

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7075

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DERRUMBE EN EL CERRO YAWARMAQUI

Región Cusco
Provincia Urubamba
Distrito Maras



INDICE

RESUMEN.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. OBJETIVOS.....	4
3. ANTECEDENTES.....	4
4. ASPECTOS GENERALES.....	5
4.1. Ubicación y accesibilidad.....	5
4.2. Clima.....	6
5. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS.....	6
5.1. Aspectos geológicos.....	6
5.1.1. Formación Maras (Kis-ma).....	6
5.1.2. Formación Chincheros: Plioceno (Np-cc).....	7
5.1.3. Depósito aluvial (Q-al).....	7
5.1.4. Depósito coluvial (Q-co).....	7
5.2. Aspectos geomorfológicos.....	9
5.2.1. Pendiente del terreno.....	9
5.2.2. Geoformas de carácter tectónico - degradacional y erosional.....	9
5.2.3. Geoformas de carácter depositacional y agradacional.....	9
6. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	12
6.1. Conceptos teóricos.....	12
6.2. Caracterización de peligros en el cerro Yawarmaqui.....	13
6.2.1. Deslizamientos antiguos.....	13
6.2.2. Derrumbes en el cerro Yawarmaqui.....	17
7. FACTORES CONDICIONANTES Y DETONANTES.....	20
7.1. Factores condicionantes.....	20
7.2. Factores desencadenantes.....	20
CONCLUSIONES.....	21
RECOMENDACIONES.....	22
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	23

RESUMEN

El presente informe contiene información de los trabajos de evaluación realizados en el sector Fundo Bellavista - cerro Yawarmaqui, ubicado en la margen derecha del río Vilcanota, a 22 km de Calca. Políticamente pertenece al distrito de Maras, provincia de Urubamba, región Cusco.

El presente informe tiene como objetivo principal identificar los peligros geológicos por movimientos en masa que se presentan en el cerro Yawarmaqui, así mismo determinar los factores condicionantes y desencadenantes que los desarrollan, además de proponer medidas de prevención, reducción y mitigación, dentro del marco de gestión de riesgos geológicos.

Litológicamente, en la zona de estudio afloran rocas del Cretácico, de naturaleza sedimentaria, correspondiente a la Formación Maras, localizadas ampliamente en la margen izquierda del río Vilcanota, conformado por yesos, lutitas rojas y verdes en menor proporción, y escasamente calizas producto de deformaciones diapíricas; cubriendo estas unidades se tienen depósitos cuaternarios tipo coluviales, proluviales, fluviales y aluviales.

Desde el punto de vista geomorfológico, las laderas del cerro Yawarmaqui desarrollan pendientes comprendidas entre 25° a 65°, lo que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas.

Los procesos por movimientos en masa de mayor incidencia en el cerro Yawarmaqui y alrededores, son de tipo flujo de detritos, deslizamientos y principalmente derrumbes; causando grandes efectos, como los que se observan al sur de la ciudad de Urubamba, en la margen izquierda del río Vilcanota, entre Huachac y Pichingoto. Localmente, se reconoce el deslizamiento rotacional denominado Yawarmaqui, ocurrido en agosto de 1678, cuyo depósito llegó hasta el río Vilcanota. Actualmente se observa el depósito del deslizamiento en el lugar denominado Qotohuincho o Qotoorqo y el sector Tarapata.

El 31 de marzo, la ladera suroeste del cerro Yawarmaqui (flanco izquierdo del deslizamiento antiguo) se reactivó en derrumbe producto de las precipitaciones pluviales intensas, coadyuvado principalmente por la pendiente empinada (65°) y material de fácil erosión - remoción (limos y arcillitas).

Así también se identificó procesos de Karstificación - hundimientos, con diámetros comprendidos entre 3 y 5 m y hasta 6 m de profundidad visible, con alta probabilidad que aumente el diámetro de su cavidad.

Finalmente, debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa que presenta el cerro Yawarmaqui, se le considera como zona de **Peligro Alto** a movimientos en masa.

Se proponen medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos, que consisten en realizar la modificación de la ladera del cerro Yawarmaqui, en forma de banquetas (terraceo), según especificaciones técnicas de un especialista, implementar un sistema de drenaje tipo Espina de pez, construir muro de sostenimiento en el tramo de la carretera del km 58 y realizar el desquinche de bloques desprendidos a la altura de la zona de arranque, de forma adecuada.

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), como ente técnico - científico, incorpora dentro de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) y la ACT.7, la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional, cuyo alcance contribuye con entidades gubernamentales en los diferentes niveles de gobierno (nacional, regional y local), a partir del reconocimiento, caracterización y diagnóstico de peligros geológicos en territorios susceptibles a movimientos en masa, inundaciones u otros peligros geológicos asociados a eventos hidrolimáticos, sísmicos o de reactivación de fallas geológicas y/o asociados a actividad volcánica.

El INGENMET, por intermedio de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico comisionó a la geóloga Guisela Choquenaira Garate, realizar la evaluación técnica en el cerro Yawarmaqui, la cual se llevó a cabo el 02 de abril del presente año, con el apoyo del Ing. Ricardo Pérez, jefe de la oficina de Gestión de Riesgos de la municipalidad provincial de Urubamba y representantes del cuerpo de Bomberos de la provincia de Urubamba.

Mediante esta asistencia técnica el INGENMET proporciona un informe técnico que incluye resultados de la evaluación geológica - geodinámica realizada, así como recomendaciones pertinentes para la mitigación y prevención en el marco del Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres; para cuya evaluación se realizaron trabajos de recopilación de información y preparación de mapas para trabajos de campo, toma de datos fotográficos, GPS, cartografía, procesamiento de información y redacción del informe.

2. OBJETIVOS

- Evaluar los peligros geológicos por derrumbe en el cerro Yawarmaqui, y determinar los factores condicionantes y desencadenantes de su ocurrencia.
- Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos.

