

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7062

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL RÍO KITAMAYO

Región Cusco
Provincia Calca
Distrito Pisac



JUNIO
2020

INDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. ANTECEDENTES.....	2
3. ASPECTOS GENERALES.....	3
3.1. Ubicación y accesibilidad.....	3
3.2. Objetivos.....	3
3.3. Clima.....	3
4. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS.....	5
4.1. Aspectos geológicos.....	5
4.1.1. Grupo Copacabana (PEc-c).....	5
4.1.2. Grupo Mitu (Ps-Ti).....	5
4.1.3. Formación Huancané (Ki-hn).....	5
4.1.4. Formación Paucarbamba (Ki-hn).....	5
4.1.5. Formación Maras (Ki-hn).....	5
4.1.6. Formación Rumicolca (Q-ru).....	5
4.1.7. Depósitos glaciares (Q-g).....	6
4.1.8. Depósitos aluviales (Q-al).....	6
4.1.9. Deposito proluvial (Q-pr).....	6
4.1.10. Depósitos fluviales (Q-fl).....	6
4.1.11. Depósitos coluviales (Q-co).....	6
4.2. Aspectos geomorfológicos.....	8
4.2.1. Análisis de pendiente.....	8
4.2.2. Geoformas de carácter tectónico - degradacional y erosional.....	9
4.2.3. Geoformas de carácter depositacional y agradacional.....	9
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	12
5.1. Conceptos teóricos.....	12
5.2. Procesos de remoción en masa en el poblado de Pisac.....	14
5.2.1. Flujo de detritos.....	14
5.2.2. Caída de rocas.....	19
5.2.3. Afectación al centro arqueológico de Pisac.....	20
CONCLUSIONES.....	23
RECOMENDACIONES.....	24
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

RESUMEN

El distrito de Pisac está ubicado en la margen derecha del río Vilcanota, provincia de Calca, región Cusco, a 34 km al noreste de la ciudad de Cusco. Desde el punto de vista morfoestructural se localiza en la Cordillera Oriental del sur de Perú.

La quebrada Culispata de 4.87 km, afluente al río Vilcanota por su margen derecha, cambia de nombre a Kitamayo, antes de pasar por el poblado de Pisac, sus nacientes se encuentran por encima de los 4350 m s.n.m, con una pendiente media de 21%. Está formada por la confluencia de cuatro quebradas y el tramo más largo nace en la laguna de Quillhuacocha.

El substrato rocoso en la zona de estudio, está compuesto esencialmente por rocas del Paleozoico, de naturaleza sedimentaria, volcánico - sedimentaria e intrusiva. También se tienen depósitos cuaternarios (coluviales, proluviales, fluviales y aluviales).

Desde el punto de vista geomorfológico, la zona de estudio está conformada por montañas modeladas en rocas sedimentarias y volcánicas sedimentarias, con mayor predominio de laderas y estribaciones de pendientes comprendidas entre 20° a 75°, consideradas de moderada a fuerte pendiente, lo que facilita el escurrimiento superficial del material suelto disponible en las laderas. Por otro lado, se evidencian pendientes menores a 6° a lo largo del valle y terrazas del río Vilcanota.

Los procesos de remoción en masa de mayor incidencia en la ciudad de Pisac, el centro arqueológico y áreas adyacentes, son debido a la presencia de deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, huaicos, erosión fluvial y cárcavamiento, procesos que se ven favorecidos principalmente por la presencia de aguas pluviales - superficiales, laderas de pendiente empinada, substrato rocoso con intensa meteorización y altamente fracturado, baja o pobre consistencia de los depósitos.

Finalmente, debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa que presenta el poblado de Pisac, se le considera como zona de **peligro muy alto** a procesos de remoción en masa, además de **zona crítica por peligro geológico**.

El río Kitamayo representa un **peligro muy alto** ante inundaciones y flujo de detritos (huaico), en caso de producirse lluvias extraordinarias, el río buscará retomar su cauce natural (calle Kitamayo).

