

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7502

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CERRO LLANTOHUAYCCO

Departamento: Puno

Provincia: Carabaya

Distrito: Ituata

Paraje: Cerro Llantohuaycco



MAYO
2024

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CERRO LLANTOHUAYCCO

Distrito Ituata, provincia Carabaya, departamento Puno

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

Equipo de investigación:

*Guisela Choquenaira Garate
Briant García Fernandez Baca*

Referencia bibliográfica

Choquenaira, G. & Garcia, B. (2024). Evaluación de peligros geológicos en el cerro Llantohuaycco. Distrito Ituata, provincia Carabaya, departamento Puno. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7502, 30p.

INDICE

RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. Objetivos del estudio.....	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	5
1.4. Aspectos generales.....	6
1.4.2. Accesibilidad	7
1.4.3. Población	8
1.4.1. Clima	8
2. DEFINICIONES	8
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	9
3.1. Unidades Litoestratigráficas	9
3.1. Depósitos superficiales	10
3.1.1. Depósito coluvial	10
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	10
4.1. Pendientes del terreno	10
4.2. Modelo digital de elevaciones (MDE)	11
4.3. Unidades geomorfológicas	12
4.3.1. Unidad de montaña	12
4.3.2. Unidad de piedemonte	13
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	13
5.1. Movimientos en masa	13
5.2. Análisis multitemporal del derrumbe.....	17
5.3. Factores condicionantes	18
5.4. Factores desencadenantes	19
5.5. Factores Antrópicos	19
6. CONCLUSIONES	20
9. RECOMENDACIONES	21
BIBLIOGRAFÍA:	23
ANEXO 1	24

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos, realizado en el km 8+300 al km 8+520 de la vía Tambillo – Llantohuaycco, perteneciente a la jurisdicción distrital de Ituata, provincia de Carabaya, departamento de Puno. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos, para los tres niveles de gobierno.

Litológicamente, la ladera noroeste del cerro Llantohuaycco está conformado por rocas metamórficas tipo cuarcitas y lutitas pizarrosas de la formación Sandia. Estas rocas en algunas zonas se encuentran muy fracturadas y meteorizadas, características del terreno que han favorecido la ocurrencia del derrumbe.

La presencia de depósitos inconsolidados, de estructura masiva, poroso y húmedo, identificado en la ladera del cerro Llantohuaycco presenta malas características geotécnicas, no competentes y susceptibles a la generación de movimientos en masa, en particular deslizamientos y derrumbes.

Desde el punto de vista geomorfológico, la ladera del cerro Llantohuaycco donde se produjo el derrumbe, denominada vertiente coluvial, tiene pendiente muy fuerte (25°-45°) a abrupta (>45°), este rango de pendientes ha coadyuvado en la reactivación del derrumbe, cuyo material desplazado interrumpió el paso vehicular de la tocha carrozable.

En los años 2023 y 2024, la ladera del cerro Llantohuaycco, en el km 8+300 al km 8+520 nuevamente se reactivó en derrumbe con un área de aproximadamente 4.6 km², que afectó un tramo de 225 m de tocha carrozable, dejando incomunicado a poblados como Calixe y comunidad de Tayaccuchu.

La presencia de agrietamientos en el terreno y árboles inclinados a favor de la pendiente nos permite inferir que se trata de un derrumbe activo y representa un peligro constante. Es importante mencionar que, los árboles colgados pueden caer ladera abajo, y afectar nuevamente parte de la vía carrozable y a los vehículos que transitan por la vía.

Según el análisis de imágenes satelitales, se observa que en nueve años, el derrumbe avanzó de forma retrogresiva, afectando un área de aproximadamente 1.46 km². El crecimiento del evento se atribuye a las malas características geológicas del terreno, el corte de talud para la construcción de la tocha carrozable y la erosión que produce la dinámica del río Uyunaje.

Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa, se determina que el km 8+300 al km 8+520 de la vía Tambillo – Llantohuaycco, presenta **Peligro Alto** por movimientos en masa, de tipo derrumbes.

Por todo lo expuesto anteriormente, se recomienda terracear y/o banquetear la ladera noroeste del cerro Llantohuaycco; el tipo y diseño se determinará previo estudio geotécnico. Estas medidas servirán para atenuar y/o reducir los peligros geológicos identificados en el área de estudio.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la municipalidad distrital de Ituata, según Oficio N°0036-2024-MDITUATA/A, en el marco de nuestras competencias se realizó una evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el cerro Llantuaycco.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Guisela Choquenaira Garate y Briant Garcia Fernandez Baca, realizar la evaluación de peligros geológicos, el día 11 de abril del 2024.

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: etapa de pre-campo con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET; etapa de campo a través de la observación, toma de datos (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de población local afectada; y para la etapa final de gabinete se realizó el procesamiento de toda información terrestre y aérea adquirida en campo, fotointerpretación de imágenes satelitales, cartografiado e interpretación, elaboración de mapas, figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad distrital de Ituata e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – Sinagerd, como el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre - CENEPRED, a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Ley 29664. A fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa en el cerro Llantuaycco, que compromete vía de acceso a centros poblados.
- b) Determinar los factores condicionantes que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa, tipo derrumbes.
- c) Proponer medidas de mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel regional en Puno, se tiene la siguiente información:

- A. Boletín N° 77 de la Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligro geológico en la región Puno”, elaborado por Velázquez & Pinto (2020). El estudio contiene información sobre los peligros geológicos presentes en el departamento de Puno y los factores que condicionan su ocurrencia. El área de evaluación es considerada de alta a muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa (figura 1).

Entendiéndose, la susceptibilidad a movimientos en masa como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

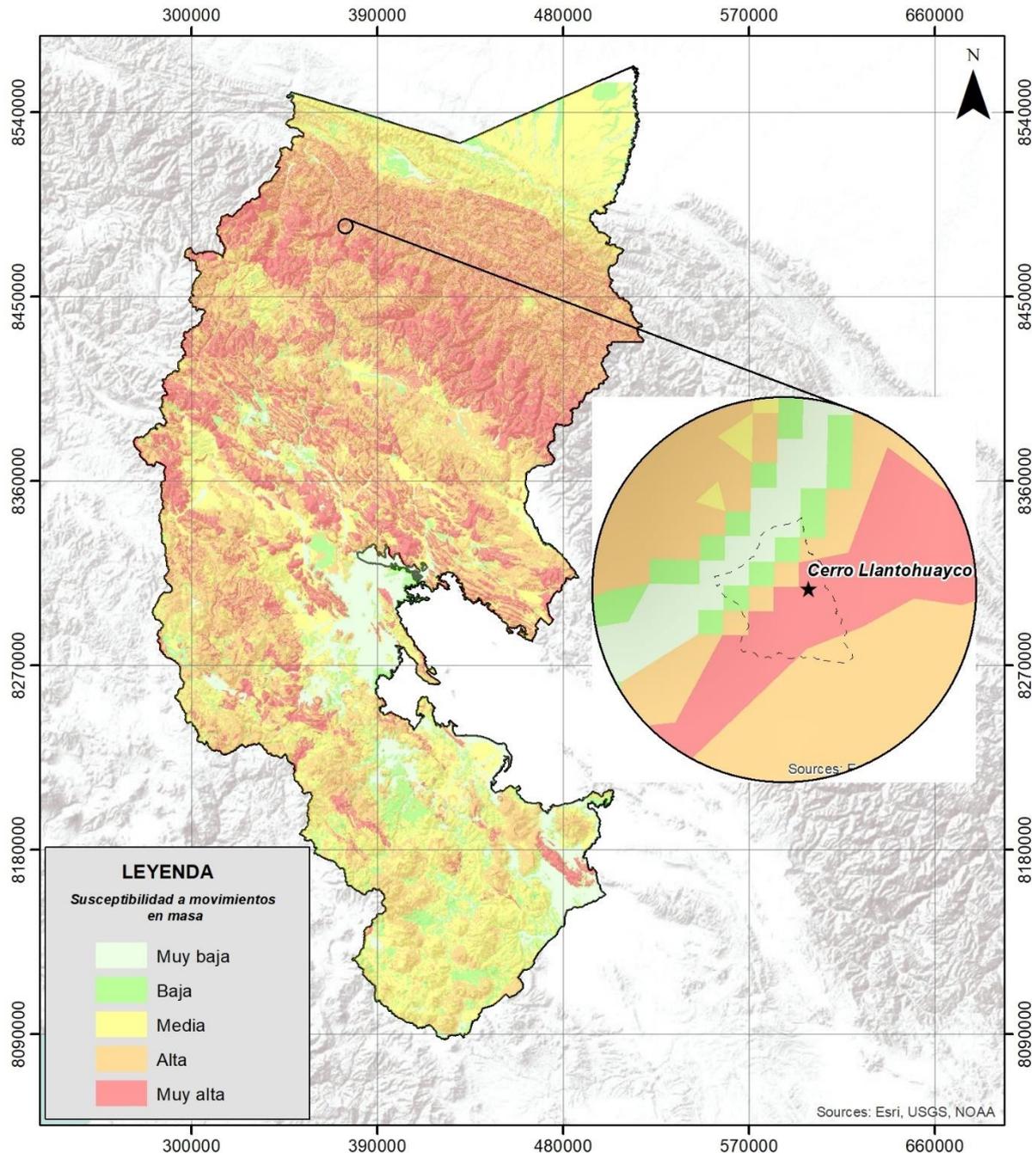


Figura 1. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa en el departamento de Puno. Fuente Velázquez, 2020.