3. ANTECEDENTES

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional en la zona se pueden mencionar:

- ✓ Zonas Críticas por peligros geológicos en la región Cusco (Vílchez, M. & Sosa, N. 2015), determinaron 75 zonas críticas, dentro del cual resaltan áreas, que luego del análisis de los peligros identificados y la vulnerabilidad a la que están expuestos (infraestructuras, centros poblados y vías de acceso), se les considera como zonas con peligro potencial de generar desastres. El informe describe:
 - Asentamiento de plataforma de la carretera en el km 58.
 - La reactivación del deslizamiento podría represar el río Vilcanota.
 - Los poblados de Jahuacollay, Culebrachayo y Tarapata, asentados en esta ladera inestable pueden resultar afectados por nuevos movimientos del terreno.
- ✓ Mapa de peligros de la ciudad de Urubamba. Proyecto INDECI – PNUD PER/02/051. Ciudades Sostenibles: Localmente se reconoce el deslizamiento denominado Yahuarmaqui ocurrido en agosto de 1678 y que actualmente se observan sus restos inclusive en la margen derecha del río Vilcanota en el lugar denominado Qotohuincho o Qotoorqo. Otros deslizamientos activos se observan al este de Yahuarmaqui en el

cerro Jaboncilluyoc. Estos deslizamientos afectan caminos de herradura, carretera, viviendas, terrenos de cultivo.

4. ASPECTOS GENERALES

4.1. Ubicación y accesibilidad

El cerro Yawarmaqui se ubica en la margen derecha del río Vilcanota, a 50 km de la ciudad del Cusco. Políticamente pertenece al distrito de Maras, provincia de Urubamba, región Cusco (figura 1); cuyas coordenadas centrales UTM WGS84 son 811785 E, 8526606 S a 3010 m s.n.m.

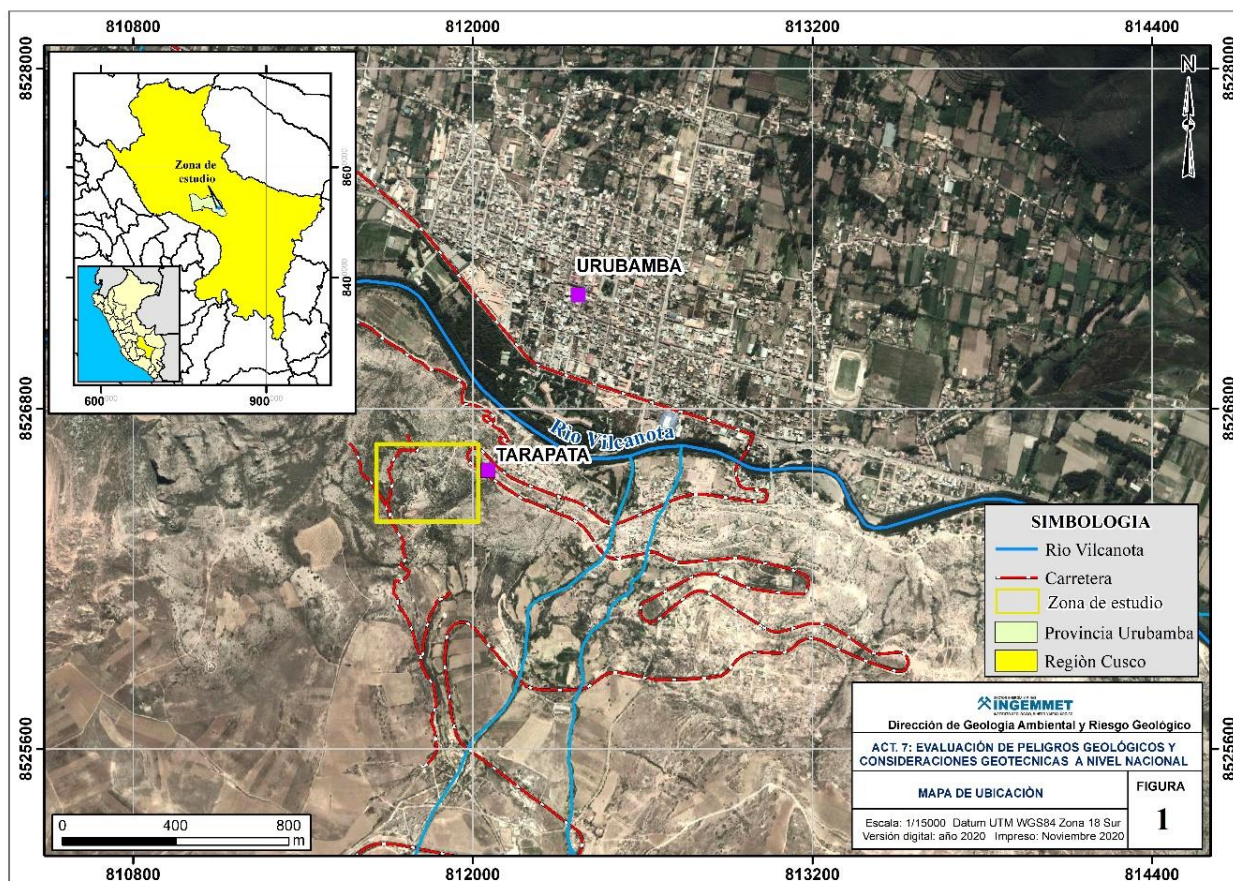


Figura 1. Mapa de ubicación del cerro Yawarmaqui.

El acceso a la zona de estudio, desde la ciudad de Cusco, se realiza mediante la carretera principal asfaltada Cusco – - Calca - Urubamba; con un recorrido aproximado de 65 Km. También se puede acceder, mediante la carretera principal asfaltada Cusco – Chinchero - Urubamba; con un recorrido aproximado de 60 Km y un tiempo de viaje de 1 hora (cuadro 1).

Cuadro 1. Accesibilidad a la zona de estudio.

Ruta principal	Tipo de Vía	km	Tiempo
Cusco – Urubamba	Vía asfaltada	60	1 h
Urubamba – km 58	Vía asfaltada	2.6	7 min

4.2. Clima

Según la clasificación climática de Koppen y Greiger (2012), la zona de estudio presenta un clima templado y frígido, con fuertes precipitaciones pluviales en los pisos menores a los 2300 m s.n.m. Las máximas precipitaciones se registran entre los meses de noviembre a marzo, alcanzando un umbral de 418 mm. La temperatura promedio anual oscila entre los 15° C.

5. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

5.1. Aspectos geológicos

La descripción de las unidades litoestratigráficas (figura 2) se han extraído del boletín de la carta nacional del cuadrángulo de Urubamba - hoja 27r (Carlotto, 1996).

