

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7333

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR CALERA

Departamento Arequipa
Provincia Caylloma
Distrito Chivay



DICIEMBRE
2022

**EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EI
SECTOR CALERA**

(Distrito Chivay, provincia Caylloma, departamento Arequipa)

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

Equipo de investigación:

Yhon Hidelver Soncco Calsina

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Calera, Distrito Chivay, Provincia Caylloma, departamento Arequipa: INGEMMET, Informe Técnico N° A7333, 21p

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
2. DEFINICIONES	3
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	6
3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	6
3.1.1 Formación Hualhuani (Ki-hu)	6
3.1.2 Secuencias volcánicas Canocota (Qp-ca)	6
3.1.3 Deposito fluvial (Qh-fl)	6
3.1.4 Deposito proluvial (Qh-pl)	6
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	7
4.1 PENDIENTES DEL TERRENO	7
4.2 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	7
4.2.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional y denudacional	7
4.2.2 Geoformas de carácter tectónico depositacional y agradacional	8
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	8
5.1 PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA	8
5.1.1 Deslizamiento antiguo (Da)	9
5.1.2 Flujos de tierra antiguos (Ft1 y Ft2)	10
5.1.3 Flujo de tierra recientes (Ftr)	10
5.1.4 Caída de rocas	11
5.2 FACTORES CONDICIONANTES	13
5.3 FACTORES DESENCADENANTES	13
6. CONCLUSIONES	14
7. RECOMENDACIONES	15
BIBLIOGRAFÍA	16
ANEXO 1 MAPAS	17

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos realizado en el sector Calera, en el distrito de Chivay, provincia Caylloma, departamento Arequipa. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos en los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

En el sector Calera afloran areniscas cuarzosas y las secuencias volcánicas de la unidad Canocota, conformada flujos de lava, que encuentran moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas, pertenecientes a la Formación Hualhuani. Además, se aprecian depósitos fluviales conformada por bloques (30 %), gravas (40 %), englobado en una matriz areno-limoso (30 %), es un depósito no consolidado. En cambio, los proluviales, están conformado por dos facies. La primera presenta bloques angulosos (20%), gravas (30%), dentro de una matriz areno-limoso (50%). La segunda facie se denominada clastos soportados, conformada por bloques angulosos (60%), gravas (30%), dentro de una matriz areno-limoso (20%). Los bloques llegan a medir hasta 2 m. El depósito se encuentra no consolidado.

El sector la Calera, se ha identificado procesos de caída de rocas, derrumbes, flujos de tierra y deslizamientos. Los cuales podrían afectar al complejo de aguas termales La Calera, hotel El Bosque y la vía carrozable que comunica Chivay con la zona agrícola del sector referido.

Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de peligros geológicos son: **a)** Presencia de rocas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas, conformadas por areniscas cuarzosas de la Formación Hualhuani, y presencia de una secuencia de lavas andesíticas con moderada meteorización y medianamente fracturadas. Además, los depósitos Cuaternarios, tanto aluviales y proluviales se encuentra no consolidados, **b)** La pendiente de los terrenos varía de inclinado suavemente (1° - 5°), en los acantilados (parte media) se tienen cambios abruptos a terrenos escarpados ($> 45^{\circ}$), e inclinaciones de (25° - 45°) en la parte alta.

En base a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se concluye que el sector Calera, es considerado de **Peligro Moderado a Alto** por caída de rocas, derrumbes y deslizamientos. Los cuales pueden ocurrir en temporadas de lluvia y frente a movimientos sísmicos. Además, en el sector se pueden generar nuevas reactivaciones de movimientos en masa.

Finalmente, se brindan recomendaciones para las autoridades competentes, como: conducir adecuadamente las aguas pluviales proveniente de la parte alta de Calera, impermeabilizar los canales y acequias para evitar infiltraciones al subsuelo.

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 provincial de Caylloma, según Oficio N°046-2022-MPC-CHIVAY-A, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en el sector Calera.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó al Ingeniero Yhon Soncco Calsina para realizar la evaluación geológica, geomorfológica y geodinámica de los peligros geológicos, en el sector Calera. Los trabajos de campo se realizaron los días 11 al 13 de agosto del 2022.

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS y fotografías terrestres y aéreas), 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 Caylloma, Gobierno Regional de Arequipa, Oficina de INDECI y COER - Arequipa, 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 que se presentan en el sector Calera.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de peligros geológicos
- c) Emitir recomendaciones y alternativas de mitigación y reducción de desastres.

1.2. ANTECEDENTES Y TRABAJOS ANTERIORES

- a) 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. Describe el afloramiento de la Formación Hualhuani, consiste en varias series de areniscas cuarcíferas de grano medio a fino; morfológicamente se presentan en bancos gruesos.
- b) Informe técnico, “Zonas críticas por peligros geológicos en la región Arequipa”. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, realizado por Luque y Rosado (2014): En cuyo informe mencionan que la Calera y el hospedaje El Bosque (Chivay), presentan caída de rocas, deslizamiento rotacional y deslizamiento – flujo; las caídas de rocas desde acantilado rocoso muy fracturado, bloques inestables y bloques caídos en media ladera; los deslizamientos, produjeron asentamiento de material desde la parte alta de la ladera.
- c) Zavala B.; Churata D. & Varela F. (2019). Geodiversidad y Patrimonio Geológico en el Valle del Colca. Ingemmet, Boletín Serie I: Patrimonio y Geoturismo. Menciona que en la margen izquierda del río Colca en el sector de Baños La Calera, aflora una

secuencia del tope del Grupo Yura (areniscas Hualhuani), que infrayacen a las capas rojas Murco y secuencias volcánicas en la parte superior.

- d) 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, Región Arequipa: INGEMMET, Informe Técnico N° A7161, 30p. En el sector Sihuayruma se identifican peligros geológicos por movimientos en masa, que comprenden deslizamientos, flujos de tierra y caída de rocas.

