

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7188

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE TIERRA Y CAÍDA DE ROCAS EN EL SECTOR PACHAMALQUI

Departamento Arequipa
Provincia Caylloma
Distrito Chivay



NOVIEMBRE
2021

**EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE TIERRA Y CAÍDA DE
ROCAS EN EL SECTOR PACHAMALQUI**

Distrito de Chivay, Provincia de 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 (2021). Evaluación de peligros geológicos por flujo de tierra y caída de rocas en el sector Pachamalqui, Distrito de Chivay, Provincia de Caylloma, Departamento Arequipa: INGEMMET, Informe Técnico N° A7188, 23p

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	2
1.2. ANTECEDENTES Y TRABAJOS ANTERIORES	2
1.3. ASPECTOS GENERALES	3
1.3.1. Ubicación	3
1.3.2. Accesibilidad	4
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	4
2.1. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	4
2.1.1 Formación Hualhuani (Ki-hu)	4
2.1.2 Deposito fluvial (Qh-fl)	5
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	5
3.1. Pendiente del terreno	5
3.2. Unidades geomorfológicas	6
3.2.1 Geoformas de carácter depositacional o agradacional	6
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	6
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	7
4.1.1 Flujos de tierra	8
4.1.2 Caída de rocas	11
4.2. FACTORES CONDICIONANTES	12
4.3. FACTORES DESENCADENANTES	13
5. CONCLUSIONES	14
6. RECOMENDACIONES	15
BIBLIOGRAFÍA	16
ANEXO 1: MAPAS	17
ANEXO 2: GLOSARÍO	22

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos realizado en el sector Pachamalqui, distrito de Chivay, que pertenecen a la jurisdicción de la Municipalidad Provincial de Caylloma, departamento de Arequipa. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

En el sector Pachamalqui, afloran areniscas cuarzosas de color beige, moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas de la Formación Hualhuani (Ki-hu) y depósitos fluviales (Qh-fl) no consolidados, las cuales están conformados por bloques, gravas, arenas y limos, que son de fácil erosión.

Las subunidades geomorfológicas identificadas corresponden a terrazas fluviales (T-fl) y vertiente glacio-fluvial (V-gfl). Esta última geoforma aflora en la parte alta de la margen izquierda del valle del río Colca y presenta la mayor susceptibilidad a generar movimientos en masa. El substrato está conformado por areniscas y lutitas meteorizadas, que son fáciles de erosionar y remover con lluvias generando flujos de tierra y caída de rocas.

Los peligros geológicos identificados en el sector Pachamalqui comprenden movimientos en masa de tipo flujos de tierra y caída de rocas. Eventos antiguos que han sufrido reactivaciones.

Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de movimientos en masa son: rocas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas, conformadas por areniscas cuarzosas de la Formación Hualhuani y depósitos fluviales no consolidados conformados por bloques, gravas, arenas y limos, que permiten la infiltración y retención del agua, de esta manera los terrenos son fácilmente saturados. La pendiente de los terrenos también juega un papel importante, el cual varía desde llano a inclinado suavemente (1° - 5°), en la parte media tiene un cambio a muy fuerte (25° - 45°) y pendientes escarpadas ($> 45^{\circ}$) en la base y zona media de los acantilados.

Se concluye que, el sector Pachamalqui es considerado de **peligro alto**. Con probabilidades de presentar reactivaciones de movimientos en masa, como flujos de tierra que pueden ser “detonados” con lluvias intensas y/o prolongadas, que ocurren de octubre a marzo y las caídas de rocas como consecuencia de movimientos sísmicos frecuentes en la zona.

Finalmente, se brinda algunas recomendaciones que se consideran importante para que las autoridades competentes pongan en práctica, como es el uso de señalizaciones, carteles que indiquen los peligros geológicos; además, implementar un sistema de riego tecnificado.

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°394-2021-PMC-CHIVAY-A, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en el sector Pachamalqui.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó al Ingeniero Yhon Soncco Calsina para realizar la evaluación de peligros geológicos que afectan a los terrenos agrícolas en el sector Pachamalqui. Los trabajos de campo se realizaron los días 05, 06 y 07 de octubre del 2021.

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

Este informe se pone en consideración de 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 por flujo de tierra que se presentan en el sector Pachamalqui; evento que puede comprometer la seguridad física de la población, terrenos agrícolas y vías de comunicación
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de flujo de tierras
- 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 el departamento Arequipa”. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, Luque (2014): En cuyo informe mencionan que el sector La Calera y el hospedaje El Bosque (Chivay), presentan caída de rocas, deslizamiento rotacional y deslizamiento – flujo; las caídas de rocas se generan en acantilado rocoso muy fracturado, bloques inestables y bloques caídos en media ladera; los deslizamientos ocasionaron el 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 Sihuyruma, Distrito de Chivay, Provincia de Caylloma, Departamento Arequipa: INGEMMET, Informe Técnico N° A7161, 30p. en el mencionado informe se identificaron procesos de movimientos de masa de tipo, deslizamientos, flujo de tierra y caída de rocas. El sector evaluado está próximo a la zona de evaluación del presente informe.

1.3. ASPECTOS GENERALES

1.3.1. Ubicación

El área evaluada correspondiente al sector Pachamalqui, está ubicada en el distrito de Chivay, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa (figura 1), en las coordenadas siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas del sector evaluado en Pachamalqui

N°	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	222941.00 m	8274186.00 m	15°35'41.88"S	71°35'1.12"O
2	223391.00 m	8274184.00 m	15°35'42.13"S	71°34'46.02"O
3	223391.00 m	8273800.00 m	15°35'54.61"S	71°34'46.18"O
4	222939.00 m	8273801.00 m	15°35'54.40"S	71°35'1.34"O
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Zona evaluada	223192.00 m	8274027.00 m	15°35'47.15"S	71°34'52.76"O