5.1.1. Formación Maras (Kis-ma)

La Formación Maras del Cretácico medio (Albiano medio), sobreyace concordante a la Formación Paucarbamba y aflora ampliamente en la margen izquierda del río Vilcanota. En estos sectores los afloramientos se presentan de manera caótica, es decir una mezcla de yesos, lutitas rojas y verdes en menor proporción, y escasamente calizas (fotografía 1), producto de deformaciones diapíricas (Carlotto et al., 2015).

Desde el punto de vista de mecánica de rocas y estabilidad de taludes, la Formación Maras es considerada como incompetente y propensa a desarrollar deslizamientos (Vílchez, 2015).

La mayor evidencia se presenta al sur de la ciudad de Urubamba, en la pista de acceso a Urubamba; reconociendo al deslizamiento del cerro Yawarmaqui como histórico.



Fotografía 1. Formación Maras, constituida por arcillitas y limos, de coloración rojiza.

5.1.2. Formación Chincheros: Plioceno (Np-cc)

La Formación Chincheros (Cabrera, 1988), está conformado por secuencias fluvio torrenciales y yace sobre una topografía diferenciada y en discordancia angular del Grupo Yuncaypata.

Estos depósitos se han identificado al sur de la ciudad de Urubamba, constituido por brechas inmersos en matriz arcillo - arenosa. En general, los diferentes elementos clásticos que componen la Formación Chincheros provienen de la erosión del Grupo Yuncaypata, es decir calizas, yesos y lutitas de diferentes colores.

5.1.3. Depósito aluvial (Q-al)

Dentro de estos depósitos se consideran los conos aluviales y de deyección. En la zona de estudio se han identificado los mayores conos aluviales de las quebradas Chicón y Pumahuanca sobre la cuales se emplaza la ciudad de Urubamba y zonas aledañas. Estos depósitos se reconocen también a lo largo del río Vilcanota, donde mayormente se desarrolla zonas agropecuarias (Carlotto et al., 2015).

5.1.4. Depósito coluvial (Q-co)

Son depósitos originados por la descomposición in situ de las rocas y por la gravedad. Los depósitos de mayor importancia se observan en los cerros Jaboncilluyoc y Yawarmaqui (fotografía 2), ubicados en la margen izquierda del río Vilcanota. Los afloramientos en esta margen se componen de yesos y lutitas pertenecientes a la Formación Maras que se han deslizado o se vienen deslizando actualmente. Entre los deslizamientos resalta lo ocurrido en el cerro Yawarmaqui que en 1678 se reactivó, generando un represamiento en el río Vilcanota. Actualmente, sobre el depósito del material deslizado, se asienta el sector de Qotoorqo o Qotohuincho y parte del sector Tarapata. En periodo lluvioso, los deslizamientos del cerro Jaboncilluyoc afectan constantemente la pista de acceso a la ciudad de Urubamba.



Fotografía 2. Vista de depósito coluvial en la ladera sureste del cerro Yawarmaqui.

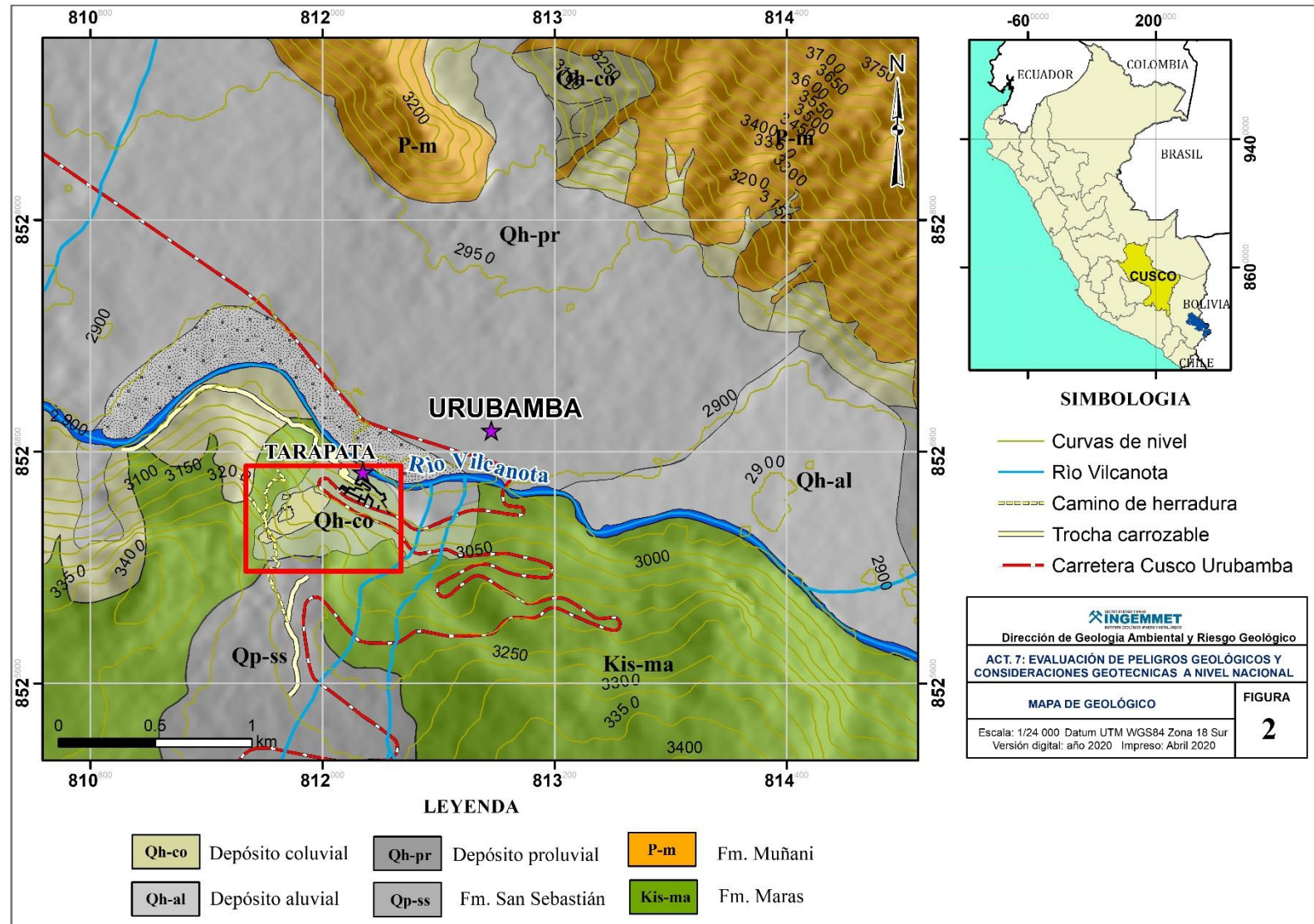


Figura 2. Mapa geológico del cerro Yawarmaqui. Modificado de Carlotto et al., 2017.