1.3. ASPECTOS GENERALES

1.3.1. Ubicación

El área evaluada correspondiente al sector Calera está ubicada en el Distrito de Chivay, Provincia de Caylloma, Región Arequipa (figura 1), en las coordenadas siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas del sector Calera

N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Norte	Este	Latitud	Longitud
1	8272393	222461	-15.611109°	-71.588320°
2	8272398	222928	-15.611115°	-71.583967°
3	8271887	222933	-15.615731°	-71.583979°
4	8271883	222464	-15.615715°	-71.588350°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Caravelí	8272152	222697	-15.613311°	-71.586148°

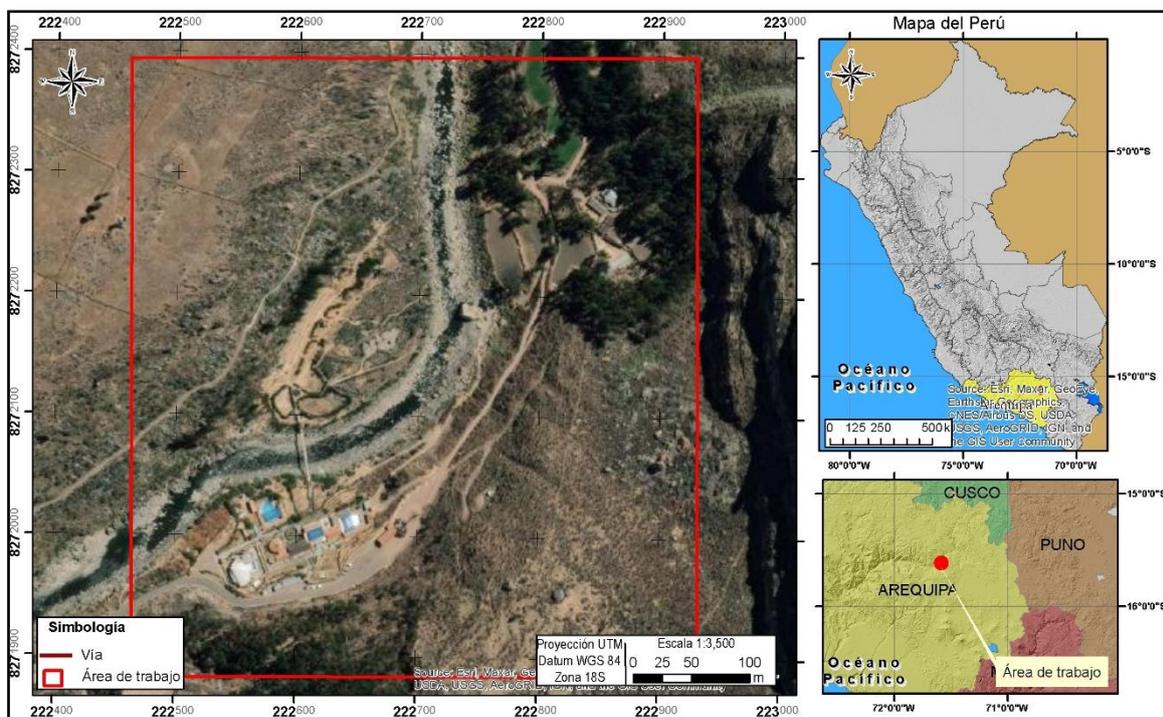


Figura 1. Mapa de ubicación del sector Calera

1.3.2. Accesibilidad

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

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada.

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Arequipa - Chivay	Asfaltada	160	3 horas
Chivay - Calera	Asfaltada-trocha carrozable	3.3	0.15 horas

2. DEFINICIONES

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

EROSIÓN DE LADERAS: Se considera dentro de esta clasificación a este tipo de eventos, porque se les considera predecesoras en muchos casos a la ocurrencia de grandes eventos de movimientos en masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta gracias a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento), que entra en contacto con el suelo, en el primer caso por el impacto y en el segundo caso por fuerzas tractivas que vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo generándose los procesos de erosión (Duque et 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.

IGNIMBRITA: En la geología, se usa el término Ignimbrita, para describir un depósito de corriente de densidad piroclástica (flujo piroclástico) que contiene abundantes fragmentos de pómez de distintos tamaños, ceniza, cristales, fragmentos de roca arrancada del conducto y del suelo que son expulsada a altas temperaturas durante erupciones volcánicas muy explosivas.

ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI): El GSI estima la reducción de la resistencia del macizo para diferentes condiciones geológicas. La caracterización del macizo rocoso es simple y está basada en la impresión visual de la estructura rocosa, en términos de bloques y de la condición superficial de las discontinuidades indicadas por la rugosidad y alteración de las juntas. La combinación de estos dos parámetros proporciona una base práctica para describir un rango amplio de tipos de macizos rocosos.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El contexto geológico aflorante en el área de estudio se basa en la revisión y actualización de los cuadrángulos de Chivay 32-s-I (Cerpa et al., 2009)

3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

3.1.1 Formación Hualhuani (Ki-hu)

El afloramiento representativo se localiza en la margen izquierda del río Colca, a media ladera del valle y en acantilados de más de 200 metros de alto. Está conformada por areniscas cuarzosas de color beige, con algunas intercalaciones de lutitas negras en los niveles inferiores de la secuencia. Se presentan moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas.

3.1.2 Secuencias volcánicas Canocota (Qp-ca)

Secuencia de lavas andesíticas gris verdosas y vesicular, con espesor de aproximadamente 100 metros de potencia, formando columnas. Aflorante frente al sector estudiado. Se puede distinguir que presenta moderada meteorización y un grado de fracturación moderada. (figura 2).



Figura 2. Unidad volcánica Canocota. (coordenadas UTM E: 222643, N: 8272333).

3.1.3 Deposito fluvial (Qh-fl)

Aflora a lo largo del río Colca, conformada por la acumulación de bloques (30 %), gravas (40 %), englobado en una matriz areno-limoso (30 %). En capas subhorizontales depositados en terrazas con espesores de 10 a 20 m (Cerpa et al., 2009). Los depósitos fluviales en la zona de estudio se presentan de manera inconsolidados, con presencia de bloques polilitológicos de hasta 4 m.

3.1.4 Deposito proluvial (Qh-pl)

Los depósitos proluviales están representados por depósitos de deslizamientos antiguos y flujos de tierra, provenientes desde las partes altas de la margen izquierda del valle del Colca. El material acumulado en el sector Calera Mocco, está conformado por dos facies.

La primera presenta bloques angulosos (20 %), gravas (30 %), dentro de una matriz arenolimoso (50 %).

La segunda facie se denominada clastos soportados, conformada por bloques angulosos (60 %), gravas (30 %), dentro de una matriz arenolimoso (10 %). Los bloques ángulos erráticos llegan a medir hasta 2 m.