1.4. Aspectos generales

1.4.1. Ubicación

La zona de estudio se encuentra en la ladera noroeste del cerro Llantohuaycco, margen derecha del río Uyunaje, aproximadamente a 23 km al noreste de Ituata. Políticamente,

pertenece a la comunidad de Carabaya, distrito Ituata, provincia Carabaya, departamento Puno (figura 2); en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 19 s) (tabla 1):

Tabla 1. Coordenadas del área evaluada

N°	UTM - WGS84 - Zona 19L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	374054	8484291	13°42'27.91"	70° 9'53.06"
2	375155	8485055	13°42'3.22"	70° 9'16.28"
3	376189	8484421	13°42'24.01"	70° 8'41.97"
4	375241	8483416	13°42'56.57"	70° 9'13.68"
<i>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</i>				
C	375214	8484403	13°42'24.45"	70° 9'14.42"

1.4.2. Accesibilidad

Se accede por vía terrestre desde la ciudad de Lima (Ingemmet-sede central), mediante la siguiente ruta (cuadro 1):

Cuadro 1. Rutas y accesos al área evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – Juliaca	Carretera asfaltada	1270	20h 50 minutos
Juliaca – Macusani	Carretera asfaltada	210	3h 5 minutos
Macusani – Ituata	Carretera asfaltada	55	1h 15 minutos

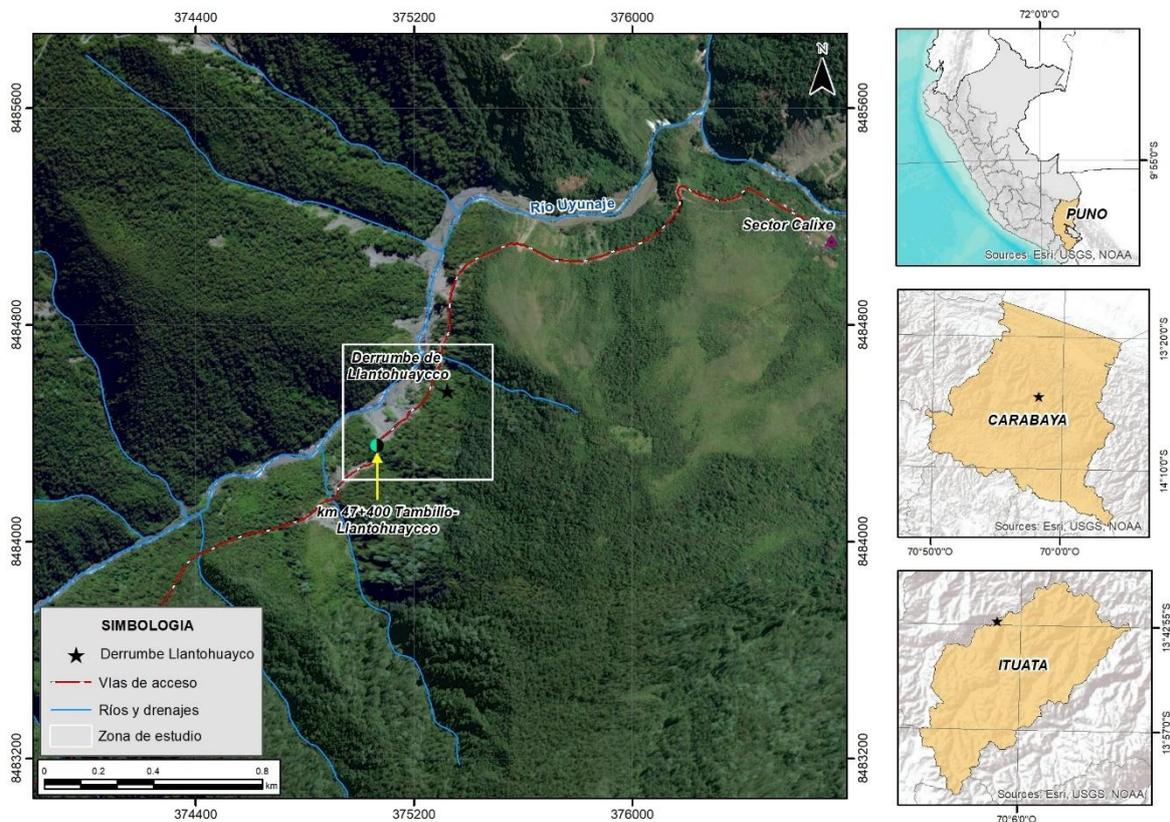


Figura 2. Mapa de ubicación del área evaluada

1.4.3. Población

Según el sistema de Información geográfica del Instituto Nacional de estadística e Informática (INEI, 2017), la distribución poblacional del poblado Calixe asciende a 60 Habitantes (varones, mujeres y niños), y 37 viviendas censadas. <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>

Con apoyo de los trabajos de campo se evidencia que las viviendas del centro poblado están construidas en su mayoría de material noble.

1.4.4. Clima

Según la clasificación climática de Senamhi, la zona evaluada tiene un clima cálido lluvioso, en otoño presenta un ambiente templado. Por su ubicación geográfica, a 1542 m s.n.m, se encuentra cubierto por bosque montano. En cuanto a las precipitaciones, se registra lluvias intensas y/o prolongadas entre los meses de noviembre a marzo, y temperatura promedio anual de 16.9 °C.

1. DEFINICIONES

El presente glosario se describe según los términos establecidos en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007):

DERRUMBE: Desplome de una masa de roca, suelo o ambos por gravedad, sin presentar una superficie o plano definido de ruptura, y más bien una zona irregular. Se producen por lluvias intensas, erosión fluvial; rocas muy meteorizadas y fracturadas.

ZONA DE ARRANQUE 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.

FACTOR CONDICIONANTE: Se refiere al factor natural o antrópico que condiciona o contribuye a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituye el evento detonante del movimiento.

FACTOR DETONANTE: Acción o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavación del pie de una ladera, la sobrecarga de una ladera, entre otros.

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 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.

MOVIMIENTO EN MASA Fenómeno de remoción en masa (Co, Ar), proceso de remoción en masa (Ar), remoción en masa (Ch), fenómeno de movimiento en masa, movimientos de ladera, movimientos de vertiente. Movimiento ladero abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La geología se desarrolló en base a la información obtenida en campo, apoyada en la actualización de la carta Geológica nacional – hoja 28v, (*Soberón et al., 2022*), a escala 1/50 000, donde se presentan rocas metamórficas del Ordovícico y depósitos Cuaternarios, estos materiales a través de la cartografía y en base a la interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas se completa en el mapa geológico, presentado en el mapa 1: Anexo 1.

3.1. Unidades Litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que aflora en la zona de estudio, corresponde a la Formación Sandia; así como, depósitos de tipo coluvial, que han sido acumulados recientemente, los cuales se detallan a continuación:

3.1.1. Formación Sandia (Os-s)

Sobreyace concordantemente al Grupo San José (Ordovícico inferior–medio) e infrayace en aparente conformidad a la Formación Ananea (Silúrico-Devónico). Aflora ampliamente en la margen izquierda del río Uyunaje, está compuesto por cuarcitas, areniscas, lutitas y pizarras en estratos delgados a gruesos con estratificación sesgada.