Con el fin de reducir y/o mitigar los peligros geológicos, se propone implementar Sistemas de Alerta Temprana (SAT), en las quebradas que conforman el río Kitamayo, para detectar movimiento por flujo de detritos o huaicos. A largo plazo diseñar el canal revestido del río Kitamayo, teniendo en cuenta las máximas avenidas y finalmente implementar sistemas de defensa ribereña, como enrocados o muro de gaviones en el río Kitamayo (priorizando el tramo que atraviesa por el centro arqueológico de Pisac), en coordinación con representantes del INC.

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), la ACT.7: Evaluación de peligros geológicos y consideraciones geotécnicas a nivel nacional. Su alcance contribuye con entidades gubernamentales en los diferentes niveles de gobierno (nacional, regional y local), desde el reconocimiento, caracterización y diagnóstico de peligros geológicos en territorios susceptibles a movimientos en masa, inundaciones u otros peligros geológicos asociados a eventos hidrológicos, sísmicos o de reactivación de fallas geológicas, o asociados a actividad volcánica.

Debido a la emergencia suscitado el 6 de febrero en el distrito de Pisac, INGEMMET, por intermedio de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico comisionó a la geóloga Guisela Choquenaira Garate para realizar la evaluación técnica en el río Kitamayo, los días 7 y 8 de febrero del presente año, previa coordinación con personal del Instituto Nacional de Defensa Civil y pobladores.

La evaluación técnica, se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores, interpretación de imágenes satelitales, preparación de mapas para trabajos de campo, toma de datos (fotografía y GPS), cartografía y redacción de informe.

Este informe, como instrumento técnico se pone en consideración de autoridades y funcionarios competentes, para la ejecución de medidas de mitigación, reducción de riesgo y toma de decisiones.

2. ANTECEDENTES

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

- Geología y Geodinámica del sitio Histórico Cultural de Pisac – Cusco (Vílchez et al., 2008 - inédito).
- 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.
- Estudio de Riesgos Geológicos del Perú – Franja N° 3, elaborado por INGEMMET (2003), describe a escala regional la geología, los rasgos geomorfológicos y peligros geológicos de tipo movimientos en masa y geohidrológicos, que ocurren en la zona de estudio.
- El “Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa” (GEOCATMIN - INGEMMET, 2010), muestra que el distrito de Pisac se encuentra en zona de susceptibilidad media a alta a movimientos en masa; además de acuerdo al inventario de peligros geológicos, se han identificado la presencia de deslizamientos, caída de rocas, derrumbes, erosión fluvial y flujos de detritos (huaico).

Es importante mencionar que, en la zona de estudio puntual, no se tiene registro de trabajos anteriores sobre peligros geológicos por movimientos en masa.

3. ASPECTOS GENERALES

3.1. Ubicación y accesibilidad

El distrito de Pisac está ubicado en la margen derecha del río Vilcanota, provincia de Calca, región Cusco, a 34 km al noreste de la ciudad de Cusco (figura 1). Desde el punto de vista morfoestructural se localiza en la Cordillera Oriental del sur de Perú, cuyas coordenadas centrales son: UTM (WGS84) 8514699N, 191287E a 2981 m s.n.m.

La quebrada Culispata, afluente al río Vilcanota por su margen derecha, cambia de nombre a Kitamayo, antes de pasar por el poblado de Pisac, sus nacientes se encuentran por encima de los 4350 m s.n.m. La quebrada Culispata tiene una longitud aproximada de 4,87 km. con pendiente media de 21%. Se forma por la confluencia de tres quebradas y el tramo más largo nace en la laguna de Quillhuacocha.

El acceso a la zona de estudio, por vía terrestre se realiza a través de la carretera Cusco - Calca, con un recorrido de 34 km por vía asfaltada (cuadro 1). La quebrada Kitamayo, se encuentra al norte de la población de Pisac, en la margen derecha del centro Arqueológico de Pisac.