5.2. Aspectos geomorfológicos

5.2.1. Pendiente del terreno

La pendiente es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa. (Suárez, 1998).

En la zona de estudio, las laderas del cerro Yawarmaqui constituyen pendientes comprendidas entre 25° a 65°, lo que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas.

5.2.2. Geoformas de carácter tectónico - degradacional y erosional

La clasificación y descripción de las unidades geomorfológicas (figura 5) observadas en la zona, se basan en trabajos de mapeo y clasificación regional, determinado en la memoria descriptiva de la región Cusco (Vílchez et al., 2020).

a. 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 reconocen como cimas o cumbres agudas, subagudas, semiredondeadas, redondeadas o tubulares y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza (levantamiento, glaciación, etc.). Sus laderas presentan pendiente promedio superior al 30 %.

- ✓ **Sub unidad de montaña en roca sedimentaria (RM-rs):** Representada por laderas de montaña sedimentaria con algunos alineamientos producto de las secuencias estratigráficas, caracterizado por su topografía accidentada, de cimas redondeadas y pendientes mayores a 25°.

5.2.3. Geoformas de carácter depositacional y agradacional

b. Unidad de piedemonte

Representadas por acumulación de material proveniente de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas existentes (figura 3).

- ✓ **Sub unidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd):** Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa antiguos y recientes, tipo deslizamientos, usualmente se depositan en forma convexa.

Se reconoce el deslizamiento rotacional antiguo del cerro Yawarmaqui.

- ✓ **Sub unidad de vertiente o piedemonte coluvio deluvial (V-cd):** Son el resultado de la acumulación de material caído desde las partes altas, por acción de la gravedad. Se visualiza en la cara sureste del cerro Yawarmaqui y en el km 58 de la carretera Cusco - Urubamba.

c. Unidad de valle

En la zona de estudio se encuentran representados por las siguientes sub unidades:

- ✓ **Sub unidad de terrazas fluviales (T-fl):** Se encuentran localizadas en ambas márgenes del río Vilcanota, zona donde se emplaza la provincia de Urubamba (figura 4).
- ✓ **Sub unidad de llanura de inundación (PI-i):** Son superficies bajas, adyacentes a los fondos de valles principales y el mismo curso fluvial, sujetas a inundaciones recurrentes, ya sean estacionales o excepcionales. Morfológicamente se distinguen como terrenos planos compuesto de material no consolidado, fácilmente removible. Se localizan en ambas márgenes del río Vilcanota.

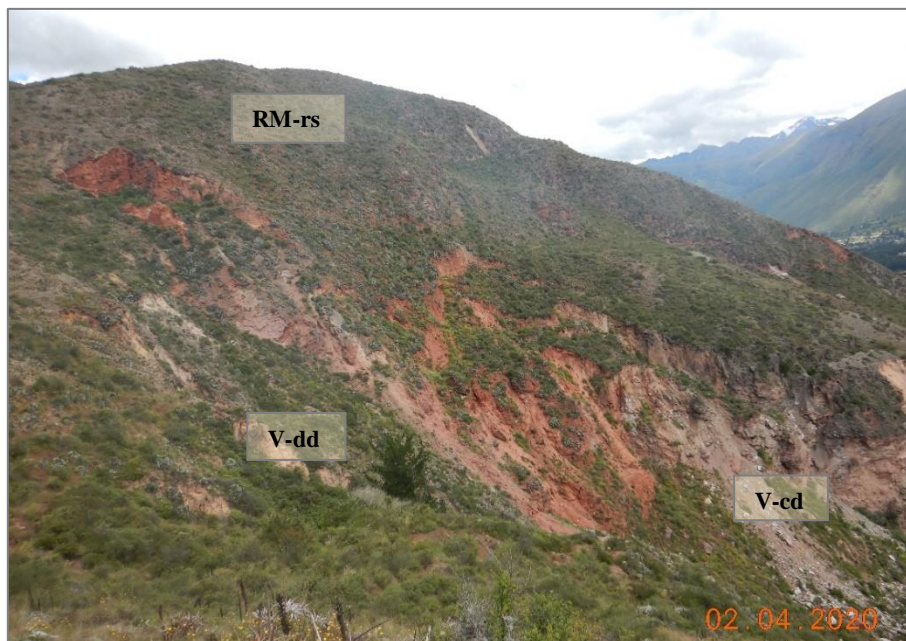


Figura 3. Unidades geomorfológicas: Sub unidad de montaña en roca sedimentaria (RM-rs), Sub unidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd) y Sub unidad de vertiente o piedemonte coluvio - deluvial (V-cd).



Figura 4. Sub unidad de vertiente o piedemonte aluvio - torrencial (P-at), Sub unidad de terrazas fluviales (T-fl) Y Sub unidad de llanura de inundación (PI-i).

