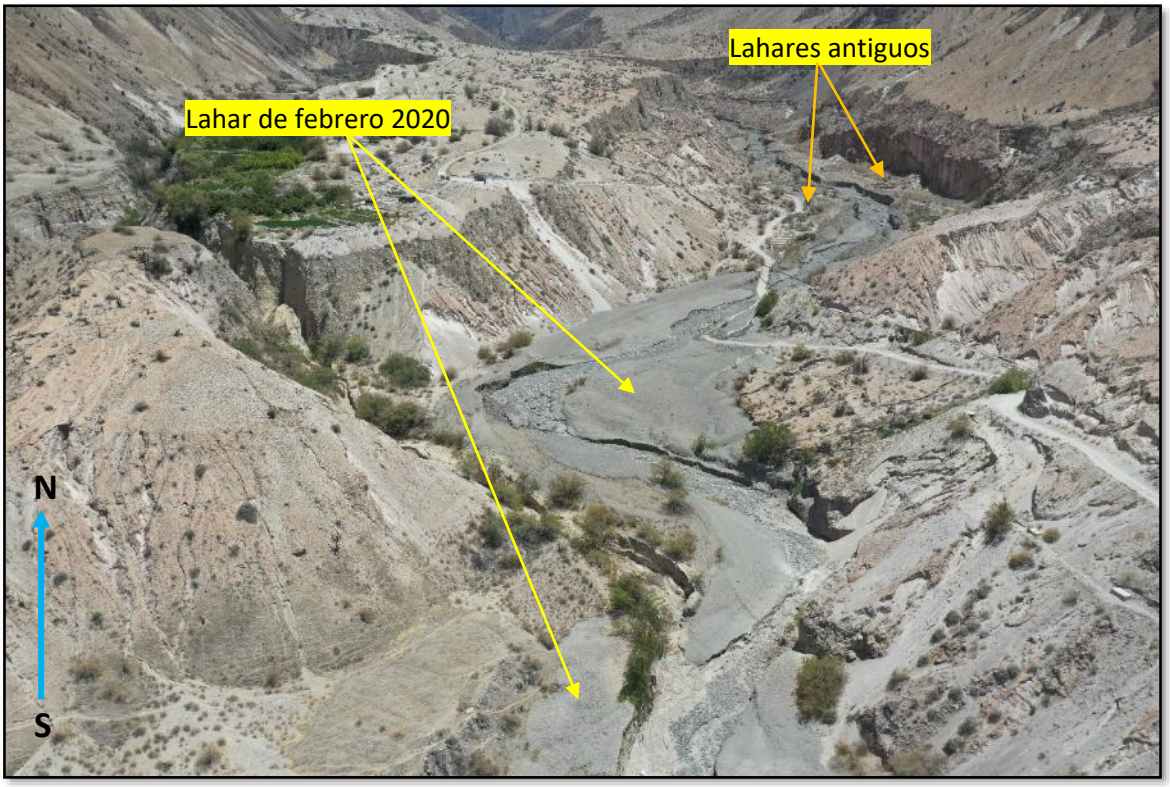


Figura 33. Carretera carrozable hacia el pase aéreo de tubería del punto anterior, en la quebrada El Volcán. (Coordenadas UTM WGS84 301400E, 8150487N).

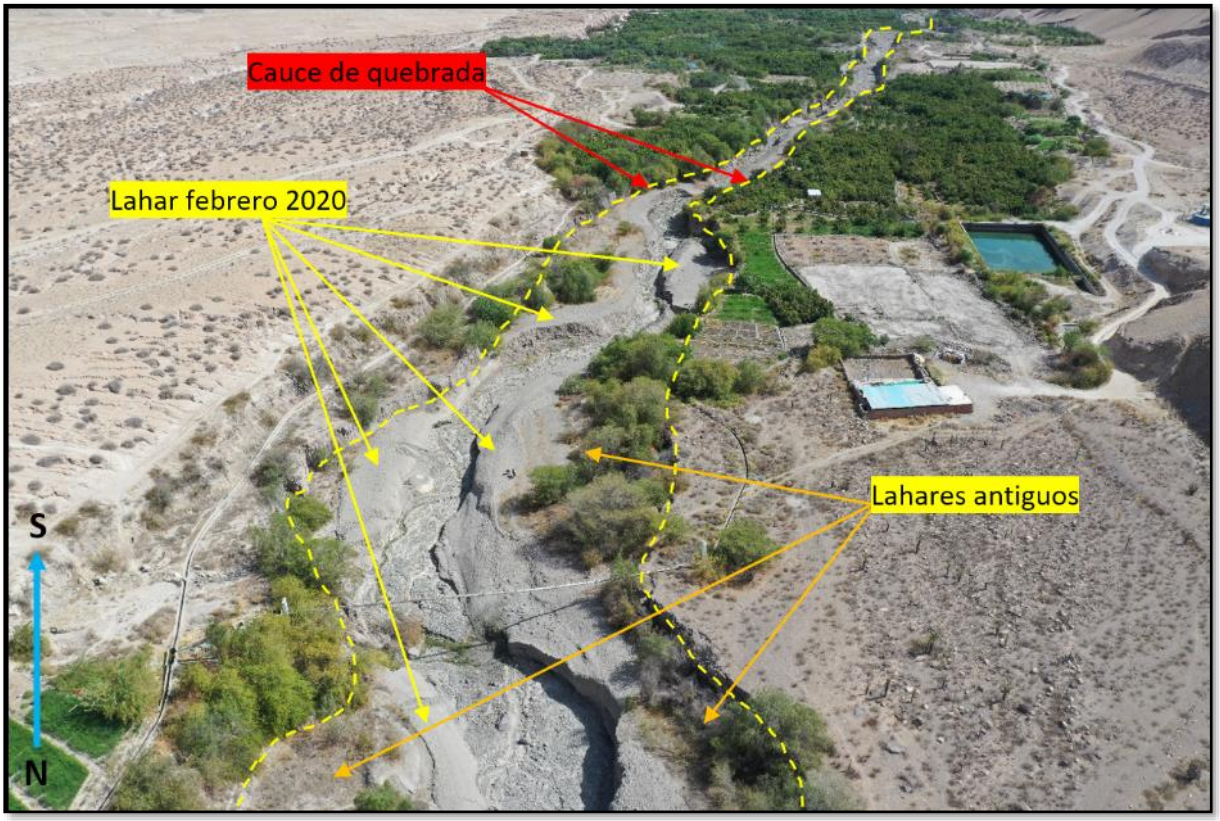


Figura 34. Pase aéreo de tubería en la quebrada El Volcán. (Coordenadas UTM WGS84 301279E, 8148816N).

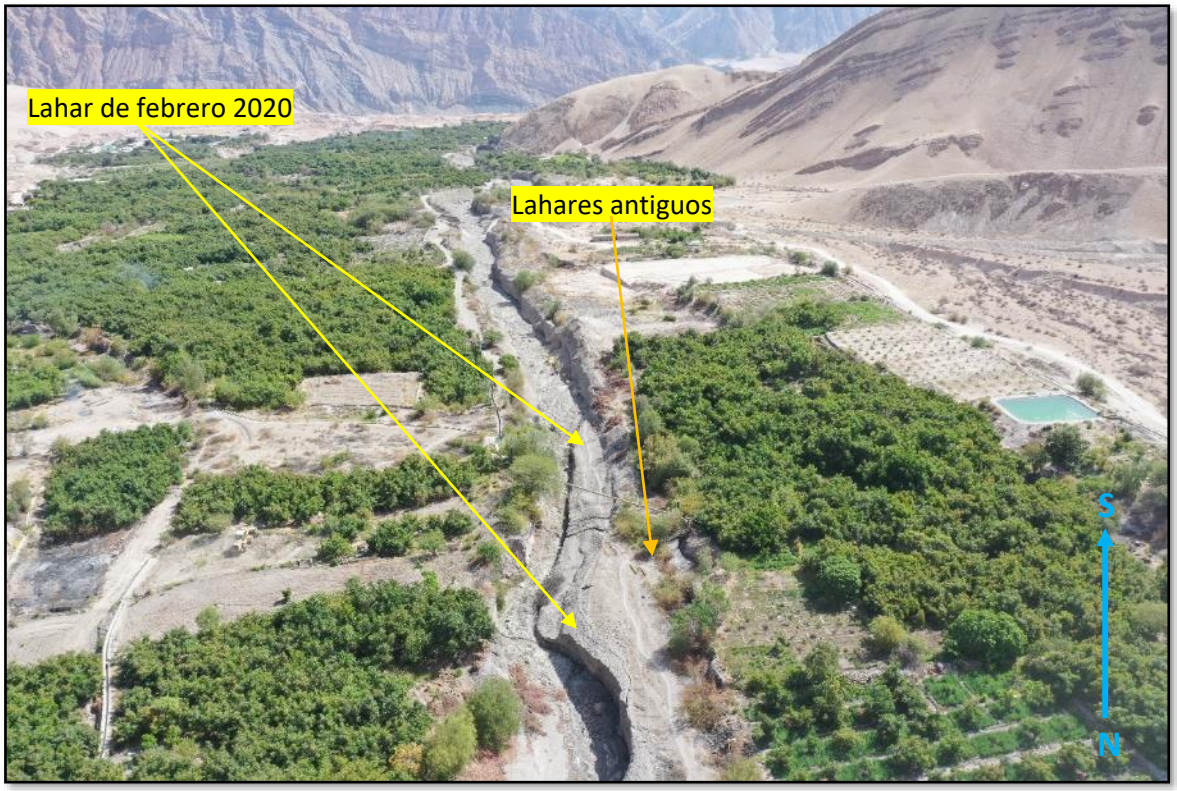


Figura 35. Pase aéreo de tubería en la quebrada EL Volcán. (Coordenadas UTM WGS84 301066E, 8148304N).

