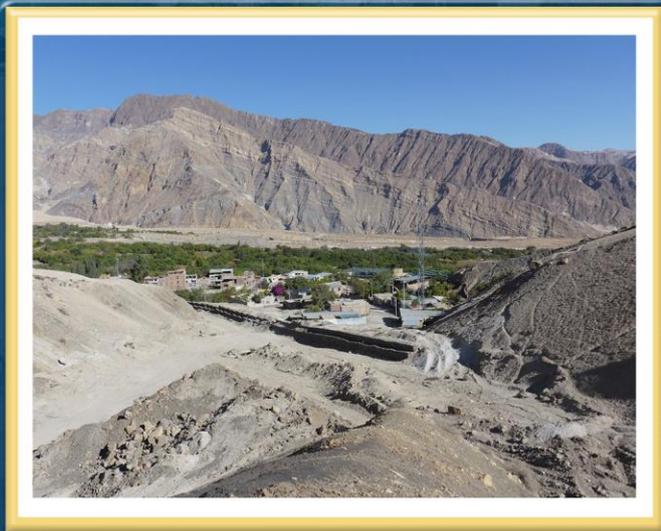


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7337

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE DETRITOS (LAHARES) EN LA ZONA URBANA DE QUINISTAQUILLAS

Departamento Moquegua
Provincia General Sánchez Cerro
Distrito Quinistaquillas



DICIEMBRE
2022

**EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE DETRITOS (LAHARES)
EN LA ZONA URBANA DE QUINISTAQUILLAS**

(Distrito Quinistaquillas, 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

Domingo Ramos Palomino

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 la zona urbana de Quinistaquillas. Distrito Quinistaquillas, provincia General Sánchez Cerro, Departamento Moquegua: Ingemmet, Informe Técnico N° A7337, 29p

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 | 4 |
| 1. DEFINICIONES | 5 |
| 2. ASPECTOS GEOLÓGICOS | 7 |
| 3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS | 8 |
| 3.1.1 Formación Labra (Js-la)..... | 8 |
| 3.1.2 Formación Gramadal (Js-gr)..... | 8 |
| 3.1.3 Depósitos aluviales (Qh-al)..... | 9 |
| 3.1.4 Depósito de caída de lapilli pómez | 10 |
| 3.1.5 Depósitos proluviales (Qh-pl) | 10 |
| 3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS | 11 |
| 4.1 Pendiente del terreno | 11 |
| 4.2 Unidades geomorfológicas | 11 |
| 4.2.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional o denudativos | 12 |
| 4.2.2 Geoformas de carácter depositacional o agradacional | 12 |
| 4. PELIGRO GEOLÓGICO POR FLUJO DE DETRITOS (LAHARES) | 13 |
| 5.1 Flujo de detritos (lahares) en la zona urbana de Quinistaquillas. | 13 |
| 5.2 Lahares históricos en la quebrada El Volcán | 16 |
| 5.3 Factores condicionantes | 17 |
| 5.4 Factores desencadenantes | 17 |
| 5. SIMULACIONES DE FLUJO DE DETRITOS (LAHARES) | 17 |
| 6.1 Volúmenes empleados en la simulación de flujos de detritos (lahares) | 18 |
| 6.2 Resultados de simulación de flujos de detritos (lahares) en sector quebrada Juinco | 21 |
| 6. CONCLUSIONES | 22 |
| 7. RECOMENDACIONES | 23 |
| ANEXO 1: MAPAS | 25 |

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos realizado en la zona urbana del distrito de Quinistaquillas, provincia 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, para los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

En la zona evaluada afloran areniscas cuarzosas, cuarcitas y lutitas moderadamente meteorizada y medianamente fracturada de las formaciones Labra y Gramadal. Por otro lado, la zona urbana de Quinistaquillas, se asienta sobre depósitos aluviales, conformados por bloques (15%), gravas (50%) en matriz fina (35%). Por sectores, se aprecia intercalado con depósitos proluviales (huaicos o flujos de detritos). Los cuales han formado un amplio abanico.

Los depósitos proluviales (lahares o flujos de detritos) son ligeramente consolidados, provenientes de la quebrada Juinco, conformado por bloques (5% - 10%), gravas (45% - 55%) y matriz areno-limoso (35% - 40%). En las laderas se aprecian depósitos de caída de lapilli pómez, producto de la erupción del volcán Huaynaputina de 1600 d.C., éstos últimos poseen fragmentos líticos hidrotermalizados, con pómez de color blanquecinas, el depósito es no consolidado.

Las unidades geomorfológicas están representadas por: montaña en roca sedimentaria y vertiente o piedemonte aluvio-torrencial.

El peligro geológico principal en Quinistaquillas corresponden a movimientos en masa de tipo flujo de detritos (lahares), y está condicionado por factores de sitio: características litológicas, geomorfológicas y pendiente de los terrenos.

En base a la interpretación geodinámica y simulaciones numéricas de flujos de detritos (lahares); los eventos de flujos en la quebrada Juinco, podría afectar viviendas que se encuentran aledañas a la calle canal S/N y calles Central y Los Olivos, además al parque Divino Niño; asimismo, a los terrenos de cultivo ubicados en la parte baja de la zona urbana.

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

Finalmente, se brinda recomendaciones que se consideran importantes que las autoridades competentes pongan en práctica, como: la señalización de las rutas de evacuación y limpieza de los cauces, construcción de 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. Además, realizar una evaluación de riesgos (EVAR), por flujos de detritos.

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 Quinistaquillas, según Oficio N°011-2022-A/MDQ; es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos por flujo de detritos en la zona urbana de 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 en Quinistaquillas. Los trabajos de campo se realizaron los días 16 y 17 de julio 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 áreas), 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 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 distrito de Quinistaquillas (zona urbana); 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., (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.
- b) 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 Juinco en el distrito de Quinistaquillas.
- c) 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.

- 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”. Desarrolla 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 de tefras.
- e) 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.
- f) 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
- g) 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 de tipo flujo de detritos en Quinistaquillas y en la vía que une Omate con Quinistaquillas (sector Campaya-Yaral)
- h) 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. Catalogan al poblado de Quinistaquillas como zona de alta susceptibilidad a movimientos en masa.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

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

Cuadro 1. Coordenadas del área evaluado en Quinistaquillas

| N° | UTM - WGS84 - Zona 19S | | Geográficas | |
|--|------------------------|---------|-------------|-------------|
| | Este | Norte | Latitud | Longitud |
| 1 | 299388 | 8147903 | -16.743207° | -70.881857° |
| 2 | 299968 | 8147910 | -16.743193° | -70.876418° |
| 3 | 299976 | 8147078 | -16.750711° | -70.876416° |
| 4 | 299396 | 8147071 | -16.750725° | -70.881856° |
| COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL | | | | |
| Zona evaluada | 299699 | 8147526 | -16.746640° | -70.878974° |

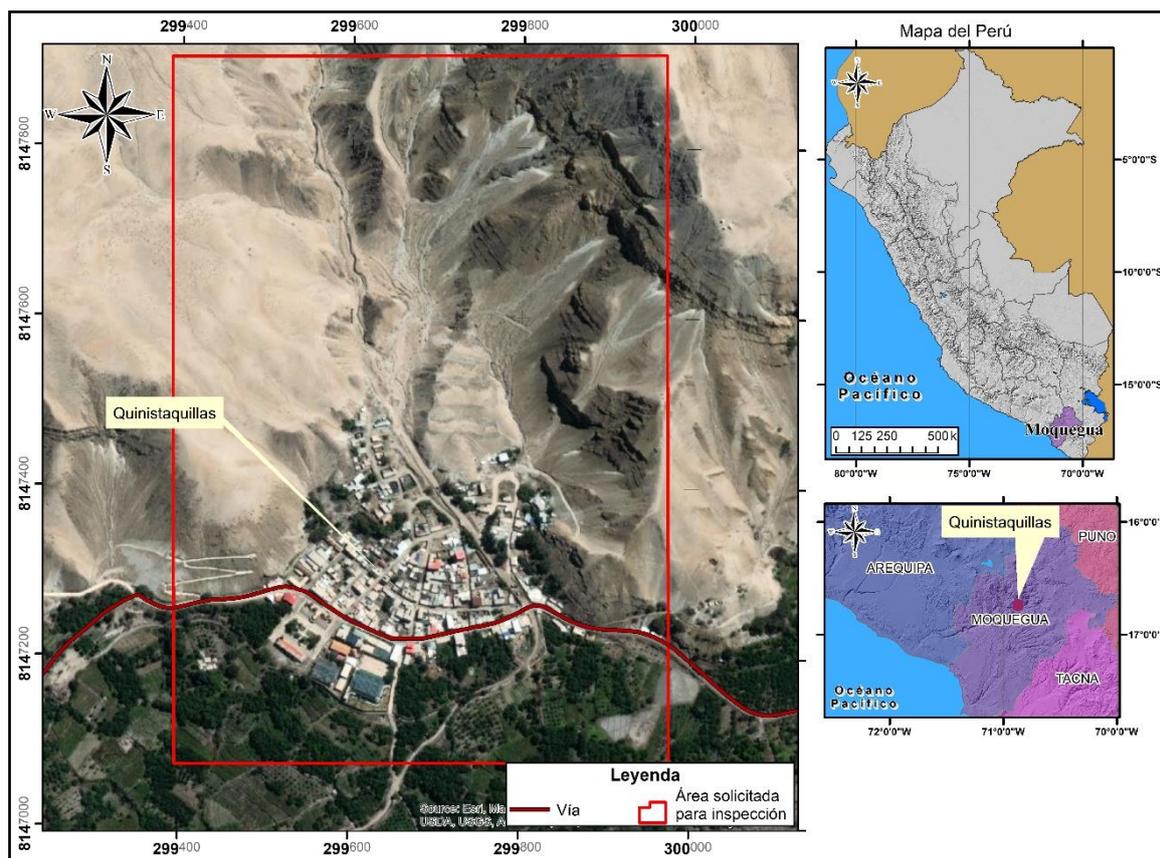


Figura 1. Ubicación del distrito Quinistaquillas

1.3.2. Accesibilidad

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

Cuadro 2. Rutas y accesos al sector evaluado en 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 | 1 hora y 15 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. En él se visualiza una data de una ventana de más de 25 años. Desde 1964 hasta el 2013, con datos de precipitación diaria. La mayor precipitación es de aproximadamente 54 mm.

