

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7096

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTOS Y REPTACIONES EN LOS SECTORES HUALCAYAN Y TAMBO (CANTA)

Región Lima
Provincia Canta
Distrito Canta



NOVIEMBRE
2020

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

Equipo de investigación:

H. Dulio Gómez

A. Gonzalo Luna Guillén

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2020). Evaluación de peligros por deslizamientos en los sectores de Tambo y Hualcayan. Distrito y provincia de Canta, región Lima. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7096, 34 p.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Objetivos del estudio	2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	3
1.3. Aspectos generales	4
1.3.1. UBICACIÓN.....	4
1.3.2. ACCESIBILIDAD	5
1.3.3. CLIMA.....	6
1.3.4. HIDROGRAFÍA.....	7
1.3.5. COBERTURA VEGETAL	7
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	7
2.1. Unidades litoestratigráficas	8
2.1.1. Depósito Coluvial.....	8
2.1.2. Depósitos Coluvio-deluviales.....	9
2.1.3. Depósitos Aluviales-proluviales.....	12
2.1.4. Formación Canta	13
2.1.5. Formación Yangas	14
2.1.6. Grupo Calipuy (miembro superior).....	14
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	15
3.1. Pendientes del terreno	15
3.2. Unidades geomorfológicas	16
3.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL.....	16
3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL	17
4. PELIGROS GEOLÓGICOS Y/O GEOHIDROLÓGICOS	18
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	18
4.2. Deslizamiento del sector de Hualcayan”.	18
4.2.1. CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO	19
4.2.2. ANÁLISIS LONGITUDINAL DEL DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR DE HUALCAYAN	19
4.3. Reptación en el sector Hualcayan	24
4.4. Deslizamiento del sector de Tambo.	25
4.5. FACTORES CONDICIONANTES	28

4.6. FACTORES DETONANTES O DESENCADENANTES.....	29
5. CONCLUSIONES.....	29
6. RECOMENDACIONES	30
7. BIBLIOGRAFÍA.....	31
ANEXO 1: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	32
ANEXO 2: MAPAS	34

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizados en los sectores Hualcayan y Tambo que pertenecen a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Canta, provincia Canta, región Lima. 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 (distrital, regional y nacional).

Las unidades geológicas que afloran en la zona evaluada corresponden a rocas de origen volcánicas del Grupo Calipuy miembro superior (tobas líticas, andesitas afaníticas, y tobas retrabajadas) de baja calidad geomecánica, sobre los cuales se han depositado materiales detríticos de origen coluvial, aluvial y coluvio-deluvial caracterizados por la intercalación de bloques heterométricos en una matriz limo-arcillosa y limo-arenosa. Los depósitos coluvio-deluviales provienen de movimientos en masa antiguos y resientes, estos depósitos están compuestos por bloques angulosos heterométricos (30 a 50 cm) y capas de suelo fino y arcillas limosas (cohesivos a muy cohesivos con un comportamiento plástico en estado húmedo) con inclusión de fragmentos angulosos pequeños a medianos (2 a 5 cm).

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional (montañas en rocas volcánicas) y geoformas de carácter depositacional y agradacional principalmente originada por la ocurrencia de movimientos en masa antiguos, que configuran geoformas de piedemonte (vertiente con depósitos de deslizamiento, coluvio-deluviales) y planicie (terrazas aluviales altas y terrazas fluviales). Se considera que el principal factor condicionante que originan la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa, es la pendiente del terreno que va de moderado (5° - 15°) a fuerte (15° - 25°). Así como la alta saturación del suelo producto de la infiltración de aguas de riego y canales no impermeabilizados.

Los peligros geológicos identificados en el sector de Hualcayan corresponden a los denominados movimientos en masa: deslizamiento en suelos coluvio-deluviales de pendiente comprendida entre 5° y 15° , reptaciones en suelos coluvio-deluviales saturados y de pendiente moderada y derrumbes en los sectores aledaños con pendientes escarpadas a muy escarpadas (25° a $>45^{\circ}$), eventos antiguos que han sufrido reactivaciones que afectan 170 m de la carretera Lima – Canta. En el sector Tambo se han identificado grietas tensionales en una ladera de pendiente media (5° a 15°) a fuerte (15° a 25°), por encima de una zona de derrumbe producto de la erosión de aguas superficiales de riego, que podría afectar aproximadamente más de 30 m de la carretera.

Se concluye que el área de estudio es considerada de Peligro Muy Alto a la ocurrencia de deslizamientos y reptaciones que pueden ser desencadenados por fuertes precipitaciones en la temporada lluviosa (diciembre a marzo) y por movimientos sísmicos.

Finalmente, se brinda recomendaciones que se considera importante que las autoridades competentes pongan en práctica, como es el uso de un sistema de riego tecnificado por parte de los agricultores y sus organizaciones.

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 y consideraciones geotécnicas a nivel nacional (ACT. 7)”, 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 Provincial de Canta, según Oficio N° 00129-2020-ALC/MPC, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de los eventos de tipo deslizamientos ocurridos en el año 2017 que afectó infraestructura vial y una vivienda en las localidades de la quebrada Hualcayan y podría afectar un tramo de la carretera en el sector Tambo

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó al ingeniero Dulio Gómez y Geol. Gonzalo Luna, para realizar la evaluación de peligros geológicos, en coordinación con representantes del Centro Nacional de Estimación Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED); así como el área de Gestión de Riesgo de Desastres de la Municipalidad Provincial de Canta

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), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Provincial de Canta, 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 los peligros geológicos por movimientos en masa que se presentan en los sectores de Hualcayan y Tambo, distrito de Canta, departamento de Lima, eventos que pueden comprometer la seguridad física de personas, industrias ganaderas y de agricultura, obras de infraestructura y vías de comunicación en la zona de influencia de los eventos.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes de los fenómenos por movimientos en masa.
- c) Recomendar medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del INGEMMET, que incluyen sectores aledaños a las zonas de evaluación (informes técnicos) y otros estudios regionales en base a inventarios de peligros geológicos a nivel nacional (boletines)

- A) Boletín N° 76, serie C: Geodinámica e ingeniería geológica “Peligros geológicos en la región Lima” (2020); en este boletín se identificaron los peligros geológicos y geohidrológicos que pueden causar desastres dentro del ámbito de estudio (región Lima). Se identificó e inventario un total de 4329 ocurrencias de peligros geológicos, de los cuales, según su origen, 75.5% corresponden a movimientos en masa, 10.3% a peligros geohidrológicos y 14.2 % entran en la clasificación de “otros peligros geológicos”, de este inventario se identificaron 278 zonas críticas (susceptibles al peligro geológico).
- B) Informe técnico “Zonas críticas por peligros geológicos en la región Lima (2014)”; este informe, presentado como reporte, caracteriza de manera preliminar zonas consideradas como críticas, con peligros potenciales de acuerdo a la vulnerabilidad asociada, que muestran recurrencias en algunos casos periódica a excepcional, donde considera al poblado de Canta y sus alrededores como una zona crítica por ser un área sujeta a deslizamientos y movimientos complejos (derrumbe – flujo) y erosión de laderas.
- C) Informe técnico “Zonas críticas por peligros geológicos en la cuenca del río Chillón “(2010); en este informe técnico se presentaron las zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la cuenca del río Chillón, con el objetivo de proponer medidas para la atenuación de los procesos geológicos que causan desastres en las zonas críticas identificadas, este informe técnico menciona diferentes sectores con movimientos en masa de tipo caídas, deslizamientos y flujos, en el distrito de Canta y en la carretera Lima – Canta –Cerro de Pasco, a la altura de los centros poblados de Canta, Obrajillo y Pariamarca, poniendo en evidencia que estos sectores son susceptibles a movimientos en masa de manera recurrente.
- D) Boletín N° 29, serie C: Geodinámica e ingeniería geológica: “Estudio de Riesgos Geológicos del Perú Franja 4” (2006); este boletín analiza la estabilidad de las regiones enmarcadas entre los paralelos 10° y 12° Sur del territorio nacional, denominada franja N°4, con respecto a procesos asociados a peligros geológicos: movimientos en masa (caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos y movimientos complejos,), utilizando estudios puntales, entre los cuales destacan: “La inspección de peligros geológicos en los anexos aledaños al distrito de Canta (may-2002)” y la evaluación de peligros geológicos en el Sector Cachachu, Quinta Rosada, por ser sitios aledaños a la zona de evaluación actual, este mismo boletín señala al sector de Canta, localidad de canta, como una “zona crítica”, por estar afectado por un deslizamiento rotacional, que afecta 3 km de la carretera Lima-Canta y terrenos de cultivo.
- E) Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Canta (23-j) – Cuadrante II. Escala: 1:50 000; esta memoria descriptiva presenta las

unidades litoestratigráficas cartografiadas a escala 1:50 000 en el flanco occidental de la Cordillera de los Andes, a 100 km al norte de la ciudad de Lima, a lo largo de los valles del río Chillón, río Chancay y río Baños, identificando y describiendo alrededores del poblado de Canta, rocas volcánicas del grupo Calipuy, conformado por flujos volcánicos variados cubiertos ampliamente por depósitos Pleistoceno–Holocenos, conformado por aluviales, coluviales, coluvio-deluviales y algunas morrenas.

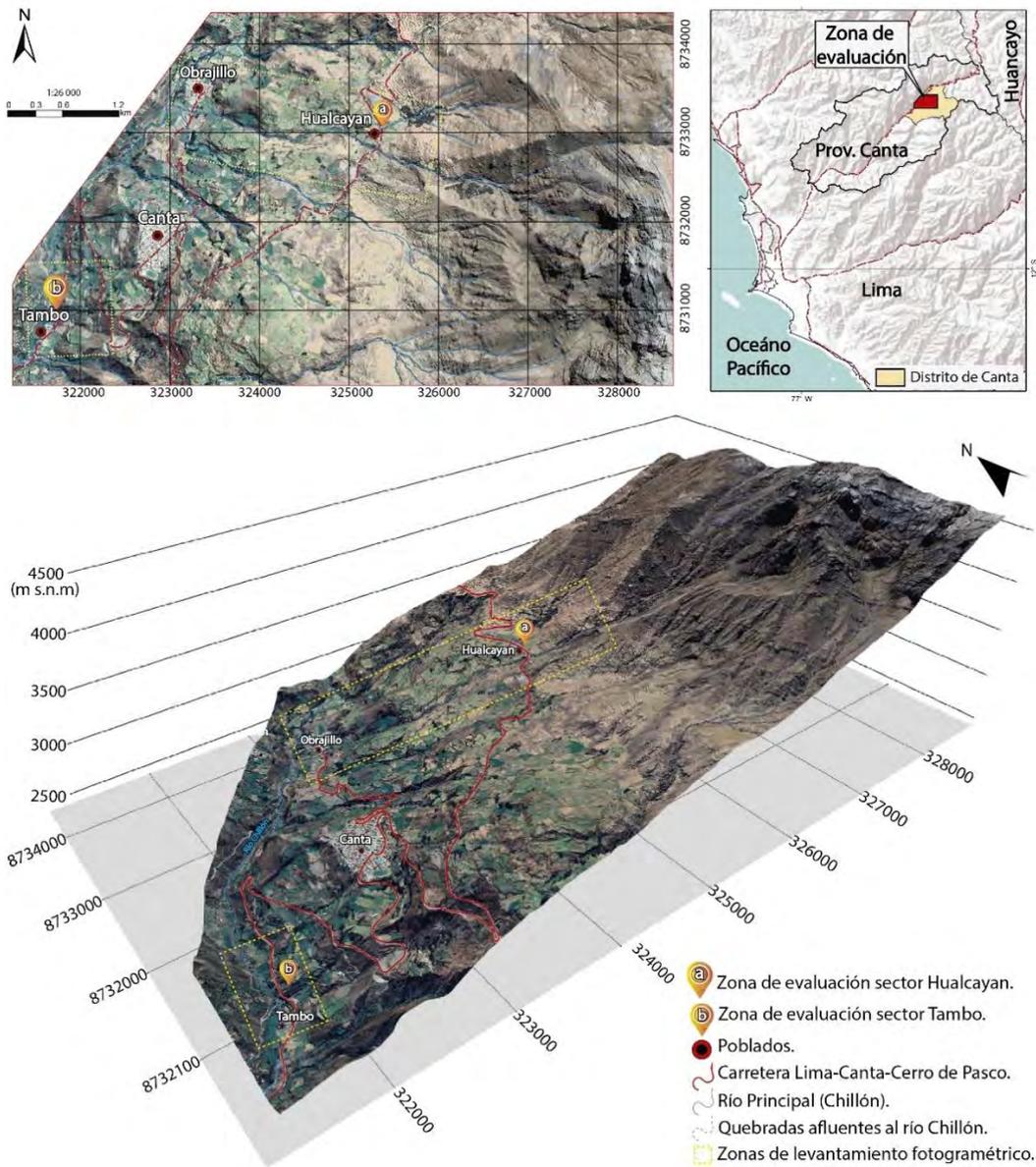
1.3. Aspectos generales

1.3.1. UBICACIÓN

Las áreas evaluadas (Hualcayan y Tambo) Se encuentra en la parte media - alta de la cuenca del río Chillón, en la margen izquierda del río Chillón, pertenecientes al distrito de Canta, provincia Canta, región Lima (figura 1), ubicados en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S) siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas del área de estudio.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Zona Hualcayan			
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	326051	8733302	-11.45	-76.59
2	325846	8732214	-11.46	-76.59
3	322924	8732763	-11.45	-76.62
4	323127	8733846	-11.44	-76.62
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	325372	8733077	-11.45	-76.60
Zona Tambo				
1	322317	8731565	-11.46	-76.63
2	322355	8730511	-11.48	-76.63
3	321414	8730472	-11.48	-76.64
4	321380	8731529	-11.47	-76.64
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	321795	8731053	-11.47	-76.63



1.3.2. ACCESIBILIDAD

El acceso a los sectores Tambo y Hualcayan, se realiza por vía terrestre desde el INGEMMET (Lima), mediante la siguiente ruta (cuadro 2):

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – Tambo	Asfaltada	100	2 horas
Tambo - Canta	Asfaltada	5	10 minutos
Canta	Hualcayan	7	15 minutos

1.3.3. CLIMA

La provincia de Canta, se caracteriza por encontrarse en zonas de clima semiseco, templado y húmedo, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera (característico de valles costeros ubicados entre los 500 y 2500 m s.n.m.) y zonas de clima frígido y seco usualmente sobre los 4500 m s.n.m. (Fidel et al.,2006). Las estaciones meteorológicas de Canta y Obrajillo, ubicadas en el distrito de Canta nos permiten caracterizar la precipitación de manera local, según el “Mapa de Isoyetas de Precipitación Acumulada Anual”, en periodos ordinarios las precipitaciones en la zona de evaluación varían entre 440 mm y 450 mm condicionadas por las diferencias altitudinales (figura 2) mientras que la temperatura promedio es 13.6 °C (Canta, 2832 m s.n.m.)

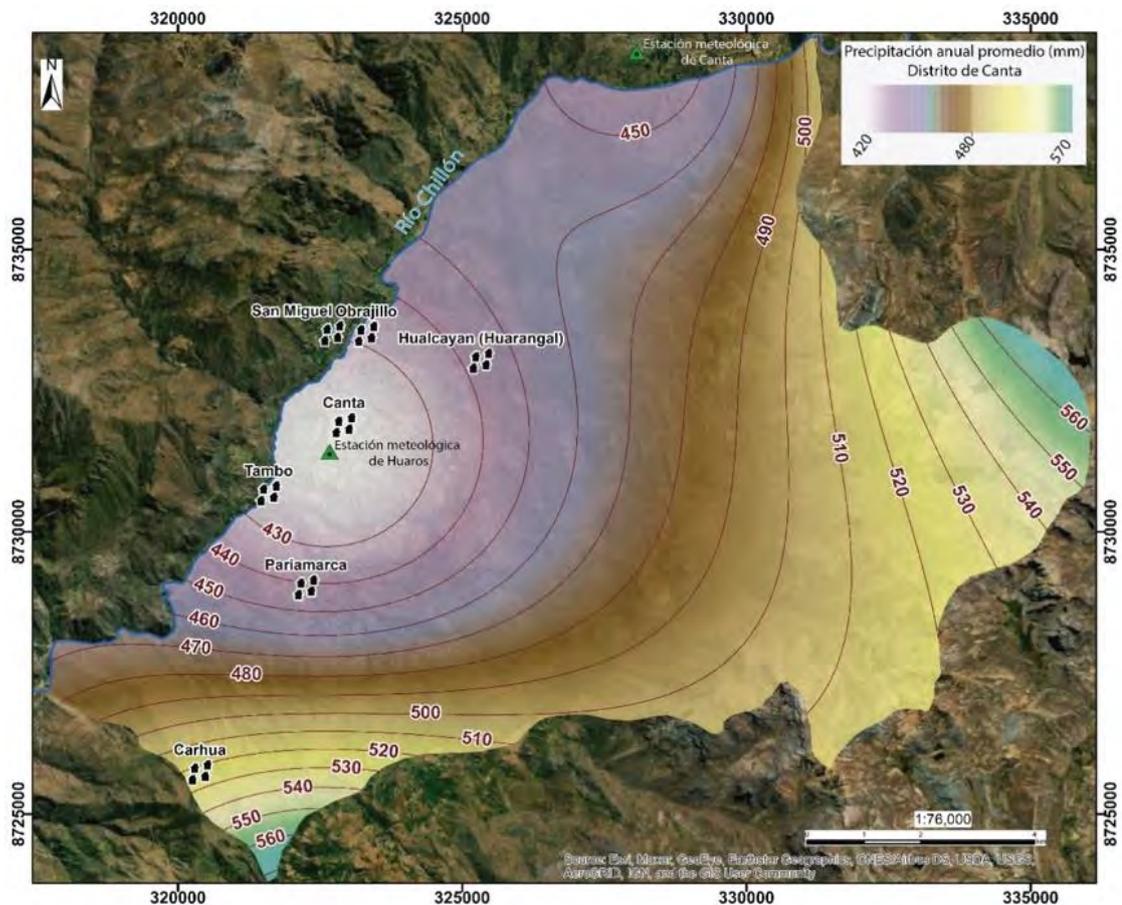


Figura 2. Mapa de isoyetas de precipitaciones para el distrito de Canta. Fuente: elaboración propia en base a 20 años de registro de precipitación anual acumulada de las estaciones de Canta y Obrajillo, administradas por SENAMHI

1.3.4. HIDROGRAFÍA

Hidrográficamente, la provincia de Canta pertenece a la parte media - alta de la cuenca del río Chillón, el poblado de Canta se ubica en la margen izquierda del río Chillón, el cual está caracterizado por ser un río joven y torrentoso que nace en la vertiente de la cordillera Occidental del Perú (Cordillera La Viuda) y desemboca en el océano Pacífico, con una descarga permanente promedio de 10.6 m³/s (caudales registrados por ONERN y CEDEX (Emanuel & Escurra, 2000)), según registros de la estación hidrológica de Obrajillo, el caudal permanente promedio es 9.8 m³/s. El río Chillón posee una pendiente promedio de 3° en su curso medio desde su nacimiento hasta la localidad de Canta, es a partir de este punto que la pendiente empieza a descender a 2.8° hasta la localidad de Santa Rosa de Quives y llega a su desembocadura con 1.14° donde forma un cono de deyección. Los principales afluentes del río Chillón convergen frente a la ciudad de Canta (quebradas Huayapa, Portura y Quiñas).