Ambas facies se encuentran poco consolidados.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1 PENDIENTES DEL TERRENO

Las pendientes de los terrenos van desde terrenos llanos a inclinados suavemente (1°-5°), una zona media de acantilado donde se observa cambios abruptos a terrenos escarpados (> 45°), e inclinaciones de (25°-45°) en la parte alta.

4.2 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en el sector Calera, 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 (degradacionales o denudativos y agradacionales o deposicionales) en la evolución del relieve, presentados en la figura 9, como mapa de unidades geomorfológicas.

La geomorfología evaluada en particular corresponde a la subcuenca del Colca, comprendida entre Andamayo y Sibayo- Callalli. Es muy compleja, con una predominancia en superficie de unidades o relieves de origen volcánico-erosional (65 %), seguidos de unidades de relieve de origen tectónico-erosional (25 %), principalmente en el lado oeste de la cuenca, y relieves de origen deposicional en menor porcentaje (10 %) que se sobreponen a un substrato rocoso de diferente origen (Zavala et al., 2019).

Calera, se encuentra por encima de los 3500 m s.n.m. con vertientes montañosas elevadas y abruptas asociadas a edificios volcánicos; un sector de rampa, desnivel o vertiente muy disectada o erosionada; y sobre la cual se han identificado geoformas de terraza alta aluvial (Ta-al), estratovolcán (Vs-v) y vertiente glacio-fluvial, siendo esta última sobre la cual sucedieron los principales eventos de deslizamientos.

4.2.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional y denudacional

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:

Unidad volcánica

Son geoformas asociadas a depósitos volcánicos.

Subunidad de estratovolcán (Es-v): Esta unidad se ubica al frente del sector Calera, exactamente al Oeste. Son terrenos con pendientes relativamente moderadas con frente

escarpado. Se conforman sobre la secuencia volcánica Canocota; constituida de lavas andesíticas gris verdosas y vesicular, en frentes escarpados.

4.2.2 Geoformas de carácter tectónico depositacional y 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:

Unidad de planicie

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

Subunidad de terraza alta aluvial (Ta-al): Son terrenos con pendientes bajas a subhorizontales, se encuentran a mayor altura que las terrazas bajas y el cauce del río Colca, dispuestos a los costados de la llanura de inundación. Representan niveles antiguos inconsolidados de materiales aluviales, con procesos erosivos como consecuencia de la profundización del valle.

Vertiente glacio-fluvial (V-qfl): La cuenca presenta abundantes acumulaciones de sedimentos de formas irregulares que bordean zonas montañosas con litología sedimentaria y volcánica, asociados a una morfogénesis de origen glacial o periglacial. Esta geoforma aflora en la parte alta del margen izquierdo del valle del Colca. El substrato está conformada areniscas y lutitas meteorizadas, que son muy susceptibles, fáciles de erosionar y remover con lluvias generando deslizamientos y caída de rocas.

Unidad de Piedemonte

Ambiente de agradación que constituye una transición entre los relieves montañosos, accidentados y las áreas bajas circundantes; en este ambiente predominan los depósitos continentales coluviales y las acumulaciones forzadas, las cuales están relacionadas con el repentino cambio de los perfiles longitudinales.

Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd): Se encuentra conformando las laderas, de deslizamientos a lo largo de los valles. En la zona evaluada, esta subunidad geomorfológica aflora en el sector Calera Mocco. Está conformada por depósitos de deslizamientos.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamiento, flujo de tierra y caída de rocas. Estos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en el cauce del río Colca, 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 del río.

5.1 PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra, (Proyecto Multinacional Andino, 2007).

5.1.1 Deslizamiento antiguo (Da)

En la parte alta de Sihuayruma, parte alta del sector Calera, se evidenció un deslizamiento antiguo, denominado (Da), cuya masa removida llegó al cauce del río Colca, la cual cruza la parte baja del sector. Informe Técnico N° A7161, INGEMMET.

Los bloques de rocas encontrados en el depósito fueron arrancados de afloramientos rocosos que se encuentran ubicados a media ladera del valle. Son bloques de areniscas cuarzosas de color beige, lutitas de color rojo, y fragmentos gris oscuros de lavas y tobas blanquecinas brechadas. Los cuales se encuentran moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas. Este tipo de depósito no consolidado, no compactado, es de fácil de remoción cuando se satura de agua.