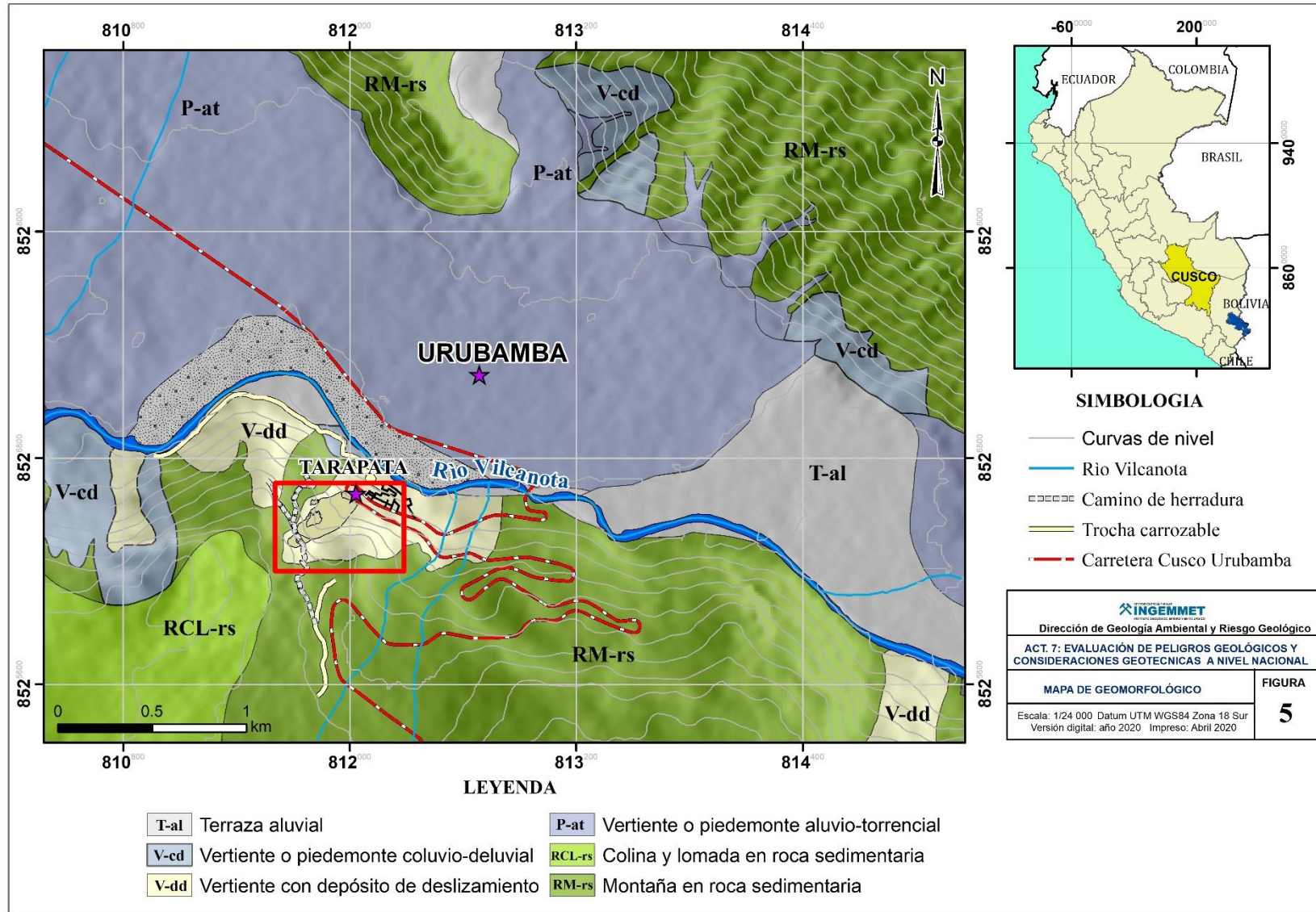


Figura 5. Mapa geomorfológico del cerro Yawarmaqui. Modificado de INGENMET, 2010.

6. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA

6.1. Conceptos teóricos

El término movimientos en masa es el desplazamiento ladera abajo de grandes volúmenes de masas de rocas, detritos o suelo por efectos de gravedad, su origen obedece a procesos geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos, químicos y mecánicos en la corteza terrestre. La probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos geodinámicos es alta en todas las laderas naturales y artificiales, con velocidad de movimiento de muy lentos a extremadamente rápidos. (PGA: GCA, 2007).

a. Deslizamientos

Los deslizamientos son movimientos de masas de roca, residuos o tierra (figura 6), 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.

Los desplazamientos en masa se dividen en subtipos denominados deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales o planares y deslizamientos compuestos de rotación. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y el tipo de estabilización que se va a emplear (Suarez J., 2009).

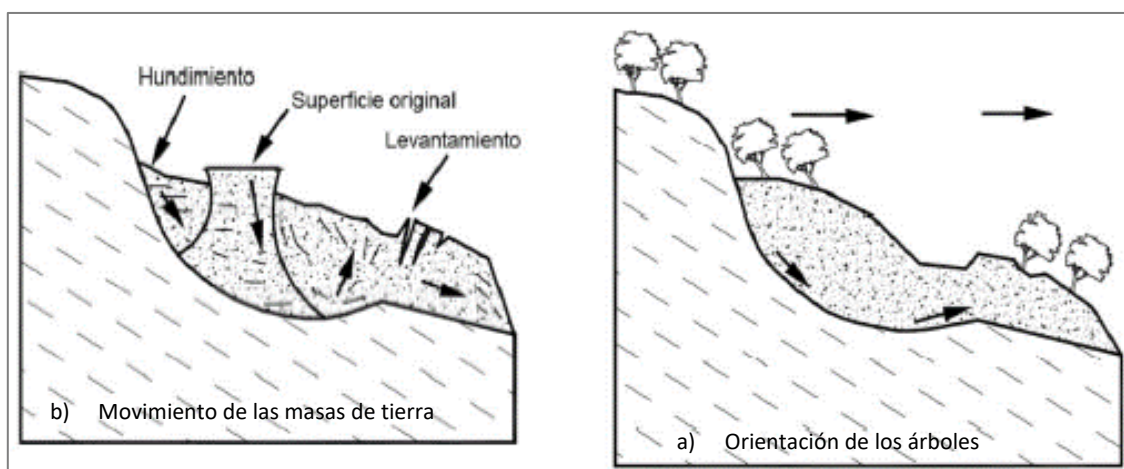


Figura 6. Deslizamiento rotacional típico (Suárez, 2009).

b. Caída

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable (figura 7). 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.