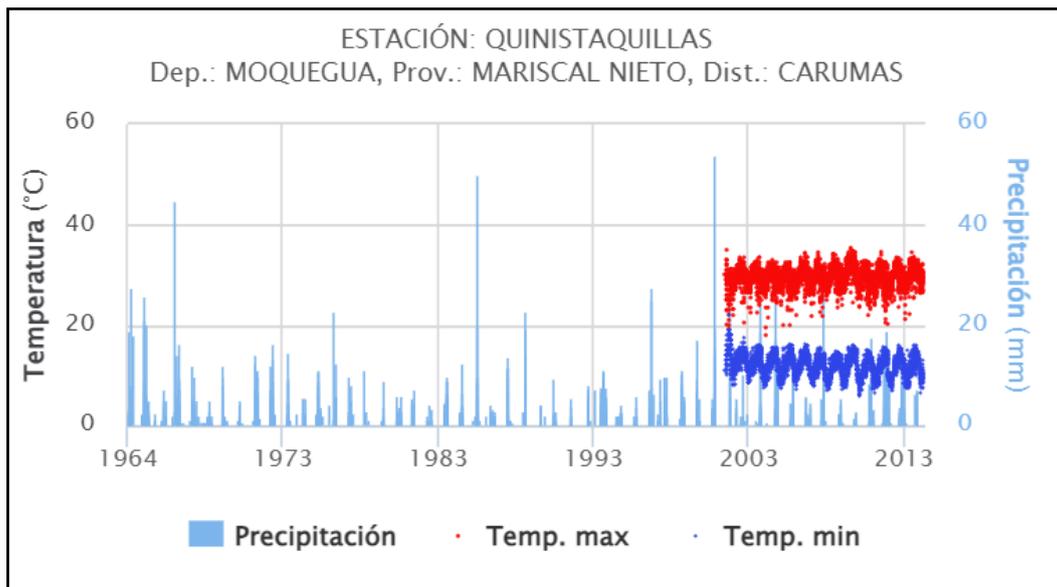


Gráfico 1. Precipitación diaria según la estación Quinistaquillas (Senamhi).

1.3.4. Población

El distrito de Quinistaquillas es el penúltimo distrito menos poblado de la provincia General Sánchez Cerro, de acuerdo con el XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda (CPV, 2017); suman 518 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) 96 personas; (18-59 años) 271 personas y (60 años a más) 151 personas, (gráfico 3).

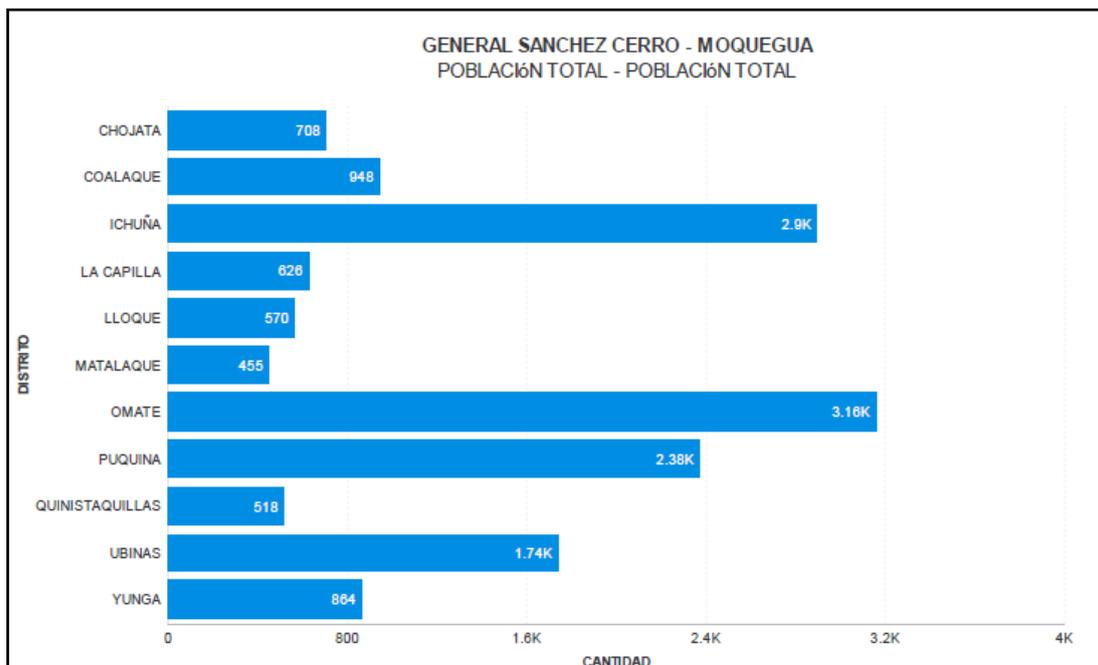


Gráfico 2. Población por distritos de la provincia General Sánchez Cerro.
<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/reporte-estadistico>

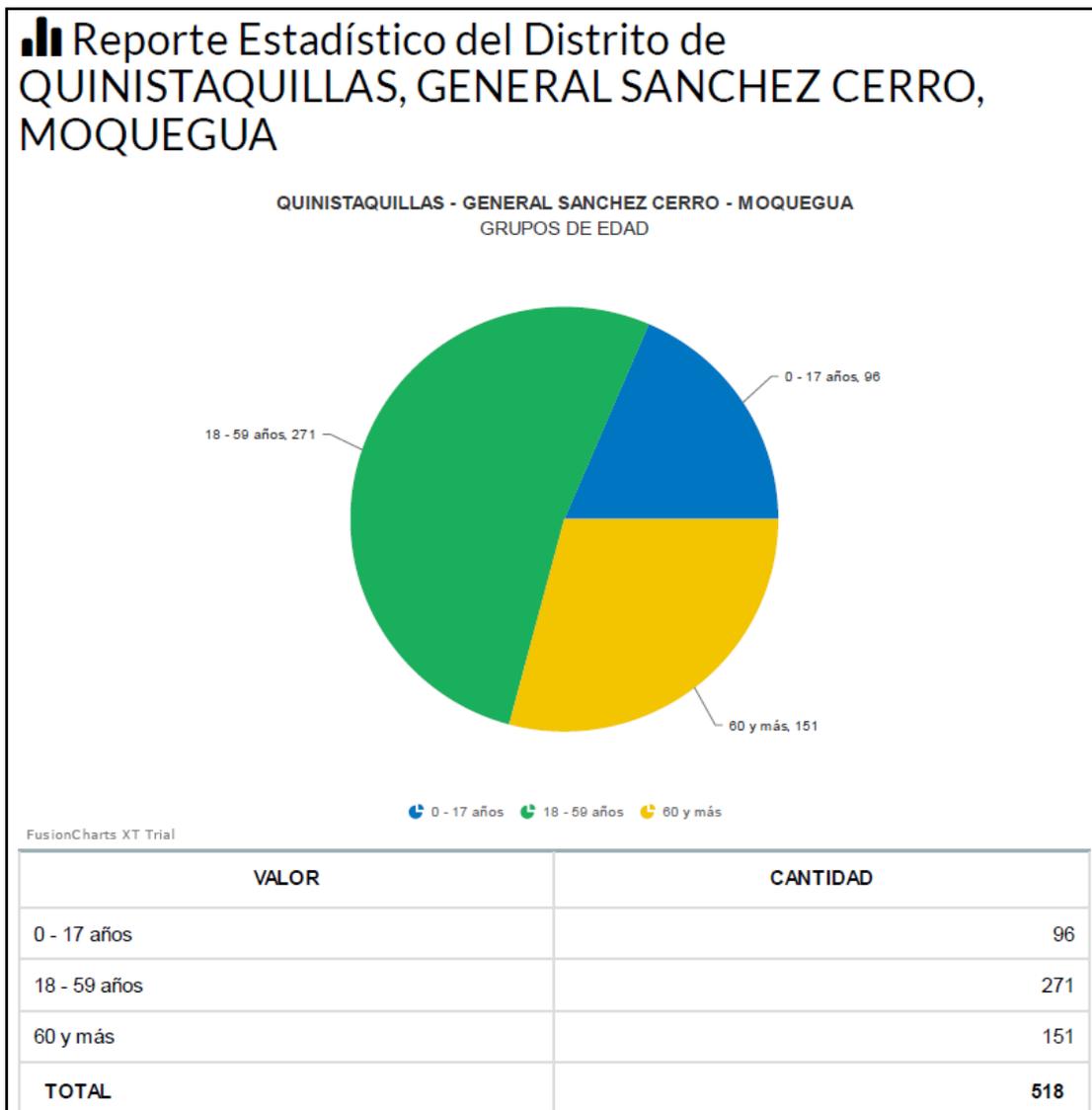


Gráfico 3. Población según grupo etario de Quinistaquillas "Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas." Instituto Nacional de Estadística e Informática-INEI (<https://cenepred.gob.pe/web/>)

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) 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 ál, 2016).