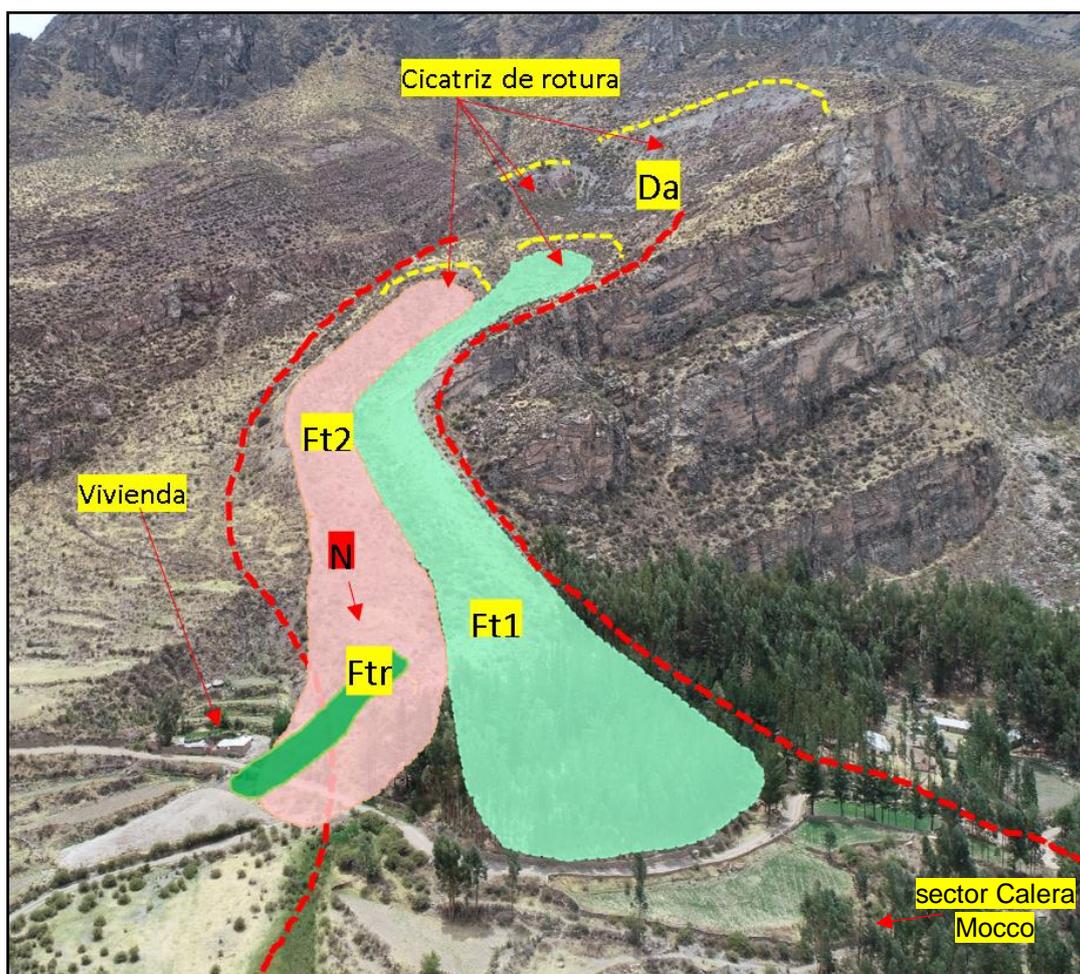


Figura 3. Deslizamiento antiguo

En la parte baja del terreno agrícola se evidencian agrietamientos, que refleja la inestabilidad del terreno. Por la erosión fluvial ocasionado por el río Colca, origina la pérdida de soporte en la base del talud, esto incrementa la inestabilidad del terreno. (figura 4).

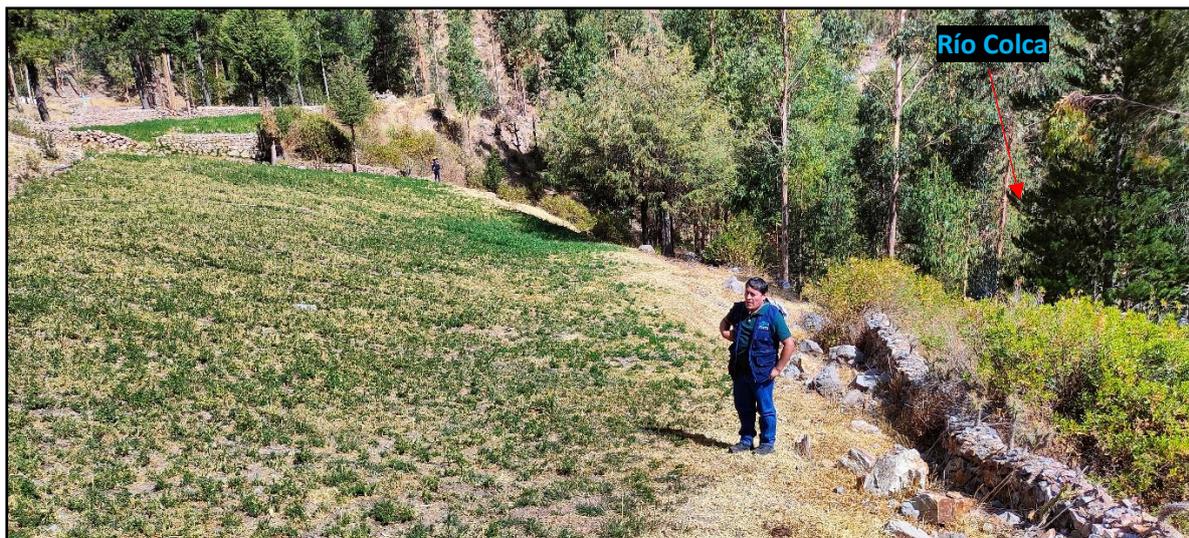


Figura 4. Parte baja del deslizamiento antiguo, sector Calera Mocco. (coordenadas UTM E: 222786, N: 8272366).

5.1.2 Flujos de tierra antiguos (Ft1 y Ft2)

En la parte intermedia de la ladera ubicada en el sector Sihuayruma se evidencian dos cicatrices de rotura con forma de herradura, correspondiente a las zonas de arranque de los flujos de tierra (Ft1 y Ft2). (figura 3)

Los flujos de tierra corresponden a la reactivación de dos sectores en el cuerpo del deslizamiento antiguo (Da). La masa movilizada se depositó sobre el cuerpo del deslizamiento antiguo, se caracterizan por presentar un comportamiento de flujo, como consecuencia del grado de saturación.

Ft1: Corresponde a un flujo de tierra, su punto de arranque presenta una cicatriz de rotura de forma irregular y mide 115 m, la altura del salto del escarpe no es definido, este evento está comprendido entre las cotas 3864 m s.n.m. a 3638 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 226 m. La masa se movilizó en dirección noroeste. Los bloques de rocas encontrados en este depósito fueron arrancados desde la parte alta de la ladera del valle. Son bloques de areniscas cuarzosas de color beige, lutitas rojizas. Los cuales se encuentran altamente meteorizadas y muy fracturadas. Los depósitos no consolidados son fáciles de remoción por estar saturados de agua.

Ft2: Corresponde a un flujo de tierra cuyo punto de arranque presenta una cicatriz de rotura de forma irregular y mide 90 m, la altura del salto del escarpe principal no es definido, este evento está comprendido entre las cotas 3815 m s.n.m. a 3655 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 160 m. La masa se movilizó en dirección Noroeste. El depósito del flujo está conformado por gravas, arenas, limos y bloques erráticos; los bloques son angulosos, y fueron arrancados de los paquetes de areniscas cuarzosas ubicados a media ladera. La facie dominante es de matriz soportada, donde los componentes van desde gravas finas a limos. La matriz de los depósitos está conformada por arenas finas y limos.

5.1.3 Flujo de tierra recientes (Ftr)

Sobre los depósitos de deslizamientos y flujos descritos anteriormente, se presentó la reactivación de un sector. Corresponde a un pequeño flujo de tierra reciente, el cual se desarrolló en los depósitos de flujos de tierras antiguos.

La cicatriz de rotura del flujo de tierra (Ftr), posee una forma regular y mide 8 m, la altura del salto del escarpe principal no está definido, este evento está comprendido entre las cotas 3660 m s.n.m. a 3650 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 10 m. La masa se movilizó en dirección norte.