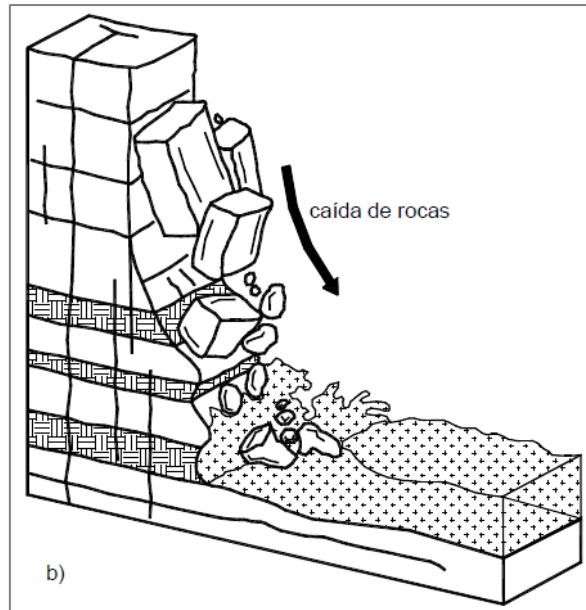


Figura 7. Esquema de caída de rocas (Suárez, 1998).

6.2. Caracterización de peligros en el cerro Yawarmaqui

Las montañas del sector Bellavista – cerro Yawarmaqui, cuyo relieve abrupto y pendientes empinadas, presentan una configuración topográfica muy accidentada, debido a los procesos geológicos ocurridos en el pasado.

Los procesos de remoción en masa de mayor incidencia en la zona de estudio y alrededores, son de tipo flujo de detritos, deslizamientos y principalmente derrumbes (figura 8).

6.2.1. Deslizamientos antiguos

Los mayores efectos producidos por deslizamientos, se observan al sur de la ciudad de Urubamba, en la margen izquierda del río Vilcanota, entre Huachac y Pichingoto.

Localmente, se reconoce el deslizamiento rotacional antiguo denominado Yawarmaqui, ocurrido en agosto de 1678 (figura 9), cuyo material desplazado represó el río Vilcanota. Actualmente, se observa el depósito de deslizamiento en el lugar denominado Qotohuincho o Qotoorqo y donde se emplaza el sector Tarapata.

Cabe mencionar que, en la ladera suroeste del cerro Yamarmqui, se observó tres niveles de escarpes (fotografía 3), producto de la reactivación del deslizamiento rotacional de 1678. De continuar el desprendimiento de material (fotografía 4 y figura 10) podría represar nuevamente el río Vilcanota y afectar a los sectores Jahuaccolay, Culebrachayo y Tarapata,

Por otro lado, en el cerro Jaboncilluyoc se observó deslizamientos activos, los cuales afectan caminos de herradura, carreteras, viviendas, terrenos de cultivo desde el sector Tarapata hacia el río Vilcanota.

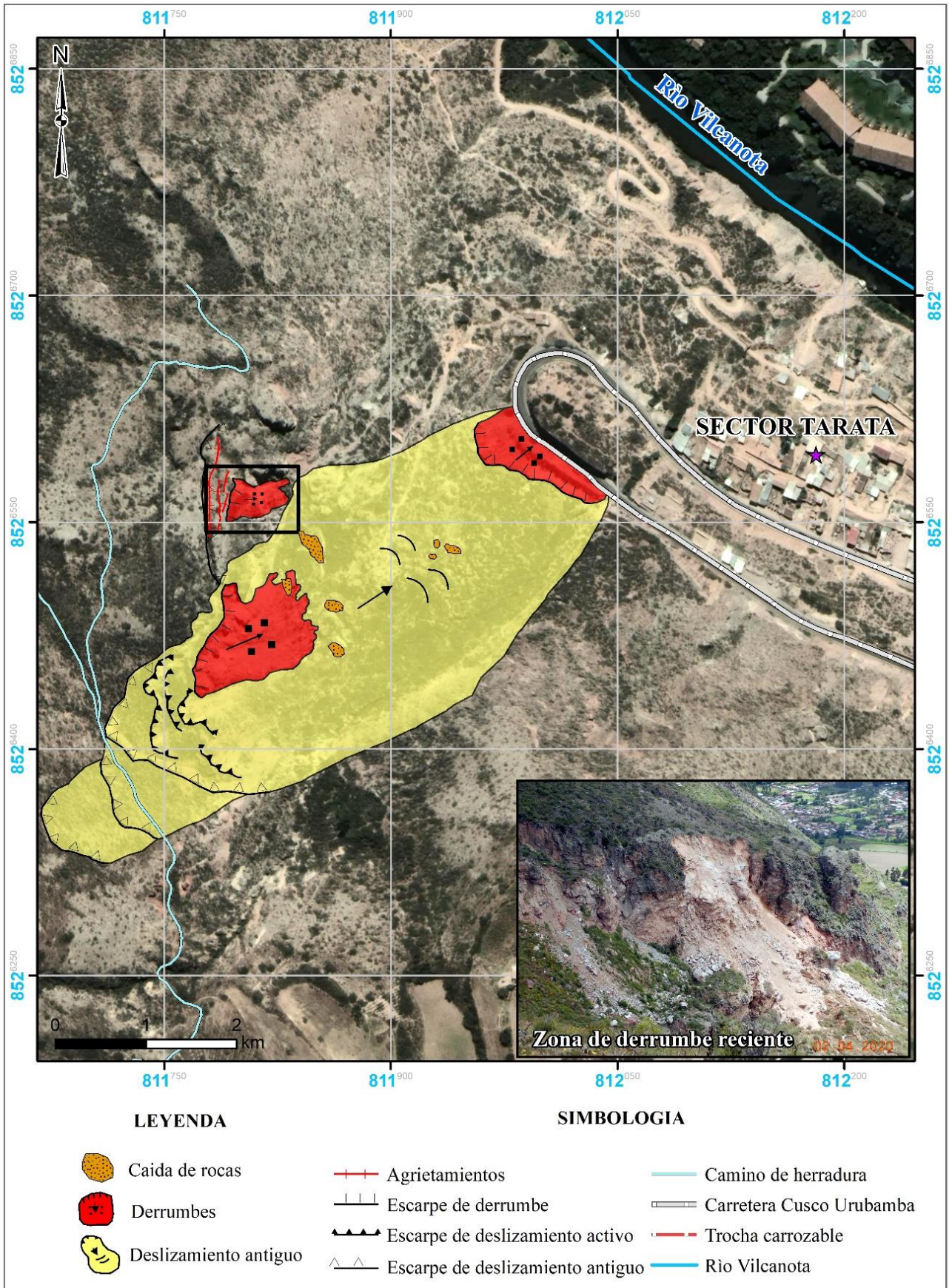


Figura 8. Cartografía de procesos por movimientos en masa en el cerro Yawarmqui.