1.3.5. COBERTURA VEGETAL

Según la memoria descriptiva del “Mapa de cobertura vegetal del Perú”, realizado y publicado por el ministerio del ambiente (MINAM) el año 2012 cuyo objetivo fue Identificar, mapear y caracterizar los diferentes tipos de cobertura vegetal existentes en el país a una escala de 1:100 000 y las observaciones realizadas en el trabajo de campo por los geólogos del INGEMMET, se determinó que gran parte de la ladera donde se ubican los sectores de Hualcayan y Tambo corresponden al tipo de cobertura vegetal antrópica denominada “Agricultura costera y Andina”, donde se realizan actividades agropecuarias (activas y en descanso), en esta zona se encuentran cultivos bajo riego anuales y permanentes para uso de pastoreo, los pastizales pueden llegar a poseer índices de infiltración superiores a 0.7 cm/seg^{0.05} (Yañez et al., 2017), lo que acompañado a un inapropiado y recurrente método de riego sobresatura el suelo incrementando la inestabilidad de la ladera, localmente se clasificó de manera empírica la vegetación observada, dividiéndola en pastizales, zonas de cultivo activo, zonas arborizadas y de arbustos grandes, zonas con cobertura vegetal escasa a nula y zonas urbanizadas (ver mapas anexos), esto con el fin de caracterizar el uso de suelo actual de manera rápida y determinar índices de saturación de suelo cualitativos .

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base la revisión y actualización del cuadrángulo de Canta, (De la Cruz et al.,2003) a escala 1:50 000 y el boletín de geología de los cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyon, Huacho, Huaral y Canta (Cobbing et al.,1973). Se utilizaron, además, las memorias descriptivas de la actualización de la Carta Geológica Nacional de la misma escala, el boletín N°76 de la serie C “Peligro geológico en la región Lima” (Luque et al.,2020) y el estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja 4 (Fidel et al.,2006) de igual manera, los trabajos de revisión en campo, análisis de imágenes satelitales y fotografías aéreas sirvieron para caracterizar y limitar las diferentes unidades litológicas considerando su grado de

resistencia y susceptibilidad a procesos de erosión y remoción en masa, clasificando las unidades existentes en dos grupos (depósitos inconsolidados y sustratos rocosos).

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona inspeccionada y alrededores son en su mayoría de origen volcánico (brechas, tobas y andesitas) sobre las que se han ido depositando unidades inconsolidadas de origen aluvial, coluvial y coluvio-deluvial desde el Pleistoceno a la actualidad.

2.1.1. Depósito Coluvial (Qh-co)

Está constituido por bloques subangulosos con bastante matriz areno-limosa, generado por desprendimientos (deslizamientos, derrumbes y caídas), se emplazan en la parte alta y media de la ladera distribuidos de forma caótica y heterométrica son de origen volcánico (Grupo Calipuy y Formación Colqui), poco compactos y muy inestables cuando son sometidos a la saturación de agua por poseer alta permeabilidad y cubren el basamento con una potencia aproximada de 10 m (Dávila, 2002), están presentes en los sectores Hualcayan y Tambo (figura 3 y fotografía 1).

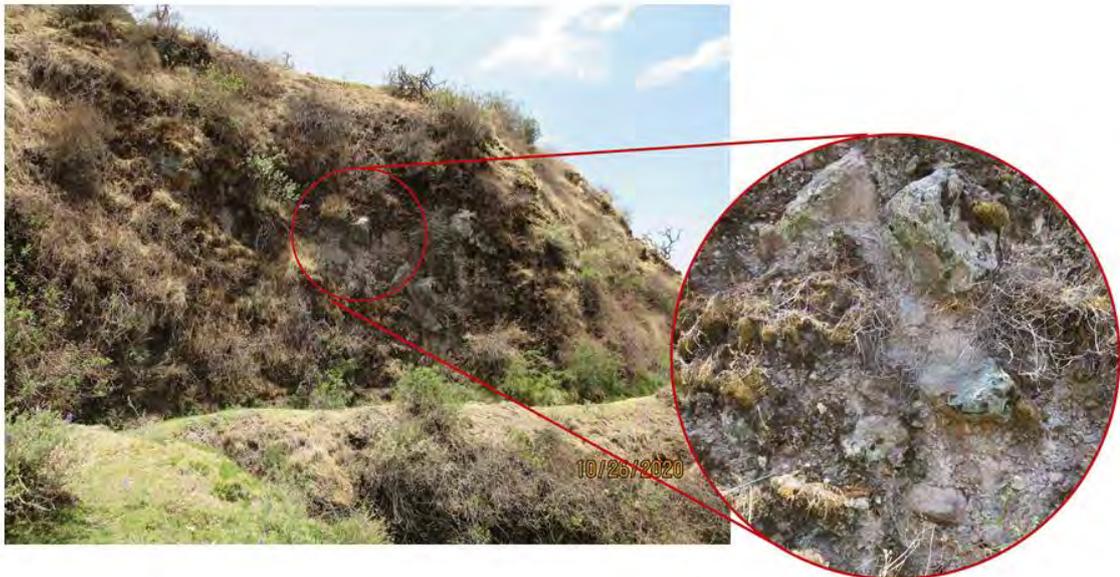


Figura 3. Se observa el depósito (coluvial) de una avalancha antigua conformado por bloques de tamaño variado en una matriz limoarcillosa (sector Hualcayan).



Fotografía 1. Se observa el depósito (coluvial) de una zona de derrumbe reciente en la carretera Canta – Cerro de Pasco con bloques subangulosos que pasan los 3 m de longitud (sector Hualcayan).

2.1.2. Depósitos Coluvio-deluviales (Qh-cd)

Son depósitos formados por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial (material con poco transporte), estos se encuentran interestratificados y no es posible diferenciarlos (Vílchez et al.,2019), estos depósitos están constituidos por bloques angulosos heterométricos con un porcentaje mayor de matriz limo–arenosa, se encuentra en ambos sectores de estudio (Hualcayan y Tambo), por su composición y origen son altamente inestables y esto se observa en los cortes de talud de la carretera Canta – Cerro de Pasco,

que presenta zonas de derrumbe y caída de rocas, es también sobre estos depósitos saturados de agua que se observan áreas con presencia de reptación (figuras 4, 5 y 6, fotografía 2).

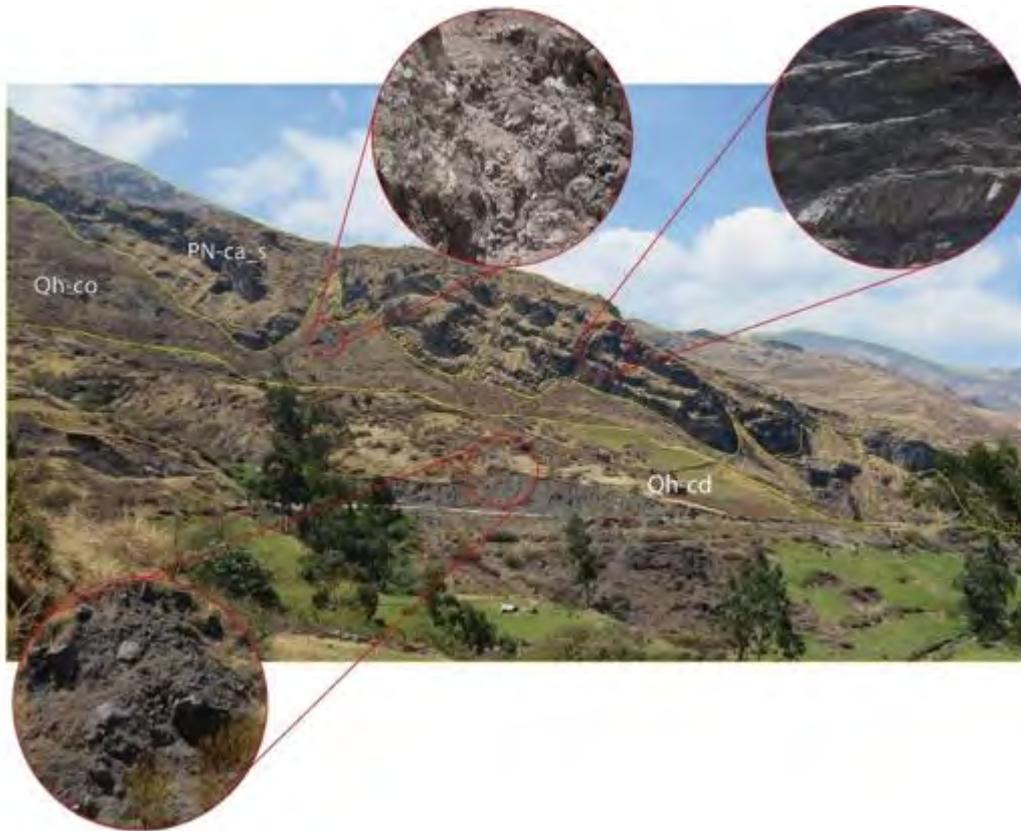


Figura 4. La figura muestra la disposición de los depósitos Cuaternarios y el afloramiento rocoso, los depósitos coluviales (Qh-co) están situados por debajo del afloramiento rocoso de origen volcánico: Grupo Calipuy miembro superior (PN-ca_s), e inmediatamente después se ubican los depósitos coluvio-deluviales (Qh-cd).



Fotografía 2. Depósitos coluvio - deluviales en el talud de la carretera Lima – Canta



Figura 5. Depósito coluvio-deluvial, sobre el que se presentaron los procesos de deslizamientos y reptaciones en el sector Hualcayan, obsérvese las grietas con presencia de agua, debido a la sobresaturación de terreno.



Figura 6. La figura muestra zonas de avalancha de rocas antiguos con bloques mayores a 10 m de longitud, en la quebrada Hualcayan.

2.1.3. Depósitos Aluviales-proluviales (Qpl-al)

Los depósitos aluviales están constituidos por capas de gravas gruesas y finas bien clasificadas en las márgenes del río Chillón, formando terrazas a diferentes niveles. Los depósitos proluviales están formados por fragmentos rocosos heterométricos pobremente clasificados en una matriz limo arenoso-arcilloso, se encuentran en las quebradas de corrientes temporales, como las quebradas Hualcayan, Portura y Quiñan, afluentes al río Chillón (figura 7) también se puede distinguir depósitos aluviales en la parte media de la ladera a unos 50 metros de altura del cauce del río

Chillón, considerándolos de esta manera como un depósito aluvial antiguo (Pleistoceno).



Figura 7. Depósitos proluviales provenientes de la quebrada Portura, que según registros del Ingemmet, pertenecen a un flujo de detritos que llegó hasta las cercanías de Obrajillo.

2.1.4. Formación Canta (Np-ct)

De edad Cuaternario–Pleistoceno, es descrita como una unidad de tobas retrabajadas, pardo rojizas emplazadas de manera caótica, intercalada con niveles de toba de ceniza blanquesina y yeso lenticular (De la cruz et al., 2003), aflora en

el sector Tambo presentándose como andesitas fuertemente meteorizadas con niveles de yeso (figura 8).



Figura 8. Afloramientos andesíticos fuertemente fracturados con evidencias de cloritización intercalados con zonas de yeso, pertenecientes a la denominada formación Canta (Sector Tambo).

2.1.5. Formación Yangas (Ki-y)

Según el mapa geológico 1:50 000 (INGEMMET, 2003), esta formación pertenece al Grupo Casma del Cretácico inferior, que representan a volcánicos bien estratificados, de origen andesítico de grano fino, estos depósitos se diferencian en la zona sur del sector Tambo, aflorando en pequeños sectores de roca volcánica fuertemente argilizadas y cloritizadas.

2.1.6. Grupo Calipuy (miembro superior) (PN-ca_s)

Este grupo de edad Cenozoico – Paleógeno, es divisible en una parte inferior y otra superior (Wilson et al.,1967), aflorando en la zona de evaluación el miembro superior (PN-ca_s), conformado por lavas fuertemente propilitizadas y brechas de composición andesíticas, en las zonas de evaluación aflora como una intercalación de brechas volcánicas con clastos angulosos, intercaladas con tobas líticas, con niveles delgados de tobas de ceniza y andesitas fuertemente cloritizadas (fotografía 3).



Fotografía 3. Afloramiento de andesitas fuertemente meteorizadas, intercaladas con zonas de tobas líticas de buzamiento a favor de la pendiente, pertenecientes al Grupo Calipuy miembro superior (sector Hualcayan).

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

Los rangos de pendiente en la zona inspeccionada de Hualcayan, ubicada en la ladera de la margen izquierda del río Chillón varía desde terrenos de pendiente suave (1° - 5°) a moderada (5° a 15°), desde el cauce del río Chillón hasta aproximadamente los 2800 m s.n.m. estos terrenos son mayoritariamente usados para cultivos y es en estos donde se ubican poblados importantes como el de Obrajillo, a partir de esta cota se observa la predominancia de laderas con pendientes fuertes (15° a 25°) a muy fuertes (25° a 45°) hasta aproximadamente los 3100 m s.n.m. con zonas de terrazas de pendientes suaves, que sirven como terrenos de agricultura, desde la cota 3100 hasta la 3300 m s.n.m. aproximadamente, la ladera vuelve a presentar predominancia de pendientes suaves, este sector es usado para el cultivo de pastizales y pastoreo de animales, y es en este sector donde se presenta el escarpe principal del deslizamiento, grietas y zonas de reptación. A partir de esta cota, la ladera presenta predominancia de pendientes muy fuertes (25° a 45°) a muy escarpados ($>45^{\circ}$) sobre afloramientos rocosos.

En el sector Tambo, la distribución de las pendientes es similar, desde el cauce del río Chillón hasta los 2500 m s.n.m. las pendientes predominantes son moderadas, a partir de este punto se observan pendientes escarpadas a muy escarpadas, sobre las cuales se han formado terrazas de pendientes llanas (<1°) a moderadas sobre los cuales se realizan labores de agricultura.

La distribución de estas pendientes se presenta en los mapas: 2 (sector Hualcayan) y 8 (sector Tambo) (ver anexos), donde se usa la clasificación de la figura 9.

Color	Rango de pendiente en grados	Superficie Topográfica
	0° - 1°	Terreno llano
	1° - 5°	Terreno inclinado con pendiente suave
	5° - 15°	Pendiente moderada
	15° - 25°	Pendiente fuerte
	25° - 45°	Pendiente muy fuerte o escarpada
	>45°	terreno muy escarpado

Figura 9. Rangos de pendiente de terrenos utilizados en los mapas 2 y 8 (ver anexos)

3.2. Unidades geomorfológicas

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Cordillera Occidental, que, por su morfología, pendiente, características litológicas y la naturaleza de los suelos junto con los factores desencadenantes (lluvias, actividad antrópica y sísmica), presentan una gran variedad de procesos de movimientos en masa entre flujos (huaicos periódicos a ocasionales), caída de rocas y derrumbes, deslizamientos, erosión de laderas (cárcavas y surcos) y reptación de suelos.

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio, se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vilchez et al., 2019).

3.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL

Las geoformas de carácter Tectónico degradacional y erosional 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):

3.2.1.1. Unidad de montañas

Tienen una altura de más de 300 m con respecto al nivel de base local diferenciándose las siguientes subunidades según el tipo de roca que las conforma y los procesos que han originado su forma actual.