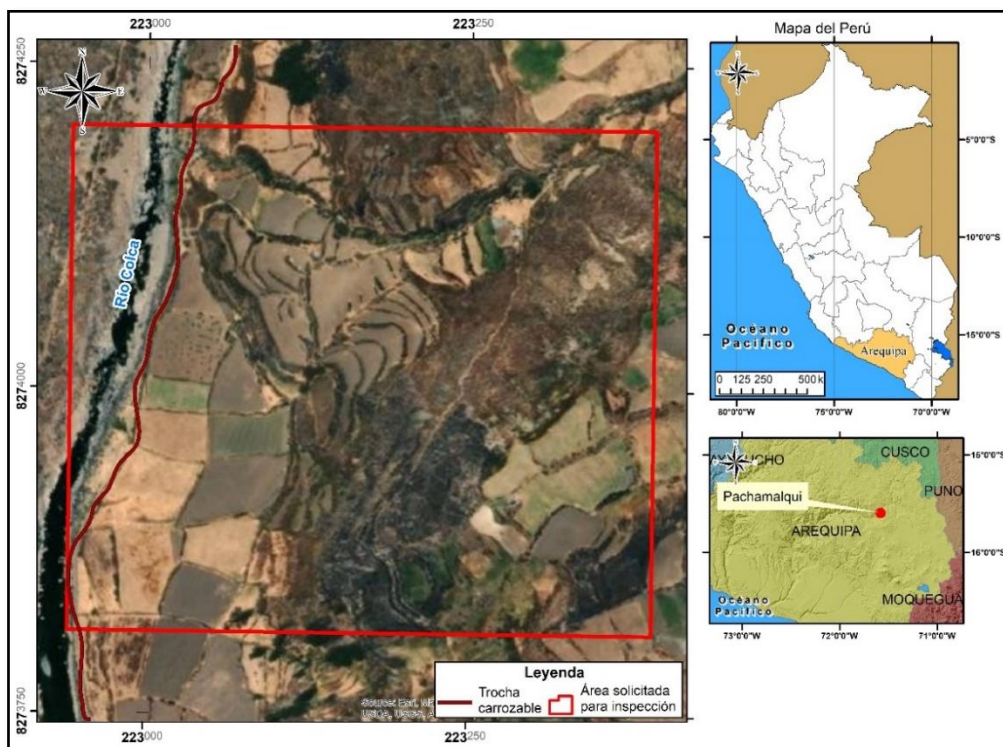


Figura 1. Ubicación del sector Pachamalqui

1.3.2. Accesibilidad

El acceso al sector Pachamalqui 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 - Pachamalqui	Asfaltada-trocha carrozable	5.3	40 min

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

Para el análisis geológico de la zona de estudio se toma como referencia el mapa geológico del cuadrángulo Chivay 32-s-I (Cerpa et al., 2009), a escala 1:50 000.

2.1. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Las unidades geológicas que afloran corresponden a rocas sedimentarias de la Formación Hualhuani (Ki-hu) y depósitos Cuaternarios fluviales depositados en terrazas (Qh-fl) (anexo 1 - mapa 1).

2.1.1 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 (figura 2).



Figura 2. Afloramiento de areniscas cuarzosas de la Formación Hualhuani. (coordenadas UTM WGS 84 223142 E, 8273865 N).

2.1.2 Depósito fluvial (Qh-fl)

Aflora a lo largo del río Colca, está conformada por la acumulación de arena y limo 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 encuentran no consolidados, con presencia de bloques polilitológicos de hasta 4 m, dentro de una matriz areno-limoso (figura 3).



Figura 3. Depósitos fluviales. (coordenadas UTM WGS84 222808 E, 8272640N).

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendiente del terreno

En el sector presenta pendientes de terrenos que varían de llanos a inclinados suavemente (1° - 5°), una zona media de acantilado donde se observa cambios abruptos a terrenos muy escarpados ($> 45^{\circ}$), e inclinaciones de terrenos de pendiente moderada (5° - 10°) en la parte alta (figura 4).

Se elaboró un mapa de pendientes en base al modelo de elevación digital (DEM), de 10 cm de resolución elaborado a partir de fotogrametría con dron (revisar anexo 1 - mapa 2).

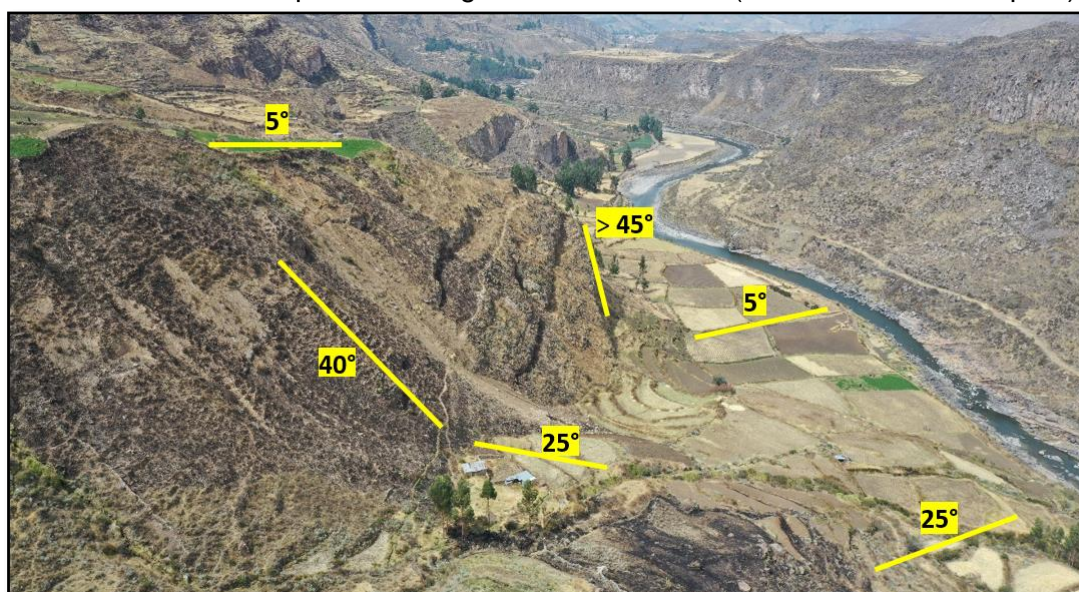


Figura 4. Muestra las pendientes en Pachamalqui (coordenadas UTM WGS84 223212E, 8274076N)

3.2. Unidades geomorfológicas

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en el sector Pachamalqui, 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 del proceso morfodinámico de las geoformas de carácter depositacionales o agradacionales.

La evolución del relieve en el sector Pachamalqui, se presenta en el mapa geomorfológico (anexo 1 - mapa 3).

3.2.1 Geoformas de carácter depositacional o agradacional

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

3.2.2.1 Unidad de planicie

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

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 de materiales aluviales no consolidados, con procesos erosivos como consecuencia de la profundización del valle.

Vertiente glacio-fluvial (V-gfl): 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 río Colca. Está conformado por material no consolidado de origen glacial, los cuales han sido transportados y redepositados por escorrentías formadas por el deshielo del glaciar, y se encuentran al pie de laderas, acantilados o en altiplanicies formando conos de diversos tamaños o mantos de material no consolidado. En la base de los depósitos se aprecia niveles de areniscas y lutitas meteorizadas, que son muy susceptibles, fáciles de erosionar y remover con lluvias generando deslizamientos y caída de rocas.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en el área evaluada corresponden a movimientos en masa de tipo 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.