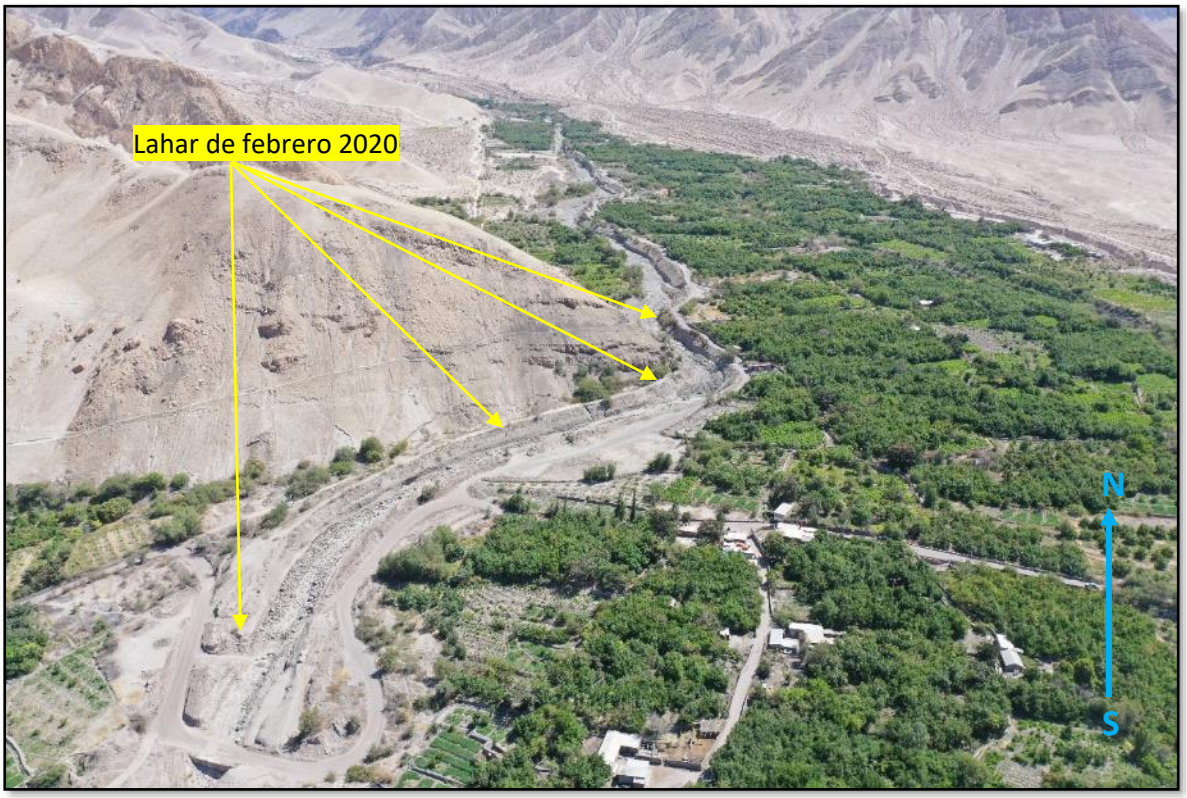


Figura 36. Pase aéreo de tubería en la quebrada El Volcán. (Coordenadas UTM WGS84 300311E, 8147052N).

5.6 Lahares históricos en la quebrada El Volcán

Según la recopilación de información de la base de datos del Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) se detallan los flujos de detritos (lahares) recientes en la quebrada El Volcán.

Cuadro 6. Resumen de los últimos flujos de detritos (lahares) emplazados en la quebrada El Volcán

AÑO DE OCURRENCIA DE LAHARES/SECTOR	REPORTE/INFORME
01 de febrero del 2015	N° 1264-11/3/2020/COEN-INDECI
01 de febrero del 2019	N° 00005-2019-INDECI/11.0
11 al 24 de febrero del 2020	N° 060-10/6/2020/COEN-INDECI

Fuente: recopilación propia.

5.7 Factores condicionantes

Centro poblado Yalaque en La Capilla

- Presencia de rocas medianamente a muy fracturada y ligeramente meteorizada de la Formación Labra, conformadas areniscas, areniscas calcáreas y lutitas con algunos lentes calcáreos en los niveles medios y finalmente cuarcitas y lutitas en los niveles superiores. También condicionan los depósitos no consolidados de caída de lapilli pómez correspondientes a los primeros eventos producido por la erupción del 1600 d.C. del volcán Huaynaputina.
- La pendiente de los terrenos que varían de llanos a inclinados suavemente (1°-5°), una zona media de las laderas donde se observa cambios abruptos a terrenos muy fuertes (25°- 45°) a muy escarpados (> 45°), e inclinaciones de terrenos de pendiente moderada (5°-10°) en la parte alta.

Sector Quebrada El Volcán en Quinistaquillas

- Presencia de rocas medianamente a muy fracturada y ligeramente meteorizada de la Formación Labra, conformadas areniscas, areniscas calcáreas y lutitas con algunos lentes calcáreos en los niveles medios y finalmente cuarcitas y lutitas en los niveles superiores. También condicionan los depósitos no consolidados de caída de lapilli pómez correspondientes los primeros eventos producido por la erupción del 1600 d.C. del volcán Huaynaputina y depósitos de flujos piroclásticos no consolidados.

- Las pendientes de terrenos varían de llanos a inclinados suavemente (1°-5°), una zona media de las laderas donde se observa cambios del terreno a pendientes muy fuertes (25°- 45°).

5.8 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, aumentando 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, deslizamientos y derrumbes. 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 DETRITOS (LAHARES)

La simulación de flujos de detritos (lahares) fue realizado 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.

$$\frac{\partial \mathbf{h}}{\mathbf{dt}} + \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}}(\mathbf{hu}) + \frac{\partial}{\partial \mathbf{y}}(\mathbf{hv}) = \mathbf{0} \qquad \textbf{(1)}$$

$$\frac{\partial}{\mathbf{dt}}(\mathbf{hu}) + \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}}(\mathbf{hu^2}) + \frac{\partial}{\partial \mathbf{y}}(\mathbf{huv}) = \mathbf{ghsin\alpha_x} - \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}}\mathbf{Kactpass}\,\frac{\partial}{\partial \mathbf{x}}(\mathbf{gh^2 cos\alpha}) + \frac{\mathbf{Tx}}{\boldsymbol{\rho}} \qquad \textbf{(2)}$$

$$\frac{\partial}{\mathbf{dt}}(\mathbf{hv}) + \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}}(\mathbf{hvu}) + \frac{\partial}{\partial \mathbf{y}}(\mathbf{hv^2}) = \mathbf{ghsin\alpha_y} - \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}}\mathbf{Kactpass}\,\frac{\partial}{\partial \mathbf{y}}(\mathbf{gh^2 cos\alpha}) + \frac{\mathbf{Ty}}{\boldsymbol{\rho}} \qquad \textbf{(3)}$$

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 - “Inverson y Denlinger (2001)”

La simulación se realizó en las tres quebradas ubicadas en el centro poblado de Yalaque y en el distrito de Quinistaquillas en la quebrada El Volcán, para ello se emplearon DEMs de buena resolución.
Para el centro poblado de Yalaque se utilizó un DEM de 1 m, el cual se elaboró a partir de fotogrametría con drone. Mientras que para la quebrada El Volcán en Quinistaquillas se empleó un DEM de 6 m. construido por el laboratorio de teledetección del Ingemmet.

6.1 Volúmenes empleados en la simulación de flujos de detritos (lahares)

El parámetro de volumen es uno de los más importantes datos de entrada 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 de detritos 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.

$$V_t\,(\text{flujo}) = V_{\text{agua}} + V_{\text{sedimentos}} \qquad \ldots\ldots (1)$$

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 de detritos y lahares secundarios 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), (gráfico 1)

Los flujos de detritos en una quebrada se generan en la parte alta de la cuenca, durante su recorrido pasan por una zona de trasporte 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 (m^2), (figura 37), 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).

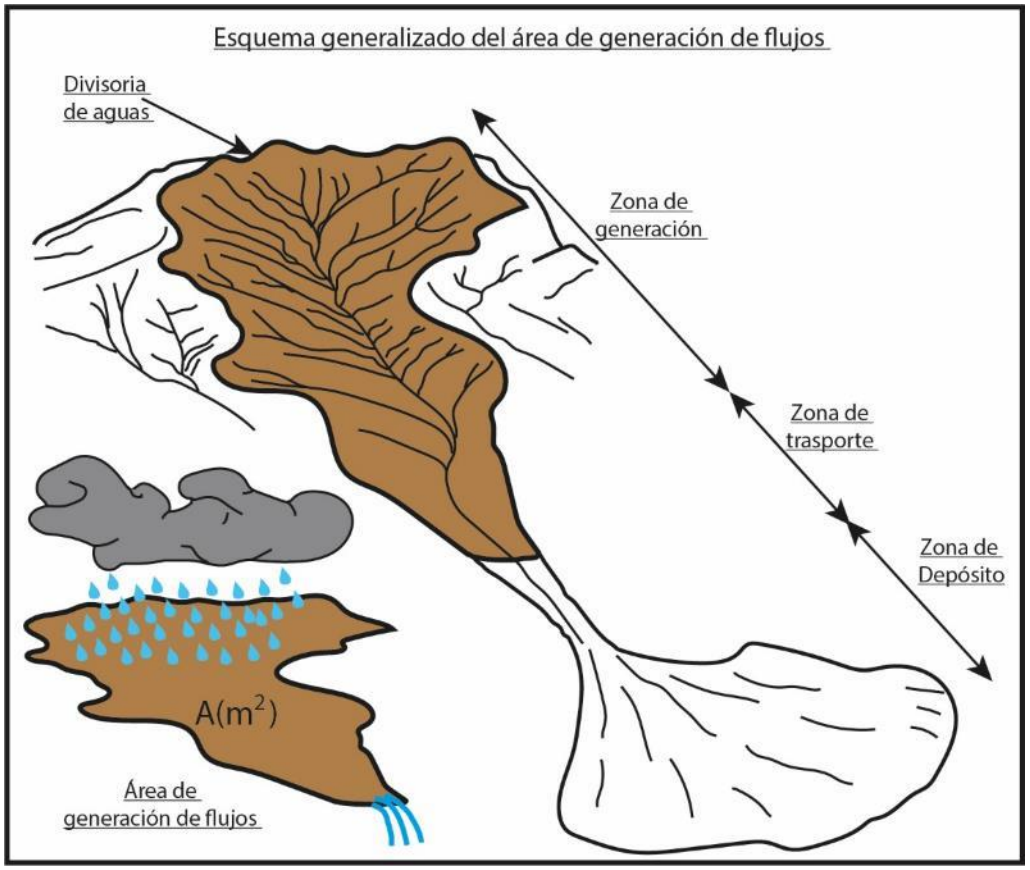


Figura 37. Esquema generalizado del área de generación de un flujo de detritos y lahares secundarios (Soncco., et al 2021).