Subunidad de montañas en rocas volcánicas (RM-rv): Dentro de esta subunidad se consideran afloramientos de roca volcánica con pendientes superiores a los 25°, se presentan en ambos sectores de evaluación (Tambo y Hualcayan), por su origen volcánico, alto grado de fracturamiento y pendiente escarpada estas zonas presentan evidencia de escarpes de deslizamientos antiguos y zonas actuales de derrumbes y caída de rocas.

Colinas y lomadas en rocas volcánicas (RCL-rv): Son elevaciones del terreno menores a 300 m, donde las cimas son estrechas y agudas (colinas) y onduladas de pendiente llana (lomadas), están constituidas por rocas volcánicas del Grupo Calipuy. Esta unidad es susceptible a la ocurrencia de erosión de laderas, derrumbes, caída de rocas y deslizamientos se las puede observar en los sectores Hualcayan y Tambo.

3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL

Las geoformas de carácter depositacional y agradacional son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como el agua de escorrentía, los glaciares, las corrientes marinas, las mareas y los vientos. Estos tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados.

3.2.2.1. Unidad de pie de monte

Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)

Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa antiguos y recientes, que pueden ser del tipo deslizamientos, avalancha de rocas y/o movimientos complejos. Generalmente su composición litológica es homogénea; con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados, de corto a mediano recorrido relacionados a las laderas superiores adyacentes. Su morfología es usualmente convexa y su disposición semicircular a elongada en relación a la zona de arranque o despegue del movimiento en masa (Vílchez et al., 2019) en las zonas de estudio corresponden a las laderas del valle del río Chillón y en el sector Hualcayan esta geoforma representa cuerpos de deslizamientos antiguo.

Vertiente Coluvio-deluvial (V-cd)

Son vertientes formadas por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial, que por su complicada interestratificación hacen muy difícil dividir uno del otro, se presentan en las laderas de la margen izquierda del río Chillón, y es en esta subunidad que se dan los mayores procesos de movimientos en masa (deslizamientos y reptaciones) en la zona de evaluación.

Vertiente o pie de monte aluvial (V-al)

Está formado por la acumulación de sedimentos acarreados por la corriente de aguas estacionales que han formado abanicos (abanico de pie de monte), en las zonas de estudio, la pendiente de esta subunidad varía de suave a moderada (1-

15°) y se presentan en la afluencia de las quebradas Huayapa, Portura y Quiñan al río Chillón.

3.2.2.2. Unidad de piedemonte

Terraza alta aluvial (Ta-al)

Subunidad que corresponde a los niveles más antiguos de terrazas aluviales localizada a 20 m aproximadamente por encima del cauce del río Chillón, geodinámicamente, esta subunidad se encuentra asociada a procesos de erosión fluvial. Se pueden observar en el valle del río Chillón a la altura de los poblados de Canta, Obrajillo y Tambo.

Terraza fluvial (T-fl)

Son zonas aledañas al cauce del río Chillón de pendiente baja, esta subunidad puede ser afectada por procesos de erosión fluvial e inundación por lluvias extraordinarias

4. PELIGROS GEOLÓGICOS Y/O GEOHIDROLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en las zonas evaluadas, corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamiento rotacional, reptación y caídas de rocas (Proyecto Multinacional Andino: PMA: GCA, 2007). Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de agua en 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 hacia el curso de los ríos.

Estos movimientos en masa, tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelos, el drenaje superficial-subterráneo y la cobertura vegetal. Se tiene como “desencadenantes” de estos eventos las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la zona, así como la sismicidad

4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

Los trabajos en campo nos han permitido recopilar datos para el cartografiado y caracterización de los peligros geológicos (deslizamientos), identificados en los sectores de Hualcayan y Tambo, los cuales se describen a continuación:

4.2. Deslizamiento del sector de Hualcayan”.

En el sector de Hualcayan se han identificado escarpes de deslizamientos antiguos y derrumbes, principalmente en las laderas de la carretera Canta-Cerro de Pasco, de los cuales resalta el escarpe de un deslizamiento reactivado localizado en la margen izquierda de la quebrada Portura a una distancia aproximada de 2 km de su desembocadura en la margen izquierda del río Chillón, cuyo cuerpo tiene una longitud aproximada de 450 m, y una altura de 120 m desde el pie hasta el escarpe principal activo. Su escarpe principal tiene saltos entre 1 y 3 m de altura, dentro del cuerpo del deslizamiento se observan grietas que llegan a medir hasta 2 m de profundidad y se encuentran saturadas de agua (figura 14) lo que revela un nivel freático superficial

debido a la sobresaturación de los suelos, el terreno tiene pendientes moderadas a muy escarpadas y la zona más afectada se encuentra a 170 metros por encima y 50 metros debajo de la carretera (figura 11). Mediante el uso de imágenes satelitales multitemporales (Google Earth), puede inferirse que la reactivación de este cuerpo empezó en el año 2017 (coincidiendo con el fenómeno de “El Niño”) desde entonces se han ido presentando grietas y pequeños escarpes a lo largo del deslizamiento, afectando paulatinamente a la carretera, viviendas aledañas y zonas de pastoreo.

4.2.1. CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO

Según el testimonio de los pobladores locales, las evidencias del evento (agrietamientos) a lo largo del cuerpo del deslizamiento, en tramos de la carretera Tambo – Canta – Cerro de Pasco, se vienen presentando desde febrero del 2017, pero es en el presente año que se dio el movimiento más evidente (aproximadamente 90 cm longitudinales), presentándose en la parte superior de la carretera, afectando la misma, por el desplazamiento de material coluvio-deluvial conformado por bloques heterométricos mal seleccionados y una matriz de material fino de naturaleza limo-arcillosa.

El deslizamiento activo en el sector Hualcayan presenta las siguientes características:

(figuras 11, 12, 13, 14 y 15):

- Ancho promedio de la zona de arranque: 95 m
- Altura máxima del escarpe principal 3m
- Forma de la superficie de rotura: irregular alargada
- Diferencia de altura aproximada de la corona a la base del deslizamiento: 120 m
- Dirección (azimut) del movimiento: N 246°
- Área del deslizamiento: 45 770 m²

4.2.2. ANÁLISIS LONGITUDINAL DEL DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR DE HUALCAYAN

Con el MDT (Modelo Digital del Terreno) de resolución 0.44 m/px, obtenido mediante levantamiento fotogramétrico aéreo con DRONE, en el sector de Hualcayan se ha realizado un perfil longitudinal (figura 10), que se describe a continuación:

Perfil Longitudinal A-A' (sector Hualcayan): este perfil muestra el cuerpo de un deslizamiento elongado de tipo rotacional con una pendiente promedio de 25°, cuyo pie del deslizamiento se encuentra a los 3185 m s.n.m con una pendiente de 50° (muy escarpada) debido a la erosión de las aguas provenientes de la quebrada Portura (que favorecen su inestabilidad), las evidencias del movimiento de este cuerpo se observan a los 3235 m s.n.m y 3260 m s.n.m donde se evidencia un cambio abrupto en las pendientes que refleja zonas de agrietamiento y escarpes secundarios, el escarpe principal de 1.90 m, se ubica a los 3291 m s.n.m, entre dos canales de agua no impermeabilizados que saturan el suelo acelerando el desplazamiento y afectando 170 m aproximadamente de la carretera asfalta y el badén de la misma, ubicada a los 3260 m s.n.m., así, como a las viviendas del sector Hualcayan.

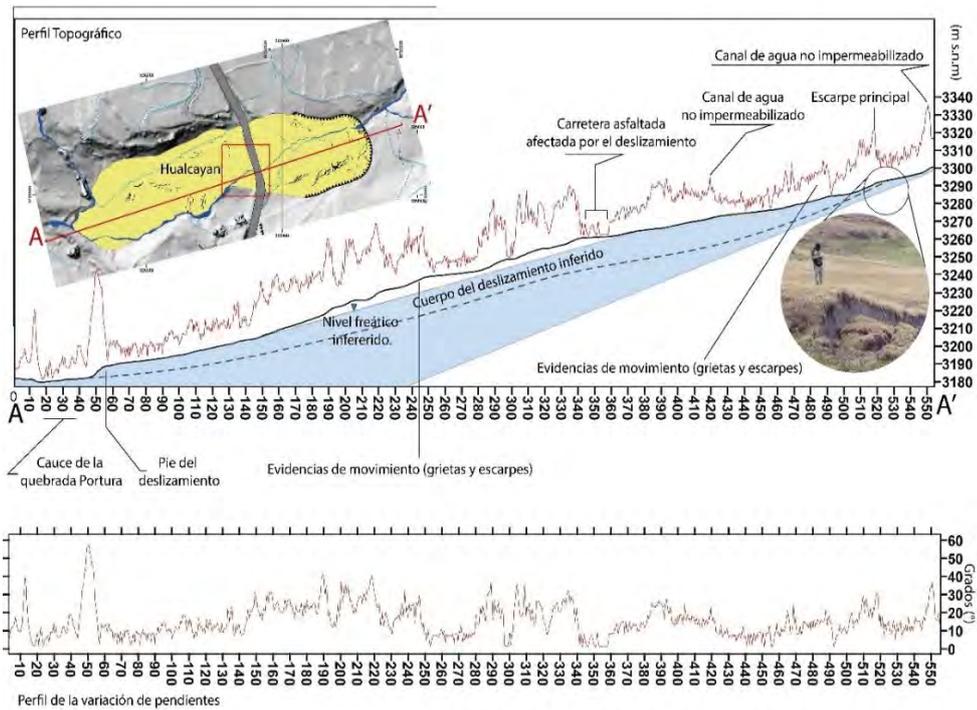


Figura 10. Perfil longitudinal del cuerpo del deslizamiento A-A', en el sector de Hualcayan, el trazo negro continuo muestra la topografía, mientras que el trazo rojo muestra la variación de las pendientes sobre la topografía, la escala real de las pendientes en grados, se puede observar en el cuadro inferior.

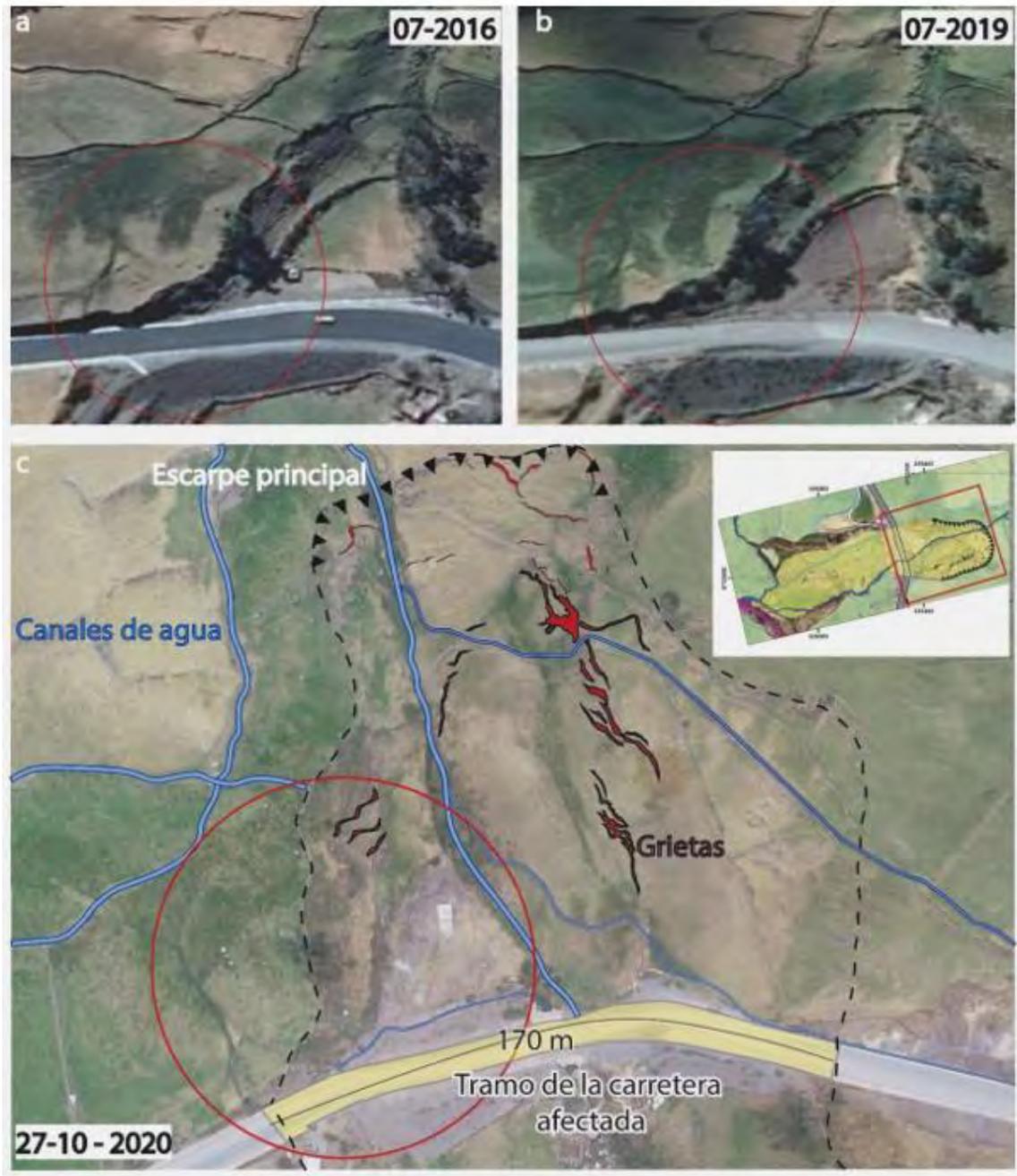


Figura 11. Muestra la parte alta del deslizamiento (encima de la carretera afectada), obsérvese que el cuerpo del deslizamiento está atravesado por canales de riego no impermeabilizados que han saturado el suelo (coluvio-deluvial), provocando el movimiento que afectó 170 m de la carretera asfaltada



Figura 12. (a) muestra el escarpe principal del deslizamiento, b) muestra la altura máxima de dicho escarpe (3 m), c) muestra la altura de un escarpe secundario ubicado metros más abajo del principal y d) muestra los escarpes secundarios ubicados debajo de la carretera (sector Hualcayan).

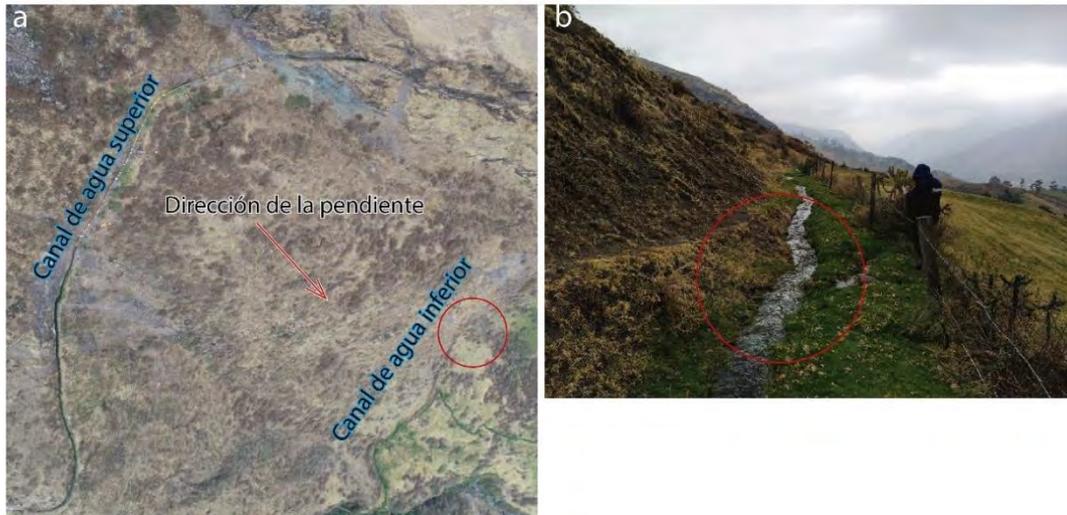


Figura 13. Canales de agua no impermeabilizados ubicados en la parte superior del deslizamiento del sector Hualcayan.



Figura 14. Grietas en el cuerpo del deslizamiento con presencia de agua, que nos indicaría un nivel freático superficial debido a la sobresaturación del terreno por infiltración de aguas pluviométricas y de canales no impermeabilizados



Figura 15. Dimensiones de grietas transversales a la dirección del movimiento del deslizamiento del sector Hualcayan.

4.3. Reptación en el sector Hualcayan

Los procesos de reptación se refieren a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno o denominarse verdadera cuando hay desplazamiento relativamente continuo (con o sin presencia de lluvias) (Vílchez et al., 2019). Se ha identificado este tipo de movimiento en masa, en el sector de Hualcayan en zonas aledañas al actual deslizamiento con pendientes moderadas (5° - 15°), su origen se debe al tipo de suelo (coluvio-deluvial con amplia presencia de matriz limo-arcillosa) saturado por las aguas de canales de riego no impermeabilizados, las evidencias de este movimiento se manifiestan por la presencia de terrenos ondulados y árboles torcidos (figura 16)



Figura 16. Evidencias de reptación en suelos coluvio-deluviales: troncos de árboles torcidos y terrenos ondulados.