5.1.4 Caída de rocas y derrumbes

La caída de rocas, se presentan en los acantilados de fuertes pendientes de hasta 80°, que comprometen a la parte alta del hotel El Bosque y Sector la Calera (figuras 5 y 6).

Los acantilados están conformados por areniscas cuarzosas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas de la Formación Hualhuani y secuencias volcánicas Canocota, conformadas por secuencia de lavas andesíticas gris verdosas y vesicular, altamente a completamente meteorizada y moderadamente fracturado. (figura 7).



Figura 5. Depósito de caída de rocas en La Calera. (coordenadas UTM E: 222948, N: 8272055).

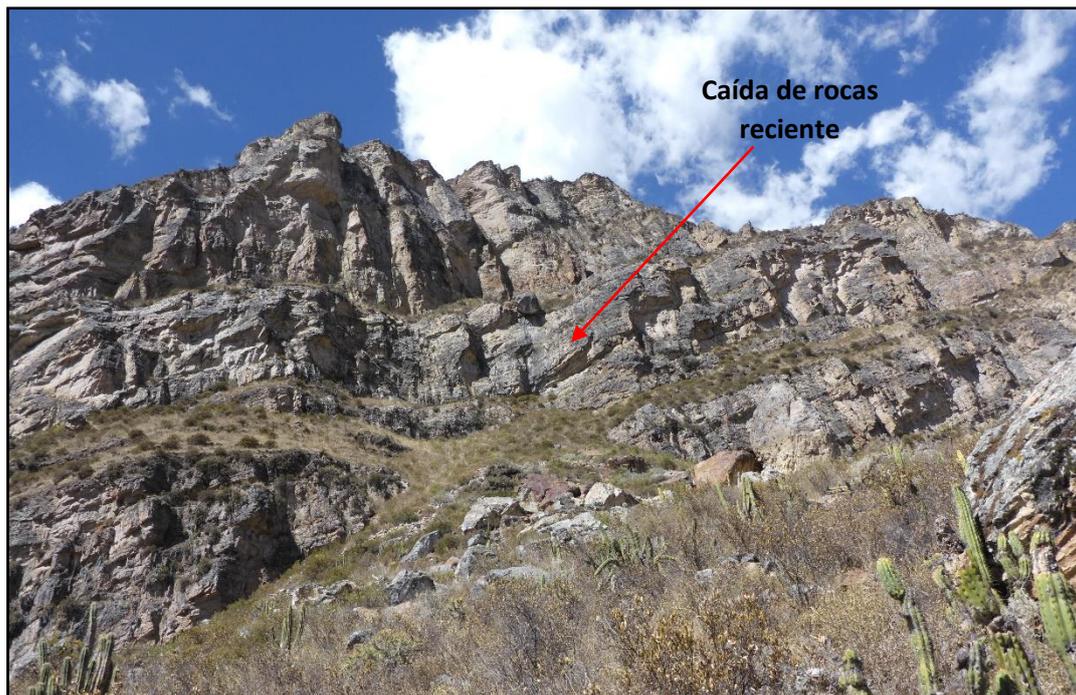


Figura 6. Caída de rocas en La Calera, margen izquierda del río Colca (coordenadas UTM E: 222948, N: 8272055).



Figura 7. Caída de rocas en La Calera, margen derecha del río Colca (coordenadas UTM E: 222510, N: 8272136).

En el sector Calera Mocco, se observan derrumbes al pie del deslizamiento antiguo, los derrumbes se aceleran por el empuje de la masa de deslizamiento, así como por la pérdida del soporte en la base del talud, debido a la intensa erosión fluvial del río Colca.

5.2 FACTORES CONDICIONANTES

- Presencia de rocas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas, conformadas por areniscas cuarzosas de la Formación Hualhuani, y presencia de una secuencia de lavas andesíticas con moderada meteorización y medianamente fracturadas. Además, los depósitos Cuaternarios, tanto aluviales y proluviales se encuentra no consolidados.
- La pendiente de los terrenos, el cual varía de inclinado suavemente (1° - 5°), a una zona media de acantilado donde se observa cambios abruptos a terrenos escarpados ($> 45^{\circ}$), e inclinaciones de (25° - 45°) en la parte alta

5.3 FACTORES DESENCADENANTES

- Lluvias intensas, prolongadas o extraordinarias (según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, el período de lluvia en la sierra de Perú se da entre los meses de diciembre a abril), las aguas saturan los terrenos, aumentando el peso del material y las fuerzas tendentes al deslizamiento y los flujos de detritos (lahares) también son generados por lluvias intensas.
- Según el diseño sismorresistente, del reglamento nacional de edificaciones, aprobada por decreto supremo N°011-2006-viviend, 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. CONCLUSIONES

1. Litoestratigráficamente, en el sector Calera afloran rocas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas, de la Formación Hualhuani, conformadas por areniscas cuarzosas y secuencias volcánicas de la unidad Canocota de flujos de lava. Además, en el cauce del río Colca se aprecian acumulaciones fluviales conformada por bloques (30%), gravas (40%), englobado en una matriz areno-limoso (30%). Se encuentran no consolidadas.
2. Los depósitos proluviales, están conformado por dos facies. La primera presenta bloques angulosos (20%), gravas (30%), dentro de una matriz areno-limoso (50%). La segunda facie se denominada clastos soportados, conformada por bloques angulosos (60%), gravas (30%), dentro de una matriz areno-limoso (20%). Los bloques llegan a medir hasta 2 m. El depósito se encuentra no consolidado.
3. En el sector la Calera, los peligros geológicos identificados son caída de rocas, derrumbes, flujos de tierra y deslizamientos antiguos. Los cuales podrían afectar al complejo de aguas termales La Calera, el hotel el Bosque y la vía carrozable que comunica Chivay con la zona agrícola del sector referido.
4. Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se concluye que el sector Calera, es considerada de **Peligro Moderado a Alto**, por caída de rocas, derrumbes y deslizamientos. Los cuales pueden ocurrir en temporadas de lluvia y frente a movimientos sísmicos. Además, en el sector se pueden generar nuevas reactivaciones de movimientos en masa.