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, de precipitación diaria (gráfico 1).

Para el cálculo de los volúmenes de flujos de detritos (lahares) en la quebrada El Volcán, se empleó 25 mm de precipitación, en el centro poblado de Yalaque también se utilizó 25 mm. Además, se tomó la relación de 50% de agua y 50% de sedimentos empleados por Vallance, (2000).

En el centro poblado Yalaque, para las quebradas número uno denominada Carrizal y las otras dos quebradas que no cuentan con nombre, (figura 17), se calculó los siguientes volúmenes.

Cuadro 7. Resumen de volúmenes de flujos de detritos (lahares) calculados en Yalaque

Quebrada	25 mm
Carrizal	30833 m^3
Numero 2	3195 m^3
Número 3	8689 m^3

En el distrito de Quinistaquillas en la quebrada El Volcán (figura 23), se calculó los siguientes volúmenes.

Cuadro 8. Resumen de volúmenes de flujos de detritos (lahares) calculados en quebrada El Volcán

Quebrada	25 mm
El Volcán	2051937 m^3

6.2 Resultados de simulación de flujos de detritos (lahares) en el centro poblado Yalaque del distrito de La Capilla

De acuerdo con los resultados de la simulación para futuros flujos de detritos (lahares) en las quebradas que descienden en Yalaque, se muestran las zonas que podrían se afectadas, para un escenario de precipitación de 25 mm (figuras 38 y 39), (mapa 9).

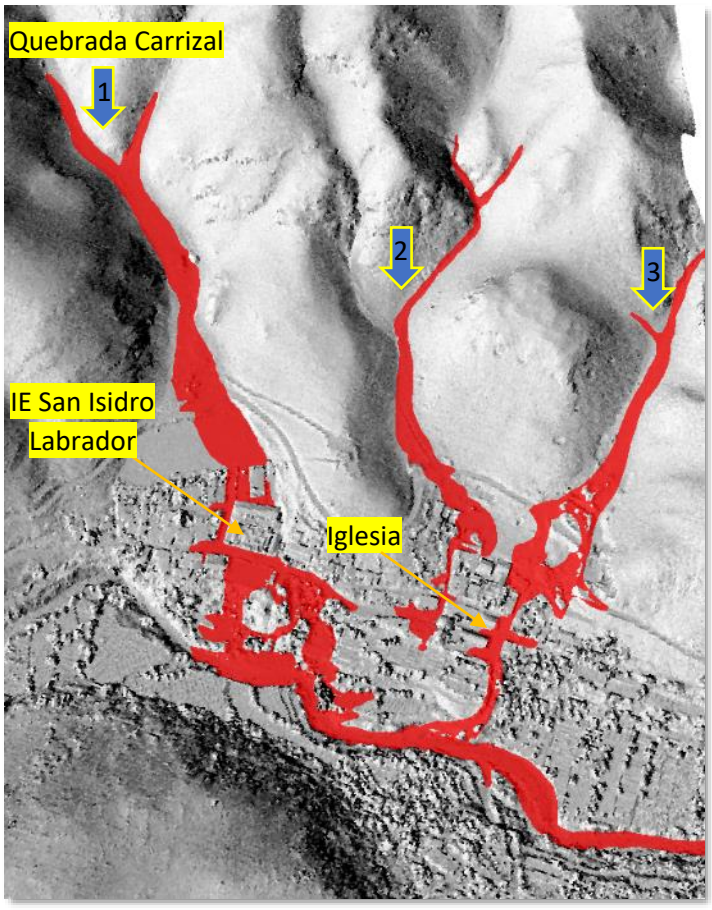


Figura 38. Simulación de flujos de detritos (lahares) en el centro poblado de Yalaque

Figura 39. Simulación de flujos de detritos (lahares) en la quebrada Carrizal.

Según el mapa del (anexo 1 - mapa 9), las infraestructuras afectadas son la institución educativa San Isidro Labrador, la institución educativa Inicial 271, la iglesia de centro poblado, y las viviendas de la zona urbana de Yalaque. Todos ellos están en los cauces de las quebradas que descienden en Yalaque.

6.3 Resultados de simulación de flujos de detritos (lahares) en sector quebrada El Volcán del distrito de Quinistaquillas

De acuerdo con los resultados de la simulación para futuros flujos de detritos (lahares) en las quebradas Volcán en el distrito de Quinistaquillas, se muestran las zonas que podrían se afectadas, para un escenario de precipitación de 25 mm (figura 40), (anexo 1 - mapa 10).

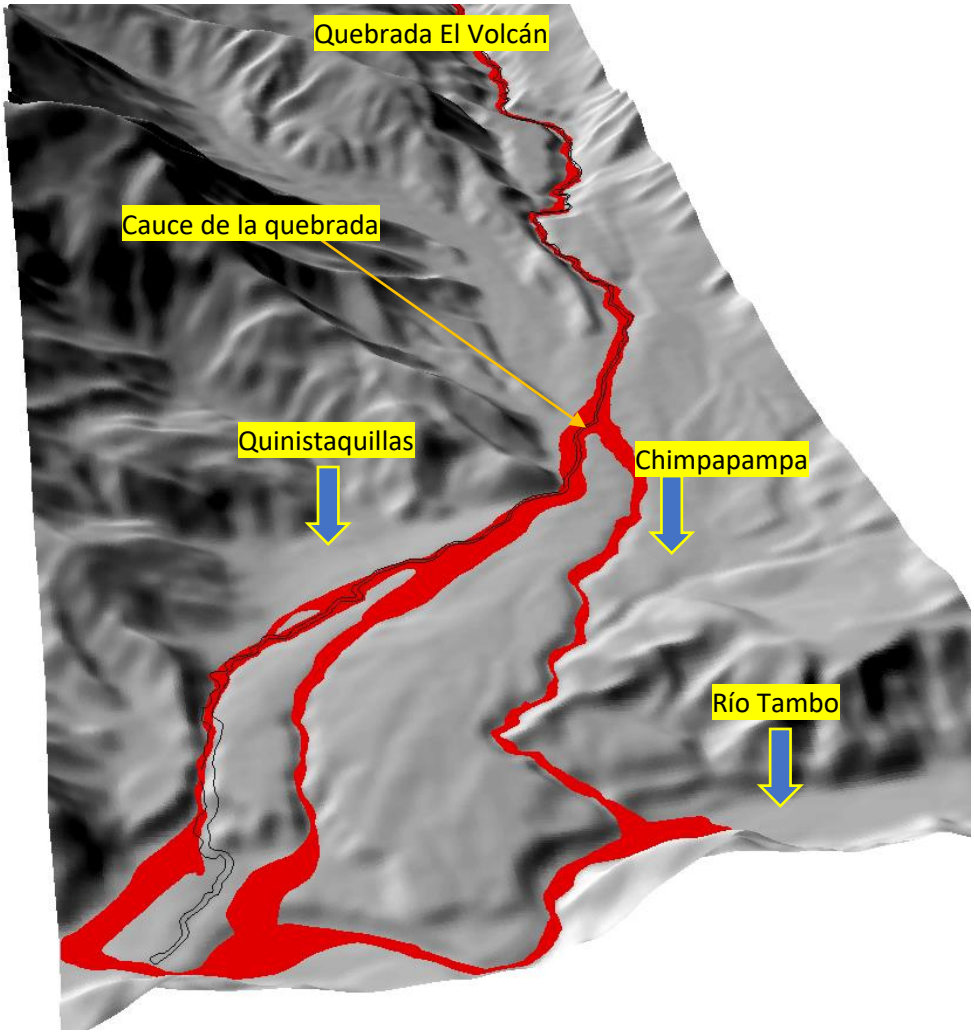


Figura 40. Simulación de flujos de detritos (lahares) en la quebrada El Volcán.

Según el mapa de simulación del (anexo 1 - mapa 10), las infraestructuras afectadas son, canales de agua, pases aéreos de tuberías, trochas carrozables, área de cultivo y viviendas que se encuentran cerca del cauce de la quebrada El Volcán.

7. CONCLUSIONES

Centro poblado Yalaque, en el distrito de La Capilla

1. Litoestratigráficamente, afloran rocas de la Formación Labra, conformadas por areniscas cuarzosas, cuarcitas y lutitas, que se encuentran medianamente a muy fracturadas y ligeramente meteorizadas, Así mismo, aflora un intrusivo, conformado por diorita de color gris rojizo ligeramente meteorizada y medianamente fracturada. Y depósitos aluviales a lo largo de la quebrada Yalaque y abanicos en las quebradas que descienden desde las partes altas, conformados por bloques y gravas en escasa matriz fina, son depósitos no consolidados.

2. Se identificó tres quebradas con características favorables para la generación de flujos de detritos (lahares). Las quebradas se ubican en la parte alta de la zona urbana del centro poblado, estas se encuentran rellenadas por depósitos no consolidados de caída de lapilli pómez, originado por la erupción de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina. También se observan pequeños lahares que no tuvieron mucho alcance.

3. En la quebrada Pecon, aproximadamente 100 m de la principal vía de acceso a Yalaque se encuentra dentro del cauce de la quebrada, en ella se observan restos de depósitos de flujos de detritos recientes. En la quebrada Pampa Blanca, también podría ser afectado por flujos de detritos (lahares), debido a que no cuenta con un cauce definido que desaparece en la zona urbana. En ambas quebradas se aprecian abundante material suelto en las laderas como en el cauce de las quebradas. Estas podrían ser incorporados fácilmente en un flujo de detritos (lahares).

4. El peligro geológico por flujo de detritos (lahares) está condicionados por:
   a) Rocas muy fracturadas y ligeramente meteorizadas de la Formación Labra y depósitos adosados y no consolidados de la caída de lapilli pómez corresponde a la erupción del 1600 d.C. del volcán Huaynaputina.
   b) La pendiente de los terrenos que varían de (1°-5°), a una zona media de las laderas donde se observa cambios abruptos a terrenos muy fuertes (25°- 45°) y muy escarpados (> 45°).

5. En base a las observaciones de campo y a las simulaciones numéricas de flujos de detritos (lahares), las infraestructuras que podrían ser dañas por un eventual flujo de detritos son: la institución educativa San Isidro Labrador, la institución educativa Inicial 271, la iglesia de centro poblado, y las viviendas ubicadas en el cauce de las quebradas.