4.4. Deslizamiento del sector de Tambo.

En el sector Tambo se han identificado grietas, ubicadas aproximadamente a 50 metros sobre la carretera (Tambo - Canta) en la cota 2600, estas grietas tienen longitudes entre 3 m y 12 m, con anchos de 0.2 m y 1.2 m (figura 19), sobre suelos de material aluvial antiguo (bloques redondeados a subredondeados de tonalidades blanquesinas, en una matriz limo arenosa), sobre el cuerpo del deslizamiento a 36 m de altura de la carretera pasa un canal de riego revestido que divide al cuerpo en dos, la zona inferior presenta evidencias de derrumbes y erosión por el aporte de agua de los terrenos superiores (zonas de cultivo) y una posible fuga de agua por agrietamientos proveniente del canal revestido, que desestabilizó el sector superior provocando la aparición de grietas que demuestran el movimiento de este cuerpo (figuras 17 y 18).

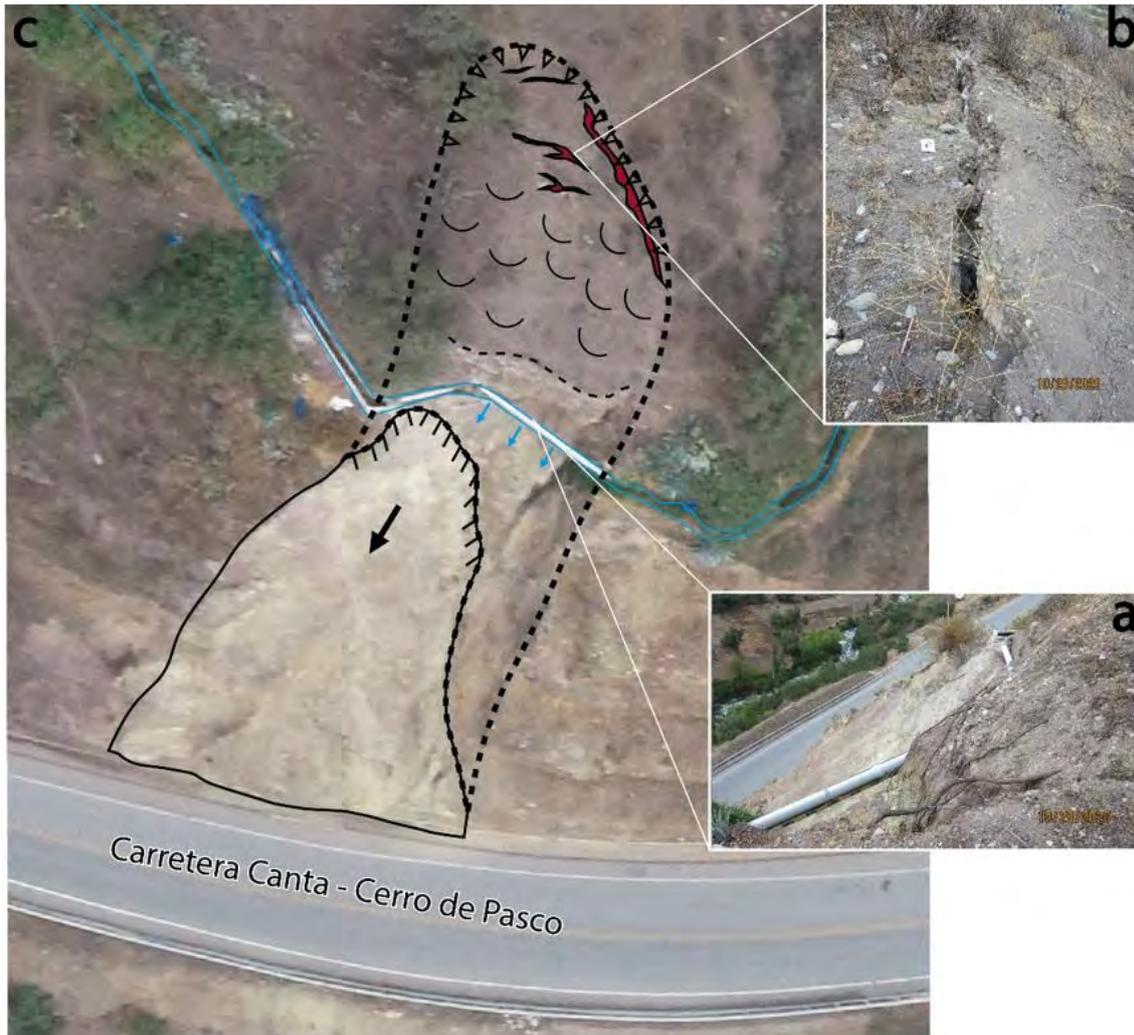


Figura 17. Vista del deslizamiento activo cartografiado en el sector Tambo que puede afectar 29 m de carretera, obsérvese el canal de agua que pasa por encima del cuerpo principal dividiendo el cuerpo en dos sectores, la parte inferior con presencia de derrumbes y zonas de erosión y la parte superior con material desestabilizado deslizándose.

Un corte de talud a unos 50 m del flanco izquierdo del deslizamiento permite observar el material sobre el cual se está desarrollando los movimientos, así en la parte inferior podemos observar andesitas altamente fracturadas y cloritizadas con intercalaciones de yesos, sobre estos se depositaron bloques irregulares angulosos con una matriz limoarcillosa, inmediatamente después se observan bloques redondeados a sub-redondeados en una matriz limoarenosa cubierta por un material fino deluvial, en esta ladera también se observa la continuación del canal (en este tramo no impermeabilizado) que pasaba por la zona de deslizamiento (figura 18).

Tanto en el sector Tambo como en el sector Hualcayan se pueden observar canales de riego no revestidos, que saturan el terreno favoreciendo la inestabilidad de las laderas (figura 20)

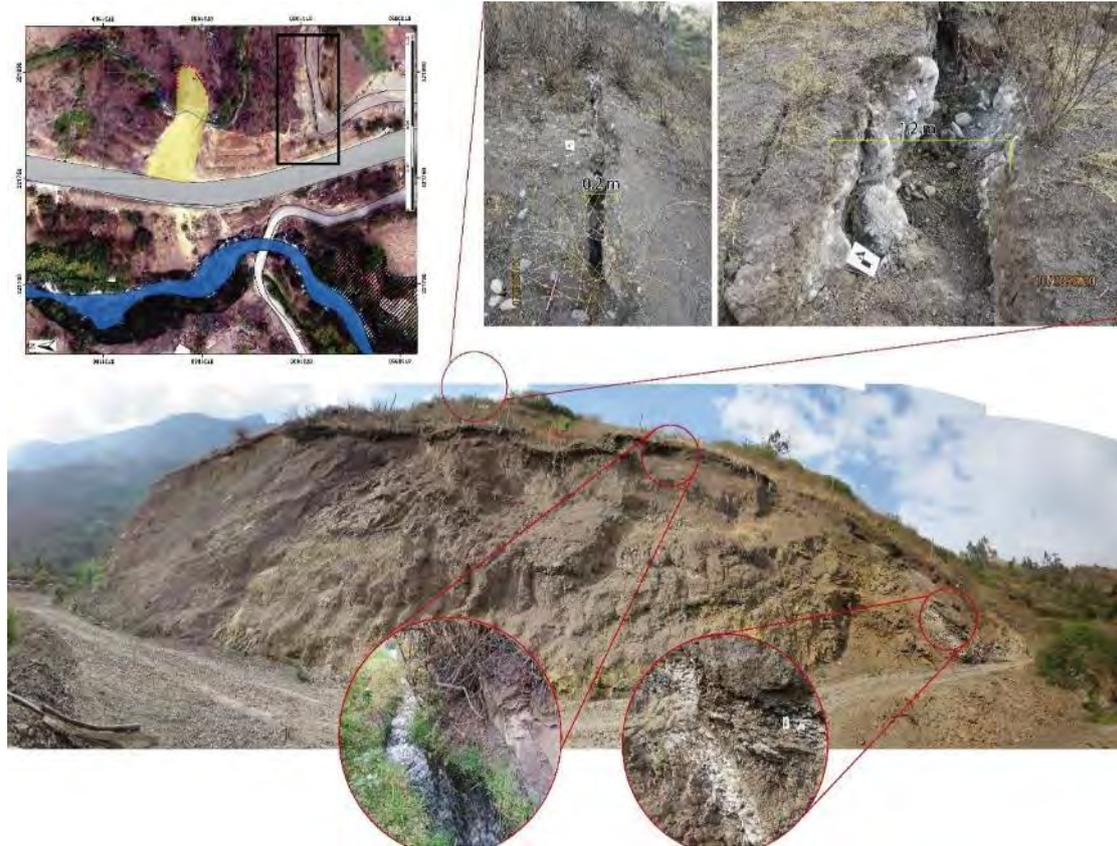


Figura 18. Corte de talud lateral a 50 m del deslizamiento que nos permite conocer la composición litológica de la ladera (sector Tambo)



Figura 19. Muestra el ancho de las grietas, ubicadas en la parte superior del deslizamiento en el sector Tambo.



Figura 20. a, b y c) Vista de canales de agua no permeabilizados distribuidos en el sector Tambo, d) muestra el tubo de agua que conecta dos tramos de un canal revestido que pasa por la zona de deslizamiento

4.5. FACTORES CONDICIONANTES

- Las aforamientos rocosos y detríticos encontrados en las zonas de evaluación, donde se ubican los escarpes y taludes cercanos a los deslizamientos en los sectores Hualcayan y Tambo están conformados por capas volcánicas altamente fracturadas y capas de material coluviales y coluvio-deluviales conformados por bloques heterométricos de origen volcánico con matrices predominantemente limo-arcillosas, que en conjunto forman una capa poco competente y altamente susceptible a procesos de erosión y movimientos en masa.
- La pendiente del terreno en las zonas de reptación es moderada (5° - 15°), mientras que en las zonas de deslizamiento varían hasta pendientes fuertes (15° - 25°), en algunos sectores de la ladera inestable varían entre pendientes escarpadas a muy escarpadas (25° a $>45^{\circ}$)
- La saturación del terreno (evidente en grietas) y fuentes de agua a lo largo del talud de la carretera, producto de la infiltración de aguas meteóricas y canales de riego no impermeabilizados es uno de los principales factores condicionantes del fenómeno.

4.6. FACTORES DETONANTES O DESENCADENANTES

- Las lluvias son consideradas como el principal factor detonante de los movimientos en masa. Las estaciones cercanas Canta y Obrajillo administradas por el Servicio Nacional de Meteorológica (SENAMHI) pueden tener información con registros de precipitaciones intensas producto del fenómeno denominado “El Niño Costero”, donde se presentaron lluvias “fuertes” a “extremadamente fuertes” en la vertiente occidental de los Andes, entre diciembre del 2016 a mayo del 2017 (ENFEN, 2017), el análisis de esta información confirmaría el incremento de la frecuencia e intensidad de las precipitaciones en los sectores de Hualcayan y Tambo, que originaron la reactivación de los deslizamientos.
- Los sismos son fenómenos que generan sacudidas bruscas y pasajeras en la corteza terrestre, producto de la ruptura de fallas geológicas en profundidad (hipocentro) que libera energía que se propaga en forma de ondas sísmicas, que son un detonante para producir fenómenos cosísmicos o postsísmicos, como procesos por movimientos en masa (deslizamientos, caída de rocas, derrumbes, etc) y licuefacción de suelos. Teniendo en cuenta el silencio sísmico de 270 años que registra Lima, donde se espera un sismo mayor a 8.5 Mw (Tavera 2017), bastaría una intensidad de 4.0 MI para desencadenar movimientos en masa (Keefer 1984). De darse un sismo de estas magnitudes en la región Lima, podría generar movimientos en masa (generación y/o reactivación de deslizamientos, caída de rocas, derrumbes, etc) en los sectores de Hualcayan y Tambo.

5. CONCLUSIONES

- a) La geología local del área de estudio está representada por afloramientos de rocas de origen volcánico formados por brechas, tobas y andesitas (Gpo. Calipuy), sobre las que se depositan unidades inconsolidadas de origen aluvial, formado por capas de gravas gruesas y finas bien clasificadas, coluviales conformados por bloques subangulosos con matriz areno-limoso y coluvio-deluvial formado por bloques heterométricos con un mayor porcentaje de matriz limo-arenoso.
- b) La geomorfología local está representada por unidades de montaña, colinas y lomadas de rocas volcánicas con pendiente del terreno que varían entre fuertes (5° a 25°) a muy fuertes (25° a 45°); así como unidades de piedemonte con pendientes suaves (1° a 5°) a moderada (5° a 15°) que son aprovechados como terrenos de cultivo y son áreas donde se generan los procesos por movimientos en masa.
- c) Los sectores Hualcayan, Tambo y alrededores son afectados por peligros geológicos antiguos como deslizamientos, avalanchas, flujo de detritos (huaicos), reptación de suelos y erosión de laderas. En la actualidad estos eventos se han reactivado a manera de deslizamientos reptación de suelos y caída de rocas afectando la infraestructura vial y viviendas, de ocurrir un evento con mayor magnitud afectara las viviendas del centro poblado de Obrajillo, situado aguas debajo de la quebrada Hualcayan.
- d) Las causas que originaron los fenómenos de reptación y deslizamientos en las zonas de Hualcayan y Tambo fueron: la saturación del suelo no consolidado de origen coluvio-deluvial y rocas fuertemente fracturadas, que ocasiono la pérdida

de su cohesión interna por humedad excesiva mediante infiltraciones de aguas provenientes de precipitaciones pluviales y en especial de los canales de riego no impermeabilizados.

- e) Dado que las condiciones actuales de inestabilidad continúan en la zona de deslizamiento, debido a la presencia de suelos saturados, con presencia de grietas abiertas paralelas en el cuerpo desplazado, esta zona se considera con **MUY ALTO PELIGRO**, principalmente frente a la presencia de lluvias extraordinarias y con la ocurrencia de movimientos sísmicos.

6. RECOMENDACIONES

- A) Se debe tomar medidas correctivas inmediatas puesto que en la siguiente temporada de precipitaciones (diciembre - marzo), los agrietamientos y deslizamientos identificados, pueden incrementar sus vectores de movimiento verticales y horizontales, ocasionando daños en la carretera (Lima – Cerro de Pasco), en los sectores de Tambo y Hualcayan, de igual manera las zonas identificadas como reptaciones podrían llegar a formar nuevos deslizamientos. Con un comportamiento similar al deslizamiento de Hualcayan
- B) En el sector Tambo y lugares aledaños al sector Hualcayan, se recomienda hacer un tratamiento al talud mediante desquinches de material inestables (peinados de talud) y mediante normativas y estudios técnicos analizar si es posible el escalonamiento (banqueamiento) del talud.
- C) Impermeabilizar los canales de riego e implementar la construcción de cunetas y drenajes que lleven las aguas de infiltración y escurrimiento superficial hacia la quebrada principal, y tecnificar la metodología de riego para evitar la sobresaturación del terreno.
- D) Sellado de grietas, mediante el relleno y pisoneo de la abertura de las grietas existentes, con cascajo y tierra, dándole al terreno un talud uniforme, para evitar la infiltración de las aguas de precipitación pluvial y escorrentía superficial, todo esto para minimizar y controlar los efectos de agua en la masa del fenómeno (reptaciones y deslizamientos)
- E) Sensibilizar y capacitar a la población para mejorar el uso adecuado del agua y capacitación en uso de métodos de riego tecnificado en las zonas de Hualcayan y Tambo.
- F) Implementar un plan de monitoreo en los sectores de Hualcayan y Tambo para analizar la evolución de los procesos de reptación y deslizamientos identificados. Así como un sistema de alerta temprana comunitario ante la presencia de eventos similares.



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



ING. HUGO DULIO GOMEZ VELASQUEZ
Especialista en Peligros Geológicos
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

7. BIBLIOGRAFÍA

- Cobbing, E.J., Pitcher, W.S. & Garayar, J. (1973). Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ámbar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta. Serv. Geol. Min., Boletín 26, 172 p.
- Dávila, S. (2002). Peligro por deslizamiento en la localidad de Tambopata que afecta la carretera Lima–Canta–Cerro de Pasco. INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental, Lima. (Informe interno).
- Dávila, S. (2002) Inspección de peligros geológicos en los anexos aledaños al distrito de Canta. INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental, Lima. (Informe interno).
- De la Cruz, b., Jaimes f. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Canta (23-j) – Cuadrante I y II, Escala 1:50 000
- De la Cruz Matos, O. (1998). Geología de la cuenca alta del río Chillón, Departamento de Lima. Tesis de grado: Ingeniero Geólogo. Universidad Nacional Mayor De San Marcos. Facultad De Geología, Minas, Metalurgia Y Ciencias Geográficas. 58 pgs
- ENFEN 2017. Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN EL NIÑO COSTERO 2017, 31p.
- Emanuel, C. & Ecurra, J. (2000) – Informe nacional sobre la gestión del agua en el Perú (en línea). Comité Asesor Técnico de América del Sur – SAMTAC-GPW, 56 p.
- Fidel, I., Zavala, b. Nuñez, s. Valenzuela, g. (2006). Estudio De Riesgos Geológicos Del Perú Franja N° 4. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Serie “C” Geodinámica e Ingeniería Geológica. Boletín N° 29. 383 pgs. 11 figs., 10 gráfs., 49 cdrs., 136 fots., 19 mapas
- Keefer D.K. (1984) - Landslides caused by earthquakes. Geological Society of America Bulletin, 95(4): 406-421.
- Luque, G.; Rosado, M.; Pari, W.; Peña, F. & Huamán, M. (2020). Peligro geológico en la región Lima. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica, 76, 298 p., 9 mapas.
- Ministerio del Ambiente (2015) – Mapa nacional de cobertura vegetal: Memoria descriptiva (en línea). Lima: MINAM, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural, 105 p.
- Proyecto Multinacional Andino, Geociencias para las Comunidades Andinas, PMA: GCA (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas, 404 Pág.
- Tavera, H (2017) – Actualización del escenario por sismos, tsunamis y exposición en la región central del Perú

- Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176, Pág. 9–33.
- Vilchez, M.; Ochoa, M., & Pari, W. (2019). Peligro geológico en la región Ica. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 67, 212 p., 9 mapas.
- Villacorta, S.; Vásquez, J. & Núñez, S. (2010) - Zonas críticas por peligros geológicos en la cuenca del río Chillón: primer reporte, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 25 p
- Villota, H. (2005) Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos Y Zonificación de Tierras. Bogotá, Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 183p.
- Yañez, F.; Hermosa, R., & Bazán, L. (2017) – Caracterización de la infiltración de agua en tres sistemas de uso del suelo de la Comunidad Santiago de Carampoma, Huarochirí, Lima

ANEXO 1: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

En este anexo se dan algunas propuestas de solución para los sectores evaluados, con la finalidad de evitar la generación de nuevas ocurrencias y minimizar las ocurrencias de deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, entre otros.