Localmente, en la zona de derrumbe del cerro Llantohuaycco se tiene pizarras, limolitas y cuarcitas con estratificación en dirección SE. Estas rocas, en algunos partes del derrumbe se presentan muy fracturadas y altamente meteorizadas, lo que facilitó la ocurrencia y/o reactivación del mismo (fotografía 1).



Fotografía 1. Afloramiento de la Formación Sandia, muy fracturadas y meteorizadas.

3.2. Depósitos superficiales

3.2.1. Depósito coluvial

Depósitos inconsolidados, de estructura masiva, poroso y húmedo, identificado en la ladera noroeste del cerro Llantohuaycco; está compuesto por bloques de formas angulosas a subangulosas, con diámetro de hasta 2 m, gravas, arenas, limos y arcillas (fotografía 2).

Son suelos inestables, presentan malas características geotécnicas y se consideran no competentes, susceptibles a la generación de movimientos en masa, en particular deslizamientos y derrumbes.



Fotografía 2. Depósito coluvial formado a partir de la masa desplazada por el derrumbe.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

La pendiente del terreno es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa; ya que actúa como uno de los factores condicionantes y dinámicos en la generación de movimientos en masa.

Se analiza 6 rangos de pendientes que van de 0°-1° considerados terrenos de pendiente muy baja; 1° a 5° terrenos de pendiente baja; 5° a 15° pendiente moderada; 15° a 25° pendiente fuerte; 25° a 45° pendiente muy fuerte a escarpado; finalmente, mayor a 45° terreno con pendiente muy escarpado o abrupto.

En la figura 3A se muestra el mapa de pendientes del cerro Llantohuaycco, elaborado en base al modelo de elevación digital de 0.5 m de resolución. En la vertiente coluvial, donde se ha producido el derrumbe se tiene pendientes que varían de muy fuerte (25°-45°) a abrupta (>45°), esta variación del relieve se debe a la configuración abrupta de las laderas.

En el cuadro 2 se presenta de forma detallada, solo los rangos de pendientes que figuran en el mapa de pendientes local.

Cuadro 2. Rangos de pendiente identificados en el área evaluada.

RANGO	DESCRIPCIÓN	SECTOR	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
5°-15°	Pendiente moderada	Se presenta en la parte baja del cerro Llantohuaycco y cauce del río Uyunaje.	Vertiente coluvial Ladera baja
15°-25°	Pendiente fuerte	Se presenta en la ladera baja del cerro Llantohuaycco.	Ladera baja de montaña metamórfica Vertiente coluvial
25°-45°	Pendiente muy fuerte o escarpada	Cubre gran parte de del cuerpo del derrumbe. Este rango de pendientes ha contribuido en la ocurrencia y/o reactivación del evento.	Ladera de montaña metamórfica Vertiente coluvial
>45°	Pendiente muy abrupta	Se observan en la parte media y alta de la ladera que delimita el río Uyunaje por la margen derecha.	Laderas de montaña metamórfica Vertiente coluvial

4.2. Modelo digital de elevaciones (MDE)

En la figura 3B, se presenta el mapa de alturas del derrumbe Llantohuaycco, clasificados en tres niveles altitudinales, con la finalidad de visualizar la extensión con respecto a la diferencia de elevaciones. El derrumbe reactivado en el km 8+300 al km 8+520, inicia a una altitud de 1700 m s.n.m. y finaliza en la cota 1450 m s.n.m.

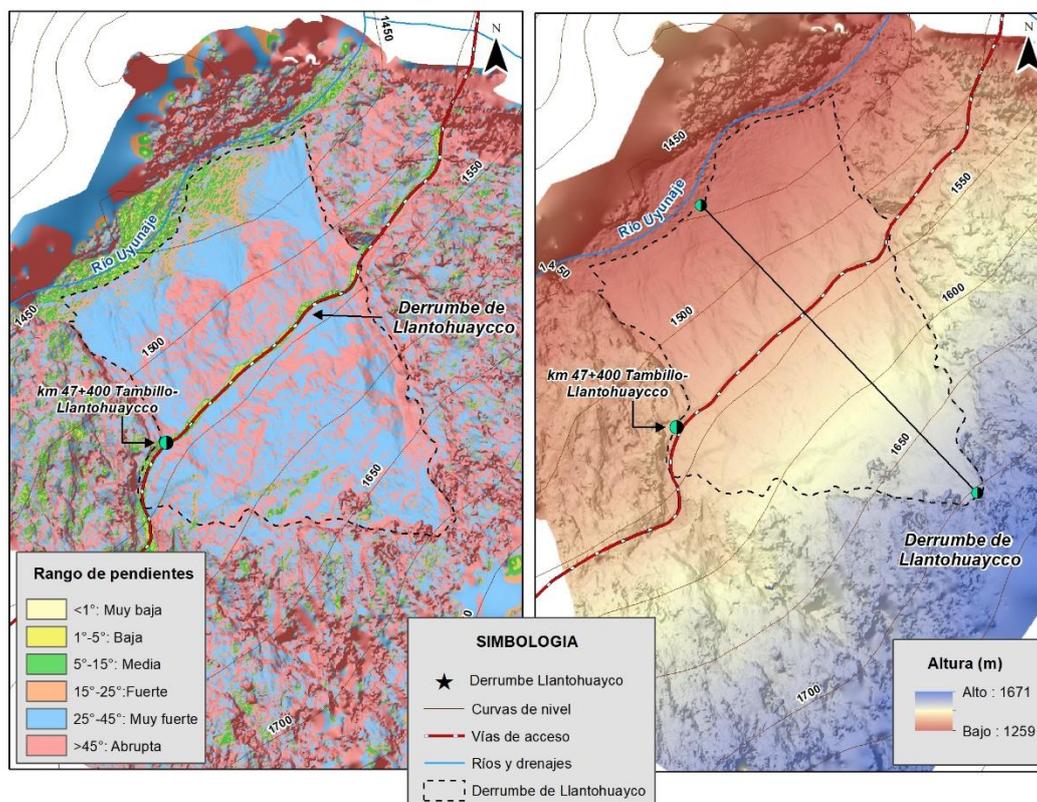


Figura 3. A) Mapa de pendiente de la ladera noreste del cerro Llantohuaycco. B) Mapa de elevaciones del derrumbe de Llantohuaycco.

4.3. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades y subunidades geomorfológicas en el área de estudio se utilizó el criterio principal de homogeneidad relativa y la caracterización de aspectos de origen del relieve. Asimismo, para la delimitación de las subunidades, se consideró los límites de las unidades litoestratigráficas (afloramiento y depósitos superficiales) (figura 4).

En el Mapa 3 (Anexo 1) se presentan las subunidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio.