6. Las quebradas que cruzan la localidad de Yalaque, en su cuenca media y baja no tienen un desfogue definido, porque las viviendas han invadido el cauce natural de las quebradas.

7. Se tiene una mala planificación urbana, no se ha considerado los sectores susceptibles a movimientos en masa u otros procesos que podrían generar desastres futuros.

8. 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 flujos de detritos (lahares).

9. Se concluye que, el centro poblado Yalaque es considerado de Peligro Alto, puede ser afectado por flujo de detritos (lahares), que pueden ocurrir en temporadas de lluvias intensas y/o prolongadas.

Sector quebrada El Volcán, en el distrito de Quinistaquillas

1. Litoestratigráficamente, afloran rocas de la Formación Labra, conformadas areniscas cuarzosas, cuarcitas y lutitas, medianamente a muy fracturada y ligeramente meteorizada; la Formación Gramadal conformada por areniscas cuarzosas, se encuentra muy fracturada y altamente meteorizada. Y depósitos aluviales a lo largo de la quebrada El Volcán conformado por bloques, gravas y limos, son depósitos no consolidados. Además, se aprecian depósitos no consolidados de la caída de lapilli pómez de la erupción del 1600 d.C. del volcán Huaynaputina. Al tope de las secuencias se aprecia un depósito no consolidado de flujos piroclásticos de la erupción de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina. En el cauce de la quebrada se observa depósitos consolidados de lahares, están compuestos de bloques, gravas y arenas, posee espesores que van desde 3 m a 7 m.

2. Se identificó dos depósitos de lahares, el primero proveniente de la quebrada Tasata y se caracteriza por ser de color beige claro, es masivo, ligeramente compactado y presenta una superficie ligeramente rugosa. Está conformado por 60% a 70 % de matriz y 30% a 40 % de bloques, los más abundantes poseen entre 1 m y 25 cm de diámetro y representan más del >50 %. Los bloques más grandes miden de 40 a 50 cm de diámetro, pero representan menos del 5 %. El segundo proveniente de la quebrada El Volcán; se caracteriza por ser de color gris oscuro, es masivo, está ligeramente compactado y presenta una superficie ligeramente rugosa. Está conformado por 60% a 70 % de matriz y 30% a 40 % de bloques. Los bloques más abundantes poseen entre 1 cm y 20 cm de diámetro y representan más del >50 % de bloques. Los bloques más grandes miden de 4 m a 5 m de diámetro, pero representan menos del 3 %.

3. El peligro geológico por flujo de detritos (lahares) está condicionados por:
   a) Rocas muy fracturadas y ligeramente meteorizadas de la Formación Labra, y rocas muy fracturadas y altamente meteorizadas de la Formación Gramadal, y depósitos adosados y no consolidados de la de caída de lapilli pómez corresponde a la erupción del 1600 d.C. del volcán Huaynaputina. Así como depósitos no consolidados de flujos piroclásticos de la erupción de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina.
   b) Las pendientes de terrenos varían de llanos a inclinados suavemente (1°-5°), una zona media de las laderas donde se observa cambios del terreno a pendientes muy fuertes (25°- 45°).

4. En base a la interpretación geodinámica y a las simulaciones numéricas de flujos de detritos (lahares), en un eventual flujo en la quebrada El Volcán podría afectar canales de agua, cuatro pases aéreos de tuberías, cerca de 2 km de trochas carrozables, aproximadamente 53 hectáreas de áreas de cultivo y viviendas ubicadas en las márgenes de la quebrada El Volcán.

5. Según las condiciones intrínsecas del área evaluada, se determinó una elevada susceptibilidad a movimientos en masa.

6. Se concluye que, el sector quebrada El Volcán en el distrito de Quinistaquillas, es considerado de Peligro Muy Alto, el sector puede ser afectado por flujo de detritos (lahares), que pueden ocurrir en temporadas de lluvia intensas y/o prolongadas.

8. RECOMENDACIONES

Centro poblado Yalaque, en el distrito de La Capilla

1. En las tres quebradas que cruzan la zona urbana de Yalaque, canalizar el cauce de las quebradas desde la unión de los afluentes hasta su desembocadura, esta debe ser profunda y ancha, para ello se tendrán que realizar estudios de hidráulica.

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.

Sector quebrada El Volcán, en el distrito de Quinistaquillas

1. Colocar disipadores de energía en el cauce de la quebrada, 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, tomando en cuenta escenarios extremos de lluvias.

2. Establecer sistemas de alerta temprana. Este podría alertar con tiempo el descenso de flujos de detritos (lahares) en la quebrada El Volcán.

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

Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto-Act. 11

Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

BIBLIOGRAFÍA

Cerpa L. & Paniagua M. (2009). Carta Geológica del Perú: Mapa Geológico del Cuadrángulo de Chivay, Hoja 32-s, Cuadrante I, escala 1:50 000. Mapa publicado por Ingemmet. https://hdl.handle.net/20.500.12544/2052

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, Transportatión researchs board Special Report 247, p. 36-75.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Sihuayruma, Distrito de Chivay, Provincia de Caylloma, Departamento Arequipa: INGEMMET, Informe Técnico N° A7161, 30p

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.

Luque, G. & Rosado, M. (2014). Zonas críticas por peligros geológicos en el departamento de Arequipa. Informe Técnico. Ingemmet. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 110 p. y 1 mapa.
https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2015

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 analisys and control: Washintong D. C, National Academy Press, Transportatión researchs board Special Report 176, p. 9-33

Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazi.

Zavala B.; Churata D. & Varela F. (2019). Geodiversidad y Patrimonio Geológico en el Valle del Colca. INGEMMET, Boletín Serie I: Patrimonio y Geoturismo. https://hdl.handle.net/20.500.12544/2114

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

ANEXO 1: MAPAS

Centro poblado Yalaque (La Capilla)

Mapa 1: Geología del centro poblado Yalaque, en el distrito de La Capilla, modificado de (W. Garcia y M. Del Pino., 1998)

Mapa 3: Pendiente del terreno en el centro poblado Yalaque, en el distrito de La Capilla a partir de un modelo digital de elevaciones de 20 cm de resolución. Fuente: Elaboración Propia

Mapa 5: Geomorfología del centro poblado Yalaque, en el distrito de La Capilla a partir de la clasificación de unidades geomorfológicas utilizadas en los estudios del Ingemmet. Fuente: Elaboración Propia

Mapa 7: Cartografía de peligros geológicos por flujo de detritos (lahares) en el centro poblado de Yalaque, en el distrito de La Capilla. Fuente: Elaboración Propia

Mapa 10: Simulación de flujo de detritos (lahares) en el centro poblado de Yalaque, en el distrito de La Capilla Fuente: Elaboración Propia

Quebrada El Volcán (Quinistaquillas)

Mapa 2: Geología del sector quebrada El Volcán en el distrito de Quinistaquillas, modificado de W. García (1998)

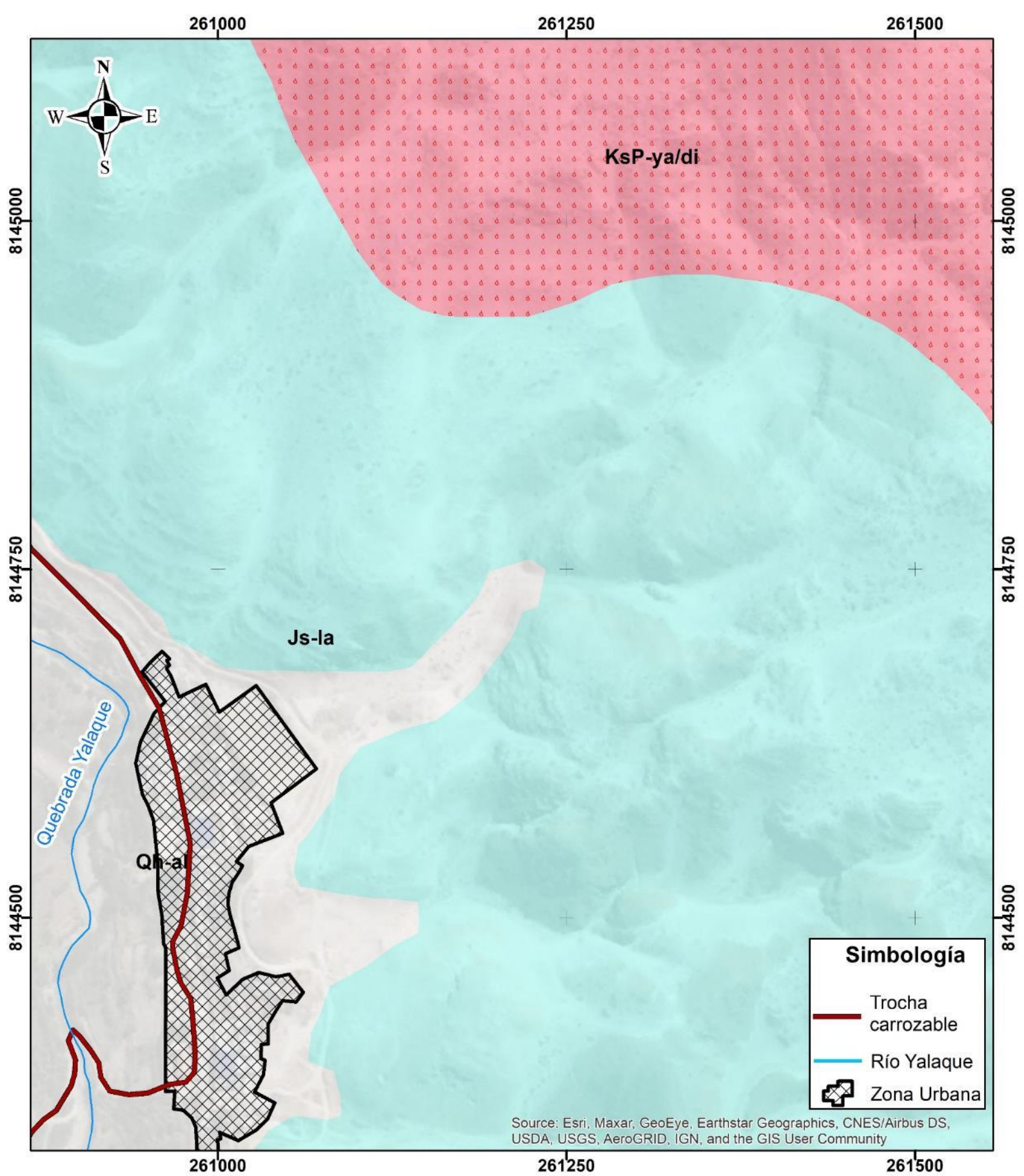
Mapa 4: Pendiente del terreno en el sector quebrada El Volcán, en el distrito de Quinistaquillas a partir de un modelo digital de elevaciones de 6 m de resolución. Fuente: Elaboración Propia