Estos movimientos en masa tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como geometría del terreno, pendiente de la ladera, tipo de roca, tipo de suelos, drenaje superficial subterráneo y cobertura vegetal. Se tiene como “detonantes” de estos eventos las lluvias y el exceso de riego por gravedad en la zona agrícola de Pachamalqui.

4.1. 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).

En el sector Pachamalqui se identificó un flujo de tierra reciente (Ft), y dos flujos de tierras antiguos (Fta1 y Fta2) (figuras 5 y 6). Asimismo, se observaron zonas con caída de rocas. Anexo 1 - mapa 4.

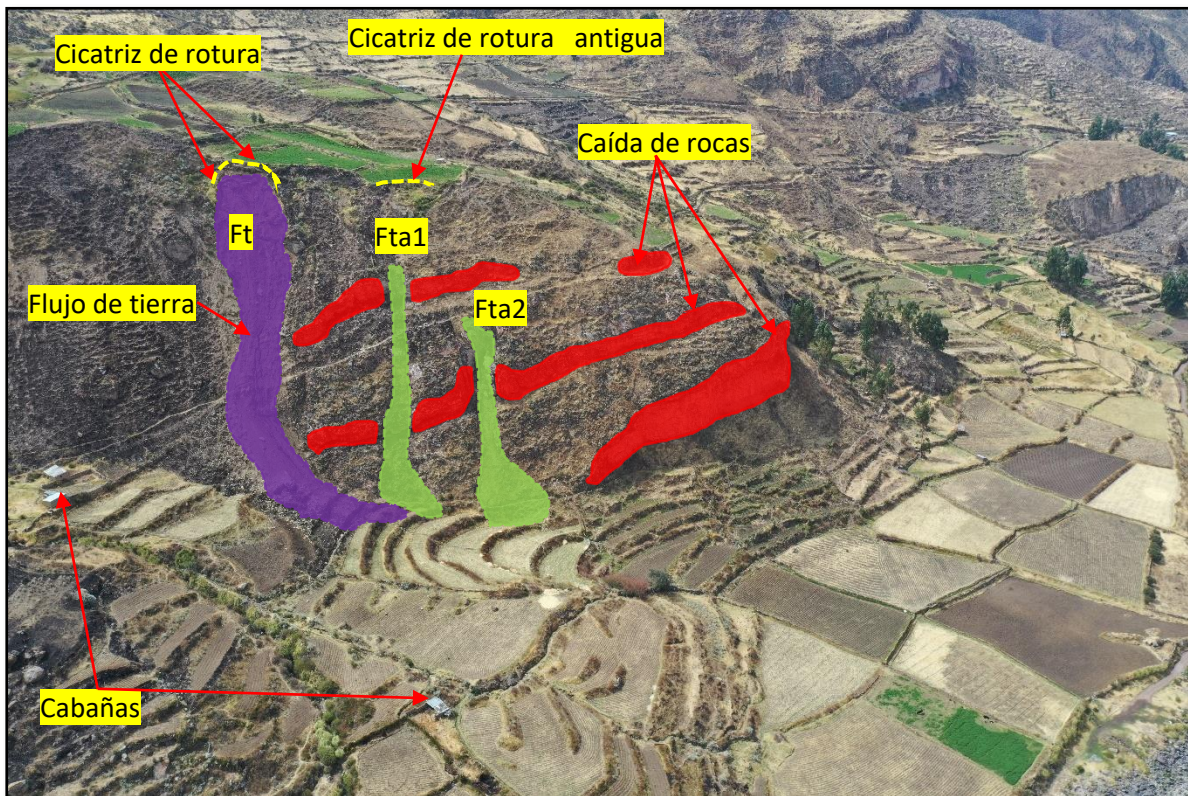


Figura 5. Flujo de tierra y caída de rocas en el sector Pachamalqui. (coordenadas UTM WGS84 223212E, 8274076N)



Figura 6. Flujo de tierra en el sector Pachamalqui (coordenadas UTM WGS84 223308E, 8273977N).

4.1.1 Flujos de tierra

En la parte intermedia de la ladera en el sector Pachamalqui se evidencian tres cicatrices de rotura con forma de herradura, correspondiente a las zonas de arranque de los flujos de tierra (figura 7).

Los flujos de tierra corresponden a la activación del terreno por sobresaturación debido al sistema de riego en la zona agrícola de Pachamalqui. En el lugar se observó canales de agua no cementados.

Los flujos de tierra se desplazaron desde el sureste hacia el noroeste, es decir en dirección del río Colca. A continuación, se describen los procesos de cada evento:

Flujo de tierra Ft: Corresponde a un flujo de tierra, su punto de arranque presenta una cicatriz de rotura de forma irregular y mide 45 m, la altura del salto del escarpe de 2 m, este evento está comprendido entre las cotas 3765 m s.n.m. a 3665 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 100 m. asimismo se observó grietas tensionales de hasta 15 cm de abertura y 13 m de largo. La masa se movilizó en dirección noroeste (figuras 7 y 8).