En el caso del sector Tambo, donde la inestabilidad de la ladera es precaria, se puede modificar su geometría con la finalidad de obtener una nueva disposición que resulte estable, así disminuir las fuerzas que tienden a generar el movimiento y aumentar la resistencia del corte del terreno. Así, mediante el adecuado estudio geotécnico, se podría realizar “un tratamiento de taludes con escalonamiento (banqueamiento)”, con zanjas de drenajes para evacuar las aguas de escorrentía, disminuyendo su efecto erosivo (figura 21).

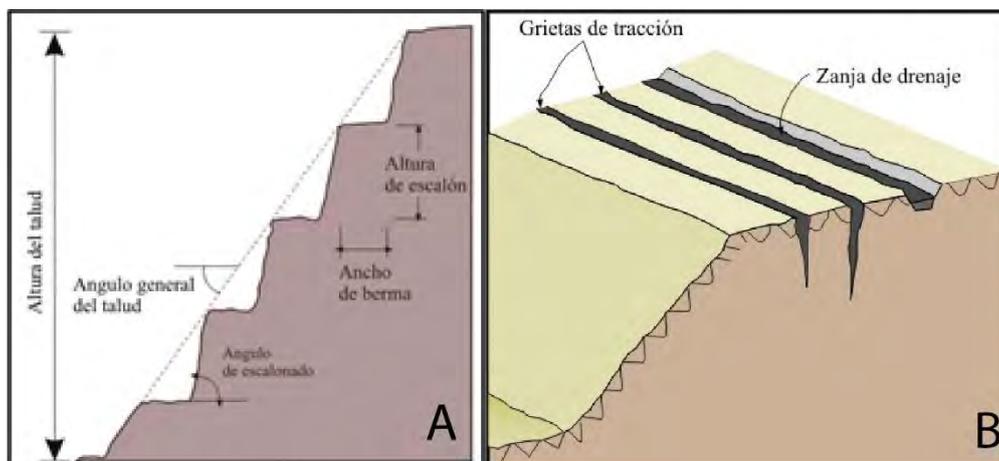


Figura 21: A) Muestra el esquema de un talud con bermas intermedias, B), muestra la disposición recomendada de zanjas de drenaje en un talud o ladera (INGEMMET, 2000)

Uno de los factores condicionantes más relevantes tanto en los sectores Hualcayan como Tambo es la sobresaturación de los suelos, es por ello que se sugiere aplicar medidas de corrección de drenaje (superficiales y profundos), los drenajes superficiales evacuaran las aguas de escorrentía por medio de zanjas impermeabilizadas, las cuales deben situarse a poca distancia de la cresta del talud y detrás de la misma, evitando así la llegada del agua a las zonas de agrietamientos en los sectores Hualcayan y Tambo (figura 22A). En cuanto a drenes profundos se sugieren drenes horizontales (entre 5° y 10°) cribados desde la parte de la superficie del talud, contenidos en una sección transversal del mismo (figura 22 B)

De igual manera se recomiendan zanjas con relleno drenante de tipo espina de pescado (figura 22C) que combina una zanja drenante que sigue la línea de máxima pendiente con zanjas secundarias (espinas) ligeramente inclinadas que convergen en la espina central.

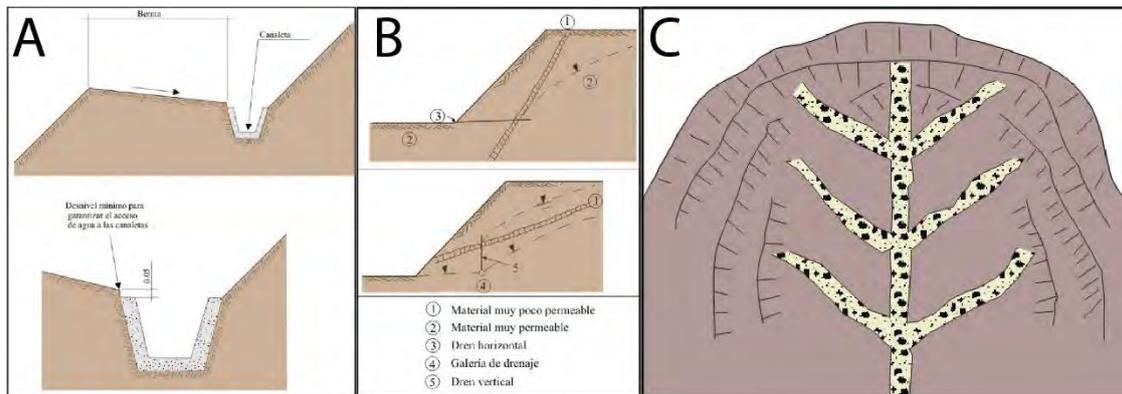


Figura 22: A) muestra el detalle de una canaleta de drenaje superficial, B) muestra la disposición de drenajes en taludes no homogéneos, C) muestra un drenaje tipo “espina de pescado” (tomado de INGEMMET, 2000)

Así mismo alrededor del sector de Hualcayan, se pueden implementar muros de contención al pie de la ladera que pueden ser de gravedad (figura 23) o gaviones (figura 24) con la finalidad de contener el movimiento de suelos reptantes hacia la carretera.

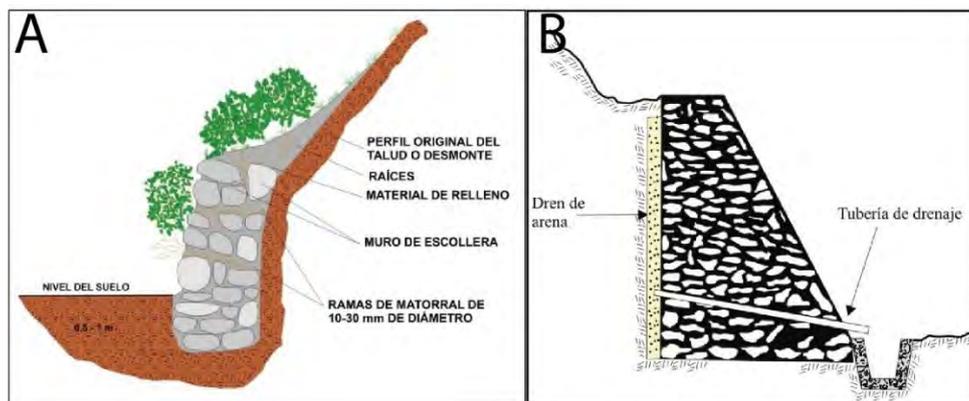


Figura 23: (A) Muestra ejemplos de muros de gravedad de tipo piedra seca y (B) piedra argamasada.

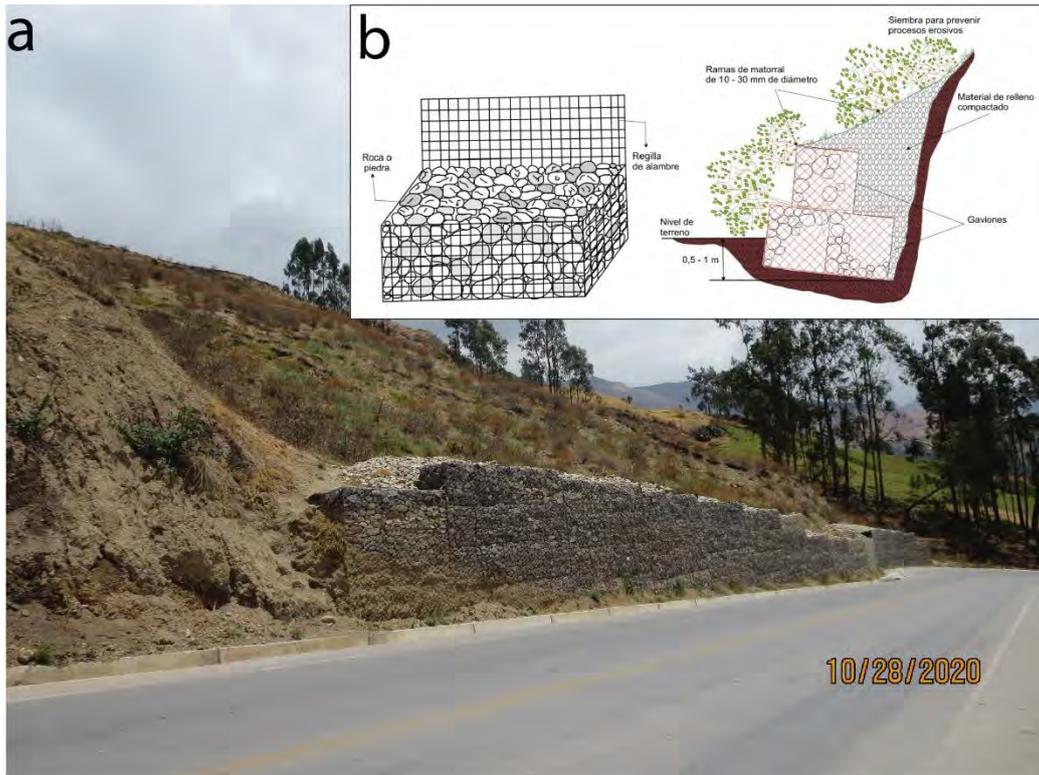


Figura 24: Ejemplo de muros tipo gaviones y como estos favorecen la estabilidad de deslizamientos antiguos en el sector de Quinta Rosada aledaña al Sector de Hualcayan.

Todas las obras geotécnicas deben ser realizadas por especialistas y bajo el sustento de estudios técnicos.

ANEXO 2: MAPAS

- Mapa 1: Mapa Geológico del sector Hualcayan.
- Mapa 2: Mapa de Pendientes del sector Hualcayan.
- Mapa 3: Mapa Geomorfológico del sector Hualcayan.
- Mapa 4: Mapa de uso de suelos del sector Hualcayan.
- Mapa 5: Mapa del Índice Topográfico de Humedad (TWI), del sector Hualcayan.
- Mapa 6: Mapa de peligros geológicos en el sector Hualcayan.
- Mapa 7: Mapa Geológico del sector Tambo.
- Mapa 8: Mapa de Pendientes del sector Tambo.
- Mapa 9: Mapa Geomorfológico del sector Tambo.
- Mapa 10: Mapa de uso de suelos del sector Tambo.
- Mapa 11: Mapa del Índice Topográfico de Humedad (TWI), del sector Tambo.
- Mapa 12: Mapa de peligros geológicos en el sector Tambo.

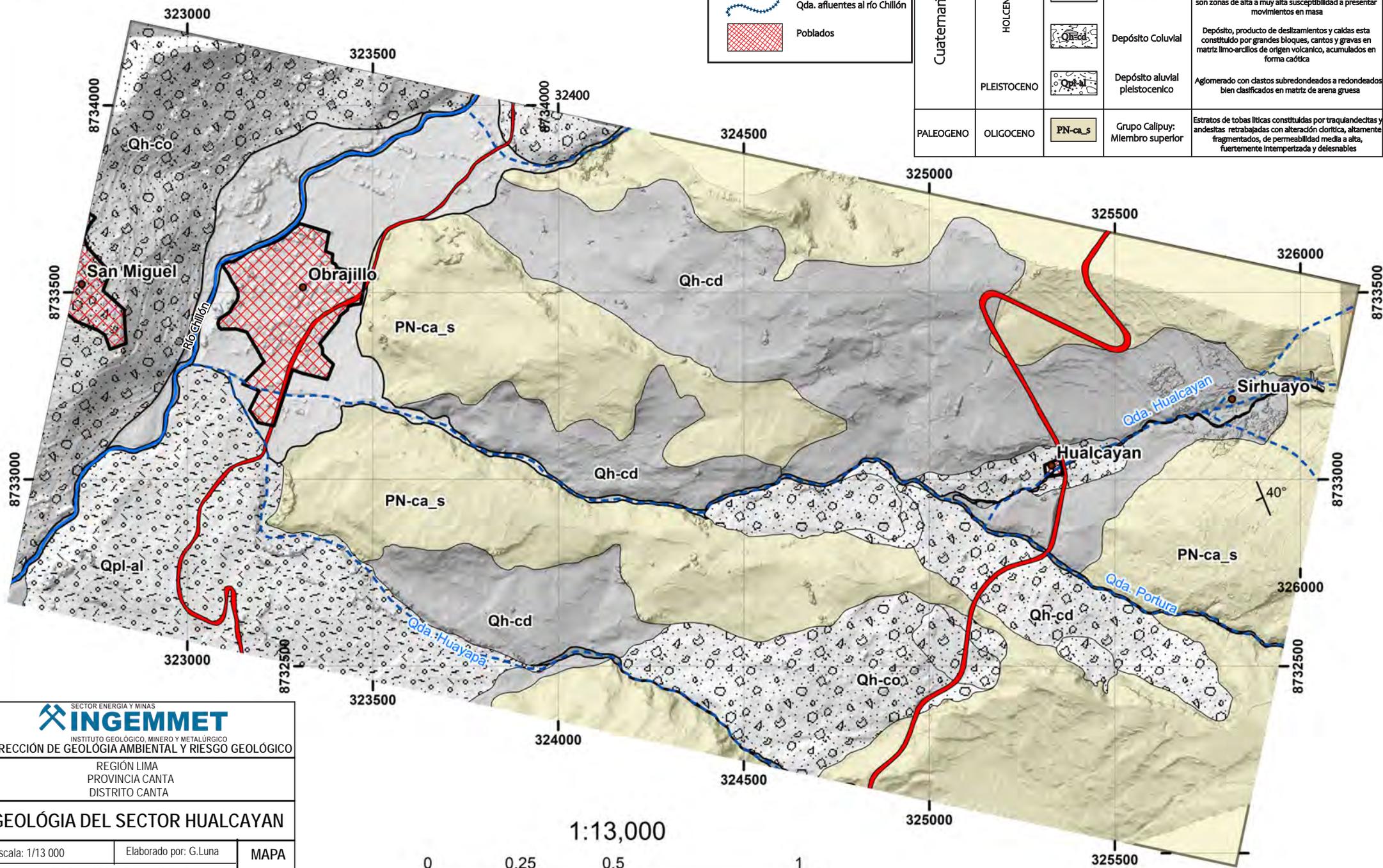


Simbología

-  Carretera asfaltada
-  Río Chillón
-  Qda. afluentes al río Chillón
-  Poblados

Leyenda

EDAD	SERIE	CODIGO	Unidad	DESCRIPCIÓN
Cuaternario	HOLCENO	Qh-co	Depósito Coluvio deluvial	Esta constituido por bloques angulosos con bastante matriz limosa, por su naturaleza, cohesión y disposición son zonas de alta a muy alta susceptibilidad a presentar movimientos en masa
		Qh-cd	Depósito Coluvial	Depósito, producto de deslizamientos y caídas esta constituido por grandes bloques, cantos y gravas en matriz limo-arcillos de origen volcanico, acumulados en forma caótica
	PLEISTOCENO	Qpl-al	Depósito aluvial pleistocénico	Aglomerado con clastos subredondeados a redondeados bien clasificados en matriz de arena gruesa
PALEOGENO	OLIGOCENO	PN-ca_s	Grupo Callpuy: Miembro superior	Estratos de tobas liticas constituidas por traquiandecitas y andesitas retrabajadas con alteración diorítica, altamente fragmentados, de permeabilidad media a alta, fuertemente intemperizada y desleables