Mapa 6: Geomorfología del sector quebrada El Volcán, en el distrito de Quinistaquillas a partir de la clasificación de unidades geomorfológicas utilizadas en los estudios del Ingemmet. Fuente: Elaboración Propia

Mapa 8: Cartografía de peligros geológicos por flujo de detritos (lahares) en la quebrada El Volcán en el distrito de Quinistaquillas.” parte baja” Fuente: Elaboración Propia

Mapa 9: Cartografía de peligros geológicos por flujo de detritos (lahares) en la quebrada El Volcán en el distrito de Quinistaquillas.” parte alta” Fuente: Elaboración Propia

Mapa 11: Simulación de flujo de detritos (lahares) en la quebrada El Volcán en el distrito de Quinistaquillas. Fuente: Elaboración Propia



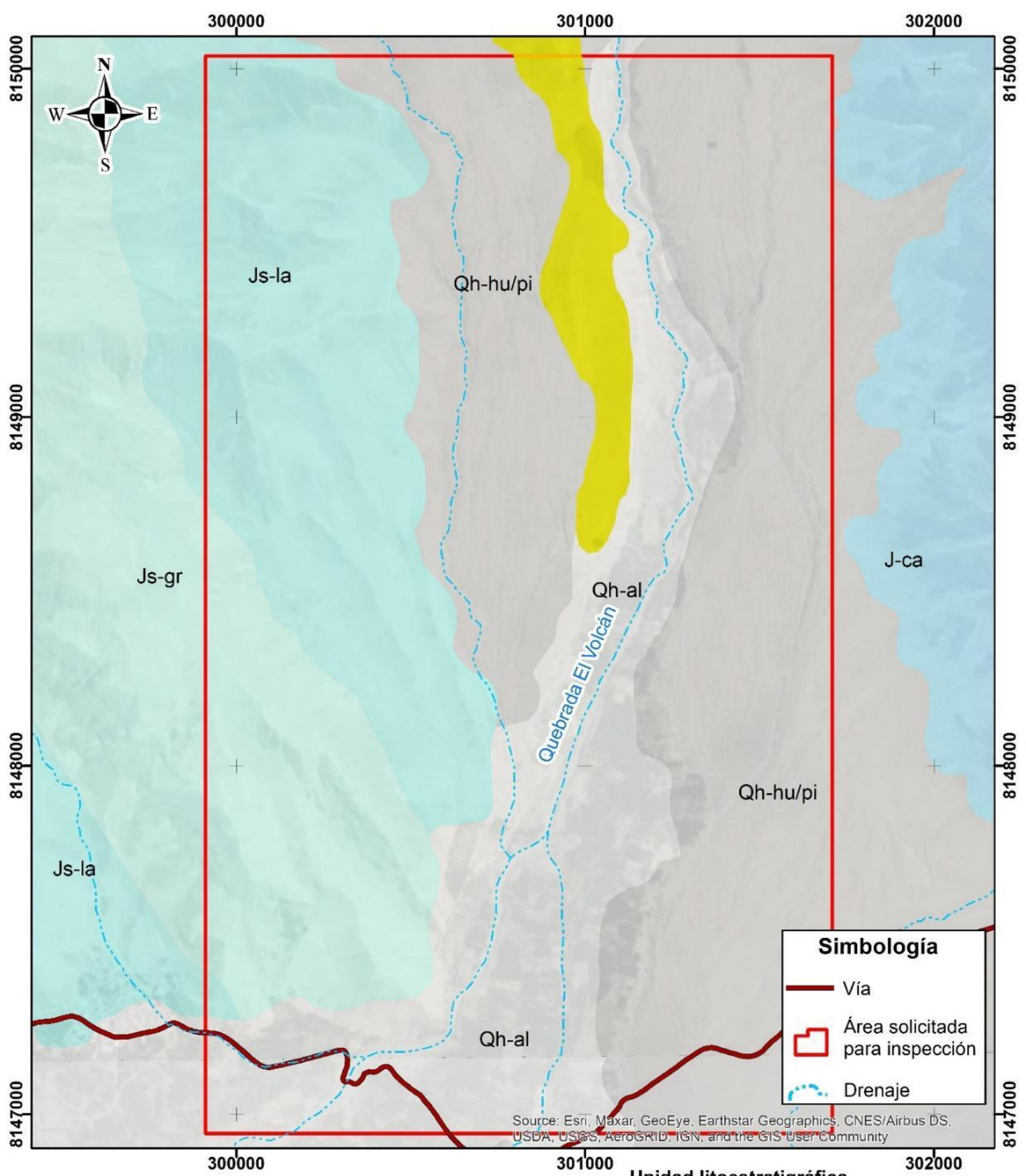
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA GEOLÓGICO DEL SECTOR YALAQUE

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:3,500 0 25 50 100 m	Mapa N° 1

Unidad litoestratigráfica

Qh-al	Gravas, arenas inconsolidadas
KsP-ya/di	Diorita
Js-la	Areniscas cuarzosas rosadas a verdes en capas medianas con intercalación de limoarcillitas



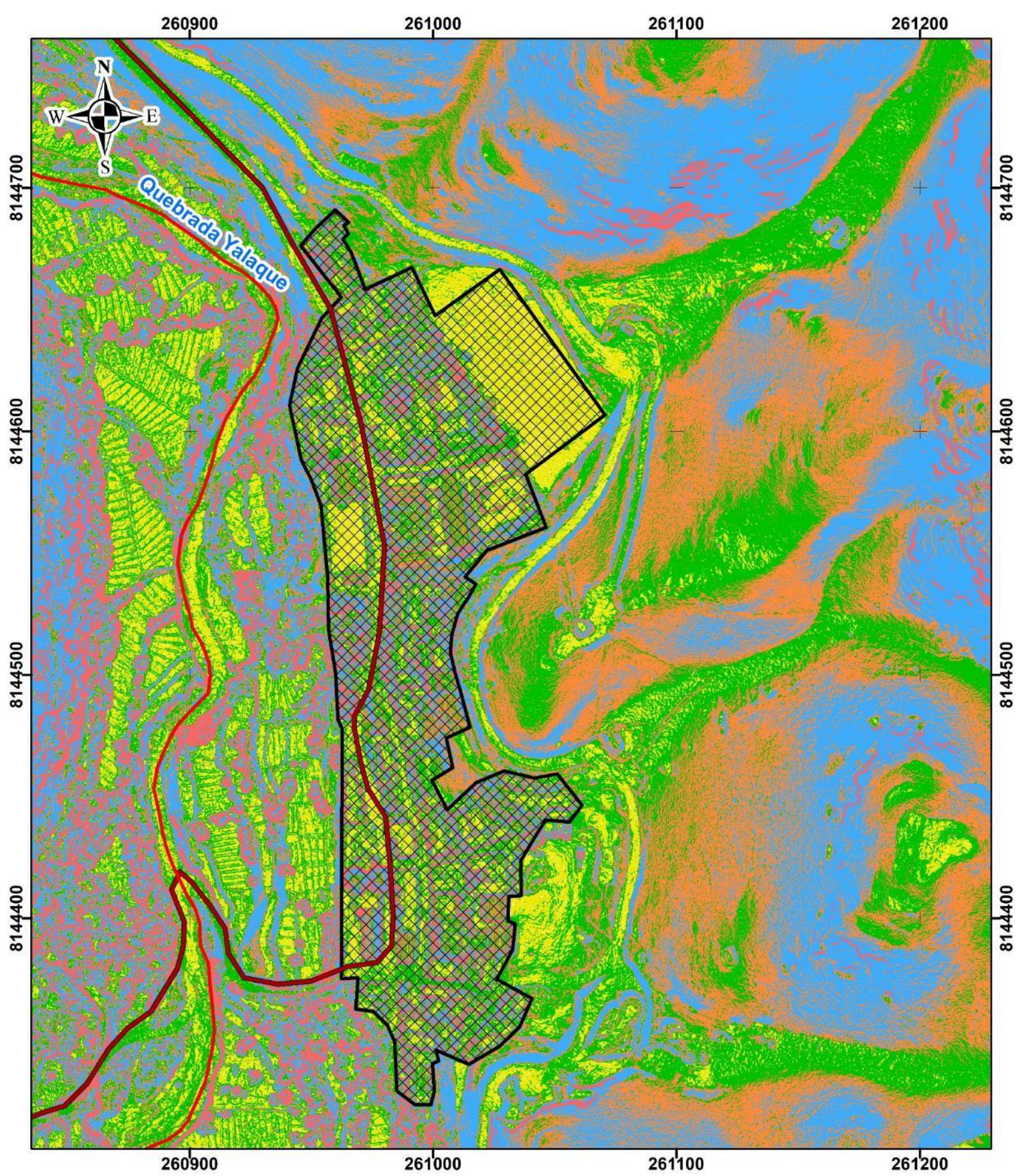
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA GEOLÓGICO RÍO VOLCÁN EN QUINISTAQUILLAS

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:14,000 0 110 220 440 m	Mapa N°2

Unidad litoestratigráfica

Qh-al	Gravas, arenas,terrazas y conos aluviales
Qh-hu/pi	Depósitos piroclásticos (pomez y ceniza)
Qh-Ct	Depósito de caída 1600 d.C.
Js-gr	Calizas grises fosilíferas, areniscas cuarzosas y lutitas bituminosas.
Jm-ca	Lutitas negras con intercalaciones de areniscas de grano fino y slumpings en la parte media
Js-la	Areniscas cuarsozas, con estratos tabulares, oblicuas, sesgadas con intercalaciones de lutitas bituminosas