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

LAHARES: 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 Quinistaquillas, 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 - mapa 1).

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).

Esta unidad aflora en la zona central del área evaluada, extendiéndose hacia el norte por la quebrada Juinco, formando pequeñas colinas. Se presenta moderadamente meteorizada y medianamente fracturada, donde se generan desprendimientos de bloques, los cuales se acumulan en los cauces de las pequeñas quebradas, (figura 2).



Figura 2. Afloramiento Formación Labra. (Coordenadas UTM WGS 299931 E, 8147463 N).

3.1.2 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 de Quinistaquillas, se observan que la secuencia, se encuentra medianamente fracturada y moderadamente meteorizada (figura 3). En esta unidad se generan caída de rocas, cuyo material se acumula en los cauces de las quebradas.

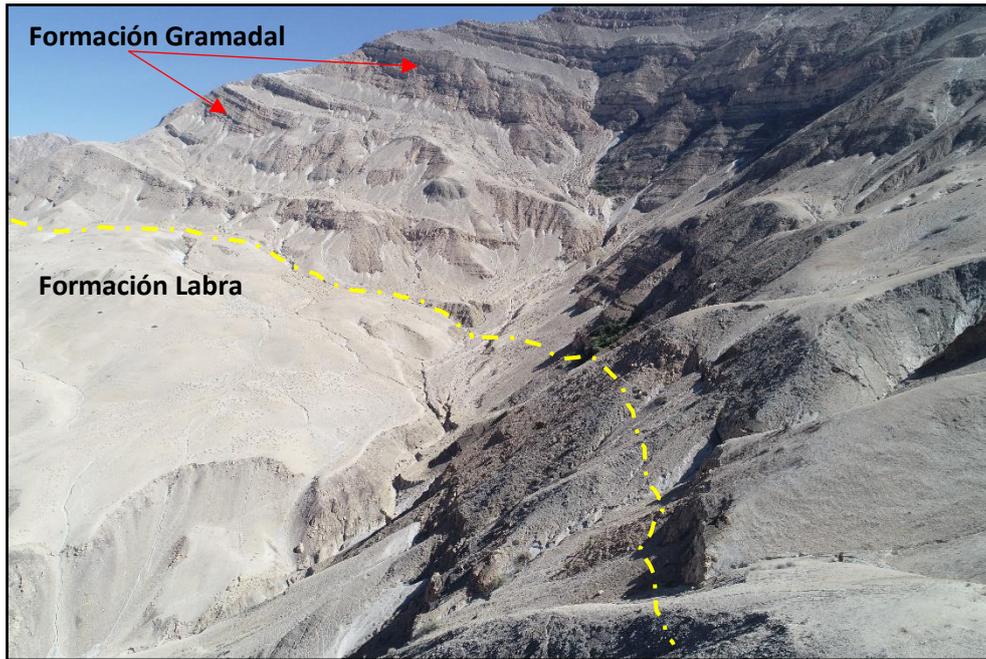


Figura 3. Formación Gramadal. (Coordenadas UTM WGS84 300577 E, 8147286 N).

3.1.3 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 (15%), gravas (50%) en escasa matriz fina (35%). Por sectores, se aprecia intercalado con depósitos proluviales (huaicos o flujos de detritos)

La zona urbana de Quinistaquillas está asentada en un abanico conformado por depósitos aluviales, (figura 4).

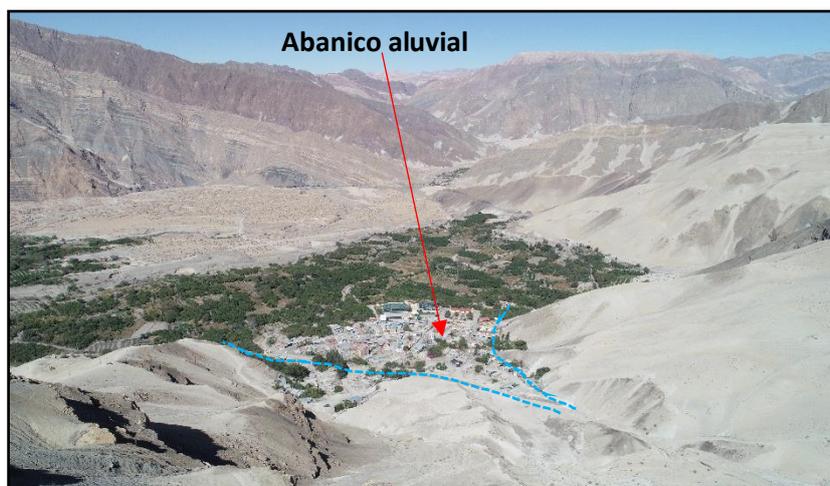


Figura 4. Abanico aluvial en Quinistaquillas (Coordenadas UTM WGS84 300577 E, 8147286 N).

3.1.4 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 hidrotermalizados, con pómez de color blanquecinas, y de tamaños centimétricos

En la parte alta de Quinistaquillas, estos se encuentran adosados en las laderas y se encuentran no consolidados, (figura 5).

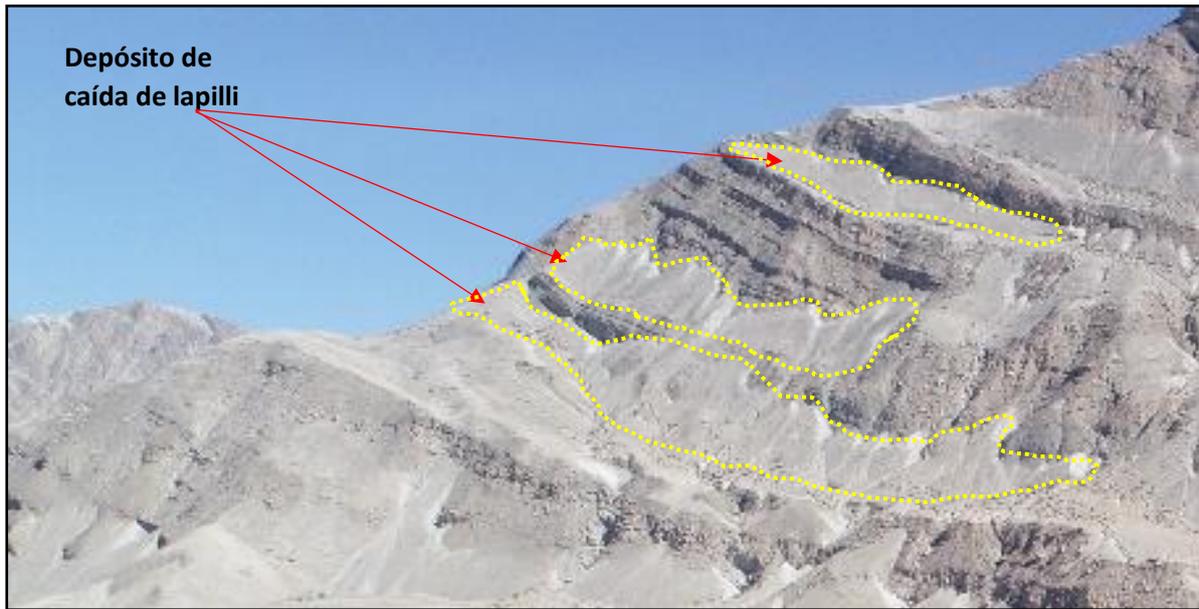


Figura 5. Depósito de caída de lapilli pómez. (Coordenadas UTM WGS84 298093 E, 8148690 N).

3.1.5 Depósitos proluviales (Qh-pl)

Los depósitos proluviales están representados por depósitos de flujos de detritos (lahares), provenientes de la quebrada Junco, conformado por bloques (5% - 10%), gravas (45% - 55%) y matriz areno-limoso (35% - 40). Los bloques más grandes poseen entre 25 a 30 cm de diámetro y representan aproximadamente el 1% de los bloques.

El lahar más reciente, posee espesores que van desde 0.5 a 3 m, y es rico en pómez.



Figura 6. Depósito de lahares recientes. (Coordenadas UTM WGS84 299617 E, 8147656 N).

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1 Pendiente del terreno

Quinistaquillas presenta pendientes que varían de suavemente a moderado ($1^\circ - 15^\circ$), una zona media de las laderas donde se observa cambios a terrenos con pendiente fuerte a muy fuertes ($15^\circ - 45^\circ$), en algunos sectores se aprecian pendientes muy escarpadas ($> 45^\circ$). (figura 7).