SECTOR ENERGIA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

REGION LIMA
 PROVINCIA CANTA
 DISTRITO CANTA

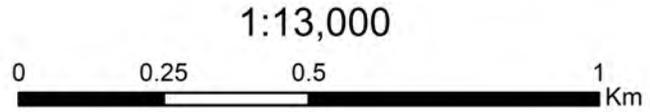
GEOLOGÍA DEL SECTOR HUALCAYAN

Escala: 1/13 000 Elaborado por: G.Luna

Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84

Versión digital 2020 Impreso: Noviembre 2020

MAPA 01

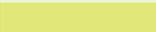


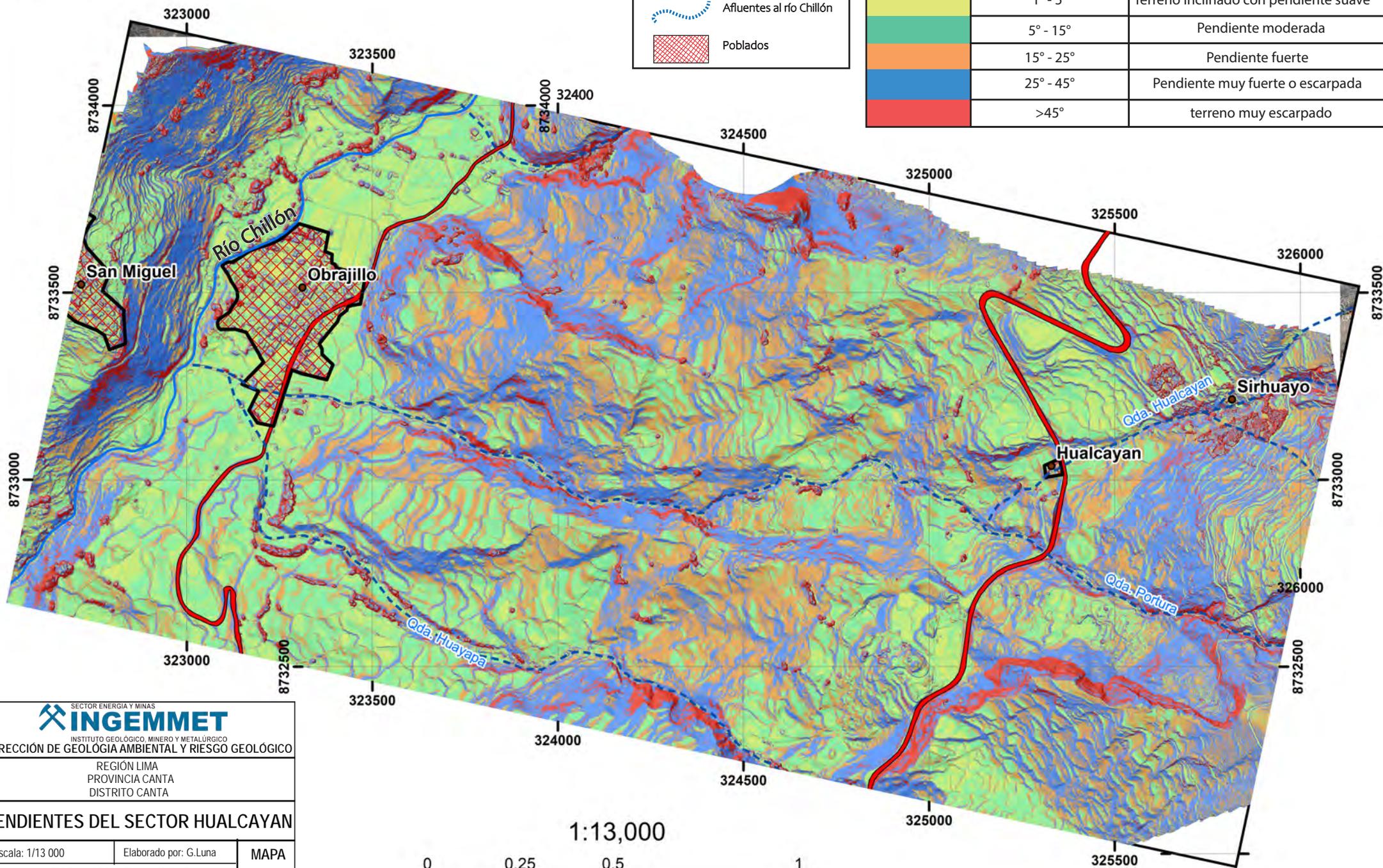


Simbología

-  Carretera asfaltada
-  Río Chillón
-  Afluentes al río Chillón
-  Poblados

Leyenda

Color	Rango de pendiente en grados	Superficie Topográfica
	0° - 1°	Terreno llano
	1° - 5°	Terreno inclinado con pendiente suave
	5° - 15°	Pendiente moderada
	15° - 25°	Pendiente fuerte
	25° - 45°	Pendiente muy fuerte o escarpada
	>45°	terreno muy escarpado

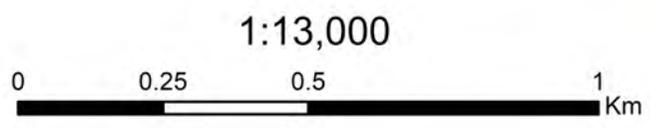


SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

REGIÓN LIMA
 PROVINCIA CANTA
 DISTRITO CANTA

PENDIENTES DEL SECTOR HUALCAYAN

Escala: 1/13 000	Elaborado por: G. Luna	MAPA 02
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84		
Versión digital 2020	Impreso: Noviembre 2020	



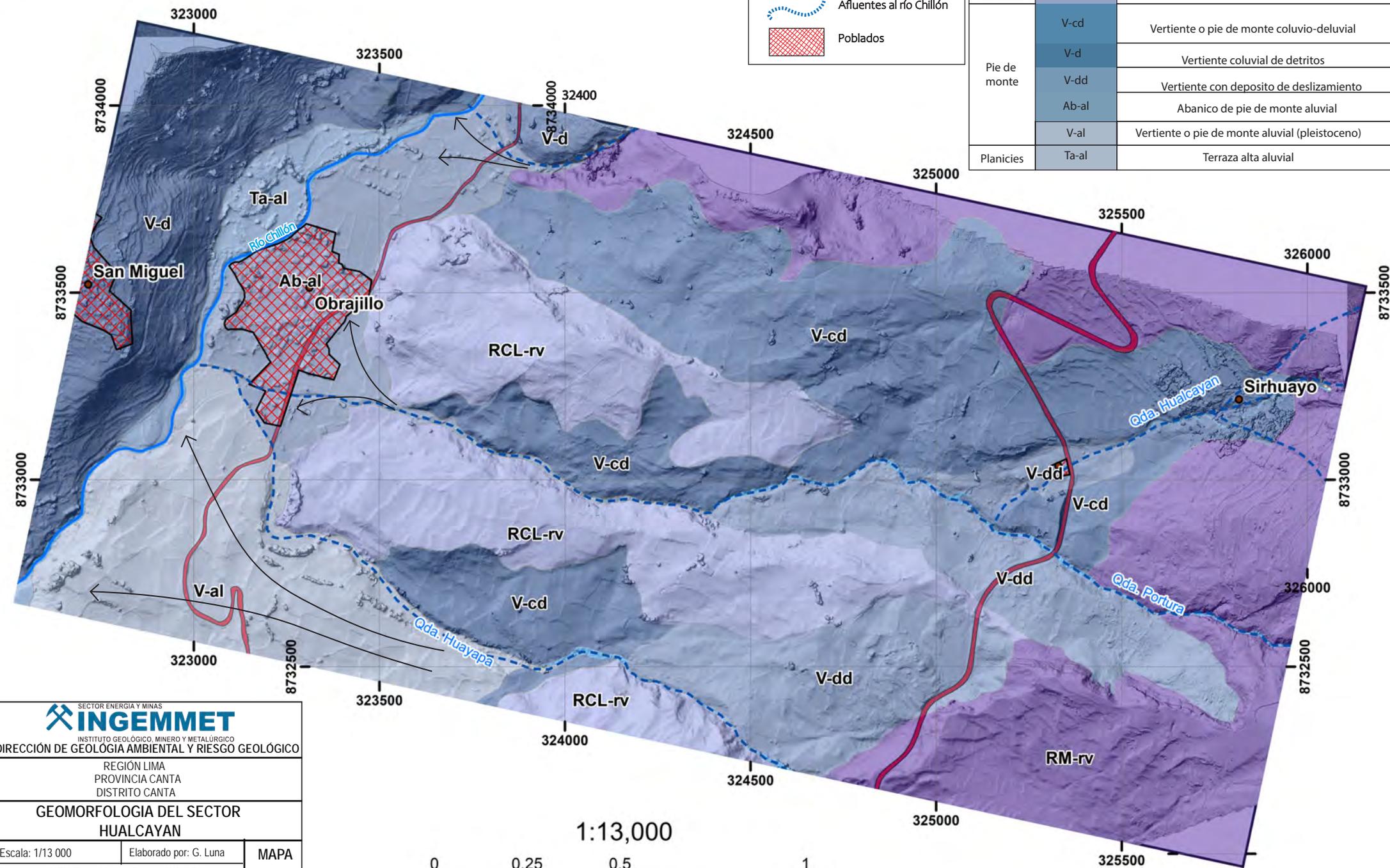


Simbología

-  Carretera asfaltada
-  Río Chillón
-  Afluentes al río Chillón
-  Poblados

Leyenda

Unidad	Etiqueta	Sub Unidad
Montañas	RM-rv	Montaña en roca volcánica (Grupo Calipuy)
Colinas y lomadas	RCL-rv	Colinas y lomadas en rocas volcánicas
Pie de monte	V-cd	Vertiente o pie de monte coluvio-deluvial
	V-d	Vertiente coluvial de detritos
	V-dd	Vertiente con deposito de deslizamiento
	Ab-al	Abanico de pie de monte aluvial
Planicies	V-al	Vertiente o pie de monte aluvial (pleistoceno)
	Ta-al	Terraza alta aluvial

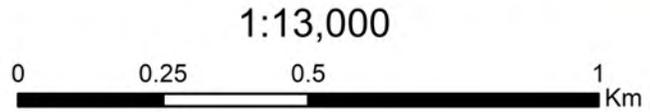


SECTOR ENERGIA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

REGION LIMA
 PROVINCIA CANTA
 DISTRITO CANTA

GEOMORFOLOGIA DEL SECTOR HUALCAYAN

Escala: 1/13 000	Elaborado por: G. Luna	MAPA 03
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84		
Versión digital 2020 Impreso: Noviembre 2020		



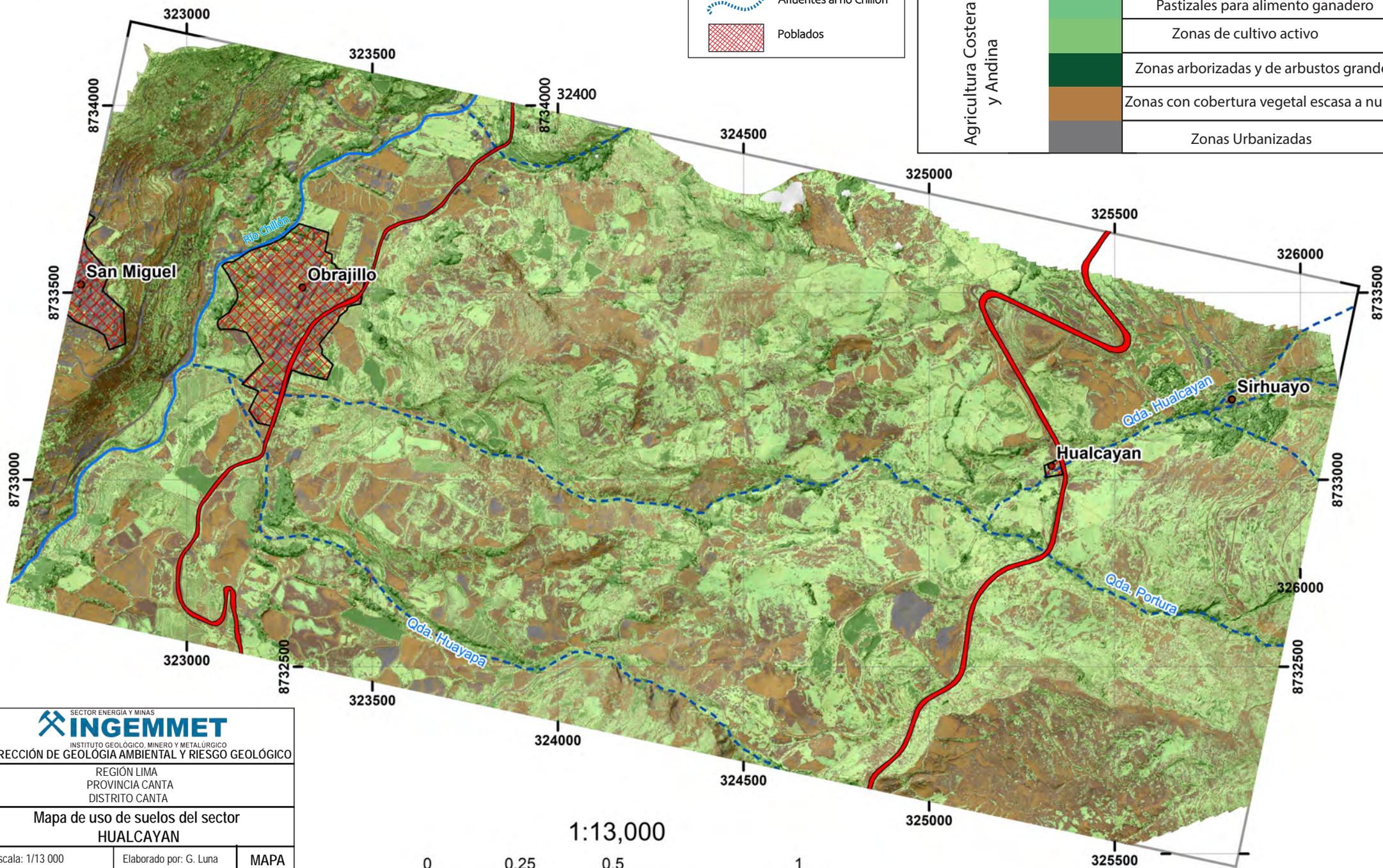


Simbología

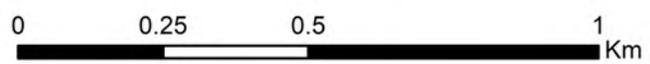
-  Carretera asfaltada
-  Río Chillón
-  Afluentes al río Chillón
-  Poblados

Legenda

Mapa de cobertura vegetal del Perú (MINAM 2015)	Clasificación de uso de suelos no supervisada	
	Etiqueta	Descripción
Agricultura Costera y Andina		Pastizales para alimento ganadero
		Zonas de cultivo activo
		Zonas arborizadas y de arbustos grandes
		Zonas con cobertura vegetal escasa a nula
		Zonas Urbanizadas



1:13,000



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

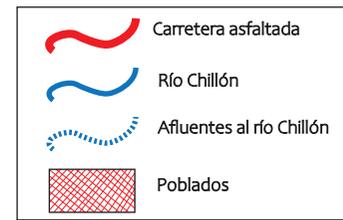
REGIÓN LIMA
 PROVINCIA CANTA
 DISTRITO CANTA

Mapa de uso de suelos del sector HUALCAYAN

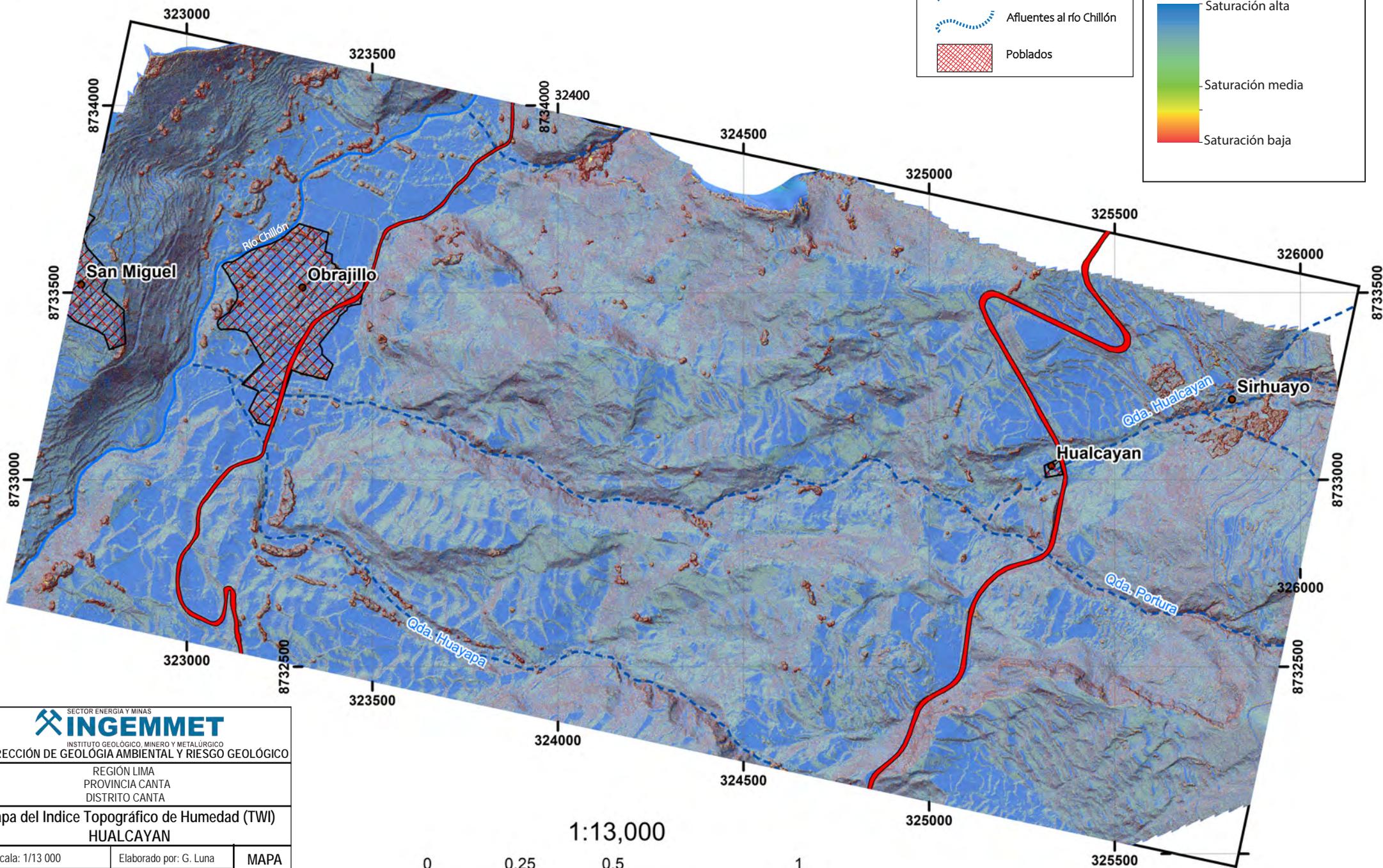
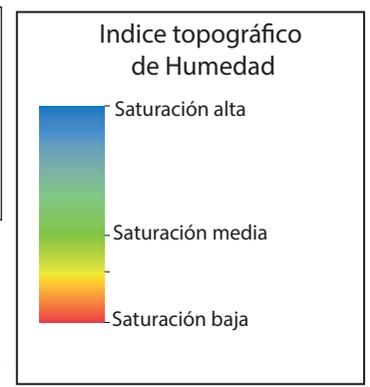
Escala: 1/13 000	Elaborado por: G. Luna	MAPA 04
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84		
Versión digital 2020	Impreso: Noviembre 2020	