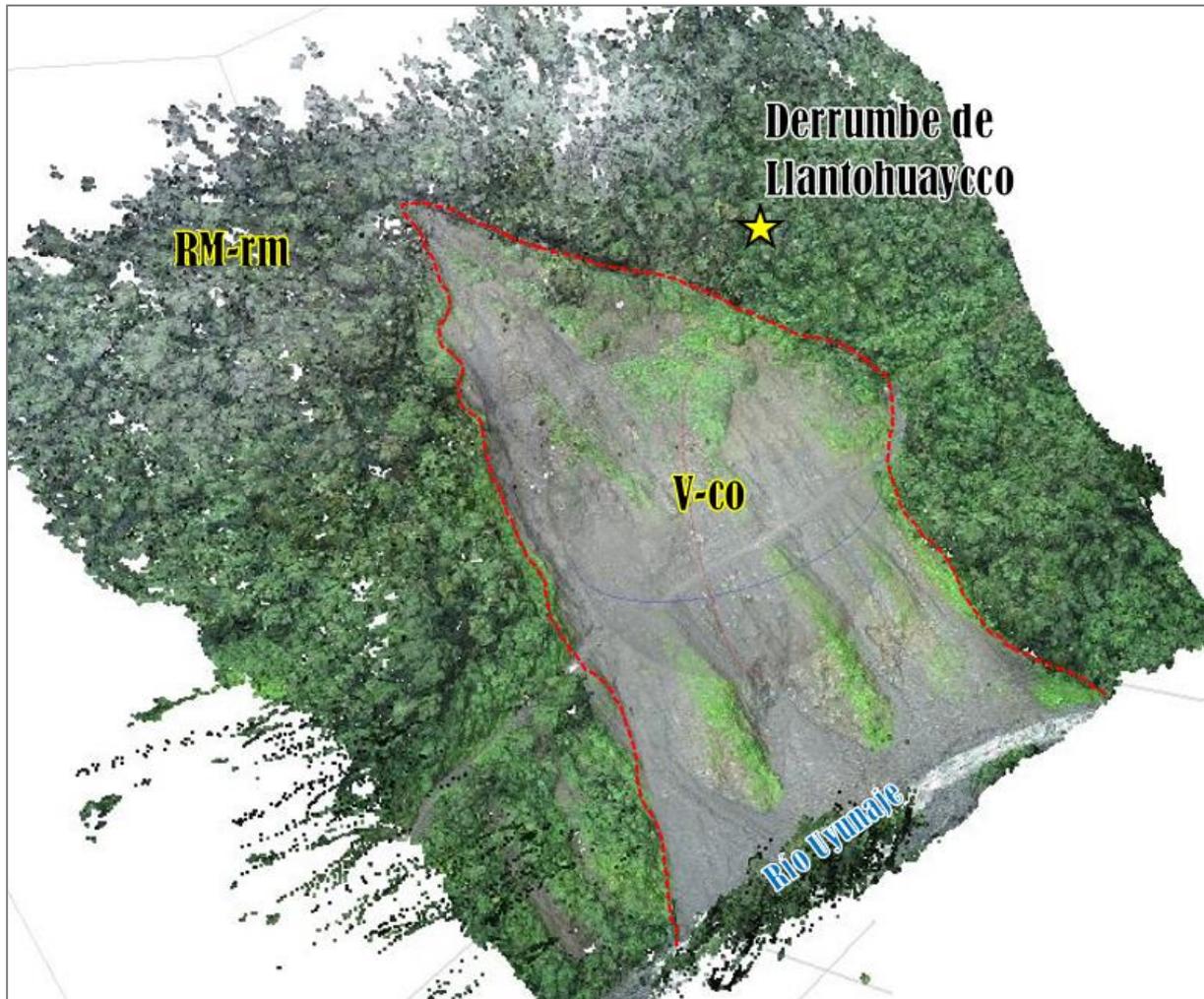


Figura 4. Vista de la morfología sobre la cual se ha producido el derrumbe en el 8+300 y km 8+520 de la vía Tambillo-Llantohuaycco. RM-rm. Relieve de montaña en roca metamórfica; V-co: Vertiente coluvial.

4.3.1. Unidad de montaña

Se considera dentro de esta unidad a las geoformas con alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de base local, se tiene la siguiente subunidad:

Montaña en roca metamórfica (ME-rm): Relieve modelado en afloramiento rocoso de la Formación Sandía, compuesto principalmente por cuarcitas, lutitas pizarrosas. Por su composición litológica, las cimas de las montañas se muestran puntiagudas y laderas de relieve accidentada, formando pendientes que varían de muy fuerte a abrupta.

4.3.2. Unidad de piedemonte

Corresponde a la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afecta las unidades de montaña, generalmente se encuentran en las laderas y piedemonte, aquí se tienen:

Vertiente coluvial (V-c): Corresponde a los paisajes originados por procesos gravitacionales, varían de pequeños a grandes dimensiones, probablemente detonados por lluvias excepcionales y/o prolongadas o actividad sísmica.

Esta geoforma se observa en la ladera noroeste del cerro Llantohuaycco, de composición litológica homogénea, material inconsolidado de corto a mediano recorrido relacionados a las laderas superiores. Su morfología es usualmente convexa y con disposición elongada en relación con la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados el km 8+300 al km 8+520 de la vía Tambillo – Llantohuaycco, ladera noroeste del cerro Llantohuaycco, corresponden a movimientos en masa tipo derrumbes (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007). Estos peligros son resultado del proceso de modelamiento del terreno, coadyuvado por las condiciones del macizo rocoso, depósitos de eventos antiguos; así como, a la intervención antrópica, como cortes de talud (Anexo 1: Mapa 4).

5.1. Movimientos en masa

El derrumbe producido en la ladera noroeste del cerro Llantohuaycco, con un área de 4.6 km² (figura 5), afectó un tramo de 225 m de la vía carrozable (fotografía 3) que conduce a poblados como Calixe y comunidad de Tayaccuchu.

El evento producido en rocas metamórficas de la Formación Sandía, tipo cuarcitas y lutitas pizarrosas, tiene un ancho de 213 m y una distancia de 312 m desde la zona de arranque al pie del derrumbe (figura 6).

En el cuerpo del derrumbe se observó erosión constante producto de la escorrentía pluvial, formando surcos con un ancho de 50 cm (fotografía), por donde discurre agua y material detrítico, material que se deposita sobre la trocha carrozable.

En la parte alta, bordeando la zona de arranque se tiene árboles inclinados a favor de la pendiente (figura 7). Además, en la zona posterior, se observó agrietamientos longitudinales, lo que nos infiere la actividad reciente y latente del derrumbe. Es importante mencionar que, la presencia de árboles colgados representa un peligro inminente, puesto que en cualquier momento puede caer ladera abajo, y afectar nuevamente parte de la vía carrozable y a los vehículos que transitan por la vía (fotografía 5).

En la parte inferior del derrumbe se ha formado tres conos de detritos, depositándose parte de este material en el río Uyunaje.

Se considera que, el corte de talud para la construcción de la trocha carrozable, acompañado de las malas características geológicas y lluvias intensas y/o prolongadas, han contribuido en la constante reactivación del derrumbe.

Características visuales del derrumbe

A continuación, se detalla las características más relevantes del derrumbe reactivado en la ladera noroeste del cerro Llantoahuaycco:

- Estado de actividad: Reactivado
- Superficie de rotura inferida: No presenta
- Forma de la zona de arranque: Elongada - irregular
- Estilo de la zona de arranque: Única (en esta zona)
- Longitud de la zona de arranque principal: 257 m.
- Desnivel entre la zona de arranque principal y el pie del derrumbe: 312 m
- Ancho promedio de evento: 213 m.
- Área del derrumbe reactivado: 4.6 km²
- El avance de la reactivación de derrumbe: Retrogresivo



Figura 5. Vista frontal del derrumbe producido en la ladera noroeste del cerro Llantoahuaycco.