Se elaboró un mapa de pendientes en base al modelo de elevación digital (DEM), de 50 cm de resolución, elaborado a partir de fotogrametría con dron (anexo 1 - mapa 3).

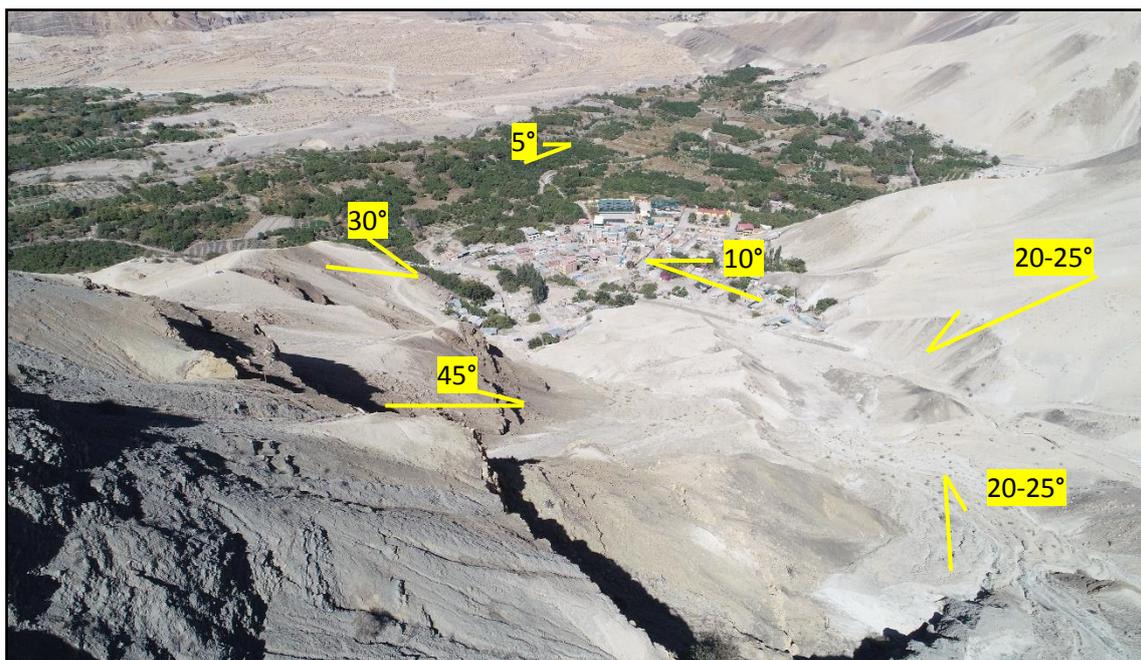


Figura 7. Muestra las pendientes en Quinistaquillas

Cuadro 3. Clasificación de pendientes.

| Rangos de pendientes del terreno ($^\circ$) | 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:

- Geformas de carácter tectónico degradacional o denudativos
- Geformas de carácter depositacional o agradacional

La evolución del relieve en Quinistaquillas, se presenta en el mapa geomorfológico (anexo 1 - 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:

4.2.2.1 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 desde su línea base, mayor a 300 m, con laderas que presentan anticlinales y sinclinales. Presenta pendientes erosionadas que varían desde fuertes hasta acantilados (25° - 45°). Litológicamente está compuesta por secuencias sedimentarias de 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.

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 erosionales que afectan las geoformas anteriores; se tienen las siguientes unidades y subunidades:

4.2.2.1 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. PELIGRO GEOLÓGICO POR FLUJO DE DETRITOS (LAHARES)

El peligro geológico evaluado en la zona urbana de la Quinistaquillas corresponde a movimientos en masa de tipo flujo de detritos (lahares) (Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007). Estos procesos son resultado 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.

El área evaluada se encuentra en el eje de dispersión de la caída pliniana de lapilli pómez, de la erupción de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina (figuras 8). 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 de detritos (lahares).

Se describirá estos eventos de flujo de detritos (lahares) en la Quebrada Juinco y El Volcán que ponen en peligro a la zona de Quinistaquillas.

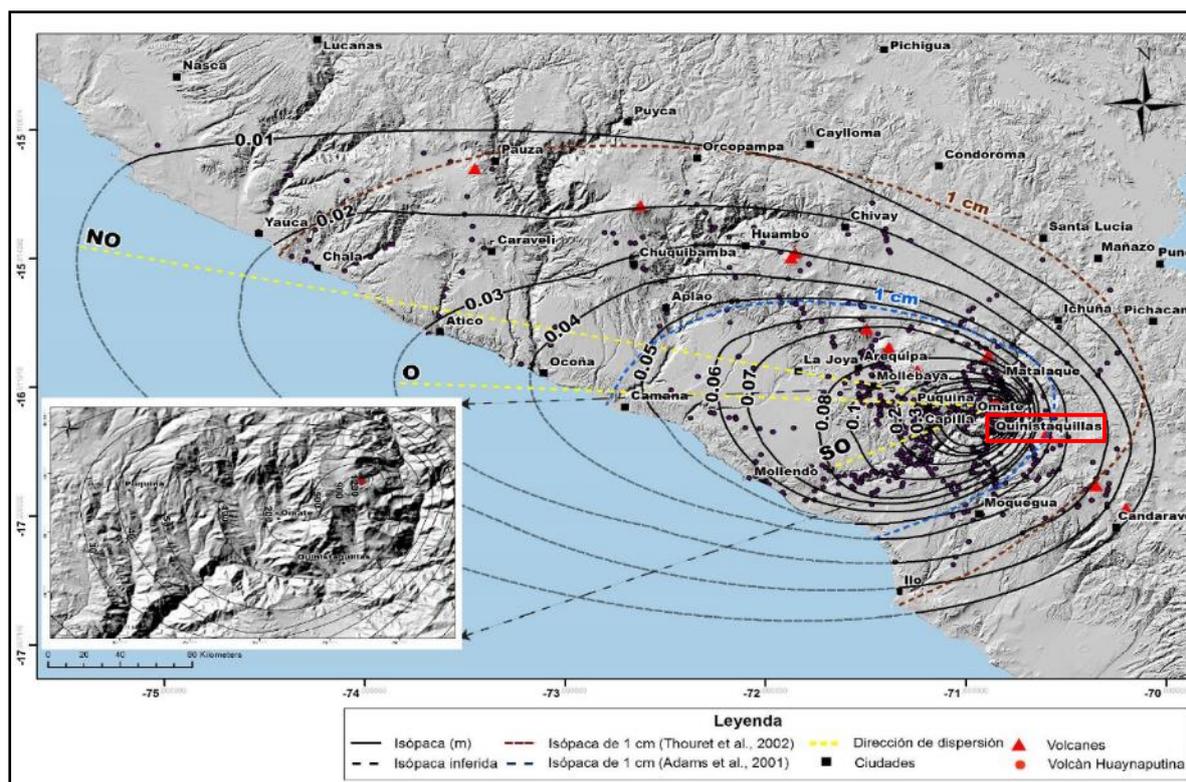


Figura 8. Mapa de isópacas del depósito de caída pliniana, donde se muestra la variación del espesor (cm) con la distancia respecto al cráter del volcán Huaynaputina, S. Japura., (2018).

5.1 Flujo de detritos (lahares) en la zona urbana de Quinistaquillas.

Se identificó una quebrada, con características favorables para la generación de flujos de detritos (lahares), la denominada “Juinco”, ubicada en la parte alta de la zona urbana de Quinistaquillas (figura 9), rellena por depósitos consolidados de lahares, y laderas cubiertas

por depósitos de lapilli pómez, originado por la erupción de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina, ubicado a 15 k al Norte de Quinistaquillas. Asimismo, en la quebrada se aprecia bloques de areniscas de la Formación Gramadal, los cuales caen desde las partes altas y se depositan en el cauce de la quebrada. Se realizó la cartografía de los flujos de detritos. (anexo 1 - mapa 4).

La quebrada Juinco, que cruza la zona urbana de Quinistaquillas, nace sobre los 2430 m y presenta 3.55 km de recorrido, hasta su desembocadura en la quebrada El Volcán.

La cuenca de la quebrada está conformada por un drenaje dendrítico, (figuras 9 y 11). Sin embargo, se observa que el cauce de la quebrada se pierde al ingresar a la zona urbana, y ha sido encausado mediante la construcción de muros de gaviones, por una calle-canal sin nombre, (figura 12), que cruza las dos calles principales de Quinistaquillas, Central y Los Olivos, y muy cerca se ubica el parque Divino Niño, por lo que este sector se considera crítico, debido a que los flujos pueden desviarse por las calles antes mencionadas.



Figura 9. Vista de quebrada Juinco y zona urbana de Quinistaquillas.

En la quebrada Juinco se aprecian tres depósitos de lahares potentes, con secuencias de hasta 3 m y cuyos depósitos se encuentran consolidados, endurecidos, y de coloración blanquecina, por el contenido de pómez y lapilli pómez y ceniza volcánica; correspondientes a los primeros eventos producido por la erupción del 1600 d.C. del volcán Huaynaputina.