Simbología

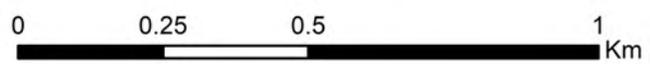


Leyenda



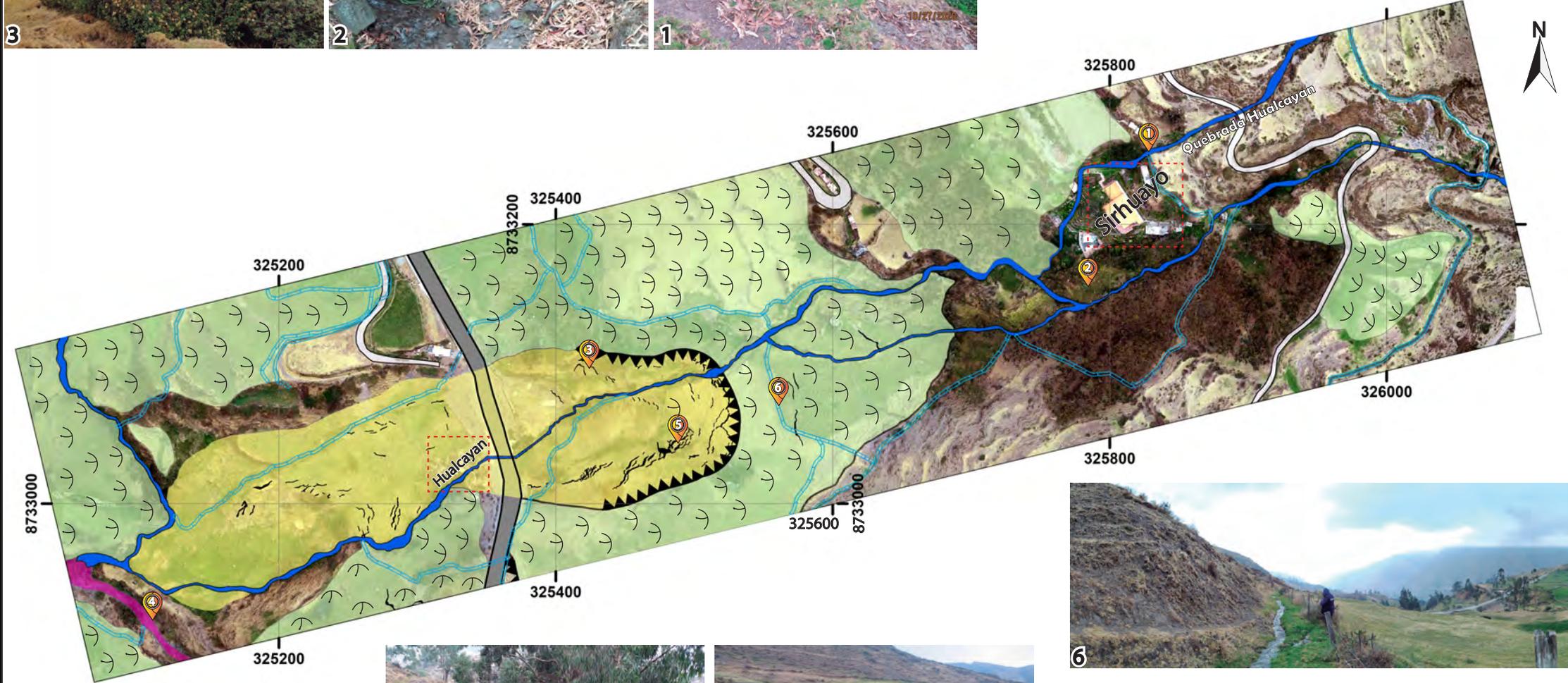
SECTOR ENERGÍA Y MINAS		
INGEMMET		
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO		
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO		
REGIÓN LIMA		
PROVINCIA CANTA		
DISTRITO CANTA		
Mapa del Índice Topográfico de Humedad (TWI)		
HUALCAYAN		
Escala: 1/13 000	Elaborado por: G. Luna	MAPA 05
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84		
Versión digital 2020 Impreso: Noviembre 2020		

1:13,000



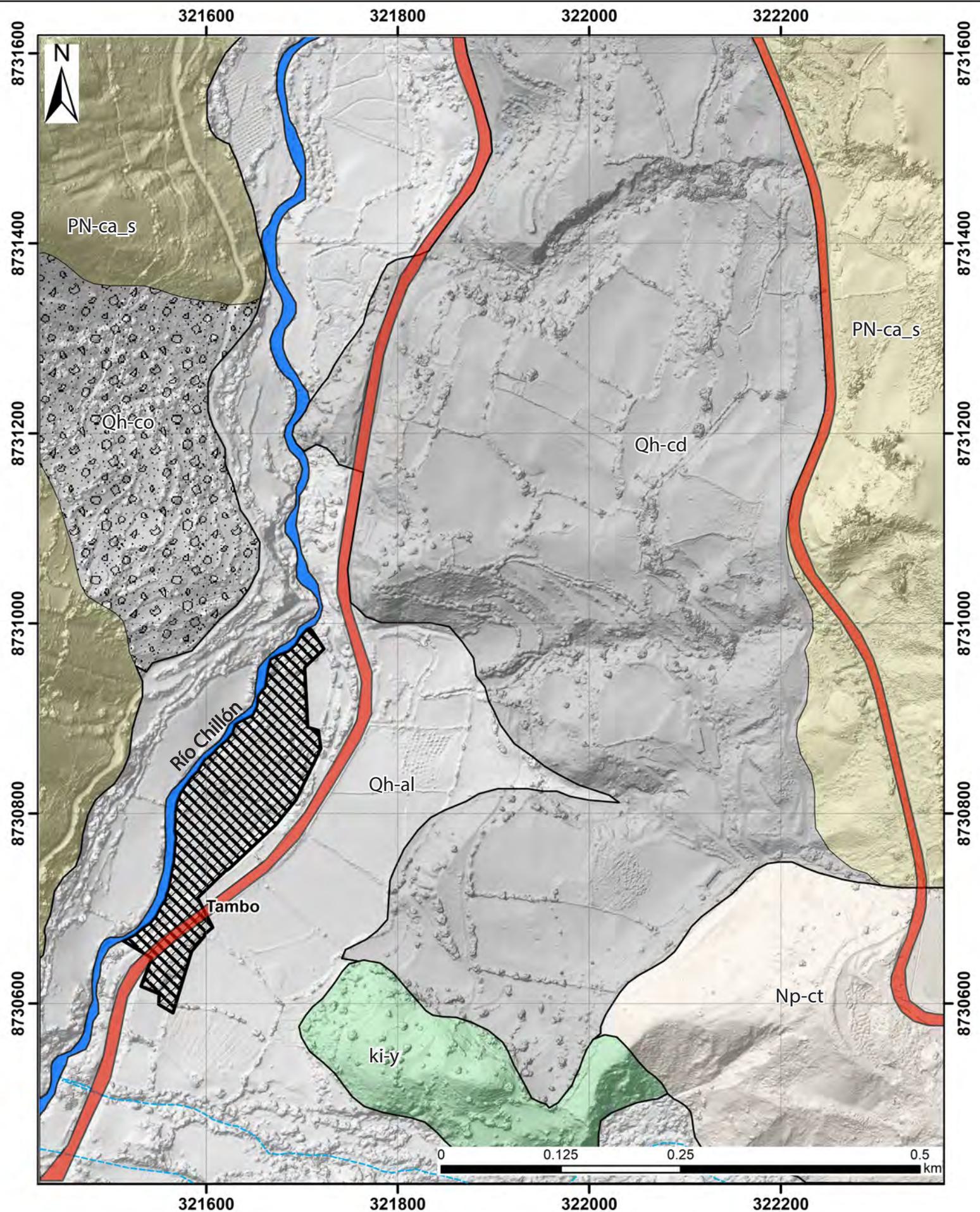


1. Desvío antrópico del curso natural de la quebrada en la zona de Sirhuayo, que contribuye a la saturación del suelo.
2. Depósitos coluviales (bloques heterométricos) producto de avalanchas de roca antiguos.
3. Grietas y escarpes margen derecha del deslizamiento en la zona de Hualcayan.
4. Evidencia de flujo de detritos (huaico) provenientes de la quebrada Portura.
5. Grietas y escarpes centrales en el cuerpo del deslizamiento, zona Hualcayan.
6. Canal de riego no permeabilizado que satura el terreno favoreciendo procesos de movimientos en masa.



SIMBOLOGÍA		LEYENDA	
	Canal de riego no impermeabilizado.		Deslizamiento rotacional
	Trocha carrozable. Carretera asfaltada.		Reptación
	Grietas		Flujo de detritos (huaico)

<p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO</p>		
REGIÓN LIMA PROVINCIA CANTA DISTRITO CANTA		
PELIGROS GEOLÓGICOS HUALCAYAN		
Escala: 1/8 500	Elaborado por: G.Luna	MAPA 06
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84		
Versión digital 2020 Impreso: Noviembre 2020		



EDAD	SERIE	CODIGO	Unidad	DESCRIPCIÓN
Cuaternario	Holoceno		Depósito Coluvio deluvial	Esta constituido por bloques angulosos con bastante matriz limosa, por su naturaleza, cohesión y disposición son zonas de alta a muy alta susceptibilidad a presentar movimientos en masa
			Depósito Coluvial	Depósito, producto de deslizamientos y caídas esta constituido por grandes bloques, cantos y gravas en matriz limo-arcillosa de origen volcánico, acumulados en forma caótica
	PLIOCENO		Formación Canta	Tobas retrabajadas emplazadas caóticamente, intercaladas con niveles de ceniza, color blanquesino y yeso lenticular
PALEOGENO	OLIGOCENO		Grupo Callipuy: Miembro superior	Estratos de tobas litras constituidas por traquiandocitas y andositas retrabajadas con alteración clástica, altamente fragmentadas, de permeabilidad media a alta, fuertemente intemperizada y desmenuables
CRETACEO	SUPERIOR		Formación Yungas	Brechas y tobas volcánicas

Simbología

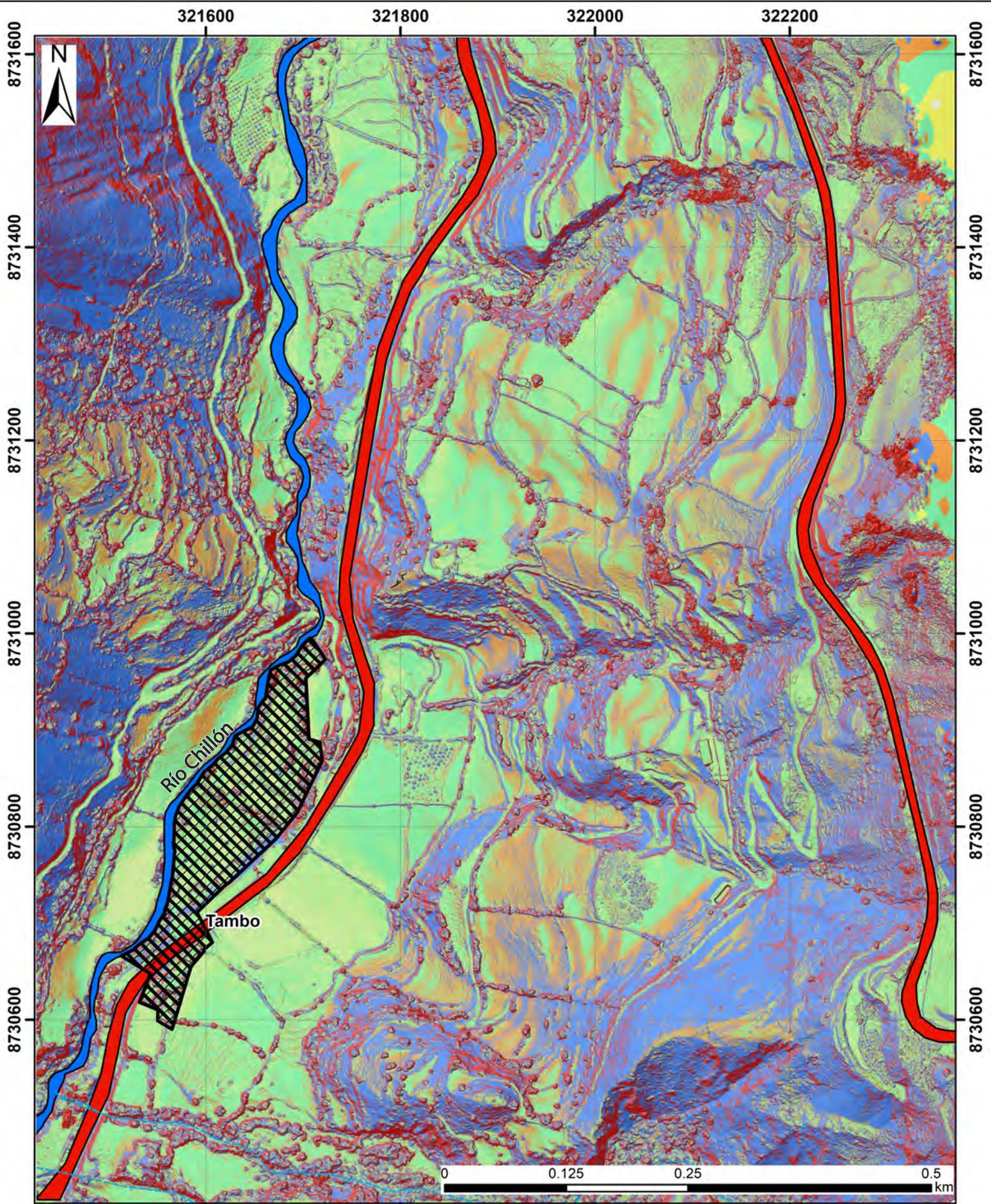
- Carretera asfaltada
- Río Chillón
- Afuentes al río Chillón
- Poblados

SECTOR ENERGIA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

REGION LIMA
 PROVINCIA CANTA
 DISTRITO CANTA

GEOLOGÍA DEL SECTOR TAMBO

Escala: 1/ 5000	Elaborado por: G.Luna	MAPA 07
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2020	Impreso: Noviembre 2020	



Leyenda

Color	Rango de pendiente en grados	Superficie Topográfica
	0° - 1°	Terreno llano
	1° - 5°	Terreno inclinado con pendiente suave
	5° - 15°	Pendiente moderada
	15° - 25°	Pendiente fuerte
	25° - 45°	Pendiente muy fuerte o escarpada
	>45°	terreno muy escarpado