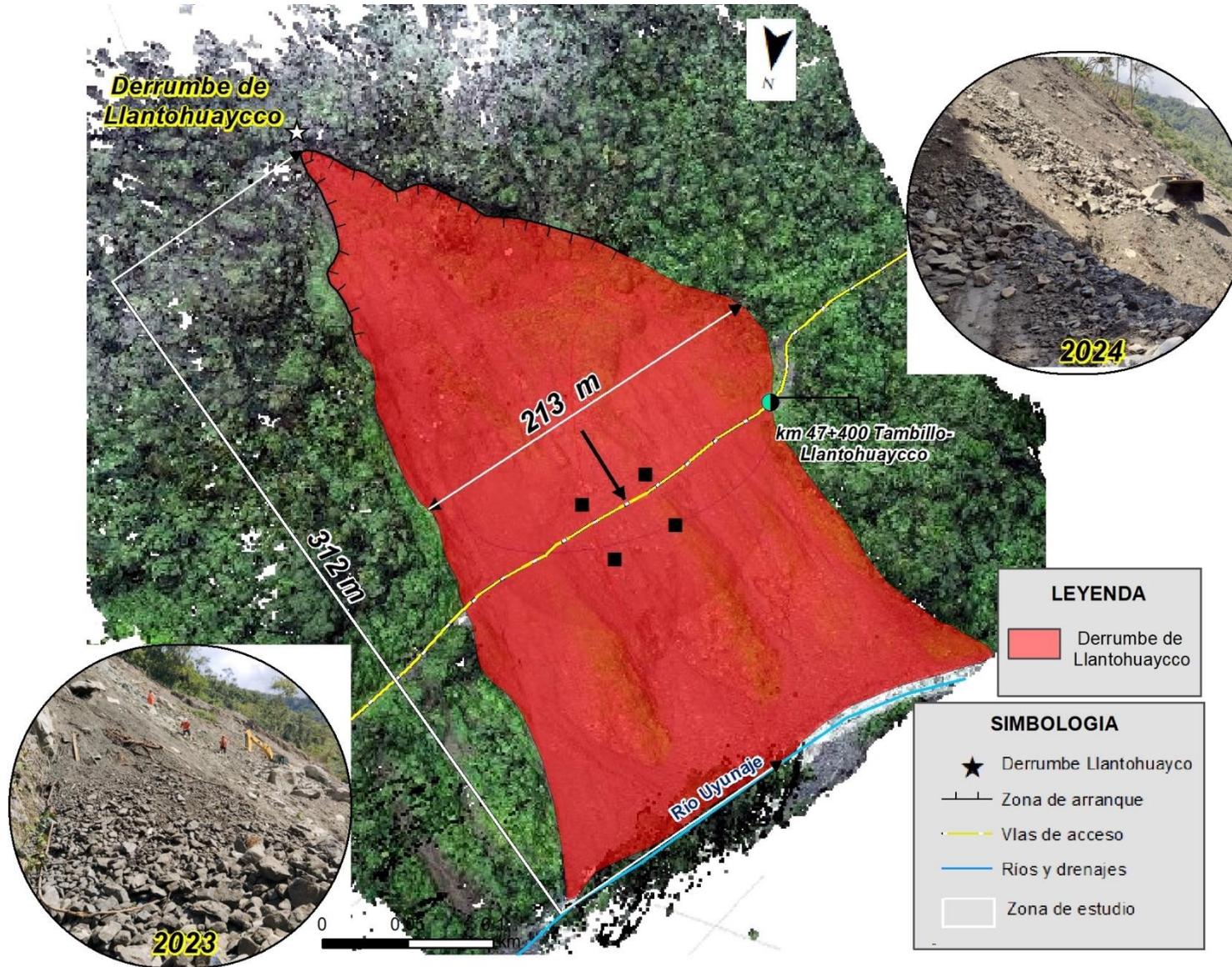


Figura 6. Peligros geológicos por derrumbe en un tramo del km 8+300 al km 8+520 de la vía Tambillo-Llantohuaycco.



Fotografía 3. Vista de la vía afectada por el derrumbe en el cerro Llantohuaycco.



Fotografía 4. Parte media-baja del cuerpo del derrumbe, donde se ha producido surcos con un ancho de 50 cm debido a la escorrentía pluvial. Actualmente, por este canal discurre agua y material detrítico, sobre la trocha carrozable.



Figura 7. A, B) Vista de árboles inclinados en la zona de arranque y parte posterior del derrumbe, el cual puede ceder cuesta abajo y afectar a los vehículos que transitan por la vía carrozable.



Fotografía 5. Vista del tramo de la trocha carrozable que sería afectada ante la reactivación del derrumbe o caída de árboles inclinados en la parte alta.

5.2. Análisis multitemporal del derrumbe

Según el análisis de imágenes satelitales, se observa que para el año 2015, el derrumbe presentaba un área de aproximadamente 3.14 km²; y una distancia de 113 m entre la zona de arranque y pie del derrumbe; posiblemente condicionado por el corte de talud para la construcción de la trocha carrozable y la erosión que produce la dinámica del río Uyunaje

(figura 8). En la actualidad el derrumbe avanzó de forma retrogresiva, aumentando un área de 1.46 km².

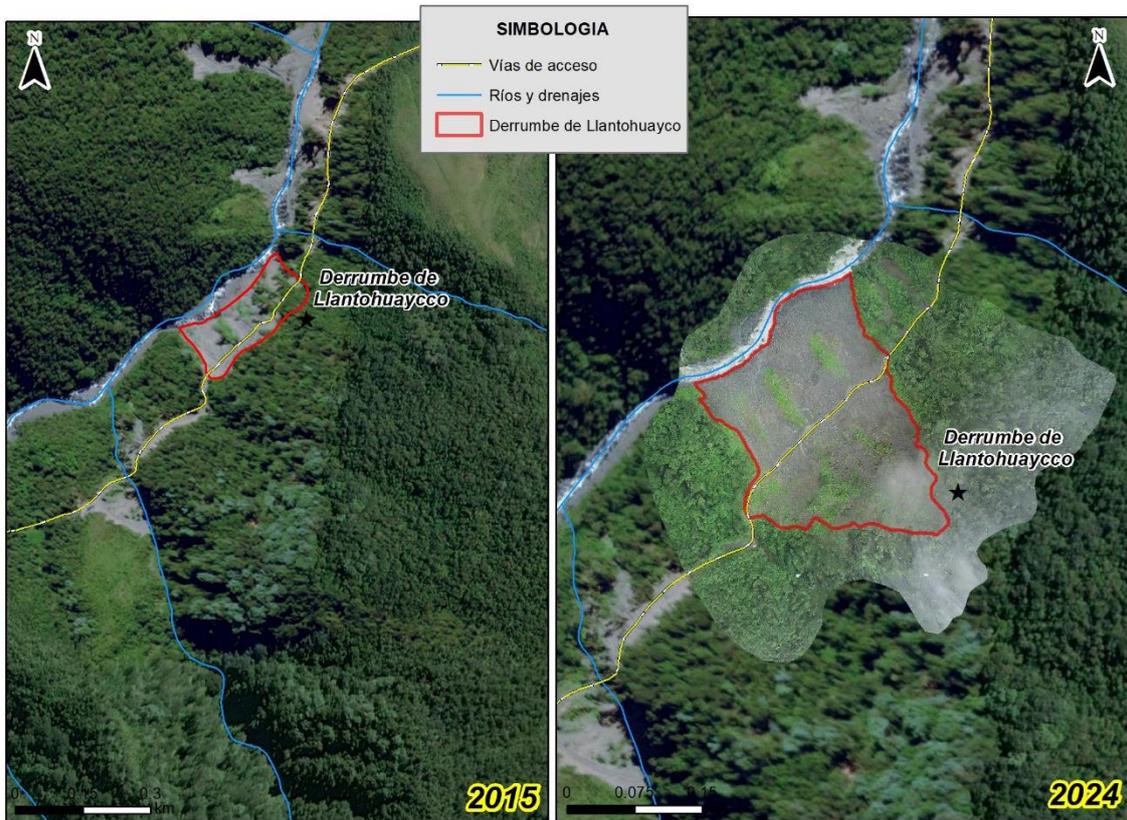


Figura 8. Análisis multitemporal de imagen satelital del año 2015 y ortofoto del año 2024. El cual muestra que aproximadamente en 9 años el derrumbe incremento 199 m de longitud.

5.3. Factores condicionantes

Se detalla los principales factores que podrían condicionar la ocurrencia de peligros geológicos en la ladera noroeste del cerro Llantohuaycco.

Cuadro 3. Factores condicionantes de los procesos por movimientos en masa.

Procesos o causas naturales	Características	Peligros geológicos inducidos
Factores geológicos - geotécnicos inherentes (factores de sitio)		
Litología del substrato-estructural	<p>La ladera del cerro Llantohuaycco está conformado por cuarcitas y lutitas pizarrosas, las cuales se encuentran muy fracturadas y meteorizadas.</p> <p>En algunas partes la roca se presenta triturada, lo que coadyuvó en la reactivación del derrumbe.</p>	Derrumbes

Tipo de suelo (naturaleza del suelo)	Presencia de depósito coluvial dispuesto en la ladera noroeste del cerro Llantohuaycco, compuesto por bloques angulosas a subangulosas, de fácil remoción y erosión ante la presencia de lluvias intensas. Se les considera como suelos inestables, altamente susceptible a la ocurrencia de movimientos en masa.	Derrumbes
Pendiente del terreno	En la parte media de la ladera (cuerpo del derrumbe) se tiene una pendiente muy fuerte (25°-45°) a abrupta (>45°). Este rango de pendientes ha coadyuvado en la reactivación del derrumbe, interrumpiendo el paso vehicular de la tocha carrozable que conduce a pueblos aledaños.	Derrumbes

5.4. Factores desencadenantes

Cuadro 4. Factores desencadenantes de los procesos por movimientos en masa.

Factores naturales del entorno geográfico		
Climáticos e Hidrológicos		
Precipitaciones pluviales	Índices altos de pluviosidad y/o prolongados saturan los suelos y/o rocas, aumentan las presiones del terreno al infiltrarse por discontinuidades, grietas y la sobrecarga debido a su propio peso. Absorción de agua por minerales arcillosos en suelos adhesivos, produciendo saturación de los mismos.	Derrumbes

5.5. Factores Antrópicos

Cuadro 5. Factores desencadenantes de los procesos por movimientos en masa.