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA DE PENDIENTES CENTRO POBLADO YALAQUE EN EL DISTRITO DE LA CAPILLA

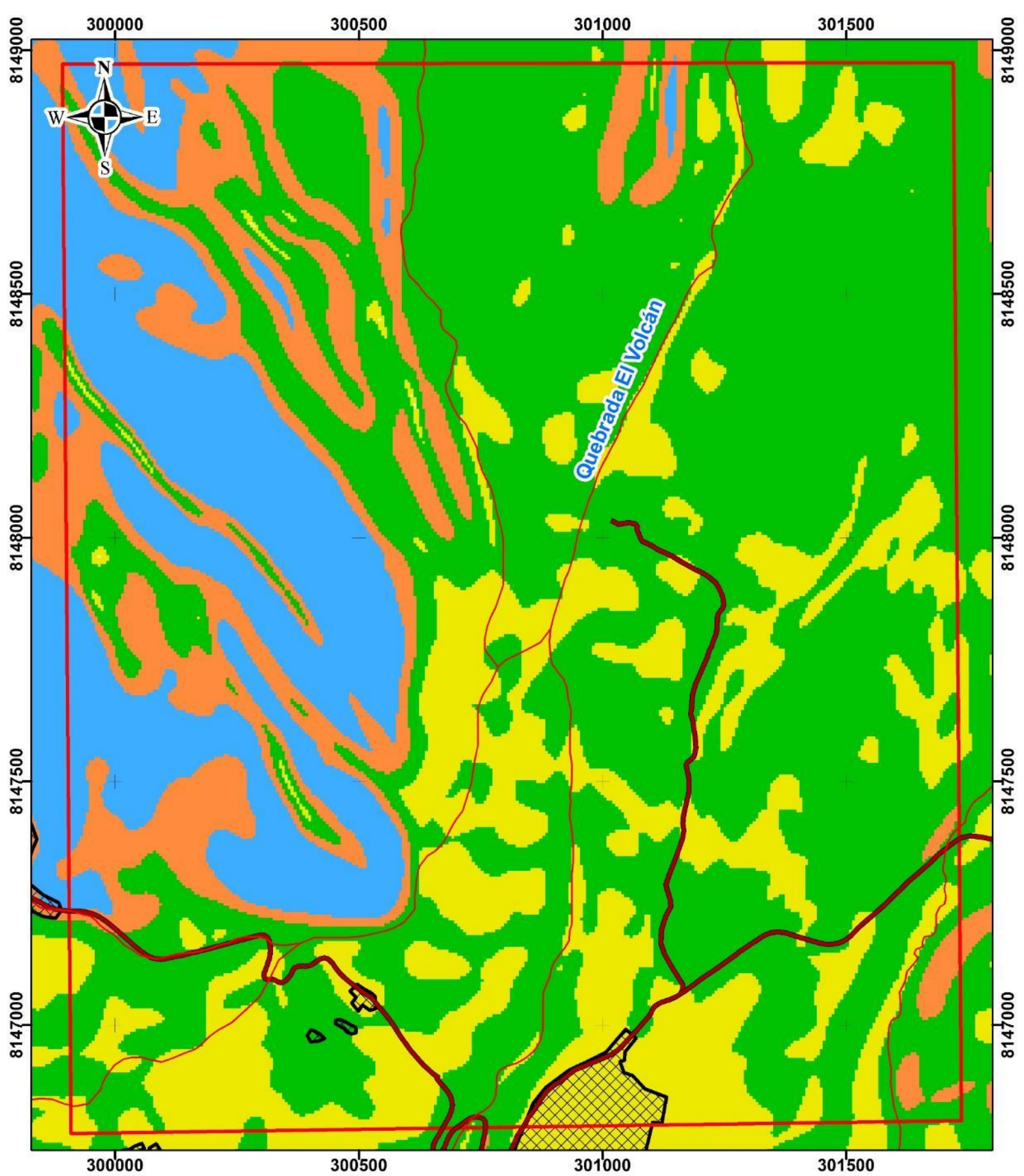
Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:2,000 0 15 30 60 m	Mapa N° 3

Pendientes (Grados)

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

Simbología

- Trocha carrozable
- Río Yalaque
- Zona Urbana



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA DE PENDIENTES DE LA QUEBRADA VOLCÁN EN QUINISTAQUILLAS

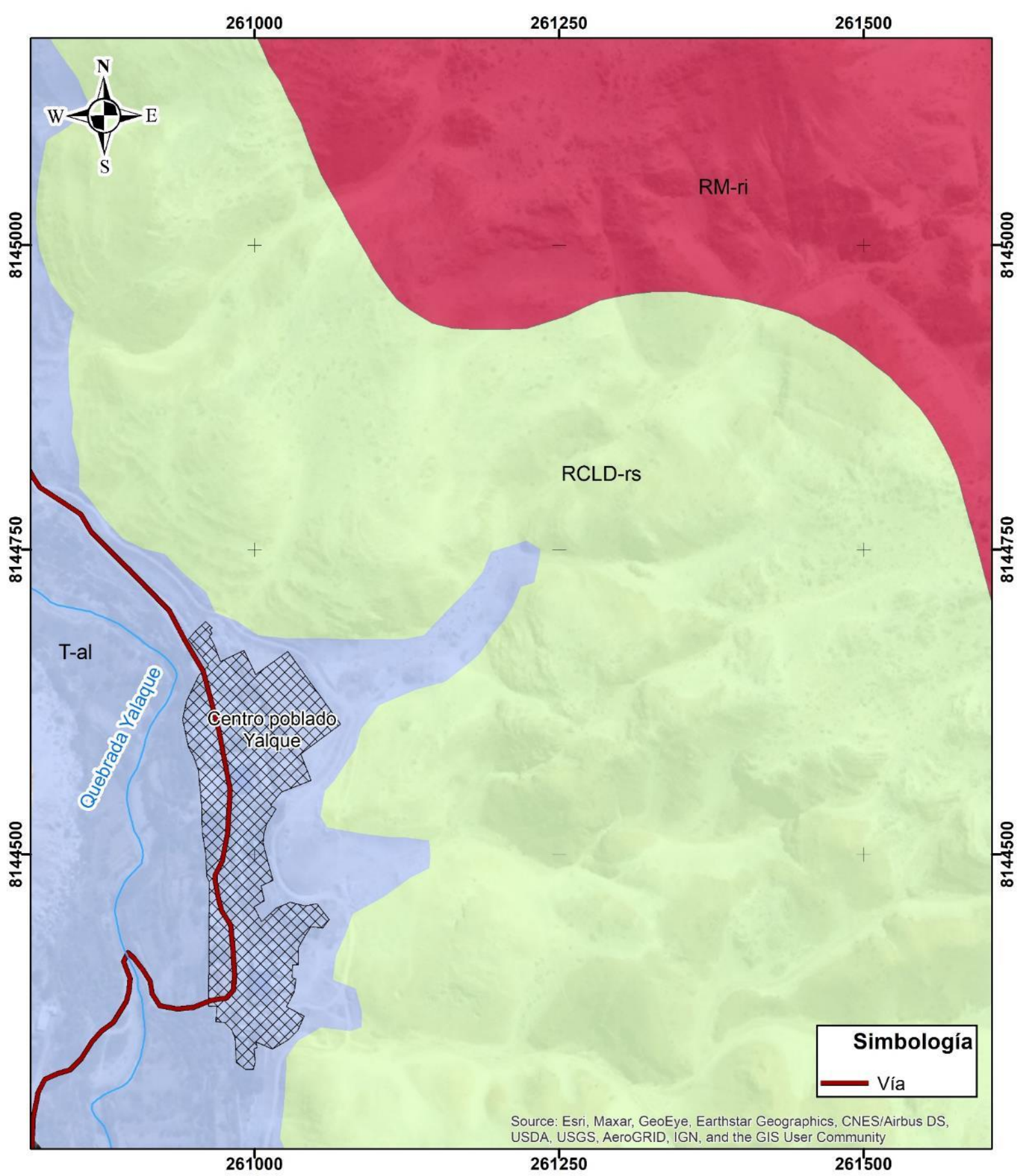
Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:10,000 0 75 150 300 m	Mapa N° 4

Pendientes (Grados)

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

Simbología

- Trocha carrozable
- Drenaje
- Área solicitada para inspección



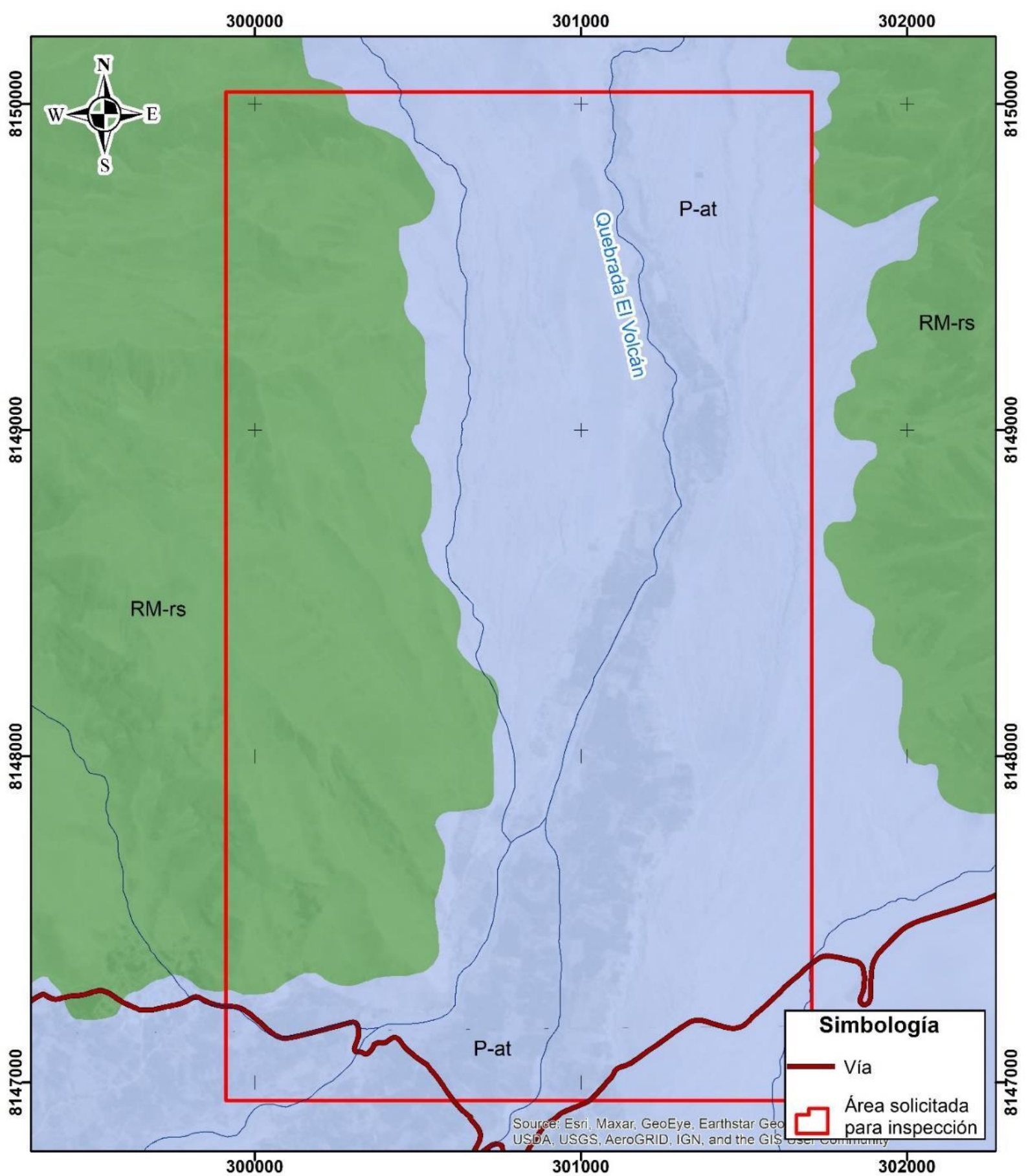
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL CENTRO POBLAOD YALAQUE