Cuadro 1. Accesibilidad a la zona de estudio.

Ruta	Tipo de Vía	km	Tiempo
Cusco-Pisac	Vía asfaltada	34	50 min
Pisac – centro arqueológico	Vía asfaltada	8.9	17 min

3.2. Objetivos

- Identificar los peligros geológicos por movimientos en masa que afectan el distrito de Pisac.
- Determinar los factores condicionantes y desencadenantes para la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa.
- Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

3.3. Clima

Según la clasificación climática de Kopen y Geiger, la zona de estudio presenta un clima Semiárido Templado con Invierno Seco, con temperatura media anual de 14.5 °C. La precipitación total máxima anual es de 1200 mm y una mínima de 1000 mm.

Según la estación meteorológica de Pisac (SENAMHI, 2020), la máxima precipitación registrada el día del evento, alcanzo un umbral de 10.2 mm/día (cuadro 2).

Cuadro 2. Datos de precipitación de la estación meteorológica de Pisac (2020).

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
2020-02-01	18	9.5	69.8	7.4
2020-02-02	20.8	8	64.7	7.9
2020-02-03	19	9.5	71.8	8.2
2020-02-04	21	9.6	72.3	5.3
2020-02-05	22	10.5	72.1	6.5
2020-02-06	18.3	8.5	73.0	10.2
2020-02-07	22.3	8.8	68.9	2.0
2020-02-08	20	10	75.1	0.5
2020-02-09	19	10.5	73.8	2.4
2020-02-10	19.3	10	69.6	0.3