Factores Antrópicos (humanos)		
Excavaciones	La modificación de laderas naturales, o depósitos de eventos antiguos por cortes artificiales para habilitación de vías y viviendas, influye en su inestabilidad y variación de su estado de equilibrio, conllevando a la ocurrencia y/o reactivación de movimientos en masa tipo derrumbes.	Derrumbes

6. CONCLUSIONES

En base al análisis de información geológica y geomorfológica de la zona de estudio, así como a los trabajos de campo, y la evaluación de peligros geológicos, emitimos las siguientes conclusiones del derrumbe evaluado en la ladera noroeste del cerro Llantohuaycco, entre el km 8+300 al km 8+520 de la vía Tambillo - Llantohuaycco:

1. La ladera noroeste del cerro Llantohuaycco está conformada por rocas metamórficas tipo cuarcitas y lutitas pizarrosas, en algunos sectores se encuentran muy fracturadas y meteorizadas. Además, la presencia de depósitos inconsolidados, de estructura masiva, poroso y húmedo, identificado en la ladera del cerro Llantohuaycco presenta malas características geotécnicas, no competentes y susceptibles a la generación de movimientos en masa, en particular derrumbes. Estas características del terreno han favorecido la ocurrencia del derrumbe.
2. En el contexto geomorfológico, el cerro Llantohuaycco tiene laderas de pendiente muy fuerte (25° - 45°) a abrupta ($>45^{\circ}$). Estas pendientes han favorecido en la reactivación del derrumbe.
3. En los años 2023 y 2024 la ladera noroeste del cerro Llantohuaycco, nuevamente se reactivó en forma de derrumbe, abarcando un área de aproximadamente 4.6 km^2 que afectó un tramo de 225 m de la trocha carrozable, dejando incomunicado a poblados como Calixe y comunidad de Tayaccuchu.
4. El derrumbe se presenta activo y latente, evidenciado por la presencia de agrietamientos transversales en la parte posterior a la zona de arranque y árboles inclinados a favor de la pendiente.
5. El análisis de imágenes satelitales muestra que aproximadamente en nueve años, el derrumbe avanzó de forma retrogresiva, afectando un área de 1.46 km^2 . El crecimiento del evento se atribuye a las malas características geológicas del terreno, corte de talud para la construcción de la trocha carrozable y la erosión que produce la dinámica del río Uyunaaje.
6. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa, se concluye que el derrumbe producido entre el km 8+300 al km 8+520 de la vía Tambillo - Llantohuaycco presenta **Peligro Alto** por movimientos en masa, de tipo derrumbes.


.....
ING. JERSY MARIÑO SALAZAR
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET


.....
Brian García Fernández Baco


.....
Ing. GUISELA CHOQUENAIRA GARATE
Especialista en peligros geológicos
INGEMMET

7. RECOMENDACIONES

A continuación, se brindan recomendaciones con la finalidad de mitigar el impacto de peligros asociados a derrumbes en el km 8+300 al km 8+520 de la vía Tambillo - Llantohuaycco, ladera noroeste del cerro Llantohuaycco. Así mismo, la implementación de dichas recomendaciones permitirá darle mayor seguridad al uso de la vía carrozable expuesta a los peligros antes mencionados.

NO ESTRUCTURALES

1. Realizar un estudio geotécnico previamente a todo corte de talud.
2. Implementar acciones de capacitación a la población, con la finalidad de que conozcan los peligros al que están expuestos.

ESTRUCTURALES

1. Realizar terraceo del talud con el propósito de estabilizar la ladera noroeste del cerro Llantohuaycco, facilitar el establecimiento de la vegetación y aumentar el factor de seguridad (figura 9). A continuación, se vierten algunas consideraciones para la implementación de esta medida:

Para el diseño se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- **Formación geológica.** A mayor competencia de la roca se permiten mayores pendientes y mayores alturas. Las areniscas, calizas y rocas ígneas duras y sanas, permiten taludes casi verticales y grandes alturas. Los esquistos y lutitas no permiten taludes verticales. Se deben colocar bermas anchas en los sitios de cambios bruscos de litología.
- **Meteorización.** Al aumentar la meteorización se requieren taludes más tendidos, menores alturas entre bermas y mayor ancho de las gradas. Los materiales muy meteorizados requieren de taludes inferiores a 1H: 1V.
- que las discontinuidades se encuentren bien cementadas, las pendientes de los taludes no deben tener ángulos superiores al buzamiento de las diaclasas o planos de estratificación. Entre menos espaciadas sean las discontinuidades se requieren pendientes menores de talud. Para materiales muy fracturados se requieren taludes, alturas y bermas similares a los que se recomiendan para materiales meteorizados.
- **Niveles freáticos y comportamiento hidrológico.** Los suelos saturados no permiten taludes superiores a 2H: 1V, a menos que tengan una cohesión alta.
- **Sismicidad.** En zonas de amenaza sísmica alta no se deben construir taludes semiverticales o de pendientes superiores a 1/2H:1V, a menos que se trate de rocas muy sanas.
- **Elementos en riesgo.** Los taludes con riesgo de vidas humanas deben tener factores de seguridad muy altos.

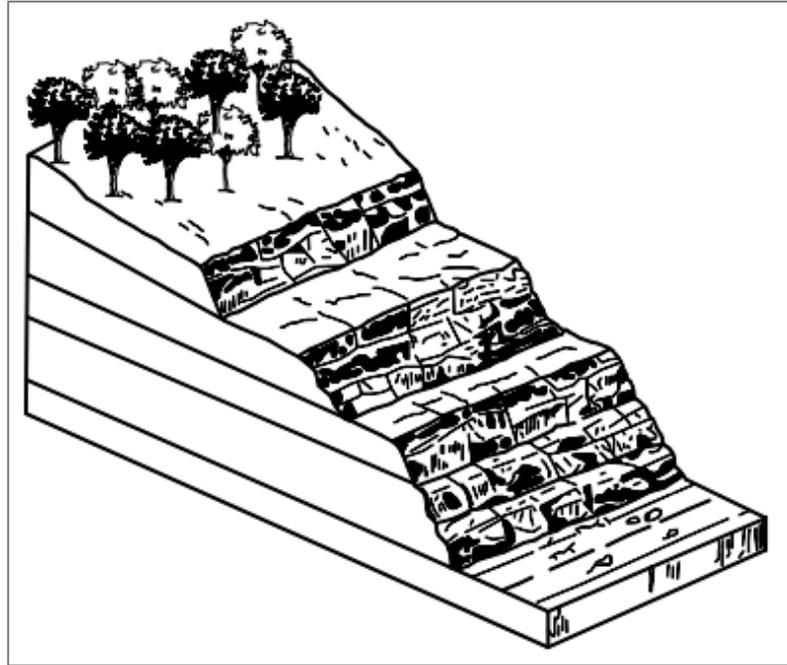


Figura 9. Terraceo en taludes en roca con estratificación subhorizontal (Suárez, 1998).