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:4,000 0 30 60 120 m	Mapa N° 5

Unidad geomorfológica

T-al	Terraza aluvial
RCLD-rs	Colina y lomada disectada en roca sedimentaria
RM-ri	Montaña en roca intrusiva



SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET

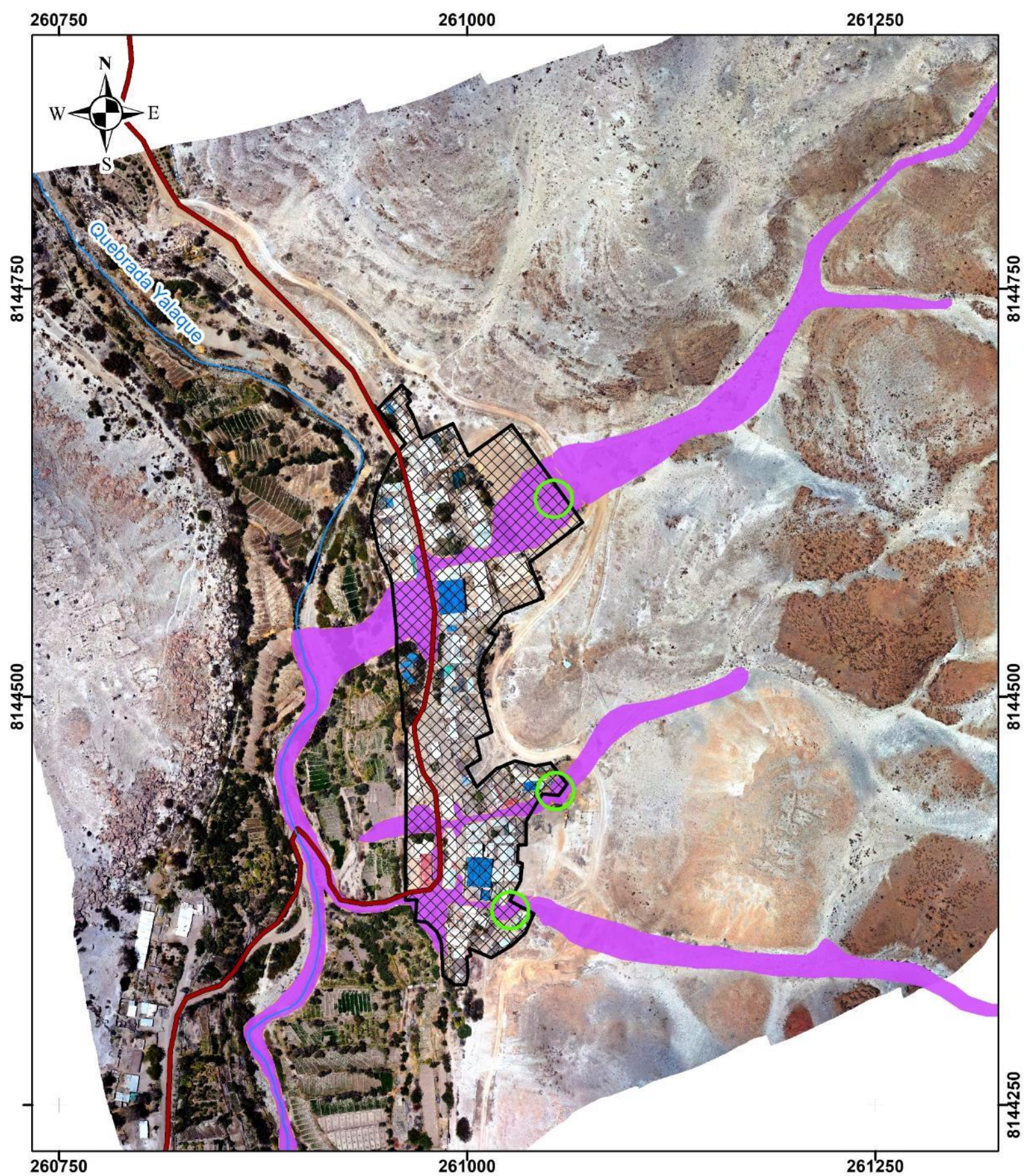
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA QUEBRADA EL VOLCÁN EN QUINISTAQUILLAS

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:15,000 0 115 230 460 m	Mapa N° 6

Unidad geomorfológica

RM-rs	Montaña en roca sedimentaria
P-at	Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA DE PELIGROS GEOLOGICOS POR FLUJO DE DETRITOS DEL CENTRO POBLAOD YALAQUE

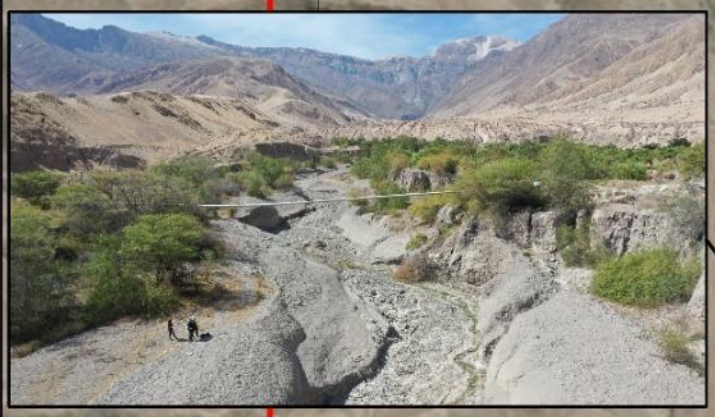
Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:3,000 0 20 40 80 m	Mapa N° 7

Peligros geológicos

- Flujo de detritos
- Flujo de detritos inferido
- Punto crítico

Simbología

- Trocha carrozable
- Drenaje
- Zona Urbana



Quebrada El Volcán

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

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

PELIGRO GEOLOGICO POR FLUJO DE DETRITOS (LAHARES) EN LA QUEBRADA EL VOLCÁN EN EL DISTRITO DE QUINISTAQUILLAS

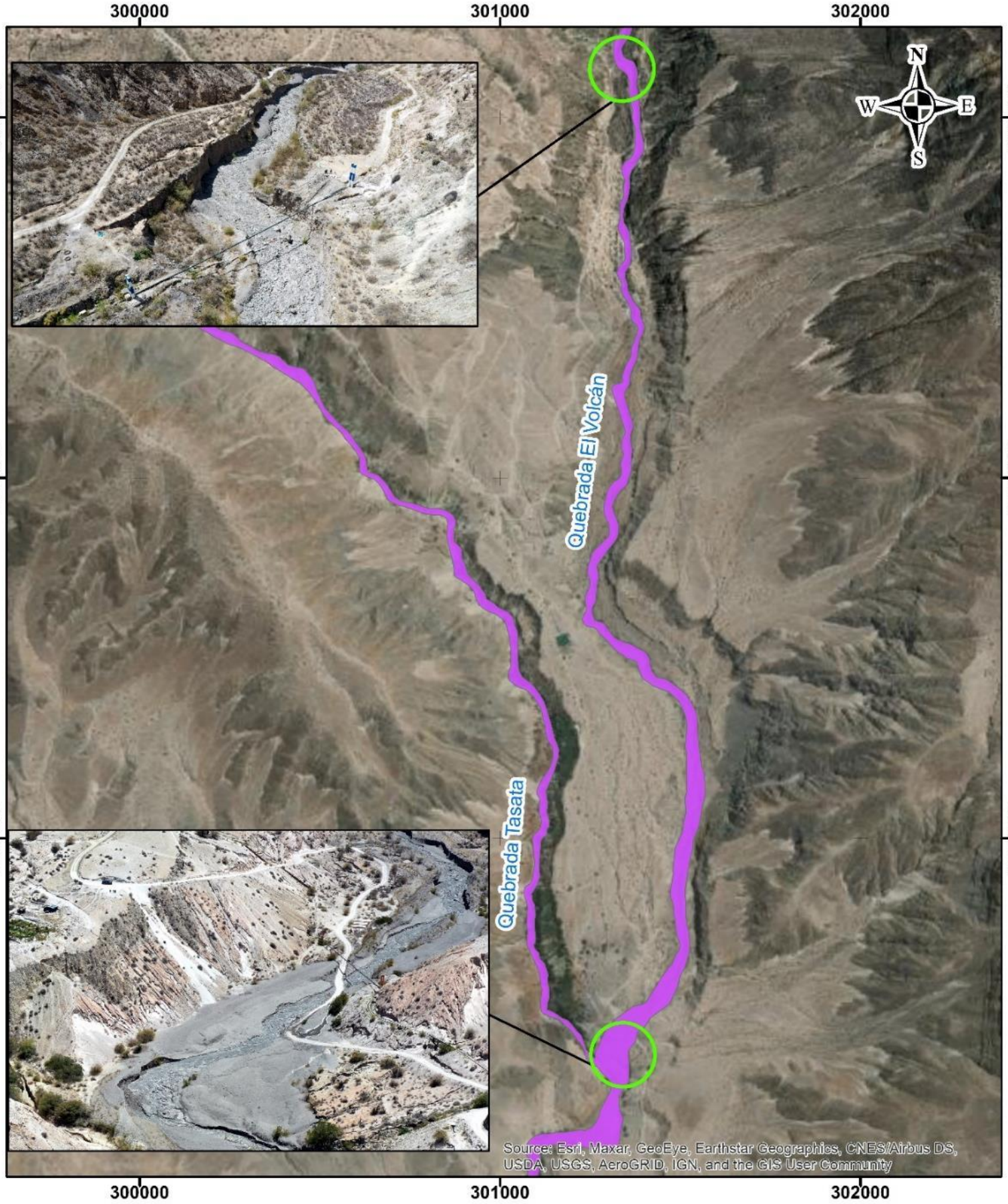
Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:14,000 0 110 220 440 m	Mapa N° 8