A continuación, se describen desde la base al techo.

El depósito de lahar (1). Está conformado por gravas y gravillas (65 %), dentro de una matriz areno-limoso, que representa el (35 %). El nivel presenta 70 cm de espesor, y se encuentra consolidado.

El depósito de lahar (2). Compuesto por bloques (45 %), gravas (40 %) y matriz areno-limoso (15 %). Los bloques son angulosos, proviene de areniscas de la Formación Gramadal, los bloques de mayor tamaño son de hasta 23 cm. Es un nivel que presenta 90 cm de potencia, se encuentra consolidado.

El depósito del lahar (3). Se ubica al tope de la secuencia, caracterizado por su color blanquecino, debido al alto contenido de bloques de pómez, lapilli de pómez y ceniza volcánica. El depósito está compuesto por bloques (25 %), gravas (35 %), en matriz areno-limoso (40 %) (figura 10). Este nivel posee 130 cm de potencia, y se encuentra consolidado.

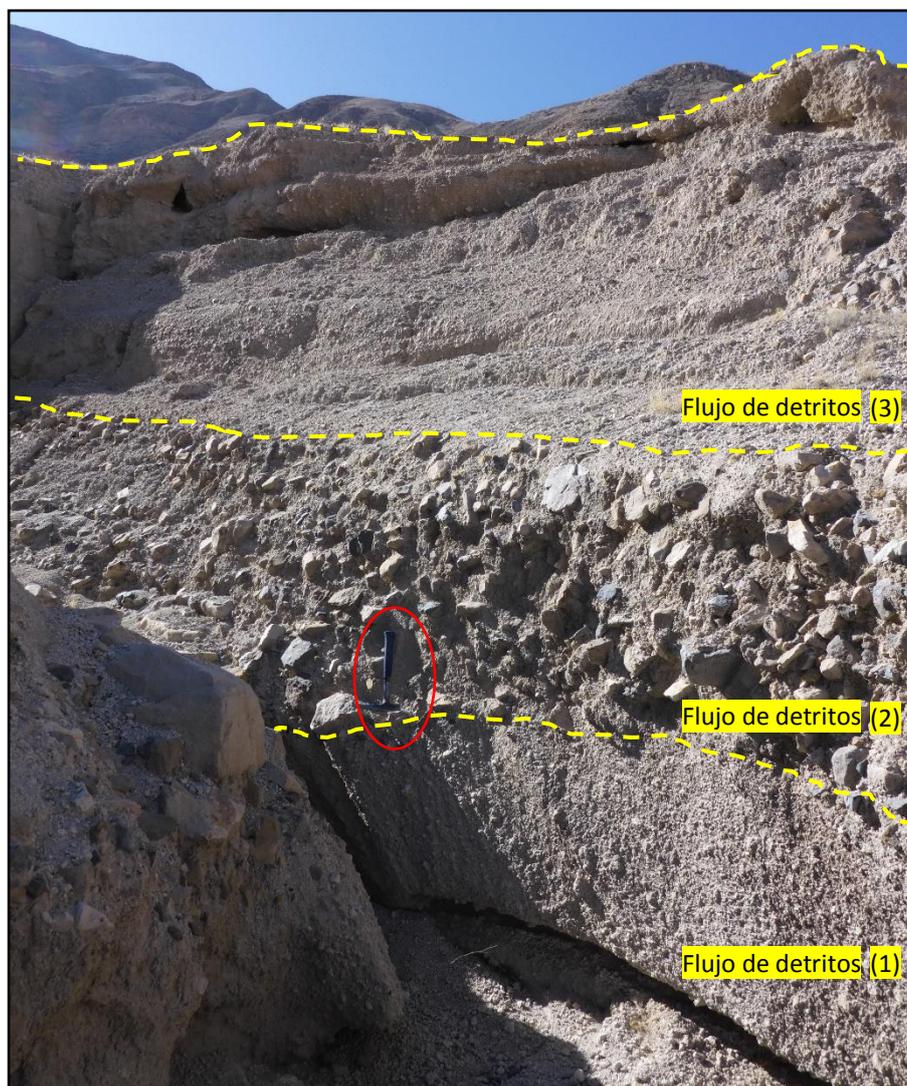


Figura 10. Secuencias de depósito de lahares en la quebrada Juinco (Flujo de detritos 1, Flujo de detritos 2 y Flujo de detritos 3 (Coordenadas UTM WGS84 261555 E, 8144917 N)

Parte de las viviendas de Quinistaquillas, se asientan sobre un abanico aluvial-proluvial, como se muestra en la figura 11.



Figura 11. Principales calles que podrían ser afectadas en Quinistaquillas.



Figura 12. Calle canal sin nombre por donde se canaliza la quebrada Juinco.

5.2 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 Quinistaquillas.

Cuadro 4. Resumen de los últimos flujos de detritos (lahares) emplazados en la quebrada El Volcán

| AÑO DE OCURRENCIA DE LAHARES/SECTOR | REPORTE/INFORME |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| 16 de marzo del 2022 | N° 2857-19/3/2022/COEN-INDECI |
| 11, 20, 21 Y 24 de febrero del 2020 | N° 060-10/6/2020/COEN-INDECI |
| | |

Fuente: recopilación propia.

5.3 Factores condicionantes

- Presencia de rocas moderadamente meteorizada y medianamente fracturada, de las Formaciones Labra y Gramadal, depósitos no consolidados de caída de lapilli pómez correspondientes a la erupción del 1600 d.C. del volcán Huaynaputina; susceptibles hacer removidos
- Las pendientes de los terrenos varían de suavemente a moderado (1° - 15°), a una zona media de las laderas donde se observa cambios a terrenos con pendiente fuerte a muy fuertes (15° - 45°), en algunos sectores se aprecian pendientes muy escarpados (> 45°).

5.4 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 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. Según la estación Quinistaquillas (Senamhi), se presentan precipitaciones de hasta 54 mm.
- 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.

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

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

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

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 - "Inverson y Denlinger (2001)"

En Quinistaquillas se empleó un DEM de 0.5 m. construido a partir de fotogrametría con dron.

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.

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

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 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 13), cuyo límite horizontal está dado por el divortium aquarium 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).

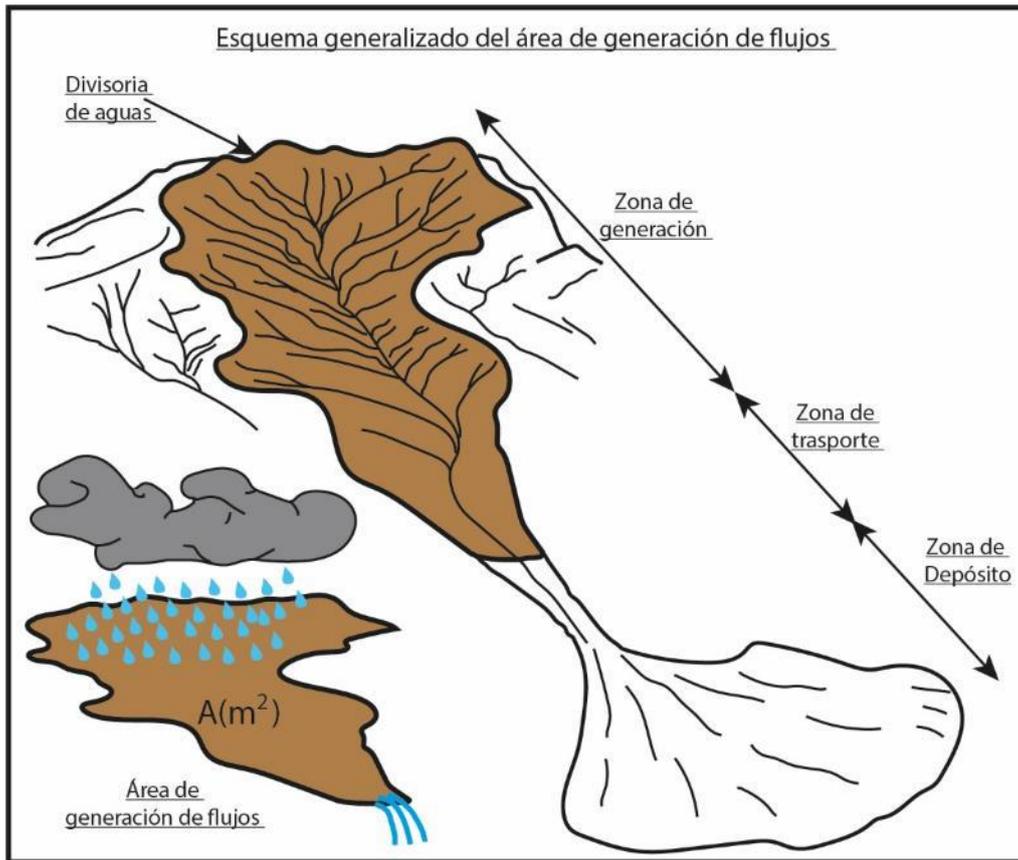


Figura 13. Esquema generalizado del área de generación de un flujo de detritos y lahares secundarios (Soncco., et al 2021).