Figura 9. Deslizamiento que produce el asentamiento de la carretera que permite el acceso a Urubamba. Tomado de Vélchez et al 2015.



Fotografía 3. Cerro Yawarmaqui, cuyas laderas evidencian procesos de reactivación en deslizamientos y derrumbes.



Fotografía 4. Escarpe del deslizamiento rotacional reactivado.



Figura 10. Material desprendido del deslizamiento rotacional reactivado.

6.2.2. Derrumbes en el cerro Yawarmaqui

El sector Bellavista – cerro Yawarmaqui se ubica en la margen izquierda del río Vilcanota, cuyas laderas inestables evidencian procesos de derrumbes.

El 31 de marzo, la ladera suroeste del cerro Yawarmaqui (flanco izquierdo del deslizamiento antiguo) se reactivó en derrumbe producto de las precipitaciones pluviales intensas, coadyuvado principalmente por la pendiente empinada (65°) y material de fácil erosión - remoción (limos y arcillitas) correspondiente a la Formación Maras.

Trabajos de campo realizado el 2 de abril, permitieron caracterizar y dimensionar el derrumbe del 31 de marzo. En la figura 11A, se representa la zona de arranque de 25 m longitudinales y 50 m de distancia entre la zona de arranque y el pie del derrumbe.

En la margen izquierda del derrumbe se observa bloques sueltos de hasta 3 m de diámetro aproximadamente (figura 11B), los cuales podrían ceder cuesta abajo y afectar al sector Tarapata y tramo de la carretera Cusco - Urubamba en el km 58.

Es importante mencionar que, en la parte posterior a la zona de arranque se generó agrietamientos transversales (figura 12 A y B) y longitudinales continuos de 20 cm de apertura en promedio (figura 11C), ello indica el avance retrogresivo del derrumbe.

La figura 11D muestra surgencia de agua en los pies del derrumbe, lo cual podría acelerar el proceso de reactivación.

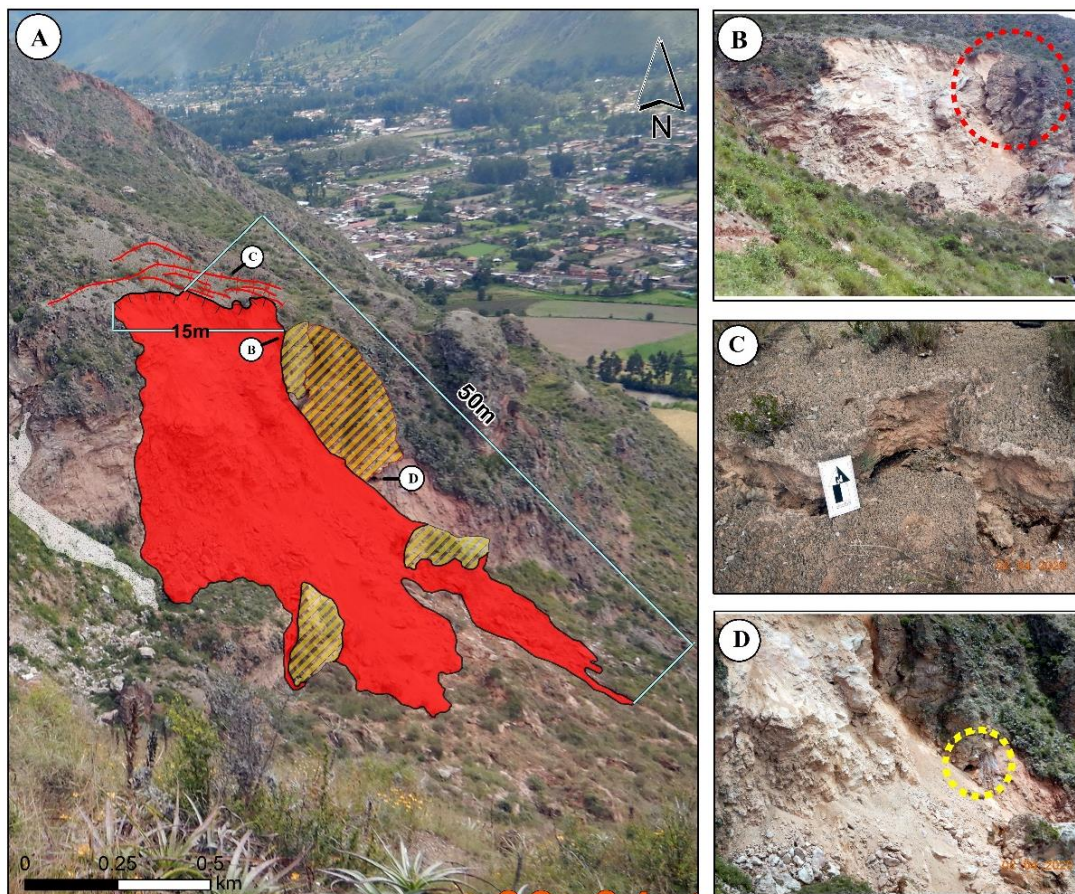


Figura 11. Cartografía y dimensiones del derrumbe ocurrido en la ladera suroeste del cerro Yawarmaqui.