Peligros geológicos

- Flujo de detrito (lahares)
- Punto crítico

Simbología

- Vía
- Área solicitada para inspección
- Zona Urbana Viviendas



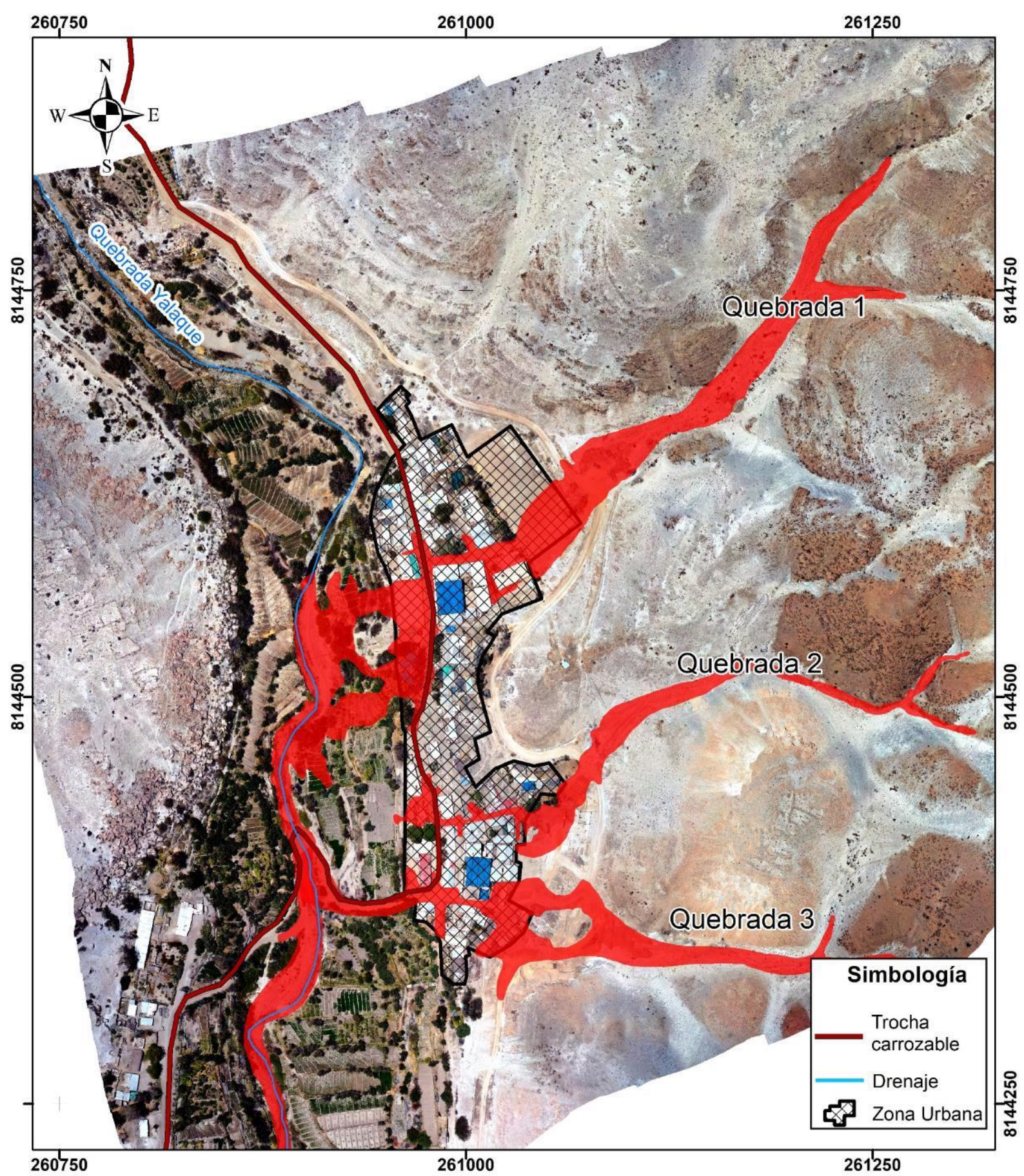
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

PELIGRO GEOLOGICO POR FLUJO DE DETRITOS (LAHARES) EN LA QUEBRADA EL VOLCÁN EN EL DISTRITO DE QUINISTAQUILLAS

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:14,000 0 110 220 440 m	Mapa N° 9

Peligros geológicos

- Flujo de detritos (lahares)
- Punto crítico



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

SIMULACIÓN DE FLUJO DE DETRITOS (LAHARES) EN EL CENTRO POBLADO DE YALAQUE, EN EL DISTRITO DE LA CAPILLA

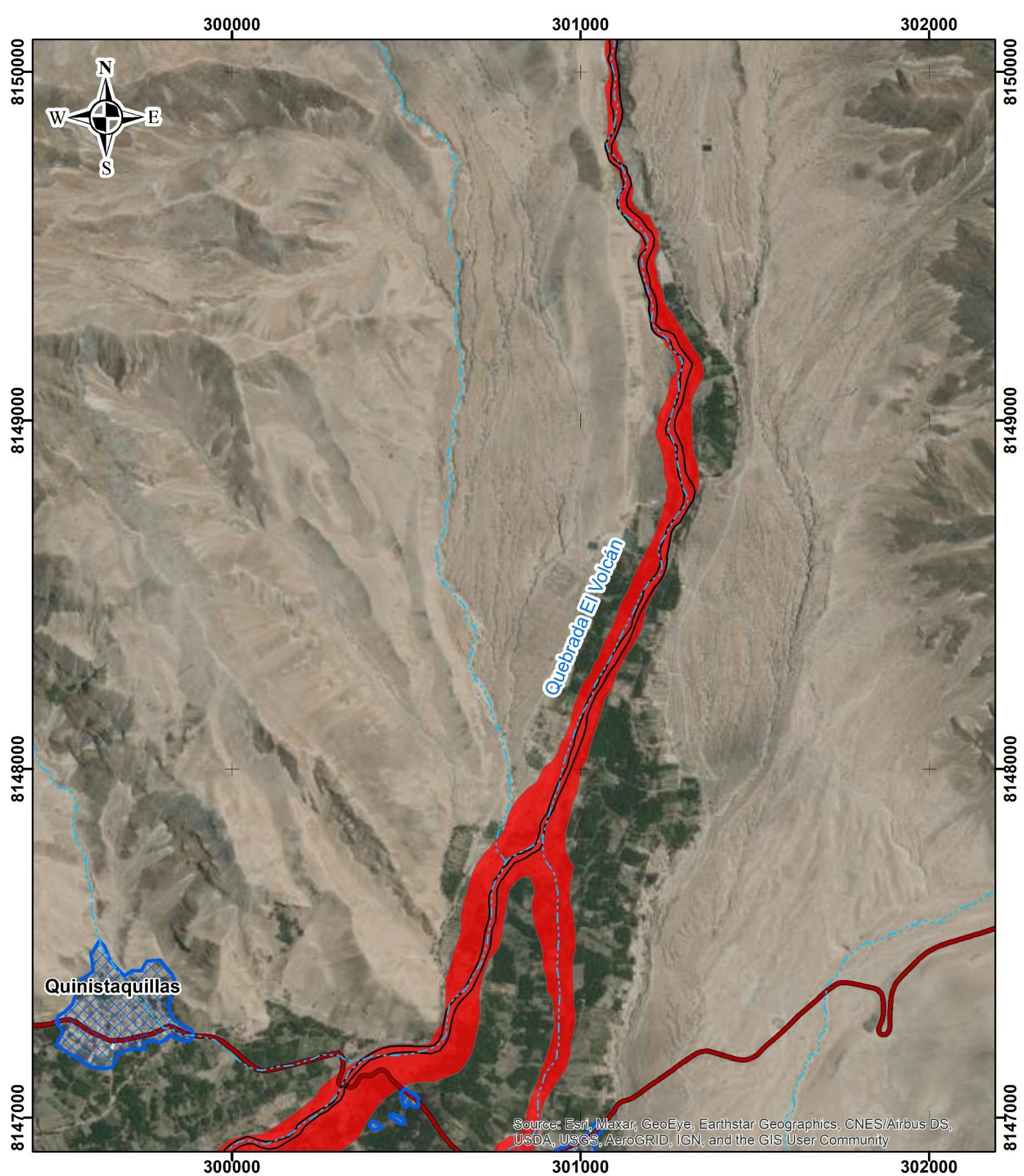
Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:3,000 0 20 40 80 m	Mapa N° 10

SIMULACIÓN DE FLUJO DE DETRITOS (LAHARES)

Flujo de detritos (lahares)

Volumen de flujo, empleado en la simulado de lahares

Quebrada 1,	30833 m^3
Quebrada 2,	3195 m^3
Quebrada 3,	8688 m^3



SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

SIMULACIÓN DE FLUJO DE DETRITOS (LAHARES) EN LA QUEBRADA EL VOLCÁN, EN EL DISTRITO DE QUINISTAQUILLAS

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:14,000 0 100 200 400 m	Mapa N°11

SIMULACIÓN DE FLUJO DE DETRITOS (LAHARES)

Flujo de detritos (lahares)

Volumen de flujo empleado en la simulado de lahares

2051936 m^3

Simbología

- Trocha carrozable
- Drenaje
- Zona Urbana
- Cauce actual de la quebrada