El volumen de agua se representa por:

$$V_{\text{agua}} = P_n * A^2 \quad (2)$$

Donde:

- P_n (m), precipitación neta
- A (m²), área de zona de generación de flujos

En base al porcentaje de agua y sedimentos de un flujo de detritos o lahares, se calcula el volumen total. Si tomamos la relación de 60 % de agua y 40 % de sedimentos.

$$V_{\text{agua}} = 60\% V_{\text{flujo}} = P_n * A^2 \quad (3)$$

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 Juinco, se empleó 54 mm de precipitación. Además, se tomó la relación de 60% de agua y 40% de sedimentos.

PRECIPITACIÓN NETA MEDIANTE EL MÉTODO DEL S.C.S.

Parte del agua de lluvia tiende a infiltrarse, debido a esto se tiene que separar dicha precipitación infiltrada, denominada (abstracción). El exceso de precipitación o precipitación neta es la precipitación que no se retiene en la superficie y no se infiltra en el suelo. Para nuestro caso es esta fracción, denominada precipitación neta, la cual genera la escorrentía directa.

El suelo retiene una cierta cantidad de caída de lluvia al principio, y después las abstracciones van disminuyendo progresivamente (figura 14).

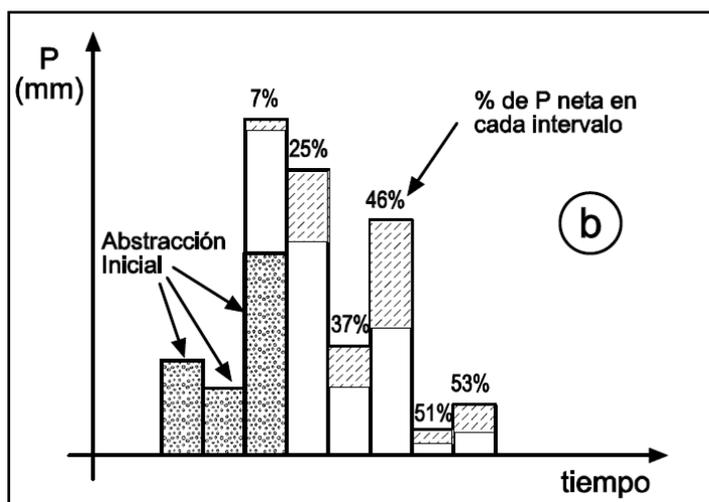


Figura 14. Después de un umbral inicial (o abstracción inicial), el porcentaje de precipitación neta aumenta progresivamente. Sánchez, F. J. (2011).

El cálculo de la precipitación neta fue establecido empíricamente por el Servicio de Conservación de Suelos (S.C.S), USA (Mockus, V., 1964).

La clave es la precipitación inicial que no produce escorrentía directa. Esta magnitud se denomina abstracción inicial o umbral de escorrentía. Para su evaluación se emplea tablas en función del tipo de suelo (arenosos, arcilloso, etc), uso del suelo (bosques, cultivos, etc), pendientes, etc. Las tablas americanas proporcionan valores de CN (“curve number”, que es una función de la abstracción inicial), mientras que las tablas españolas indican valores del umbral de escorrentía (P_o).

El cálculo del umbral de escorrentía, P_o (o “abstracción inicial”). Es un dato que aparece tabulando en función del uso de la superficie, de la pendiente, del tipo de suelos (A, B, C o D, de más arenoso y permeable a más arcilloso e impermeable). Las tablas de P_o pueden modificarse si los días anteriores han sido muy secos o húmedos.

Para el cálculo de P neta. Se utiliza la expresión siguiente. (Mockus, V., 1964).

$$P_n = \frac{(P - P_o)^2}{P + 4P_o} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

- P = precipitación total registrada (Senamhi)
- Pn = precipitación neta

- P_o = abstracción inicial o umbral de escorrentía.

Ahora que sabemos cómo determinar la precipitación neta P_n (m), continuamos a partir de la ecuación 3.

$$V_{\text{agua}} = 60\% V_{\text{flujos}} = P_n * A^2$$

$$V_{\text{flujos}} = P_n * A * (X\%)^{-1}$$

Donde:

- P_n (m), precipitación neta
- A (m²), área de zona de generación de flujos
- X , porcentaje de agua asumido por el investigador.

En la quebrada Juinco se calculó 272601 m³, de flujo de detritos, para un área de generación de lahares de 4150322 m².

6.2 Resultados de simulación de flujos de detritos (lahares) en sector quebrada Juinco

De acuerdo con los resultados de la simulación para futuros flujos de detritos (lahares) en la quebrada Juinco, que cruza la zona urbana del distrito de Quinistaquillas, se muestran las zonas que podrían ser afectadas, (figura 15).

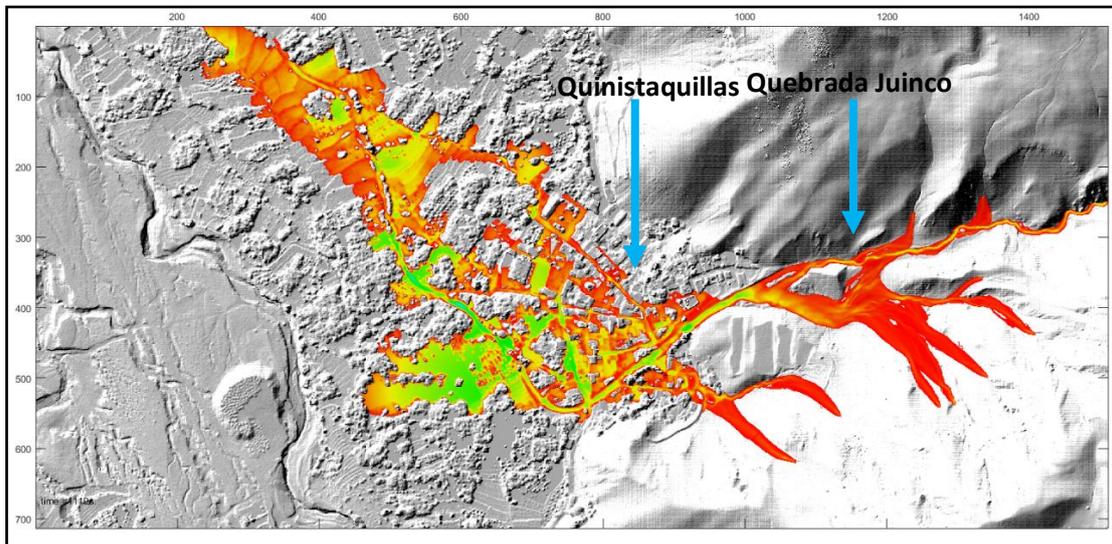


Figura 15. Simulación de flujos de detritos (lahares) en la quebrada El Volcán.

Según la simulación, las infraestructuras afectadas son, viviendas aledañas a la calle canal sin nombre que desciende de la quebrada Juinco, viviendas aledañas a las calles Central y los Olivos, y el parque Divino Niño. En la parte baja, los terrenos agrícolas serían afectados.

7. CONCLUSIONES

1. En la zona evaluada afloran rocas moderadamente meteorizada y medianamente fracturada de las formaciones Labra y Gramadal, la primera conformada por areniscas cuarzosas, cuarcitas y lutitas, la segunda por areniscas cuarzosas. Asimismo, en la zona se aprecian depósitos aluviales, no consolidados, contienen bloques (15%), gravas (50%) en matriz fina (35%). Por sectores, se aprecia intercalado con depósitos proluviales (huaicos o flujos de detritos)
2. En las laderas se aprecia el depósito de caída de lapilli pómez, producto de la erupción del volcán Huaynaputina de 1600 d.C., posee líticos hidrotermalizados, con pómez de color blanquecinas. En la quebrada Juinco se observan un depósito de lahar, con bloques (5% - 10%), gravas (45% - 55%) y matriz areno-limoso (35% - 40).
3. Las unidades geomorfológicas están representadas por montaña en roca sedimentaria y vertiente o piedemonte aluvio-torrencial.
4. El peligro geológico principal en Quinistaquillas es por flujo de detritos (lahares), condicionadas por:
 - a) Rocas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas de las formaciones Labra y Gramadal, y depósitos adosados, no consolidados de la caída de lapilli pómez, correspondiente a la erupción del 1600 d.C. del volcán Huaynaputina.
 - b) Pendientes de terrenos, que varían de suavemente inclinado a moderado (1° - 15°), fuerte a muy fuertes (15° - 45°), en algunos sectores se aprecian muy escarpados (> 45°).
 - c) Se tiene geformas montaña en roca sedimentaria y vertiente o piedemonte aluvio-torrencial.
5. En base a la interpretación geodinámica y simulaciones numéricas de flujos de detritos (lahares), podrían afectar viviendas aledañas a la calle canal sin nombre, que desciende de la quebrada Juinco, viviendas aledañas a las calles Central y Los Olivos, el parque Divino Niño y terrenos agrícolas ubicadas en la parte baja de la zona urbana.
6. Se concluye que, el sector evaluado en el distrito de Quinistaquillas, es considerado de **Peligro Alto**, que puede ser afectado por flujo de detritos (lahares), que se pueden dar en temporadas de lluvia intensas y/o prolongadas.