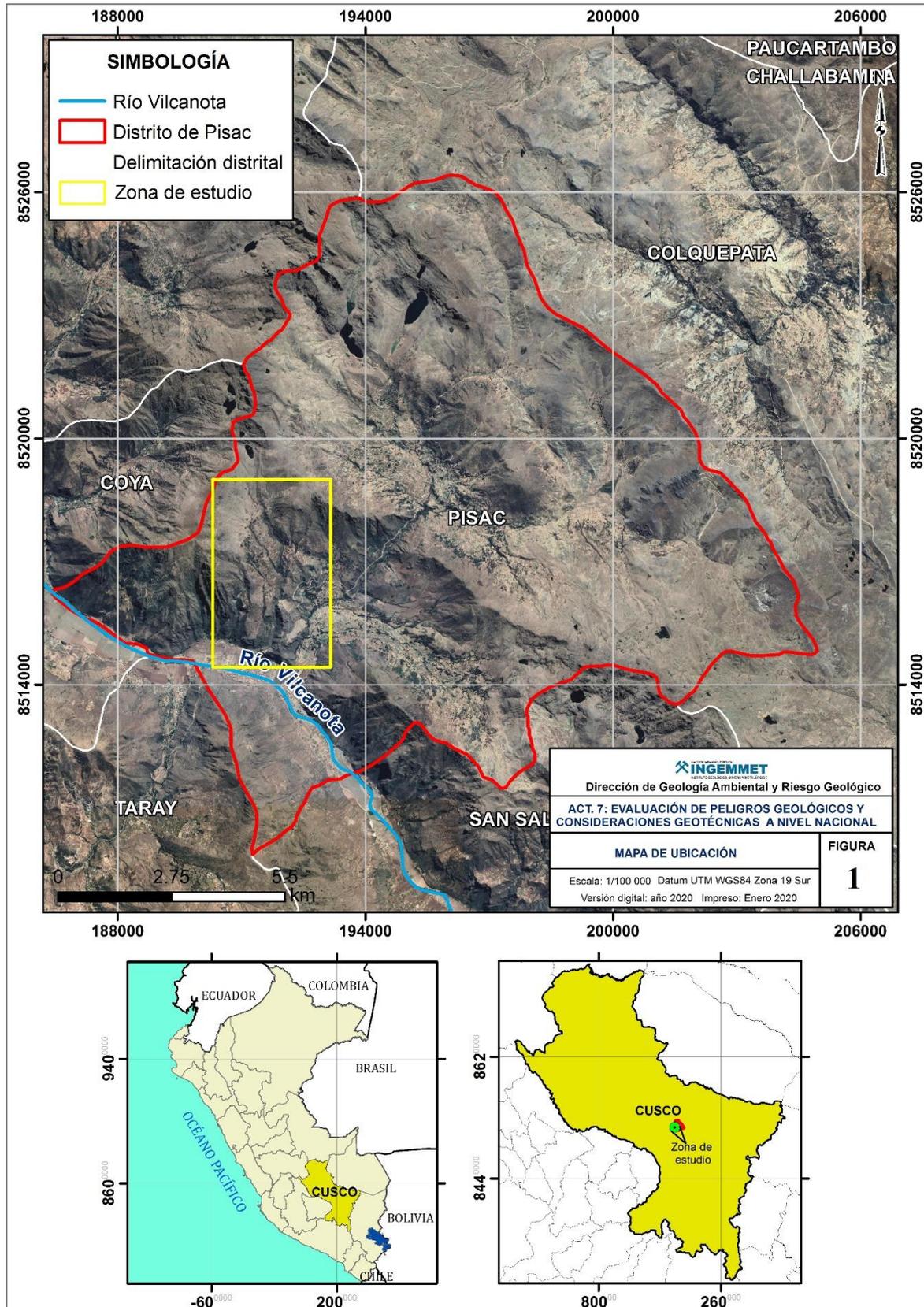


Figura 1. Mapa de ubicación del distrito de Pisac.

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Aspectos geológicos

El substrato rocoso está compuesto esencialmente por rocas del Paleozoico, de naturaleza sedimentaria, volcano - sedimentaria e intrusiva. También se tienen depósitos cuaternarios.

La descripción de las unidades litoestratigráficas (figura 2) se ha extraído del boletín de la carta nacional del cuadrángulo: Urubamba – Calca (Carlotto et al., 1996).

4.1.1. Grupo Copacabana (PEc-c)

El Grupo Copacabana del Pérmico inferior (Newell et al, 1949), aflora ampliamente en el Anticlinal de Vilcanota y alrededores del poblado Písaq, principalmente al pie de la carretera que conduce hacia la provincia de Calca. Compuesto por calizas (de grano fino, oolíticas o nodulosas, de color gris blanquecino a negro) y arcillitas de origen marino.

Desde el punto de vista mecánico las calizas son rocas estables, sin embargo, las arcillitas pueden desarrollar deslizamientos (Vílchez et al., 2008).

4.1.2. Grupo Mitu (Ps-Ti)

El Grupo Mitu (Mc Laughlin, 1924), sobreyace en discordancia erosional al Grupo Copacabana. Aflora ampliamente en las quebradas que confluyen al río Vilcanota, y en las márgenes de este último. En el Grupo Mitu, se diferencian dos unidades litoestratigráficas, denominadas formaciones Písaq y Pachatusan (Candia & Carlotto, 1985; Carlotto et al, 1988).

Está constituida por brechas, aglomerados y coladas de basaltos, riolitas e ignimbritas, intercaladas con rocas sedimentarias (conglomerados y areniscas cuarzosas), caracterizándose por su color rojo violáceo que permite reconocerlas rápidamente en el campo.

4.1.3. Formación Huancané (Ki-hn)

La Formación Huancané del Cretácico inferior (Newell, 1949), reposa en discordancia erosional al Grupo Mitu. Está compuesta por conglomerados, areniscas conglomerádicas y areniscas cuarzosas de color blanco de origen fluvial (Carlotto et al., 1995). Las areniscas cuarzosas, por ser bastante porosas y permeables, la hacen muy buenos acuíferos.