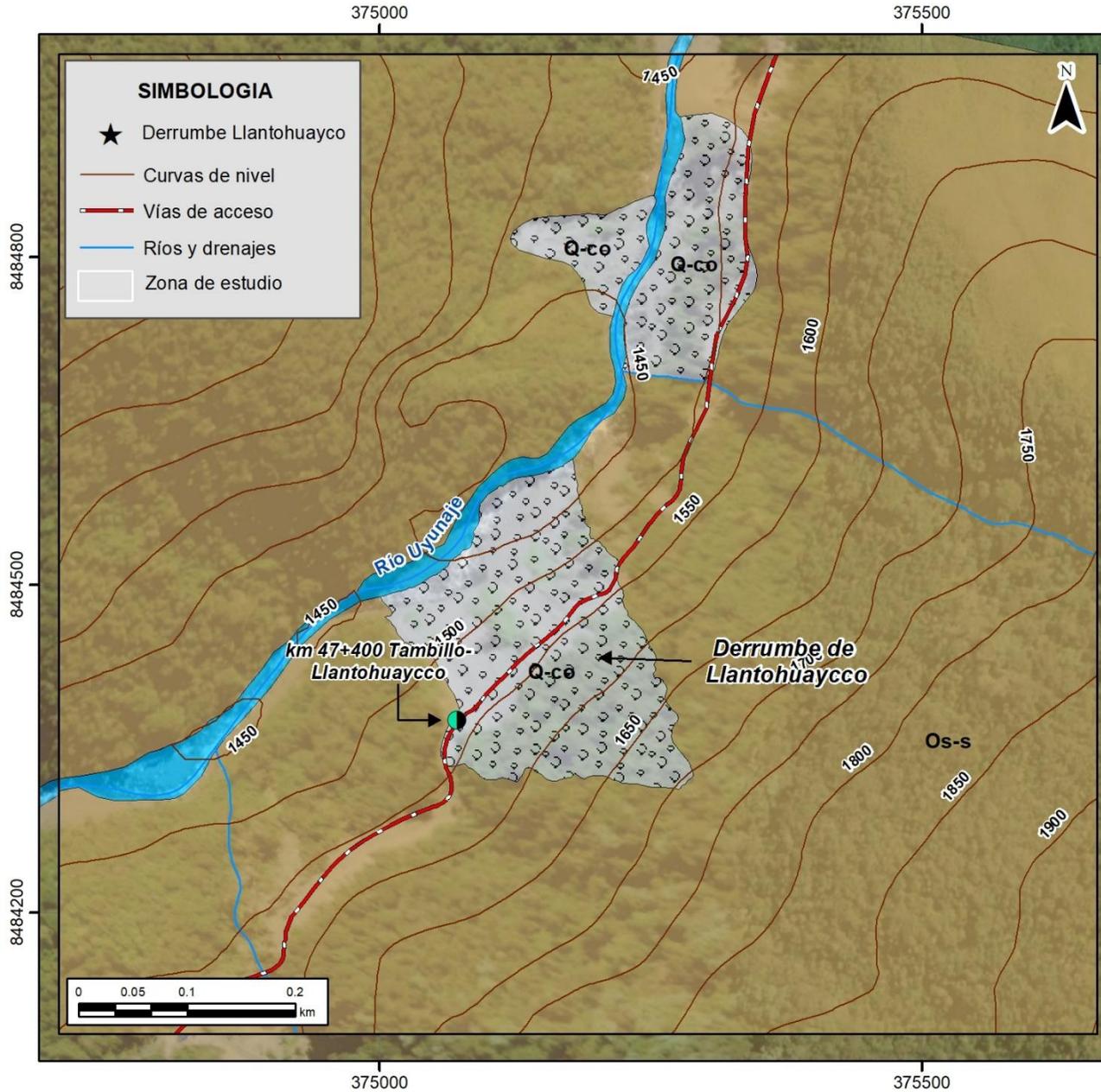
Nota. El tipo y diseño de las medidas estructurales vertidas en el presente informe deben tener un estudio geotécnico a detalle, antes de ejecutarlo.

BIBLIOGRAFÍA:

- 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.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) Movimientos en Masa en la Regi3n Andina: Una gu3a para la evaluaci3n de amenazas. Servicio Nacional de Geolog3a y Miner3a, Publicaci3n Geol3gica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.
- Soberon, D.; Choquehuanca, S.; G3mez, W.; Rodr3guez, R. (2022) - Geolog3a del cuadr3ngulo de Ayapata (hojas 28v2, 28v3, 28v4). INGEMMET, Bolet3n, Serie L: Actualizaci3n Carta Geol3gica Nacional (Escala 1: 50 000), 49, 52 p., 3 mapas.
- Su3rez, J. (1998) - Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosi3n y Deslizamientos, Universidad Industrial de Santander, 548 p.

ANEXO 1

MAPAS DEL CERRO LLANTOHUAYCCO



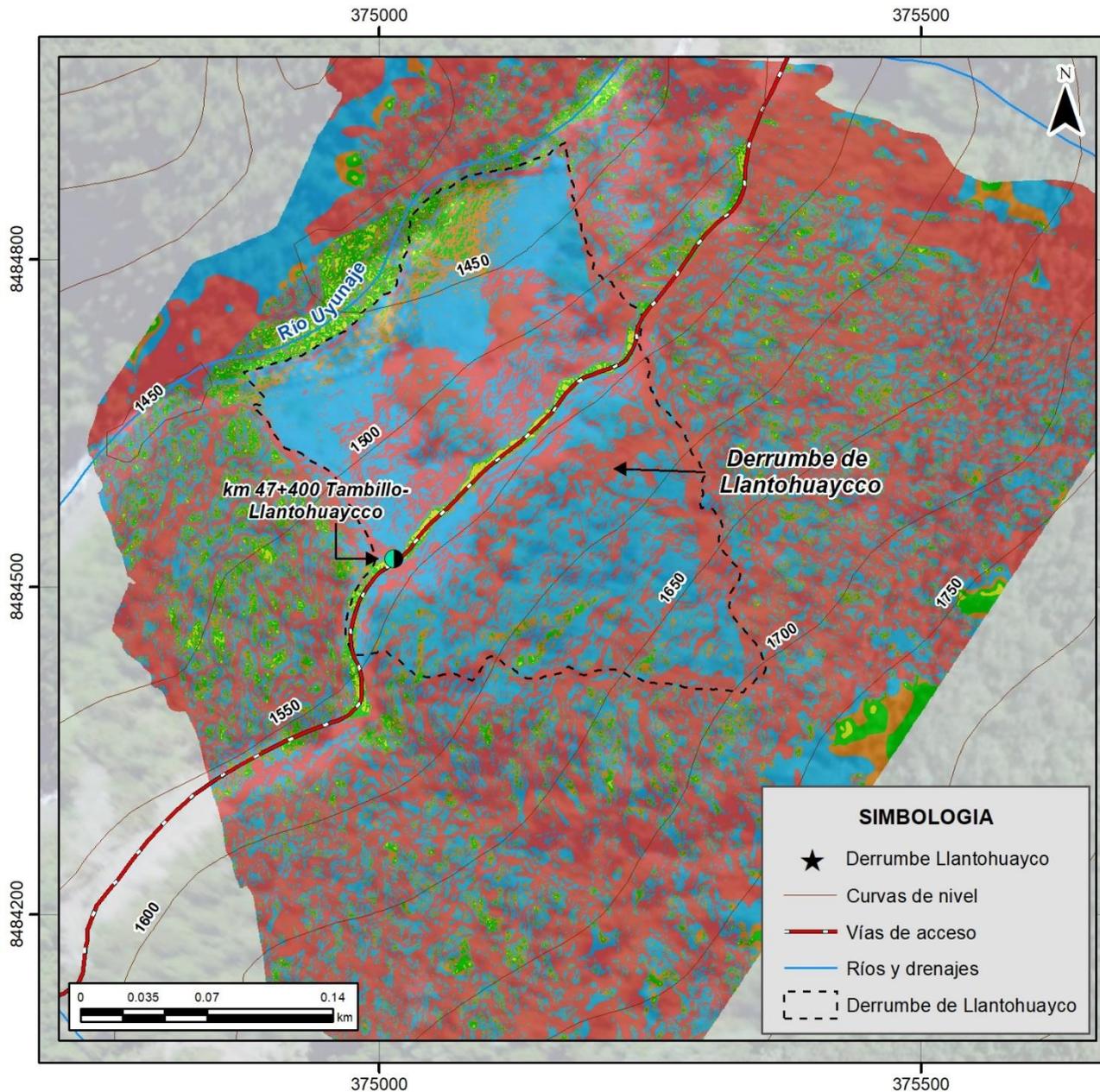
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

SERVICIO DE ASISTENCIA TÉCNICA EN LA EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

MAPA GEOLÓGICO

Mapa **01**

Escala 1:5 000 Datum UTM WGS 84 Zona 19s
 Versión digital: Año 2024



LEYENDA

	<1°: Muy baja
	1°-5°: Baja
	5°-15°: Media
	15°-25°:Fuerte
	25°-45°: Muy fuerte
	>45°: Abrupta

SIMBOLOGIA

	Derrumbe Llantohuaycco
	Curvas de nivel
	Vías de acceso
	Ríos y drenajes
	Derrumbe de Llantohuaycco