8. RECOMENDACIONES

1. Colocar disipadores de energía en el cauce de la quebrada Juinco, 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. Canalizar el cauce de la quebrada Juinco, hasta su desembocadura en la quebrada El Volcán. Las dimensiones del canal deben ser calculados empleando escenarios de lluvias extremas en el área.
3. Establecer sistemas de alerta temprana. Este podría alertar con tiempo el descenso de flujos de detritos (lahares) en la quebrada Juinco.
4. 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.
5. Realizar una evaluación de riesgos (EVAR), por flujos de detritos.

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, Transportati3n 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 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 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>

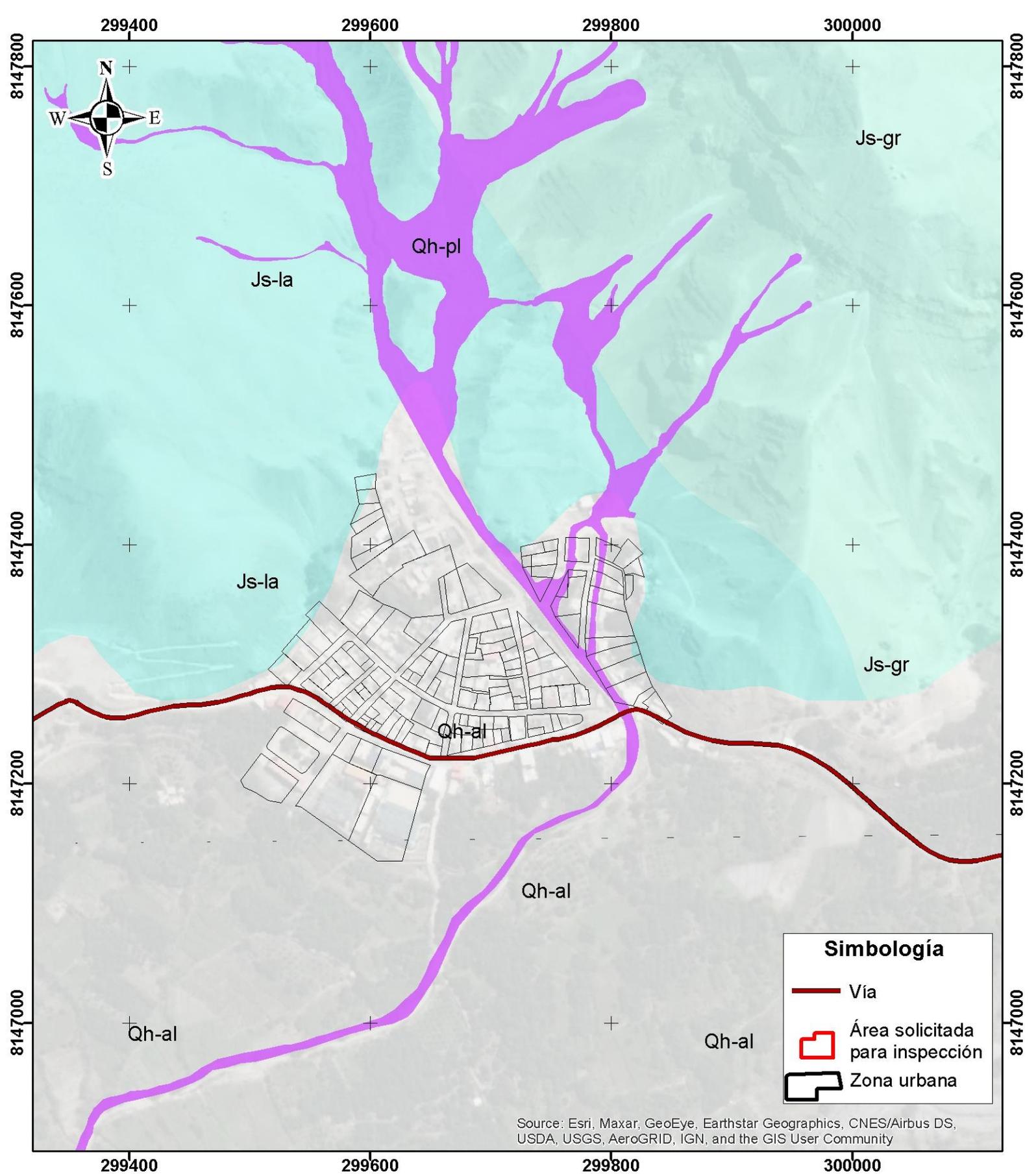
ANEXO 1: MAPAS

Mapa 1: Geología del distrito de Quinistaquillas, modificado de W. García (1998)

Mapa 2: Pendiente del terreno en el distrito de Quinistaquillas a partir de un modelo digital de elevaciones de 0.5 m de resolución. Fuente: Elaboración Propia

Mapa 3: Geomorfología del sector evaluado, en el distrito de Quinistaquillas a partir de la clasificación de unidades geomorfológicas utilizadas en los estudios del Ingemmet. Fuente: Elaboración Propia

Mapa 4: Cartografía de peligros geológicos por flujo de detritos (lahares) en Quinistaquillas.” parte alta” Fuente: Elaboración Propia.



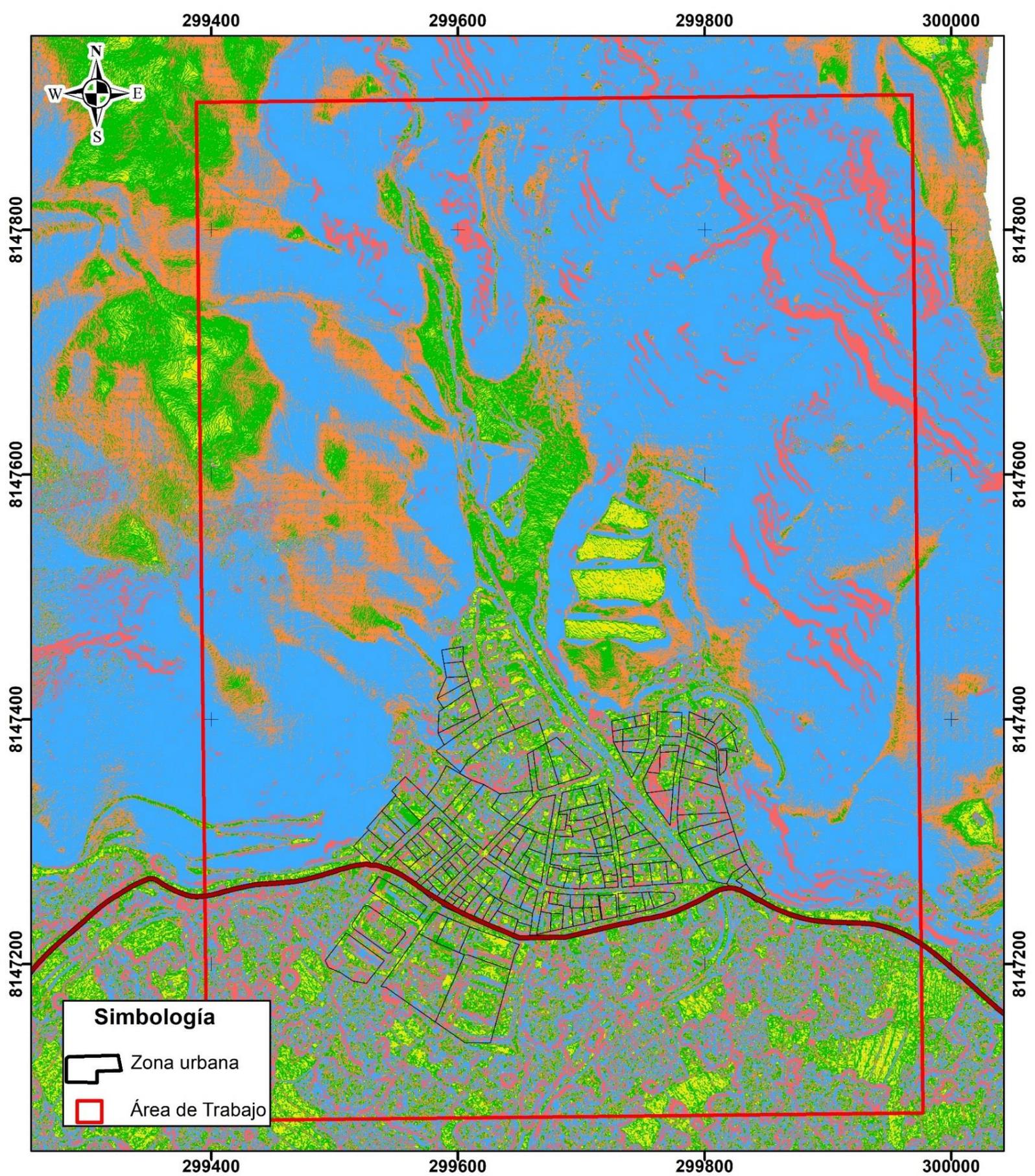
Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA GEOLÓGICO DE QUINISTAQUILLAS