Simbología

- Carretera asfaltada
- Río Chillón
- Afluentes al río Chillón
- Poblados

SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET

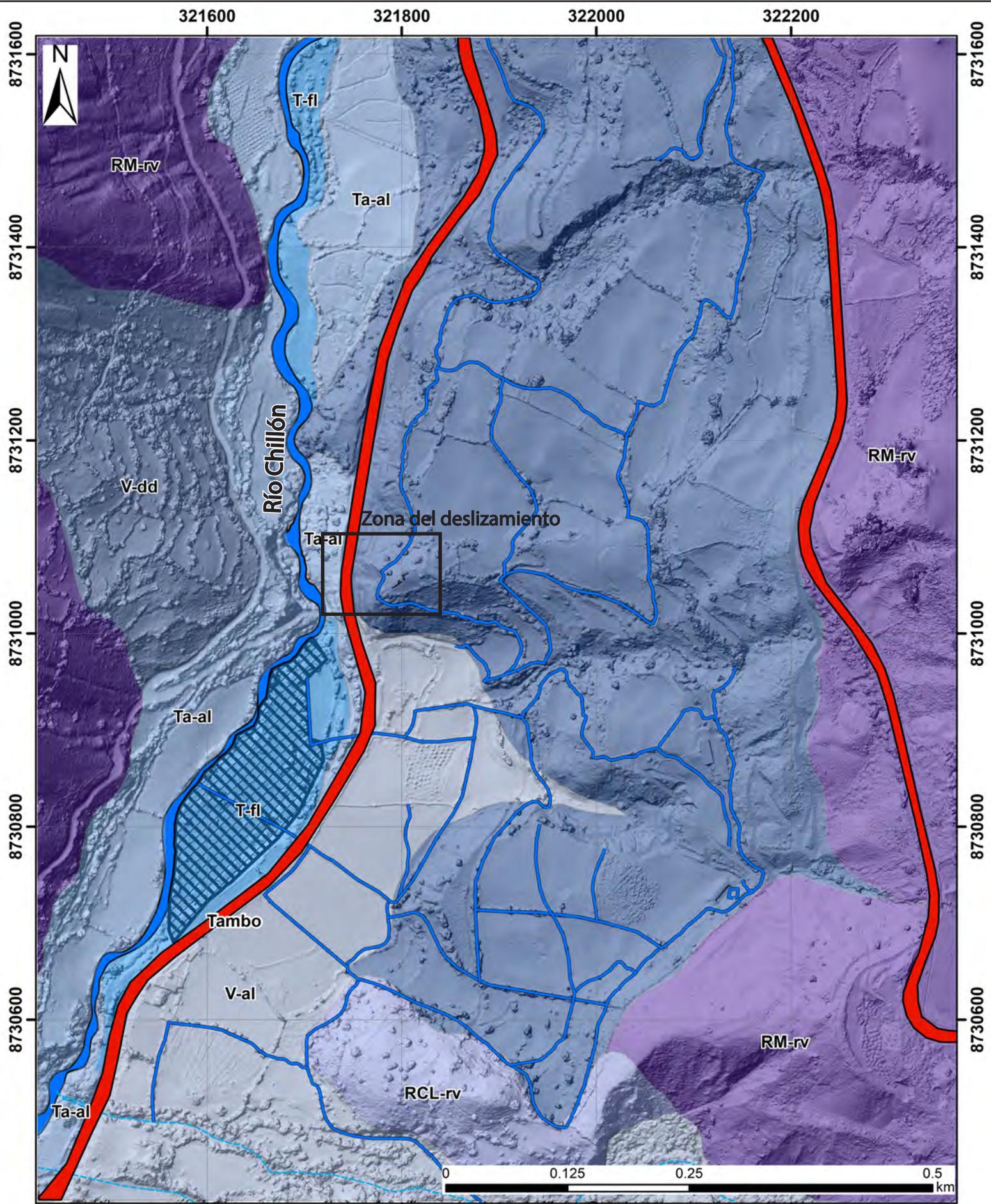
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

REGIÓN LIMA
PROVINCIA CANTA
DISTRITO CANTA

PENDIENTES DEL SECTOR TAMBO

Escala: 1/ 5000	Elaborado por: G.Luna	MAPA
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84		08
Versión digital 2020	Impreso: Noviembre 2020	



Unidad	Etiqueta	Sub Unidad
Montañas	RM-rv	Montaña en roca volcánica (Grupo Calipuy)
Colinas y lomadas	RCL-rv	Colinas y lomadas en rocas volcánicas
Pie de monte	V-cd	Vertiente o pie de monte coluvio-deluvial
	V-d	Vertiente coluvial de detritos
	V-dd	Vertiente con deposito de deslizamiento
	Ab-al	Abanico de pie de monte aluvial
Planicies	V-al	Vertiente o pie de monte aluvial (pleistoceno)
	Ta-al	Terraza alta aluvial
Planicies inundables	T-fi	Terraza fluvial

Simbología

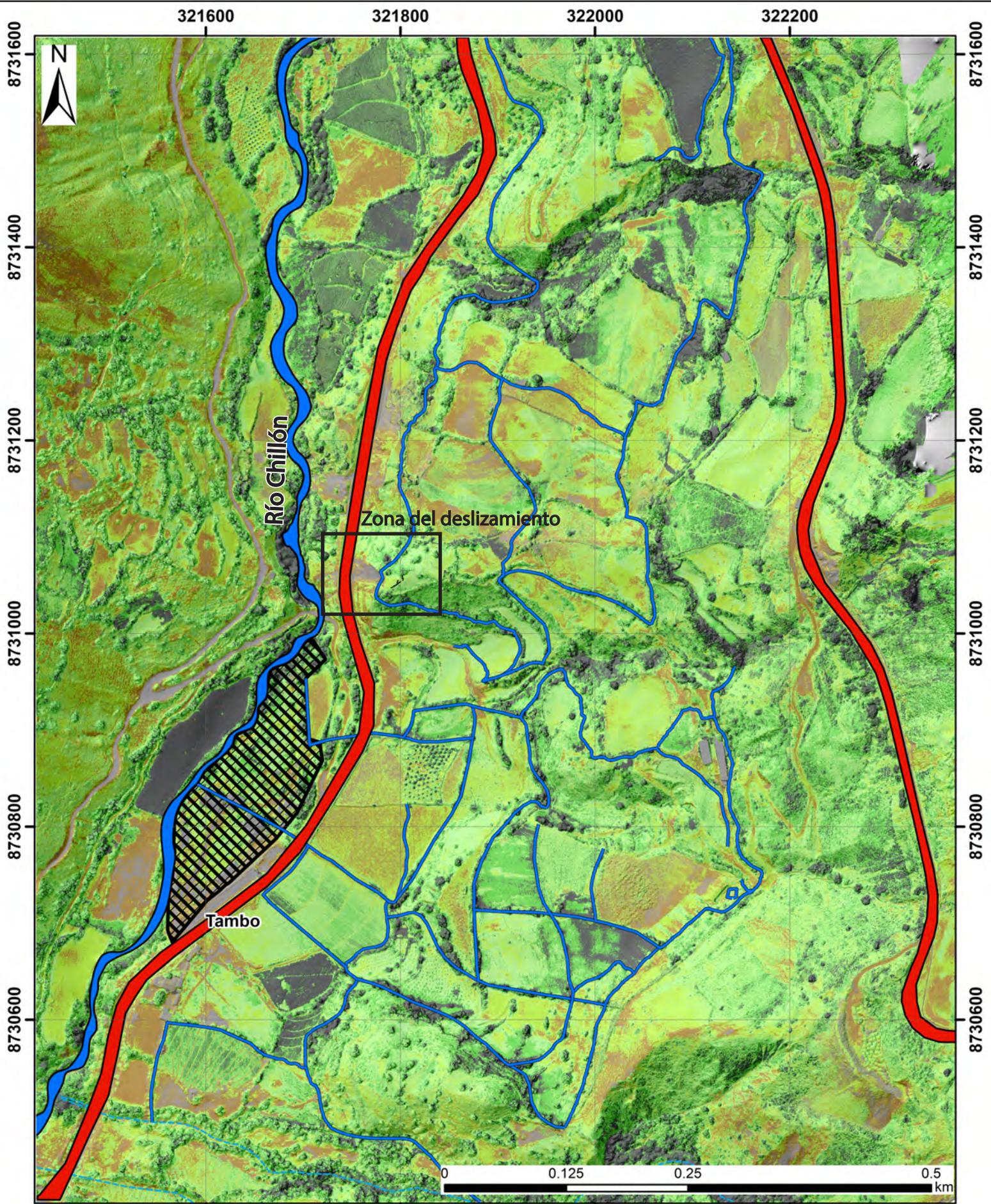
-  Carretera asfaltada
-  Río Chillón
-  Afluentes al río Chillón
-  Poblados

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

REGIÓN LIMA
 PROVINCIA CANTA
 DISTRITO CANTA

GEOMORFOLOGÍA DEL SECTOR TAMBO

Escala: 1/ 5000	Elaborado por: G.Luna	MAPA 09
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84	Versión digital 2020	
Impreso: Noviembre 2020		



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

REGIÓN LIMA
 PROVINCIA CANTA
 DISTRITO CANTA

Mapa de uso de suelos del sector Tambo

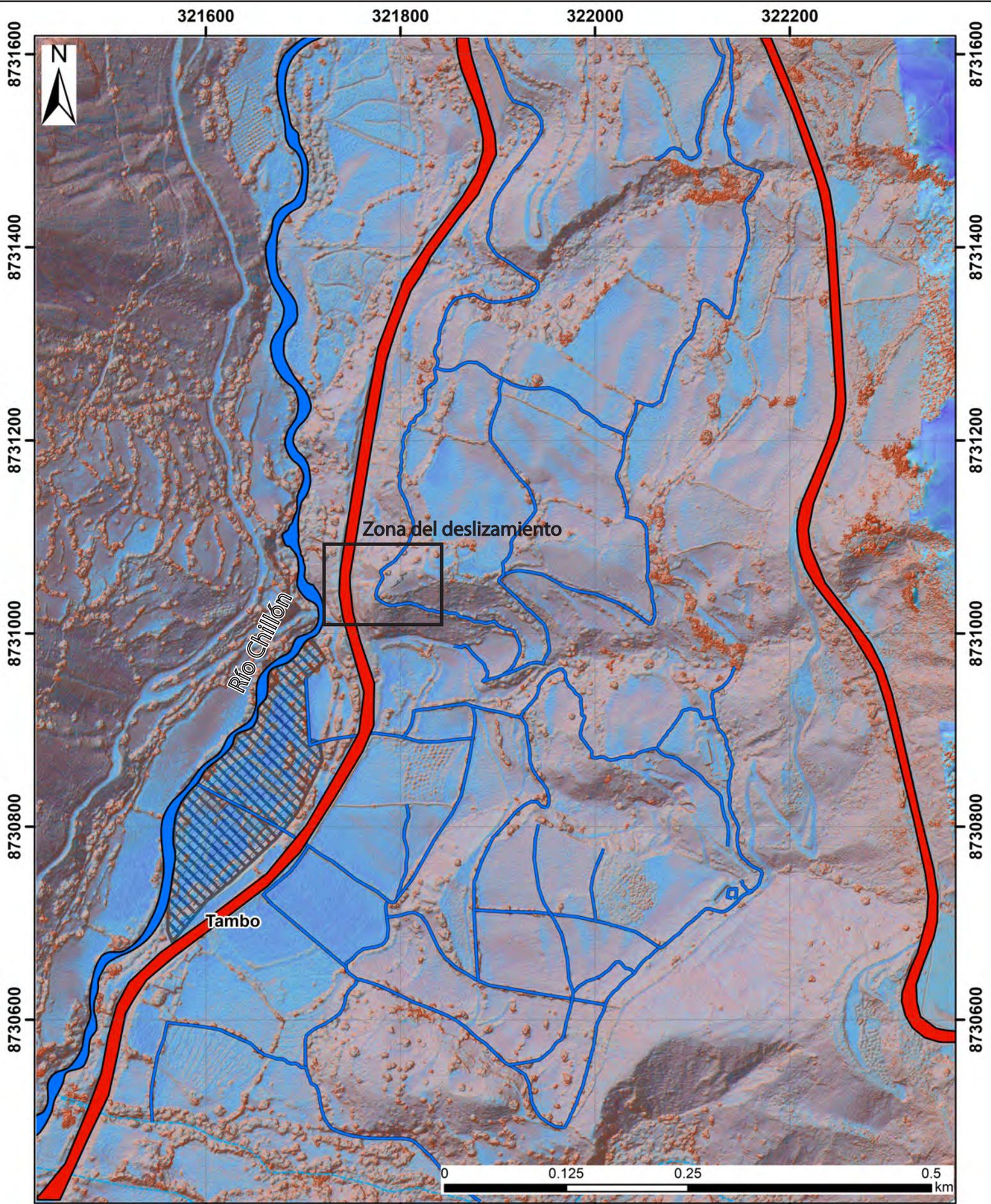
Escala: 1/5000	Elaborado por: G. Luna	MAPA 10
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2020	Impreso: Noviembre 2020	

Simbología

-  Carretera asfaltada
-  Río Chillón
-  Canal de riego no impermeabilizado
-  Poblados

Leyenda

Mapa de cobertura vegetal del Perú (MINAM 2015)	Clasificación de uso de suelos no supervisada	
	Etiqueta	Descripción
Agricultura Costera y Andina		Pastizales para alimento ganadero
		Zonas de cultivo activo
		Zonas arborizadas y de arbustos grandes
		Zonas con cobertura vegetal escasa a nula
		Zonas Urbanizadas



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

REGIÓN LIMA
 PROVINCIA CANTA
 DISTRITO CANTA

**Mapa del Índice Topográfico de Humedad (TWI)
 TAMBO**

Escala: 1/5000	Elaborado por: G. Luna	MAPA 11
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84	Impreso: Noviembre 2020	
Versión digital 2020		

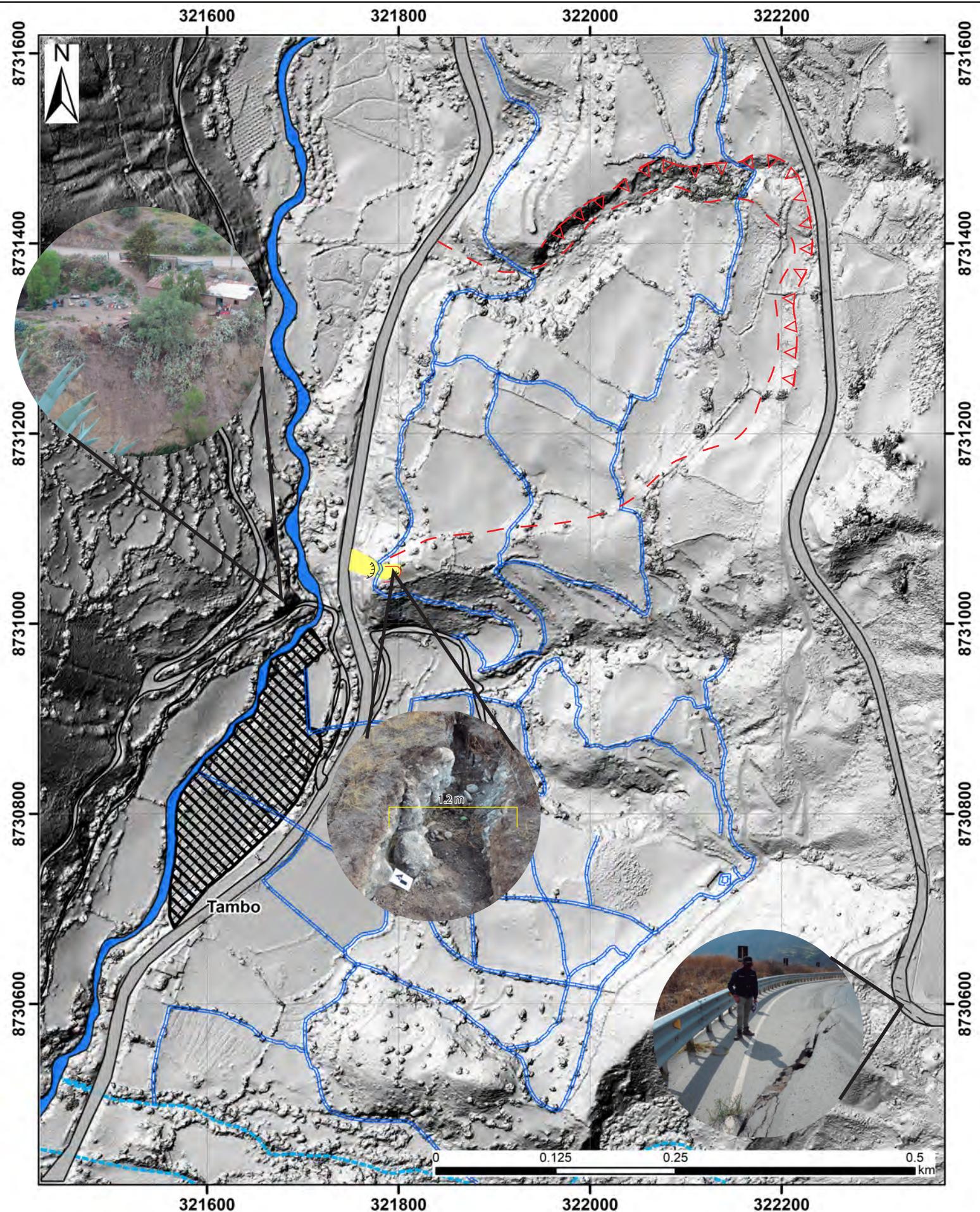
Simbología

- Carretera asfaltada
- Río Chillón
- Canal de riego no impermeabilizado
- Poblad

Leyenda

Índice topográfico de Humedad

- Saturación alta
- Saturación media
- Saturación baja



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

REGIÓN LIMA
 PROVINCIA CANTA
 DISTRITO CANTA

**Mapa de peligros geológicos
 en el sector Tambo**

Escala: 1/5000	Elaborado por: G. Luna	MAPA 12
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84		
Versión digital 2020 Impreso: Noviembre 2020		

Simbología

-  Carretera asfaltada
-  Río Chillón
-  Canal de riego no impermeabilizado
-  Poblados

Leyenda

-  Deslizamiento rotacional
-  Derrumbes
-  Agrietamientos
-  Deslizamientos Antiguos