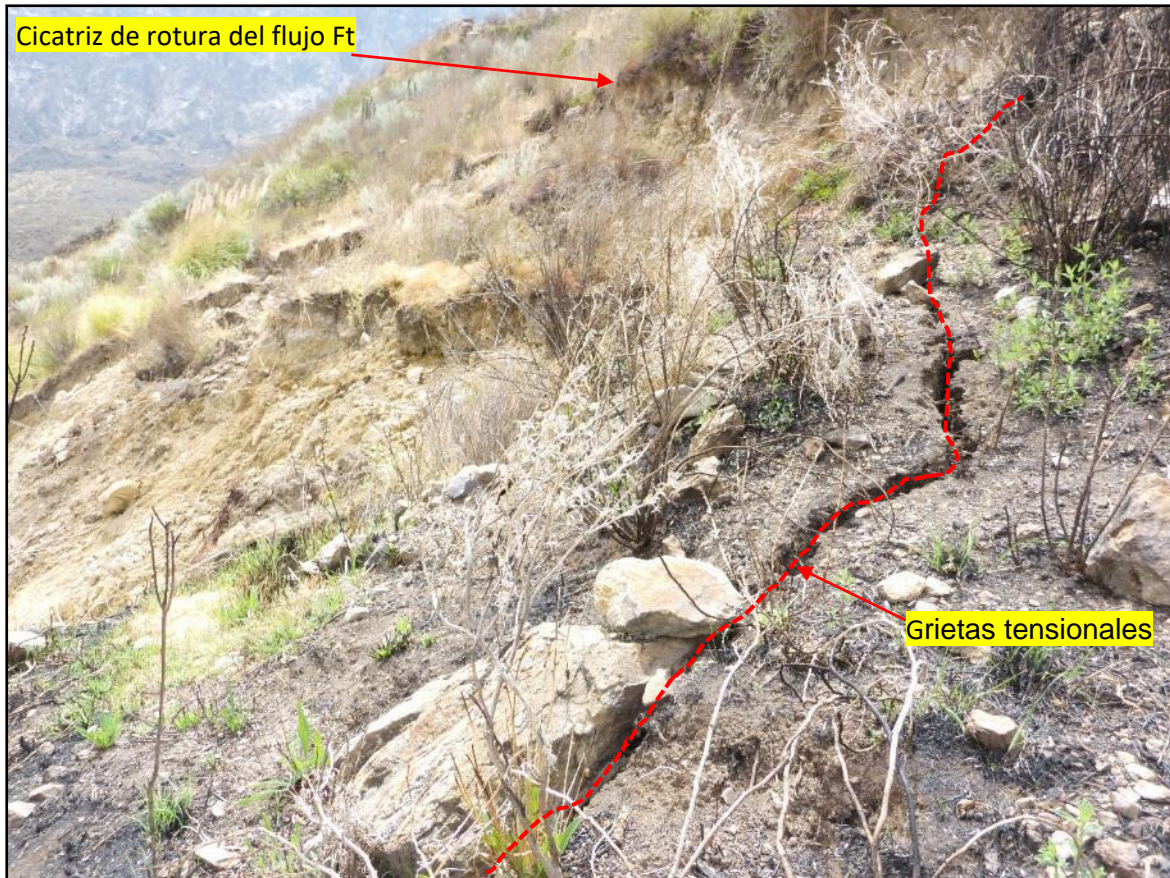


Figura 7. Escarpe de la cicatriz de rotura del flujo de tierra Ft (coordenadas UTM WGS84 223308E, 8273977N).



Figura 8. Cicatriz de rotura del flujo de tierra Ft (coordenadas UTM WGS84 223219E, 8274032N).

El depósito del flujo está conformado por gravas, arenas, limos y bloques; los cuales son fragmentos de areniscas cuarzosas. El depósito se encuentra no consolidado (figura 9).



Figura 9. Depósito del flujo de tierra Ft (coordenadas UTM WGS84 223219E, 8274032N).

Flujos de tierra Fta1 y Fta2: Corresponden a flujos de tierras antiguos, cuyo punto de arranque no está definido, los eventos poseen un desnivel 90 y 50 m respectivamente.

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. El depósito se encuentra no consolidado.

En Pachamalqui, se observó una serie de canales de agua que no cuentan con el revestimiento necesario para evitar infiltraciones en los terrenos (figura 10).



Figura 10. Canales de agua en Pachamalqui (coordenadas UTM WGS84 223474E, 8273979N).

4.1.2 Caída de rocas

Las caídas de rocas se presentan en los acantilados de pendientes escarpadas mayores a 45°, que comprometen a la zona agrícola de la parte baja del sector Pachamalqui (figuras 11 y 12).

Los acantilados están conformados por areniscas cuarzosas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas de la Formación Hualhuani.

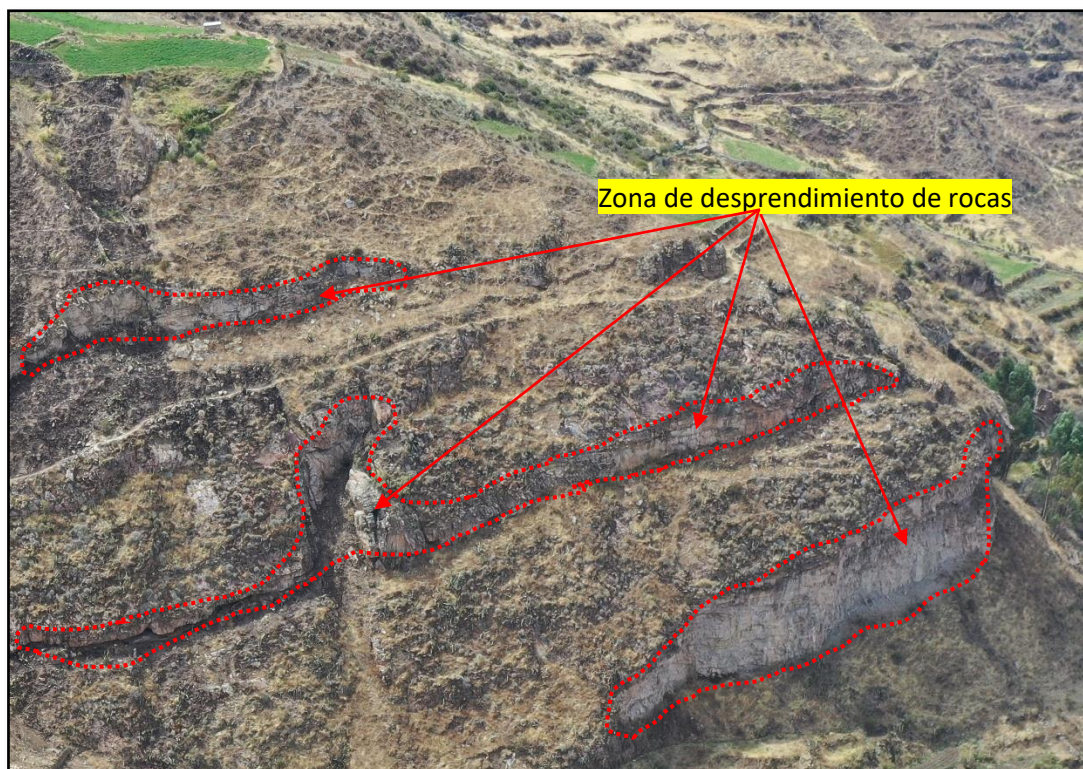


Figura 11. Zona de caída de rocas en Pachamalqui (coordenadas UTM WGS84 223171E, 8273882N).



Figura 12. Bloques desprendidos en Pachamalqui (coordenadas UTM WGS 223235E, 8273956N).

4.2. FACTORES CONDICIONANTES

- Presencia de rocas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas, conformadas por areniscas cuarzosas de la Formación Hualhuani.
- Los antiguos movimientos en masa de la zona han generado depósitos conformados por gravas, arenas y limos, poco compactados, ello permite la infiltración y retención del agua, de esta manera los terrenos son fácilmente saturados.
- La pendiente de los terrenos, el cual varía de muy fuerte (25° - 45°) a pendientes escarpadas ($> 45^{\circ}$) en la zona media de los acantilados.