7. RECOMENDACIONES

1. Conducir adecuadamente las aguas pluviales proveniente de la parte alta de Calera, impermeabilizar los canales y acequias para evitar infiltraciones al subsuelo.
2. Todos los reservorios de agua en el sector deben ser impermeabilizados para evitar la infiltración en los terrenos.
3. La población debe ser incentivada a la migración a nuevos tipos de cultivos y técnicas de irrigación, evitando las prácticas de riego por inundación.
4. Impermeabilizar el canal de riego que discurre por la margen derecha del río Colca, para evitar la infiltración de agua al subsuelo y saturación de este.
5. Para la caída de rocas, se recomienda "asegurarlos", para ello se debe implementarse las medidas de prevención y mitigación. Entre ellos, realizar estudios de estabilidad de taludes.
6. Las medidas propuestas para los bloques sueltos son mallas ancladas, barreras dinámicas y red de anillos, entre otros; utilizados en forma independiente o combinada, según las características de cada ladera. Estos trabajos deben ser diseñados y dirigidos por profesionales con experiencia en el tema.
7. Sensibilizar a la población a través de talleres y charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos para evitar construcción de viviendas o infraestructura área susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.



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



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

BIBLIOGRAFÍA

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

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

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

Informe técnico, “zonas críticas por peligros geológicos en la región Arequipa”. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, Luque, (2014):

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.

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, Transportation 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>

ANEXO 1 MAPAS

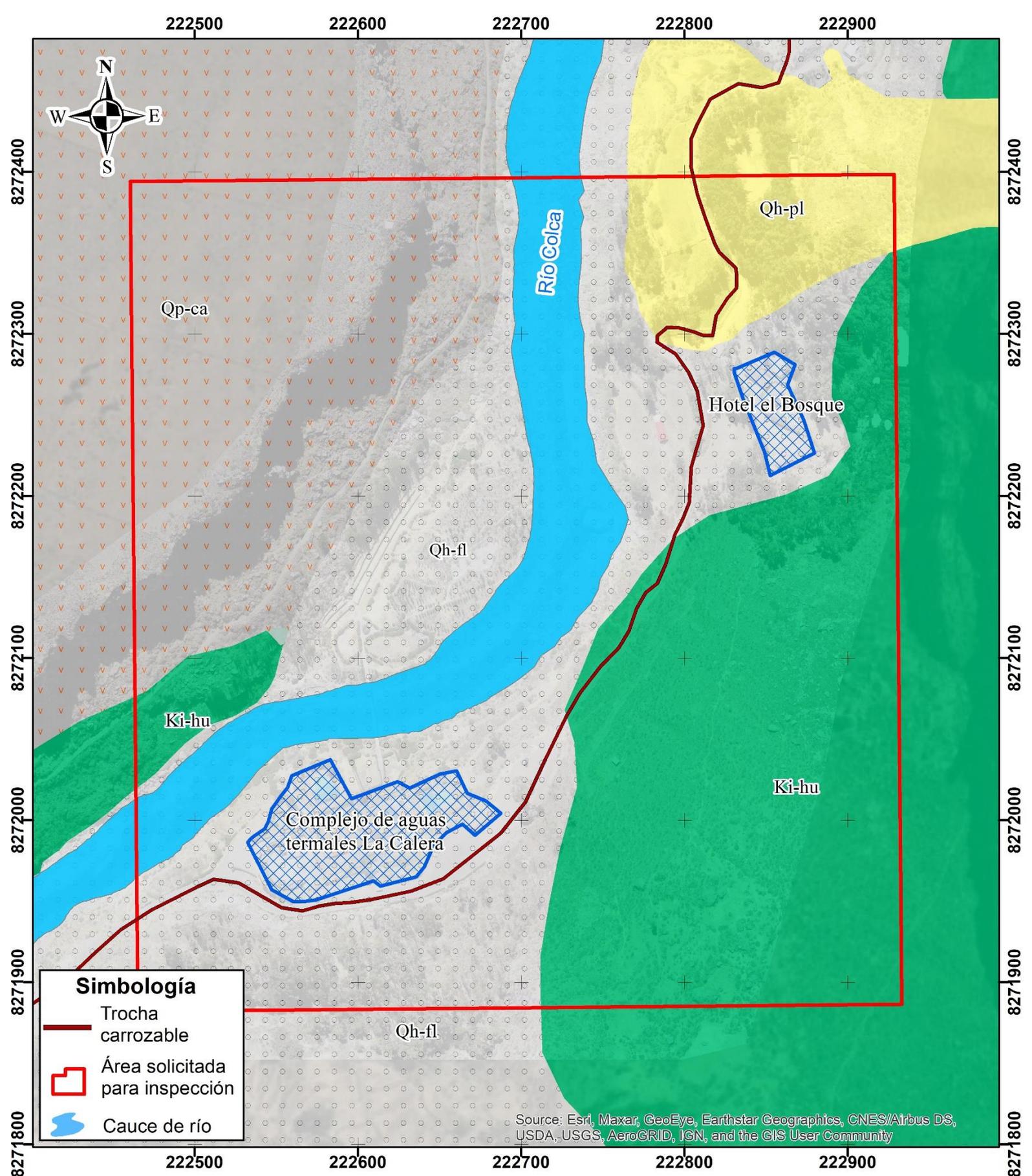
Se presenta los siguientes mapas:

Mapa N°1. Mapa geológico del sector Calera. Modificado del mapa geológico del cuadrángulo

Mapa N°2. Mapa de pendientes, del sector Calera. Elaboración propia.