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

| Unidad litoestratigráfica | |
|---------------------------|--|
| Qh-pl | Depósitos de flujos |
| Qh-al | Gravas, arenas, terrazas y conos aluviales |
| Js-gr | Calizas grises fosilíferas, areniscas cuarzosas y lutitas bituminosas. |
| Js-la | Areniscas cuarzosas, con estratos tabulares, oblicuos, sesgadas con intercalaciones de lutitas bituminosas |



Simbología

 Zona urbana

 Área de Trabajo

SECTOR ENERGÍA Y MINAS

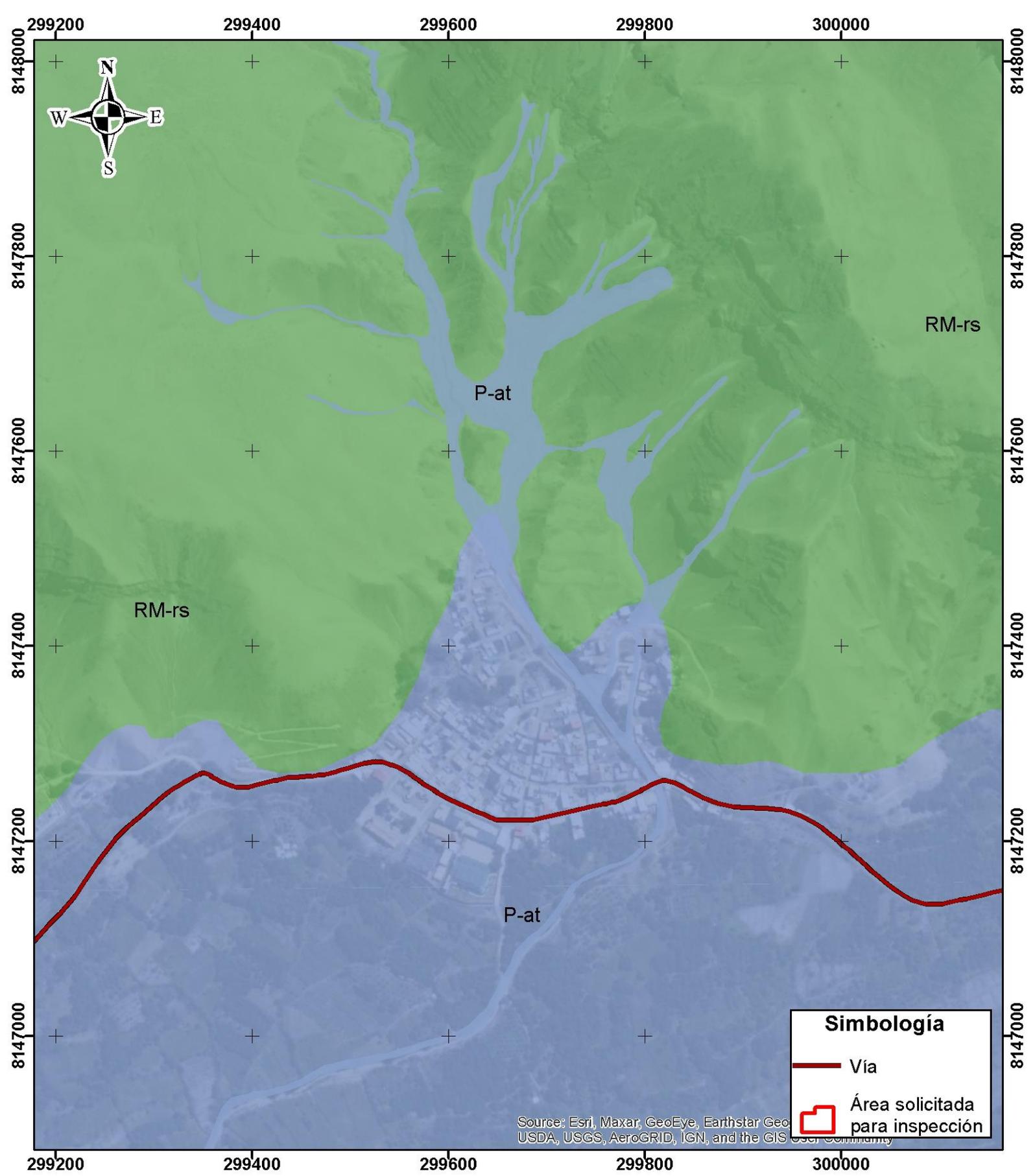
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA DE PENDIENTES DE QUINISTAQUILLAS

| | | |
|----------------|---|-----------|
| Proyección UTM | Escala 1:4,000 | Mapa N° 2 |
| Datum WGS 84 | 0 30 60 120 m | |
| Zona 19S |  | |

Pendientes (Grados)

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



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

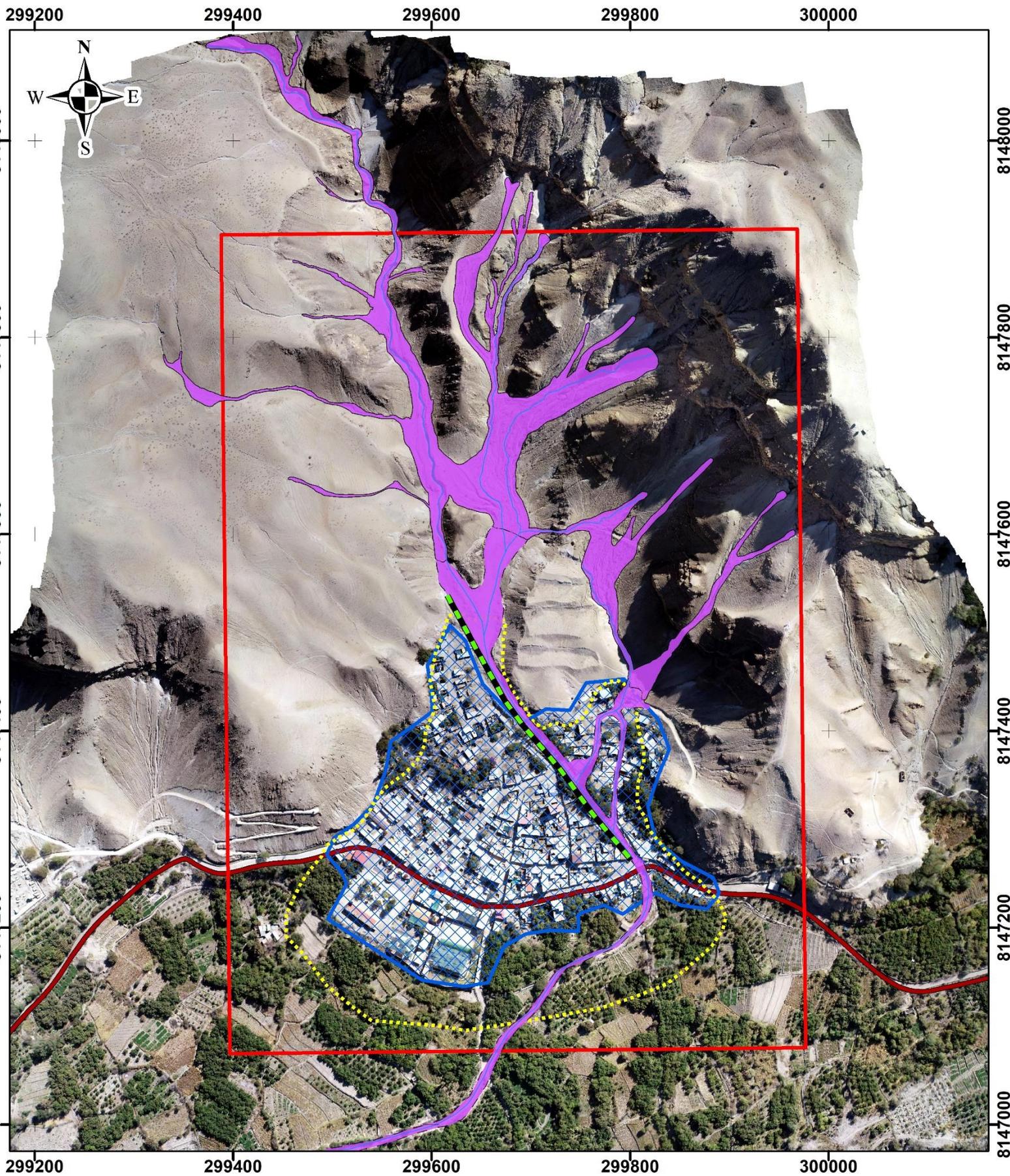
MAPA GEOMORFOLÓGICO DE QUINISTAQUILLAS

| | | |
|----------------|----------------|-----------|
| Proyección UTM | Escala 1:5,000 | Mapa N° 3 |
| Datum WGS 84 | 0 37.5 75 150 | |
| Zona 19S | m | |

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

Simbología

- Vía
- Área solicitada para inspección



PELIGRO GEOLOGICO POR FLUJO DE DETRITOS (LAHARES) EN QUINISTAQUILLAS

Proyección UTM
Datum WGS 84
Zona 19S

Escala 1:5,000
0 37.5 75 150 m

Mapa N° 4

Peligros geológicos

-  Flujo de detritos (lahares)
-  Flujo de detritos inferidos
-  Abanico

Simbología

-  Vía
-  Cauce de Quebrada
-  Zona urbana
-  Área de Trabajo
-  Muro de Gaviones