4.1.4. Formación Paucarbamba (Ki-hn)

La Formación Paucarbamba reposa concordantemente sobre la Formación Huancané, conformada por una alternancia de areniscas calcáreas, margas, arcillitas amarillas, rojizas y verdes, formando secuencias grano - estratos crecientes (Carlotto et al., 1996).

4.1.5. Formación Maras (Ki-hn)

La Formación Maras está compuesta por mezclas de yesos y arcillitas rojas y escasamente por arcillitas verdes y algunos niveles de calizas de espesores delgados o calizas gruesas que en realidad corresponden a las calizas deslizadas de la Formación Ayabacas.

4.1.6. Formación Rumicolca (Q-ru)

La Formación Rumicolca del Plio – Cuaternario, aflora al norte de la ciudad de Písaq, en la margen derecha de la quebrada Culispata (Kitamayo). Este cuerpo se caracteriza por presentar coladas de lavas y conos de escorias, descritos como andesitas. Sin embargo, por la geoquímica han sido clasificadas como shoshonitas.

4.1.7. Depósitos glaciares (Q-g)

Los depósitos glaciares se ubican al norte de Písaq, particularmente en la laguna Totoracocha (cerca de la zona de estudio), donde las morrenas dieron origen a la formación de la laguna referida (Vílchez et al., 2008).

Las morrenas son depósitos compuestos de bloques heterométricos, inmersos en matriz areno-arcillosa. Su comportamiento en la zona es relativamente estable.

4.1.8. Depósitos aluviales (Q-al)

Se ubica en ambas márgenes del río Vilcanota, conformado por grandes bloques de rocas volcánicas, envueltos en matriz areno - arcillosa.

Sobre estos depósitos se ubica parte de la población de Pisac y se desarrolla extensas áreas de terrenos de cultivo.

4.1.9. Deposito proluvial (Q-pr)

Se encuentran dispuestos en el fondo de los valles, en forma de conos de deyección hacia la confluencia del río Vilcanota. Conformado por fragmentos rocosos heterométricos (gravas, bloques, etc.), en matriz arcillo - limoso. Sobre estos depósitos se encuentra asentada la parte alta del poblado Pisac.

4.1.10. Depósitos fluviales (Q-fl)

Se reconoce en el fondo del valle del río Vilcanota, así como en las quebradas que confluyen al río Kitamayo; están constituidos por bancos de gravas y arenas, formando una o varias terrazas.

Sobre los depósitos fluviales de las quebradas Kitamayo, Chaupihuayco y del valle de Vilcanota se ubican muchas viviendas, hospedajes, terrenos de cultivo y caminos.

4.1.11. Depósitos coluviales (Q-co)

Se encuentran dispuestos en las laderas de pendiente empinada de los cerros circundantes a las ruinas incas de Pisac, así como en las laderas que circunscriben quebradas próximas a la ciudad de Pisac.

Están compuestos por material inconsolidado de bloques, gravas, inmersos en matriz limo - arcillosa. Las gravas están conformadas por rocas tipo pizarras, diamictitas, areniscas y rocas volcánicas.