4.3. FACTORES DESENCADENANTES

- Lluvias intensas prolongadas o extraordinarias (según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, el periodo de lluvia en la sierra de Perú se da en los entre los meses de diciembre a abril), las aguas saturan los terrenos, aumentando el peso del material y las fuerzas tendentes al desplazamiento, los flujos también son generados por lluvias intensas.
- Los movimientos sísmicos pueden generar desprendimientos de rocas desde las partes altas, deslizamientos y derrumbes. Según el diseño sismorresistente, del reglamento nacional de edificaciones, aprobada por decreto supremo N°011-2006-vivienda. La zona evaluada se ubica en la zona 3, con un factor Z de 0.35. “El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad”

5. CONCLUSIONES

1. Litoestratigráficamente, en el sector Pachamalqui afloran rocas de la Formación Hualhuani, conformadas por areniscas cuarzosas, moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas; Así mismo en el sector afloran depósitos fluviales a lo largo del río Colca, conformado por la acumulación de bloques, gravas, arenas y limos, en capas subhorizontales depositados en terrazas con espesores de 10 a 20 m. Los bloques son polilitológicos se encuentran dentro de una matriz areno-limoso, el depósito se encuentra no consolidado.
2. En el sector Pachamalqui se identificó dos peligros geológicos por movimientos en masa, los flujos de tierra, originados en depósitos conformados por bloques, gravas, arenas y limos, no consolidados, que permite la infiltración y retención del agua, de esta manera los terrenos son fácilmente saturados. Y caída de rocas generadas en afloramientos moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas de la Formación Hualhuani.
3. Los peligros geológicos están condicionados por:
 - a) Rocas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas de la Formación Hualhuani y depósitos fluviales no consolidados conformados por bloques, gravas, arenas y limos.
 - b) Pendientes de los terrenos: muy fuerte (25°-45°) y muy escarpados (> 45°) en acantilados.
 - c) La geomorfología que corresponde a vertientes glacio-fluviales conformada por acumulaciones de sedimentos de formas irregulares que bordean zonas montañosas con litología sedimentaria y volcánica, asociados a una morfogénesis de origen glacial o periglacial.
4. Los movimientos en masa podrían afectar 6 hectáreas terrenos de cultivo y un tramo de 200 m de trocha carrozable que cruza la parte baja de Pachamalqui.
5. Se concluye que, el sector Pachamalqui es considerado de **peligro alto**, puede ser afectado por flujo de tierra, que pueden ocurrir en temporadas de lluvia. Además, en el sector se pueden generar caída de rocas durante movimientos sísmicos.

6. RECOMENDACIONES

1. Conducir adecuadamente las aguas provenientes de la parte alta de Pachamalqui, 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. Sensibilizar a la población y autoridades a través de talleres y charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos para evitar la construcción de viviendas o infraestructura en áreas susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.
4. La población debe ser incentivada a la migración a nuevos tipos de cultivos y técnicas de irrigación, evitando las prácticas de riego por inundación. Estos cambios deben tener un asesoramiento de las entidades competentes.
5. En la zona de desprendimientos de rocas, asegurar el talud con pernos de anclaje. Principalmente. Esta técnica debe ser ejecutada por especialistas en este tipo de labores.



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, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.

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

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

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

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

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

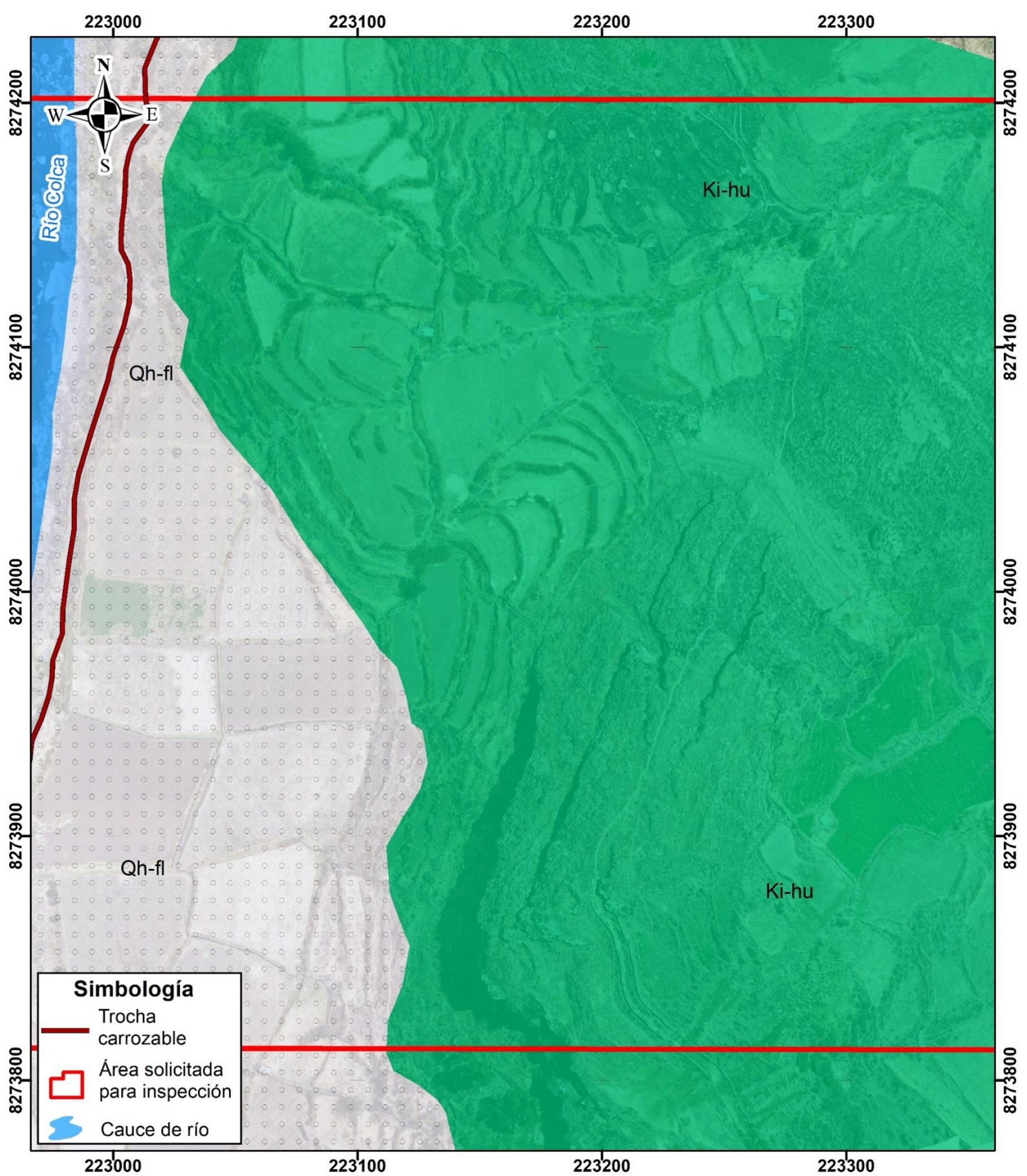
Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazi.