Mapa N°3. Mapa de unidades geomorfológicas del sector Calera. Elaboración propia

Mapa N°4. Mapa de cartografía de peligros geológicos, del sector Calera. Elaboración propia



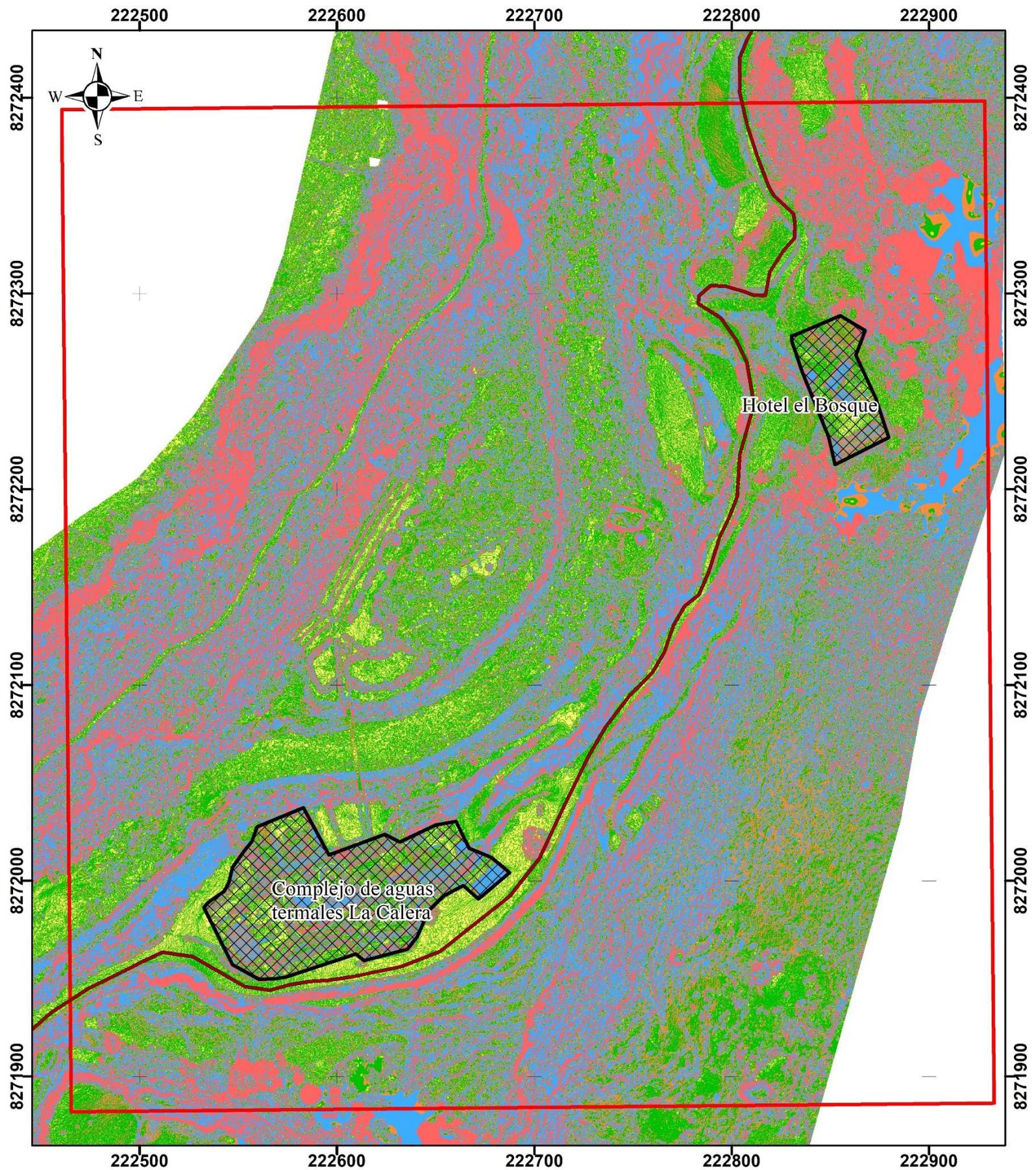
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA GEOLÓGICO DEL SECTOR CALERA

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

Unidad litoestratigráfica

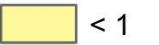
Qh-fl	Depósito fluvial, acumulaciones de bloques, gravas, en matriz areno-limoso
Qh-pl	Depósito proluvial, proveniente de deslizamientos y flujos.
Qp-ca	Secuencia de lavas andesíticas gris verdosas y vesiculladas
Ki-hu	Arenisca cuarzosas de color gris, con intercalaciones de lutitas.




SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

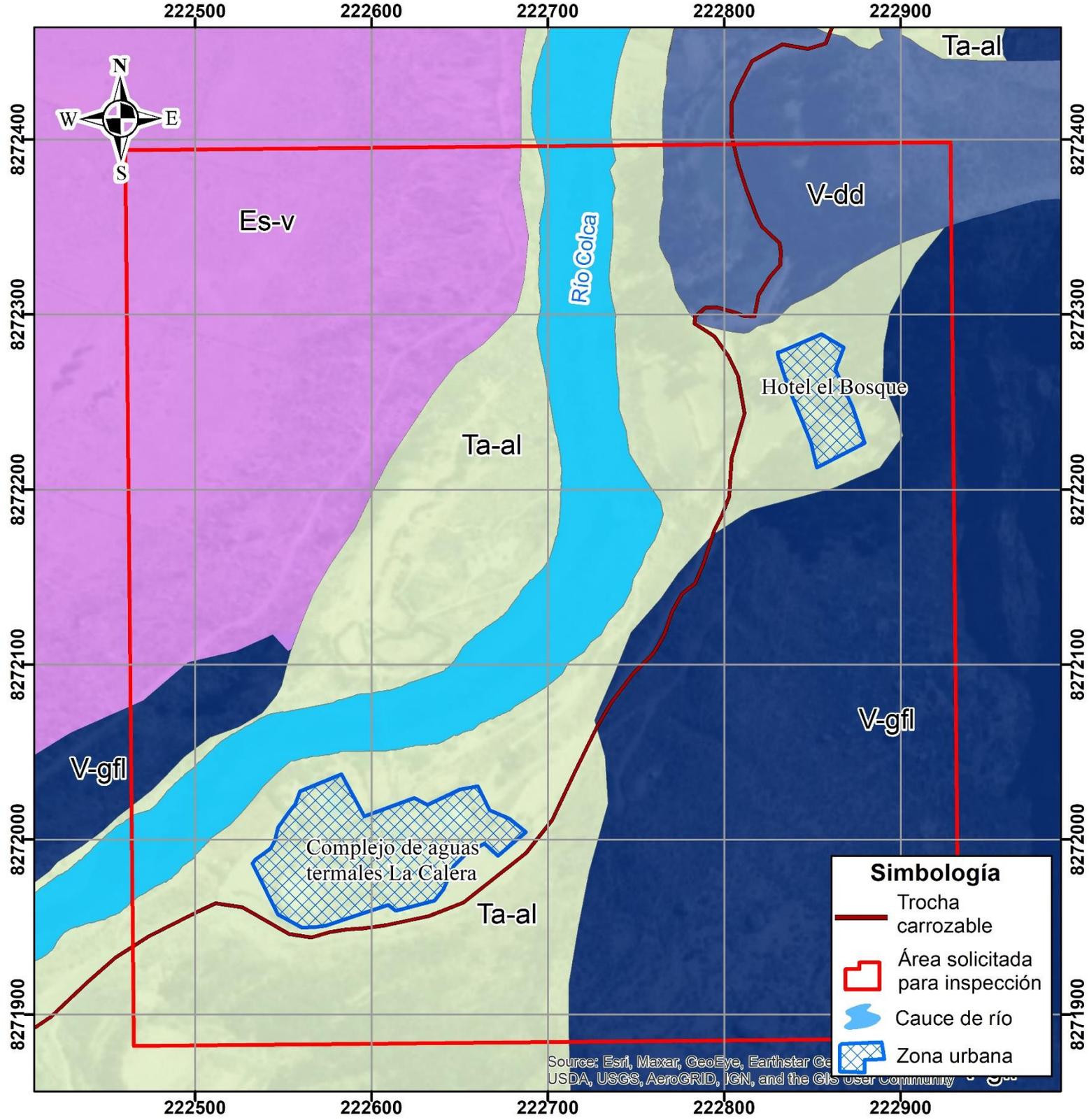
MAPA DE PENDIENTES DE LA CALERA

Proyección UTM	Escala 1:2,500	Mapa N° 2
Datum WGS 84	0 15 30 60	
Zona 19S	 m	

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

Simbología

-  Trocha carrozable
-  Área solicitada para inspección
-  Zona urbana



Simbología

-  Trocha carrozable
-  Área solicitada para inspección
-  Cauce de río
-  Zona urbana

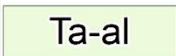
SECTOR ENERGÍA Y MINAS

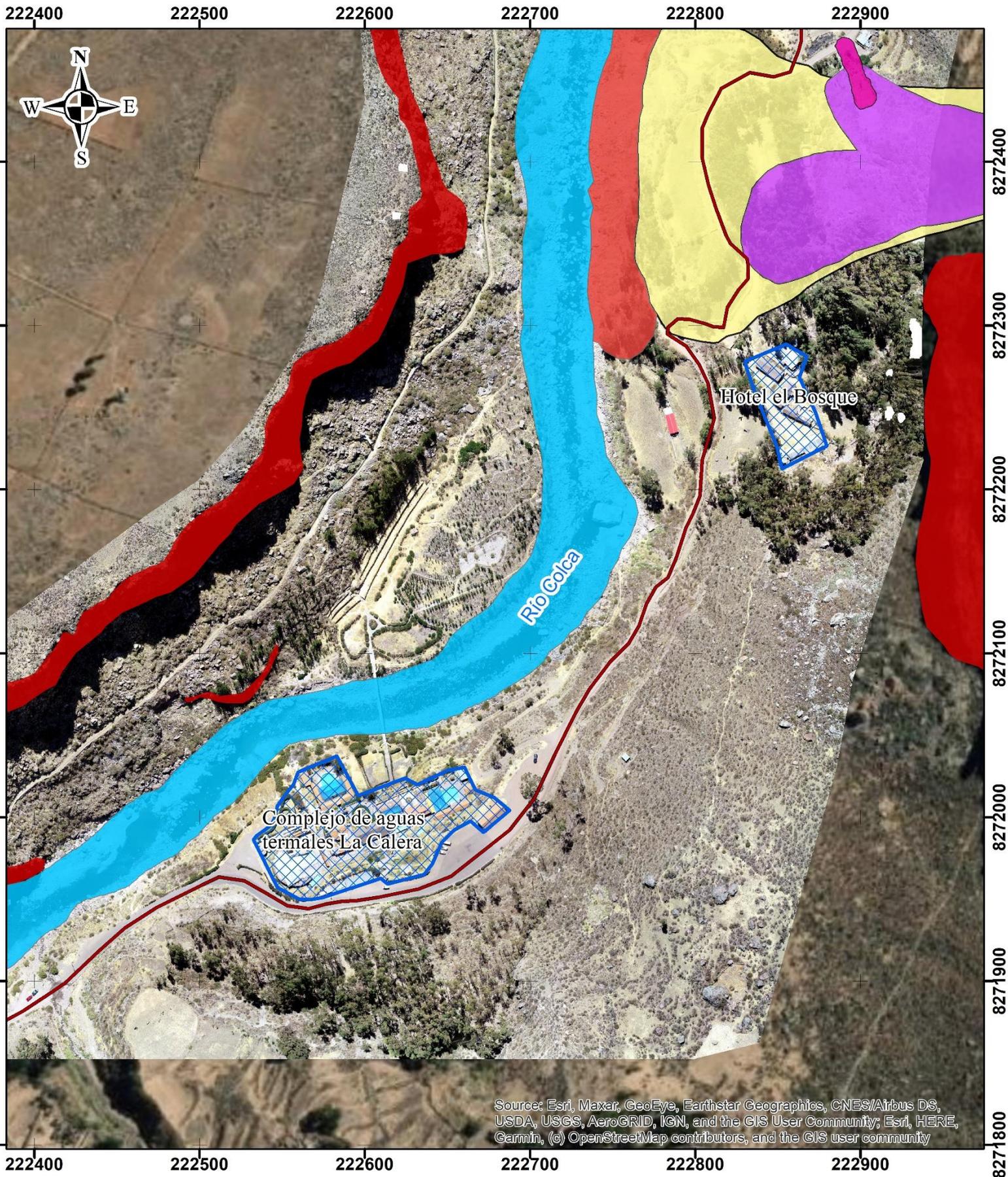
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

Mapa geomorfológico del sector Calera

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

Leyenda

-  Ta-al Terraza alta aluvial
-  V-gfl Vertiente glacio-fluvial
-  Es-v Estratovolcán
-  V-dd Vertiente con depósito de deslizamiento



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA DE CARTOGRAFÍA DE PELIGROS GEOLÓGICOS DEL SECTOR CALERA

Proyección UTM	Escala 1:3,000	Mapa N° 4
Datum WGS 84	0 20 40 80	
Zona 19S	m	

Peligros geológicos

- Deslizamiento antiguo
- Flujo de tierra
- Flujo de tierra reciente
- Caída de rocas
- Derrumbes

Simbología

- Trocha carrozable
- Área solicitada para inspección
- Cauce de río
- Zona urbana