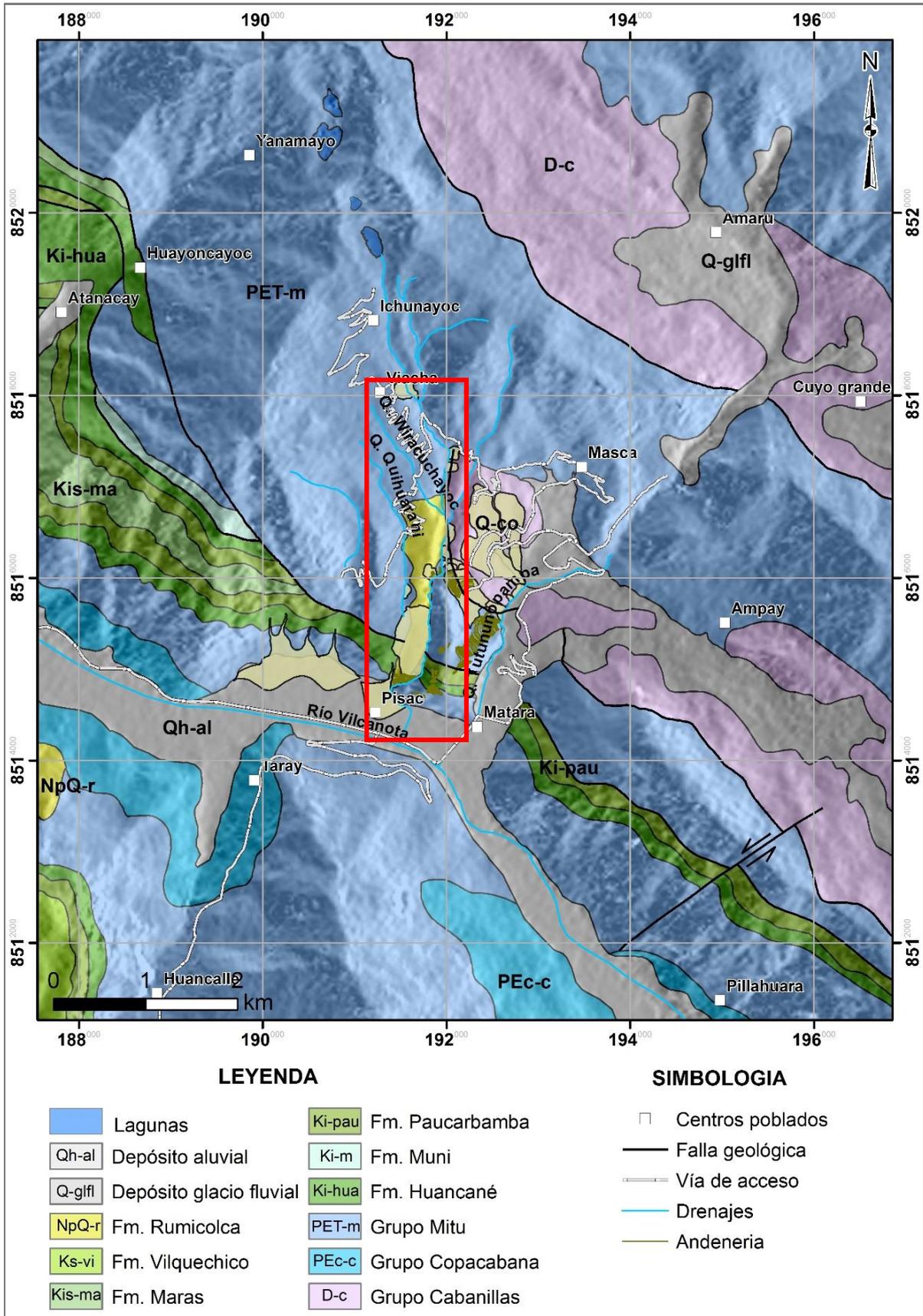


Figura 2. Mapa geológico del distrito de Pisac. Modificado de Carlotto, et al., 1996.

4.2. Aspectos geomorfológicos

4.2.1. Análisis de pendiente

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.

En la Figura 3, se presenta el mapa de pendientes, elaborado en base a información del modelo de elevación digital de 12 m de resolución (USGS), donde se presentan con mayor predominio laderas y estribaciones con inclinación de pendientes comprendidas entre 20° a 75°, consideradas de moderada a fuerte pendiente, lo que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas.

Por otro lado, se evidencian pendientes menores a 5° a lo largo del valle y terrazas del río Vilcanota.