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

ANEXO 1: MAPAS


Se presenta los siguientes mapas:

- Mapa 1. Mapa geológico del sector Pachamalqui (modificado de Cerpa *et al.*, 2009)
- Mapa 2. Mapa de pendiente de los terrenos, elaborado a partir de un modelo digital de elevaciones de 10 cm de resolución.
- Mapa 3. Mapa geomorfológico del sector Pachamalqui, tomado de la clasificación de unidades geomorfológicas utilizadas en los estudios del Ingemmet
- Mapa 4. Mapa de cartografía de peligros geológicos del sector Pachamalqui.



Simbología



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

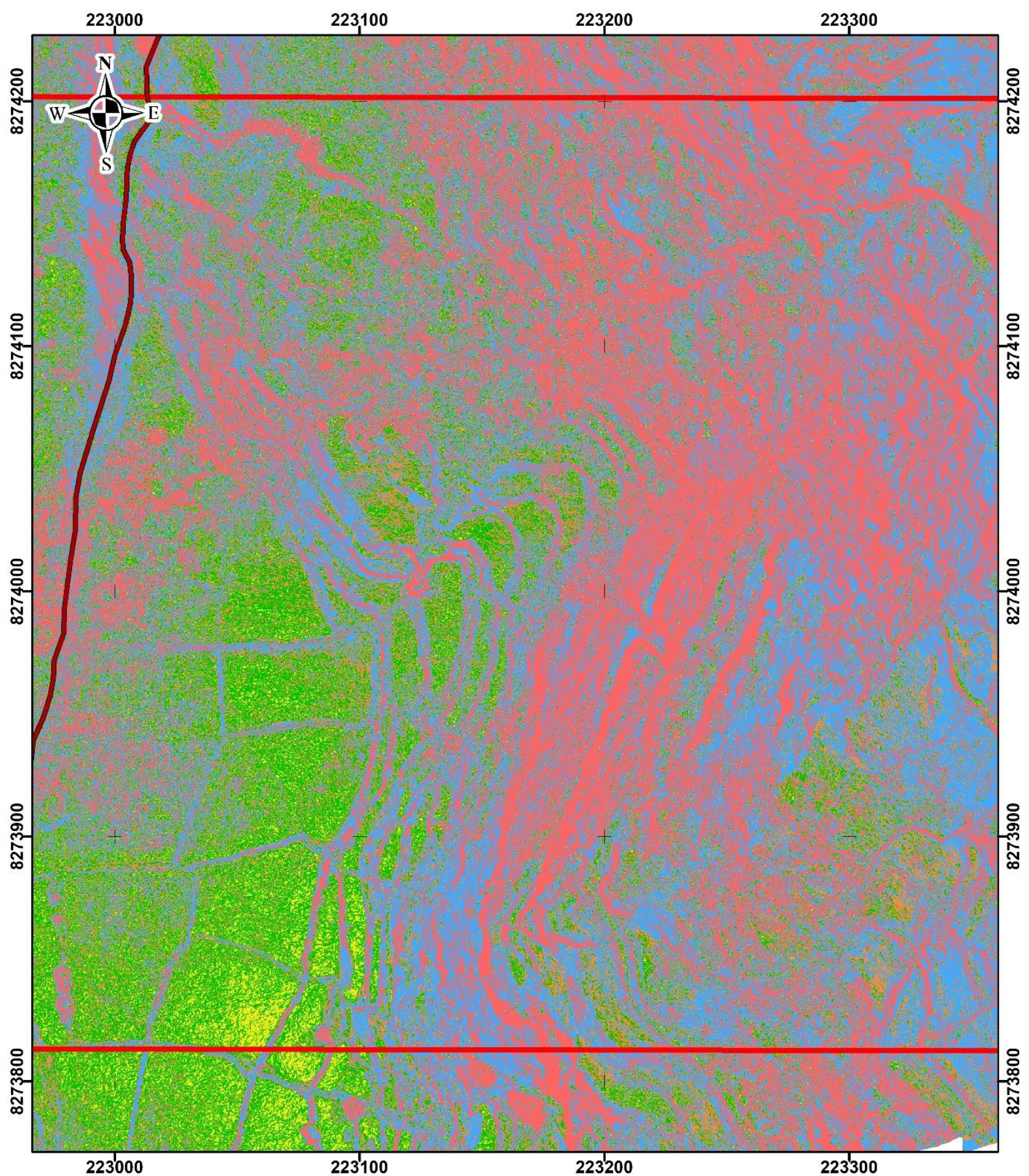
SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA GEOLÓGICO DEL SECTOR PACHAMALQUI

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

Unidad litoestratigráfica

-  **Qh-fl**
Depósito fluvial, acumulaciones de bloques, gravas, arenas y limos en capas subhorizontales depositados en terrazas. Tiene espesores de 10 a 20 m.
-  **Ki-hu**
Arenisca cuarzosas de color gris, con intercalaciones de lutitas a la base de la secuencia. Posee un espesor de 320 m.



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA DE PENDIENTES DEL SECTOR PACHAMALQUI