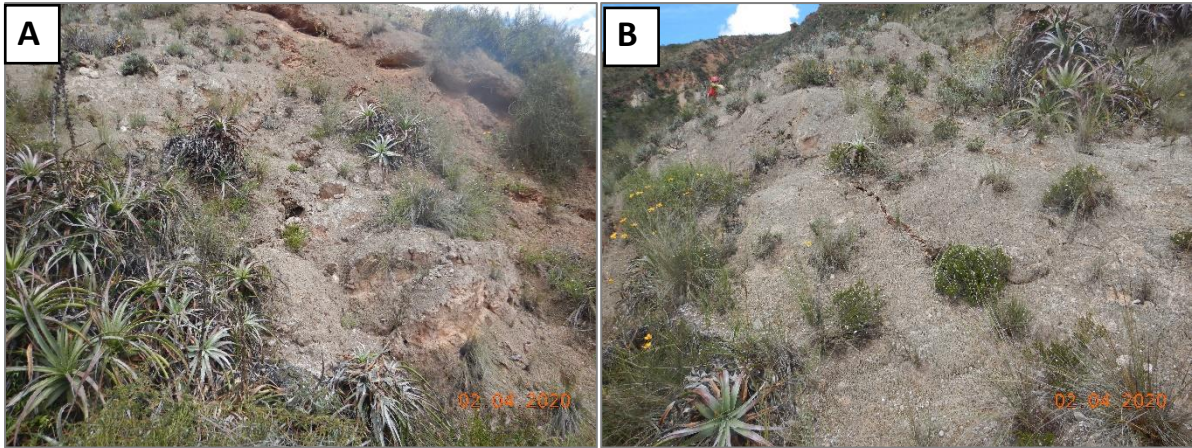


Figura 12. A, B) Vista de agrietamientos transversales, ubicados en la parte posterior a la zona de arranque.

Por otro lado, en la zona también se identificó procesos de Karstificación - Hundimientos, con diámetros comprendidos entre 3 y 5 m (figura 13) y hasta 6 m de profundidad visible (fotografía 5), con alta probabilidad que aumente el diámetro de su cavidad.

La existencia de estos hundimientos, en la parte posterior a la zona de arranque, podría desencadenar un evento de mayor magnitud, puesto que permite mayor infiltración de agua al terreno.



Figura 13. Zonas de Karstificación - Hundimiento en la zona posterior a la zona de arranque.



Fotografía 5. Vista de zonas de hundimiento en la ladera del cerro Yawarmaqui.

Así también, en un tramo del km 58 de la carretera que permite el acceso a Urubamba, margen izquierda, se tienen cinco desarrollos de derrumbes en talud escarpado, que constantemente obstruyen la vía y comprometen el asentamiento de la plataforma.

7. FACTORES CONDICIONANTES Y DETONANTES

7.1. Factores condicionantes

Factor litológico

- Substrato rocoso de mala calidad (muy fracturado y con intensa meteorización) e incompetencia geotécnica, correspondiente a la Formación Maras.
- Alternancia de rocas de diferente competencia (lutitas, yesos y calizas).
- Suelos inconsolidados (depósito coluvial), de fácil erosión - remoción ante intensas precipitaciones pluviales.

Factor geomorfológico

- La morfología del cerro Yawarmaqui, cuyas laderas de pendientes escarpadas varían de 25°-65°, tienen gran influencia en la ocurrencia de procesos por movimientos en masa, por su efecto de gravedad.

Factor hidrogeológico

- Sobresaturación del suelo debido a la infiltración de agua de lluvia sobre el terreno.
- La constante circulación de aguas de escorrentía superficial y subterránea y los niveles freáticos no visibles en superficie, condicionan la estabilidad de las laderas en el cerro Yawarmaqui.
- Surgencias de agua.

Actividad antrópica

- La ocupación y uso inadecuado de terrenos de cultivo en zonas susceptibles a movimientos en masa, generan mayor infiltración de agua de lluvia al terreno.
- Deforestación de las laderas del cerro Yawarmqui, dejan descubierto la superficie ante agentes erosivos.

7.2. Factores desencadenantes

Factor climático-precipitaciones

- Precipitaciones pluviales excepcionales ocurridas entre los meses de noviembre a marzo, con registros críticos umbrales de 418 mm en promedio, consideradas intensas y frecuentes (*según Koppen y Geiger*).

CONCLUSIONES

1. En el sector Bellavista – cerro Yawarmaqui se identificó procesos de derrumbes y deslizamientos en proceso de reactivación.
2. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa que presenta el cerro Yawarmaqui, se le considera como zona de **Peligro Alto** a movimientos en masa.
3. El derrumbe del 31 de marzo, es producto de la reactivación de un deslizamiento antiguo, este último considerado como **Zona Crítica**, según Vílchez, 2015.
4. En la zona de arranque y cuerpo del derrumbe, aún existe material suelto disponible, el cual podría ceder cuesta abajo y afectar al sector Tarapata y tramo de la carretera Cusco – Urubamba, en el km 58.
5. En la ladera sureste del cerro Yawarmaqui se identificó procesos de Karstificación (hundimiento), los cuales podrían acelerar el proceso de reactivación del derrumbe.

RECOMENDACIONES

Medidas preventivas a corto plazo

1. De manera inmediata alertar a la población sobre el peligro latente que representa los agrietamientos, derrumbes y reactivación del deslizamiento en la ladera sureste del cerro Yawarmaqui.
2. Realizar un monitoreo visual y constante sobre el estado de avance y el crecimiento de apertura de los agrietamientos.
3. Prohibir y/o evitar el riego por inundación en la ladera superior del cerro Yawarmaqui. Practicar otras técnicas de riego, por ejemplo, riego por goteo.

Medidas preventivas a largo plazo

4. Realizar la modificación de la ladera del cerro Yawarmaqui, en forma de banquetas (terraceo), según especificaciones técnicas de un especialista.
5. Implementar un sistema de drenaje tipo Espina de pez.
6. Construir muro de sostenimiento en el tramo de la carretera (posible zona a ser afectada por el derrumbe) del km 58.
7. Realizar el desquinche de bloques desprendidos a la altura de la zona de arranque, de forma adecuada.



Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto-Act-07



César Augusto Chacaltana Budiel
Director de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Carlotto V., Gil W., Cárdenas J., Chávez R. & Vallenás V. (1996). - Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. Boletín N° 65 Serie A: Carta Geológica Nacional. (Hojas 27r y 27s). INGEMMET. Lima.
- Cruden, D., y Varnes, D. (1996). Landslide Types and Processes. “Landslides. Investigation and Mitigation”, Eds Turner, A.K. and Schuster, R.L. Special Report 247, Transport Research Board, National Research Council, Washington D.C. pp. 36-75.
- 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.
- Suárez, J. (1996). Deslizamientos. Análisis Geotécnico. Capítulo uno, los Deslizamientos
- Vílchez, M. & Sosa, N. (2013) Zonas Críticas por Peligros Geológicos en la región Cusco, Informe Técnico Geología Ambiental – INGEMMET. Informe Preliminar.