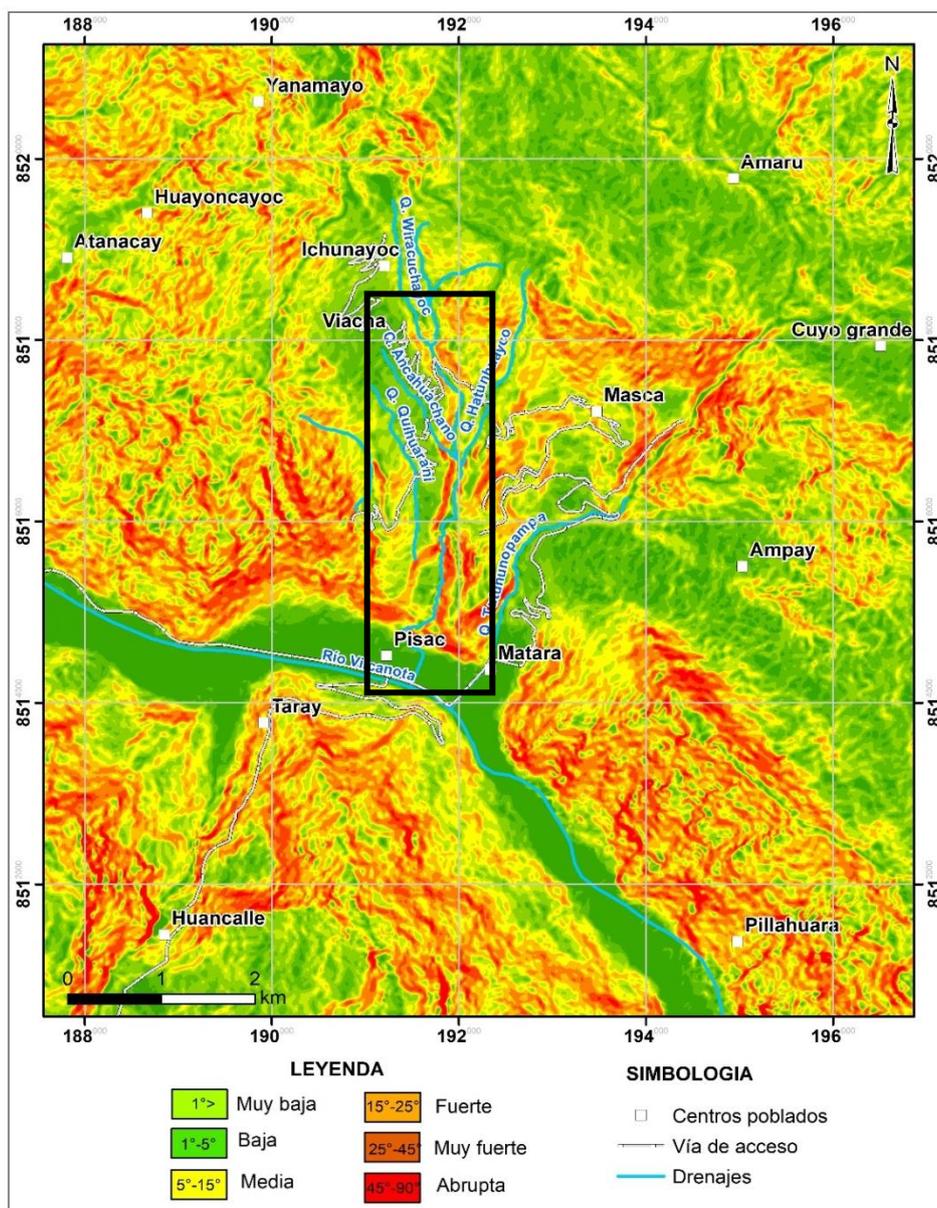


Figura 3. Mapa de pendientes del distrito de Pisac.