Proyección UTM
 Datum WGS 84
 Zona 19S

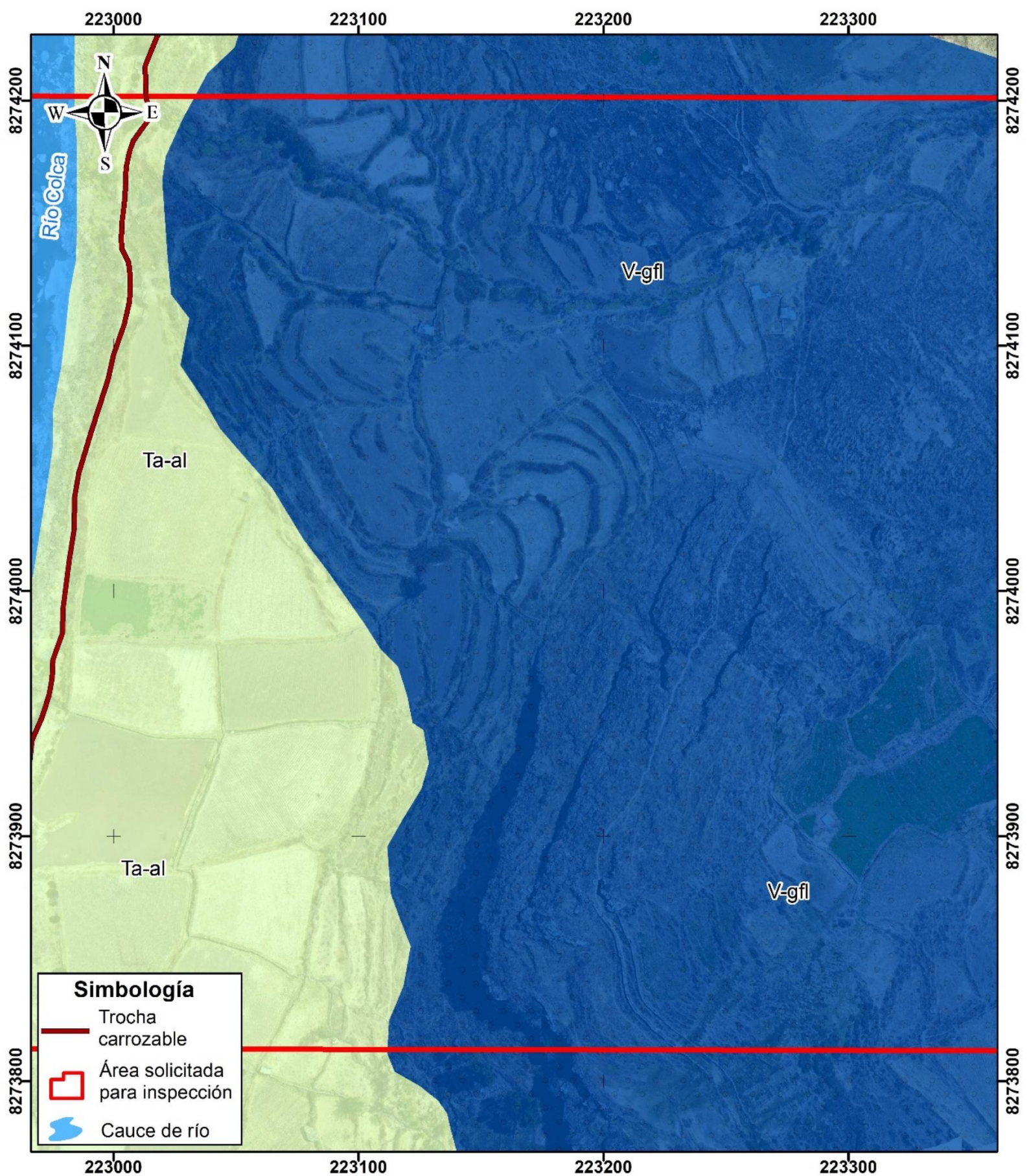
Escala 1:2,000

0 15 30 60 m

Mapa N° 2


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

Simbología	
	Trocha carrozable
	Área solicitada para inspección

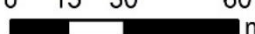


Simbología

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

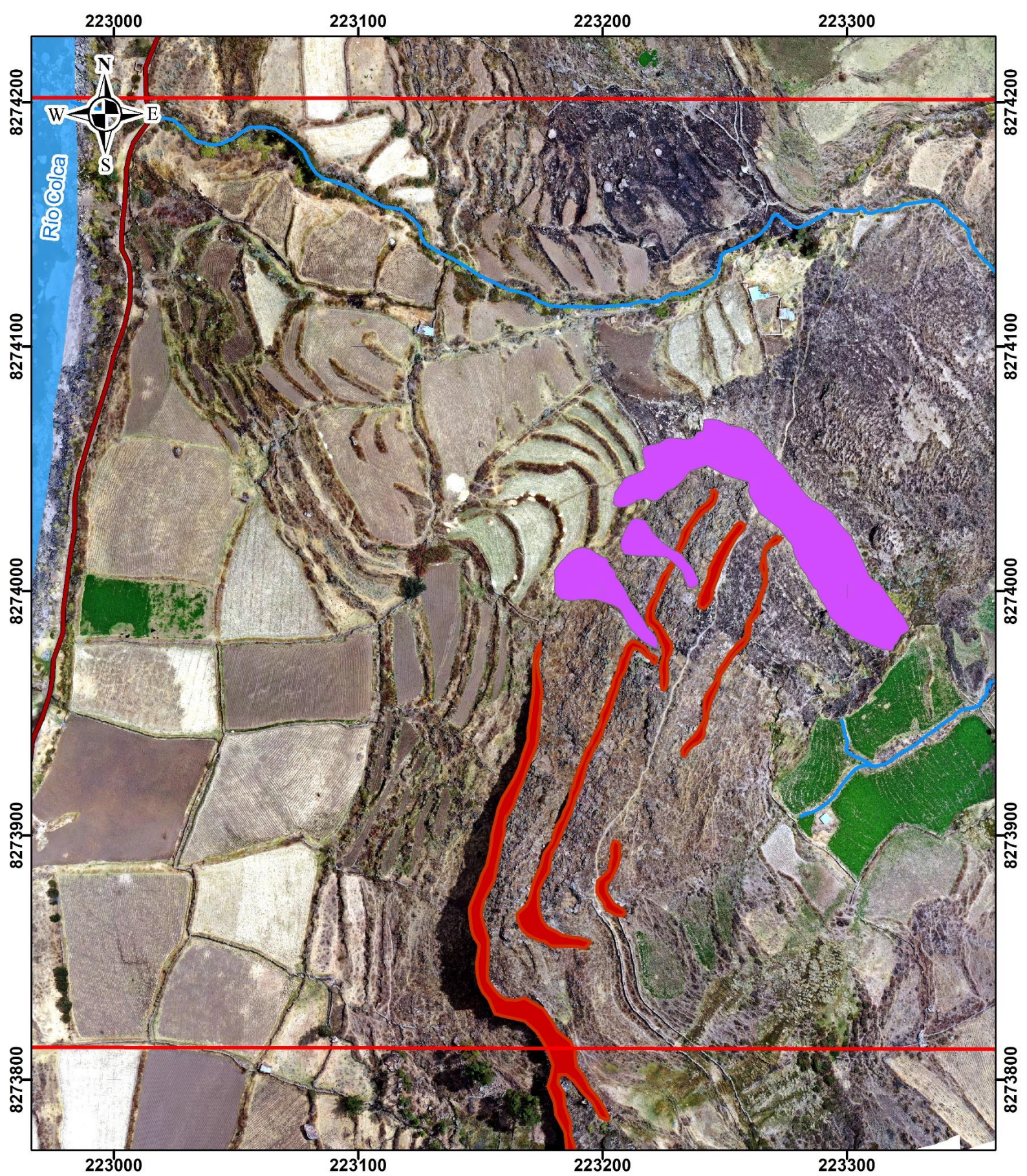
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
 **INGEMMET**
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL SECTOR PACHAMALQUI