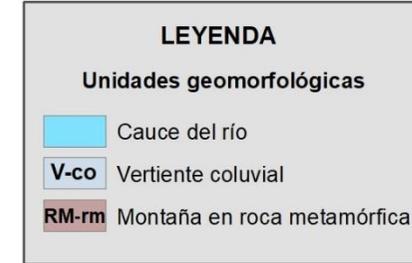
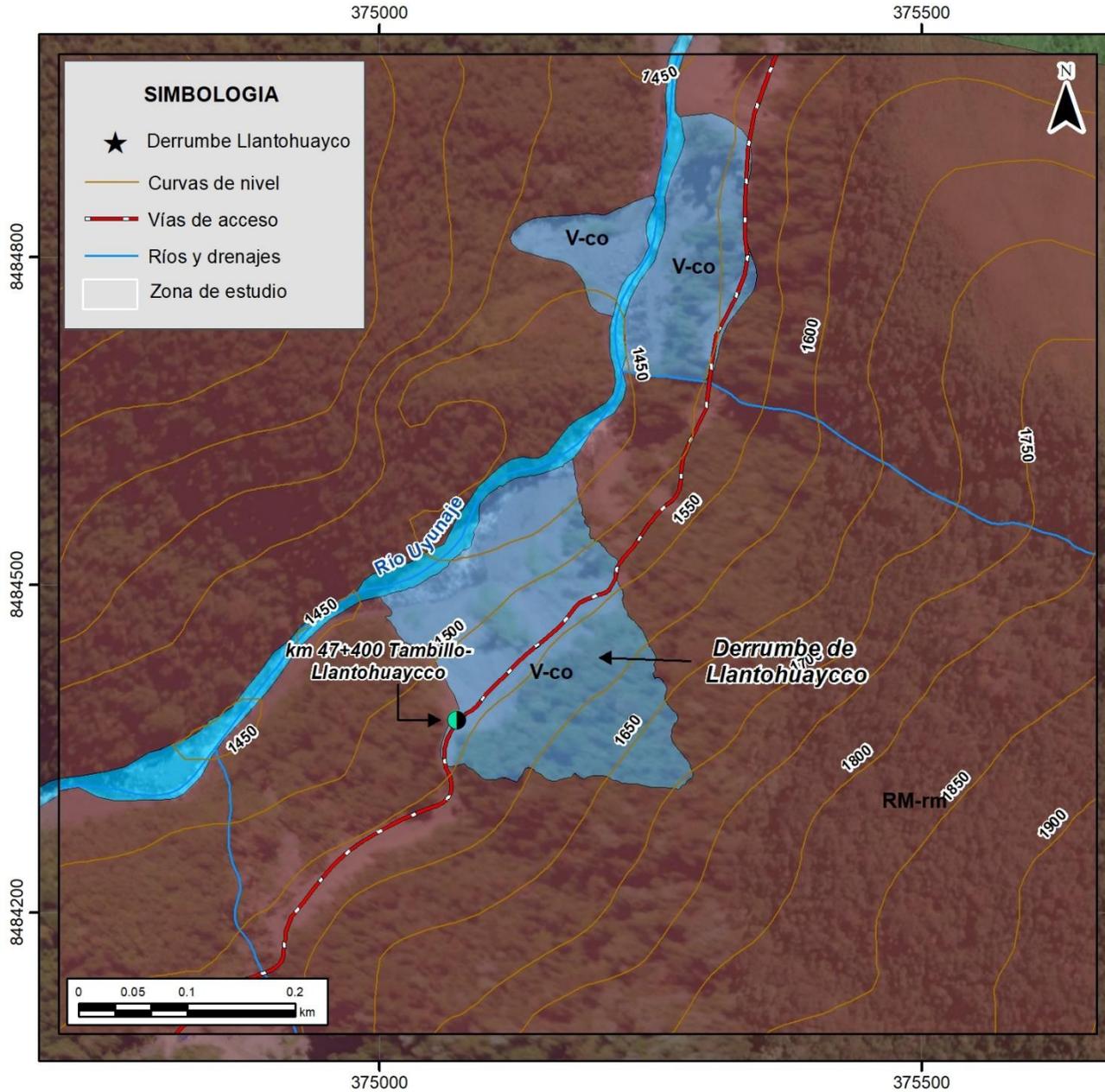
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

SERVICIO DE ASISTENCIA TÉCNICA EN LA EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

MAPA DE PENDIENTES

Escala 1:5 000 Datum UTM WGS 84 Zona 19s
 Versión digital: Año 2024

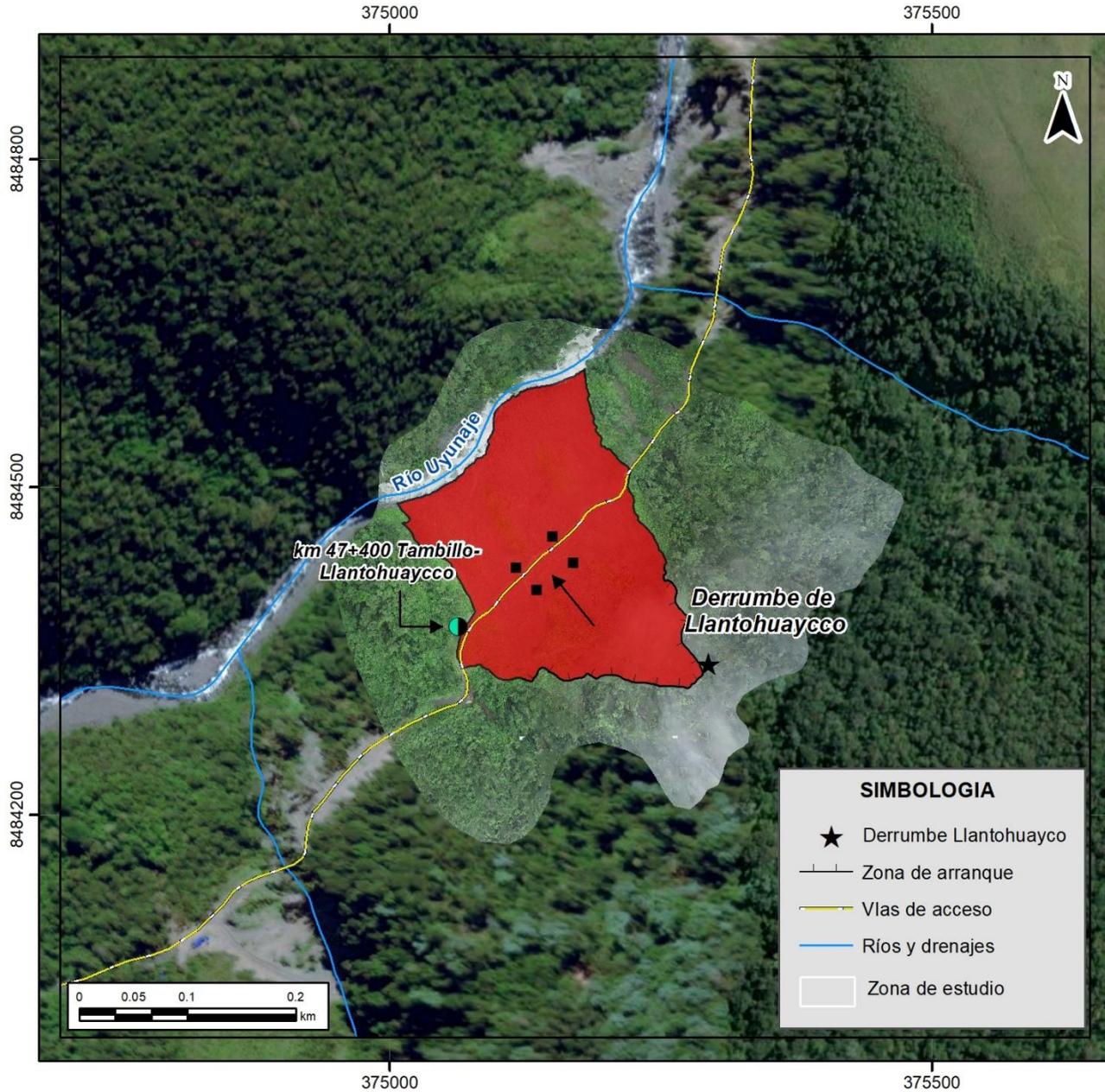
02



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

SERVICIO DE ASISTENCIA TÉCNICA EN LA EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

MAPA GEOMORFOLÓGICO **MAPA**
 Escala 1:5 000 Datum UTM WGS 84 Zona 19s **03**
 Versión digital: Año 2024



LEYENDA

Peligro geológico por movimientos en masa

Derrumbe de Llantohuaycco

SIMBOLOGIA

- ★ Derrumbe Llantohuaycco
- |— Zona de arranque
- |— Vías de acceso
- |— Ríos y drenajes
- Zona de estudio

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

SERVICIO DE ASISTENCIA TÉCNICA EN LA EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS

Escala 1:5 000 Datum UTM WGS 84 Zona 19s
 Versión digital: Año 2024

MAPA 04