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

LEYENDA

	Ta-al	Terraza alta aluvial
	V-gfl	Vertiente glacio-fluvial



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL SECTOR PACHAMALQUI

Proyección UTM
 Datum WGS 84
 Zona 19S

Escala 1:2,000
 0 15 30 60 m

Mapa N° 4

Peligros geológicos

- Zona de desprendimientos de rocas
- Flujo de tierra

Simbología

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

ANEXO 2: GLOSARÍO

Deslizamiento

Llamado también fenómenos de ladera o movimientos de ladera; son desplazamientos de masas de tierra o de rocas que se encuentran en pendiente, se entiende como movimiento del terreno o desplazamientos que afectan a los materiales en laderas o escarpes. Estos desplazamientos se producen hacia el exterior de las laderas y en sentido descendente como consecuencia de la fuerza de la gravedad, Corominas y García Yagüe (1997).

La nomenclatura de los elementos morfológicos y morfométricos de un movimiento de ladera tipo rotacional, como evidencia en la zona (figura 13), ha sido desarrollada por la Asociación Internacional de Geología Aplicada a la Ingeniería (IAEG, 1990).

Deslizamiento rotacional, es cuando la superficie de rotura es una superficie cóncava. Los deslizamientos rotacionales se producen fundamentalmente en materiales homogéneos o en macizos rocosos muy fracturados, Antoine (1992), se suelen diferenciar por una inclinación contrapendiente de la cabecera.

Se puede mencionar algunos factores que desencadenan los deslizamientos: rocas muy fracturadas y alteradas o suelos poco coherentes, saturación de suelos o roca alterada por intensas lluvias, deforestación de tierras, erosión fluvial, erosión de laderas (cárcavas), modificación de taludes de corte, actividad sísmica y volcánica.

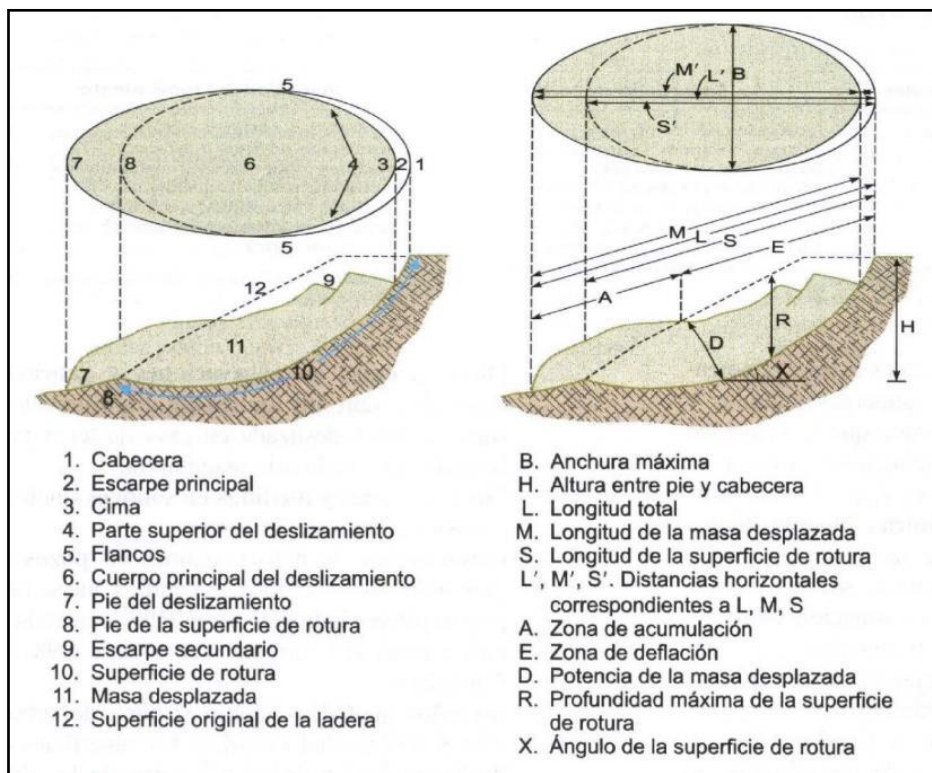


Figura 13. Elementos morfológicos y morfométricos de un deslizamiento, tomado de González de Vallejo (2002).

caídas o desprendimientos de rocas

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 desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo 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 y Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s. El estudio de casos históricos ha mostrado que las velocidades alcanzadas por las caídas de rocas pueden exceder los 100 m/s.

Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento.

En Evans y Hungr (1993) se pueden consultar ejemplos de caída de roca fragmentada (figuras 14 y 15). Los acantilados de roca son usualmente la fuente de caídas de roca, sin embargo, también puede presentarse el desprendimiento de bloques de laderas en suelo de pendiente alta.

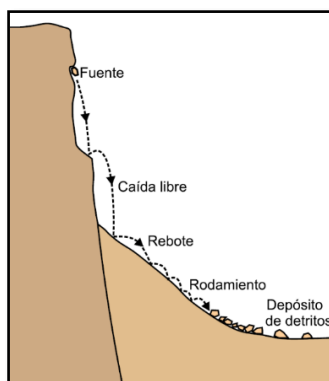


Figura 14. Esquema de la caída de rocas

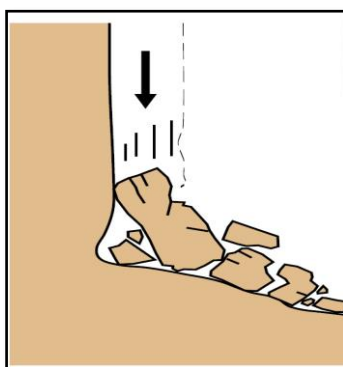


Figura 15. Esquema de Corominas y Yague (1997) denominan a este movimiento “colapso”.

Flujo de tierra

Es un movimiento intermitente, rápido o lento de suelo arcilloso plástico (Hungr *et al.*, 2001). Los flujos de tierra desarrollan velocidades moderadas, con frecuencia de centímetros por año, sin embargo, pueden alcanzar valores hasta de metros por minuto (Hutvnhinson, 1998). El volumen de tierra puede llegar hasta cientos de millones de metros cúbicos.