4.2.2. Geformas de carácter tectónico - degradacional y erosional

La clasificación de las unidades geomorfológicas se tomó en base a la memoria descriptiva de la región Cusco elaborado por INGEMMET (figura 4).

a. Unidad de montañas

- ✓ **Sub unidad de montaña en roca sedimentaria (RM-rs):** Representada por laderas de montañas sedimentarias con algunos alineamientos producto de las secuencias estratigráficas y fallas geológicas, caracterizado por una topografía accidentada, de cimas alargadas y pendientes predominantemente empinadas (50°).

Esta sub unidad está conformada por las formaciones geológicas de Huancané, Paucarbamba y el Grupo Copacabana; cuyos afloramientos presentan alineamientos en dirección SE-NO.

- ✓ **Sub unidad de montaña en roca volcánico - sedimentaria (RM-rvs):** Las montañas de este tipo cubren gran parte de la zona de estudio, cuyas laderas de pendientes moderadas a empinadas varían de 20° a 55°, con algunas cimas subredondeadas a agudas. En la parte alta son disectados por una red de drenaje dendrítica, resaltando principalmente las quebradas Wiracuchayoc y Quishuarani.

Litológicamente se encuentra conformada por coladas volcánicas, brechas, aglomerados, conglomerados, areniscas, limolitas rojas del Grupo Mitu, cuyos afloramientos también se presentan alineados con dirección SE-NO, limitado por fallas inversas. Se exponen principalmente en los cerros Ñustapata (Ñust'ayuj), Ventanayoc, Intiwatana y Linley (Vílchez., 2008)

- ✓ **Sub unidad de montaña en roca volcánica (RM-rv):** Representado por rocas volcánicas de composición shoshoníticas, provenientes de flujos de lava de edad cuaternaria, se les encuentra ubicado en la cima de las montañas, específicamente en el cerro Sahuaypata (Vílchez, 2008).

4.2.3. Geformas de carácter depositacional y agradacional

b. Unidad de piedemonte

- ✓ **Sub unidad de vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at):** Son el resultado de la acumulación de material movilizado a manera de flujos de detritos (huaicos), modifican localmente la dirección de los cursos de ríos y se ubican en las desembocaduras de quebradas hacia los ríos principales.

La quebrada Culispata, afluente al río Vilcanota por su margen derecha, al llegar a la ciudad toma el nombre de río Kitamayo. En la desembocadura de esta quebrada, se formó un cono aluvial producto de la acumulación de varios eventos (huaicos) y sobre la cual se emplaza el poblado de Písaq.

- ✓ **Sub unidad de vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd):** Son depósitos inconsolidados, localizados al pie de las laderas, resultantes de la acumulación de material caído desde las partes altas, por acción de la gravedad, también por flujos de detritos no canalizados.

Los depósitos de vertientes de detritos más representativos, se encuentran en las laderas de los valles de los ríos Vilcanota y Kitamayo y en los tramos carreteros que conducen al centro arqueológico de Pisac.

c. Unidad de valle

- ✓ **Sub unidad de terrazas aluviales (T-al):** Se localizan encima del cauce y llanura de inundación fluvial, son terrenos planos, de ancho variable, su extensión está limitada a los valles. Las terrazas más grandes se encuentran ubicados hacia la margen derecha del río Vilcanota.

Sobre estos terrenos se ubica la zona baja del poblado de Pisac; también son utilizados como terrenos de cultivo.

En sus márgenes suele producirse erosión fluvial y socavamiento de sus taludes inferiores, generando derrumbes.

- ✓ **Sub unidad de llanura o planicie inundable (PI-i):** Son superficies bajas, adyacentes a los fondos de valles principales y el mismo curso fluvial. Morfológicamente se distinguen como terrenos planos compuesto de material no consolidado.

En el valle del río Vilcanota, se observa en ambas márgenes, donde alcanza 500 m de ancho en promedio (Vílchez et al., 2008). Estas áreas inundables son ocupadas por áreas de cultivo; están sujetas a inundaciones fluviales ocasionales y procesos de erosión fluvial en sus márgenes.

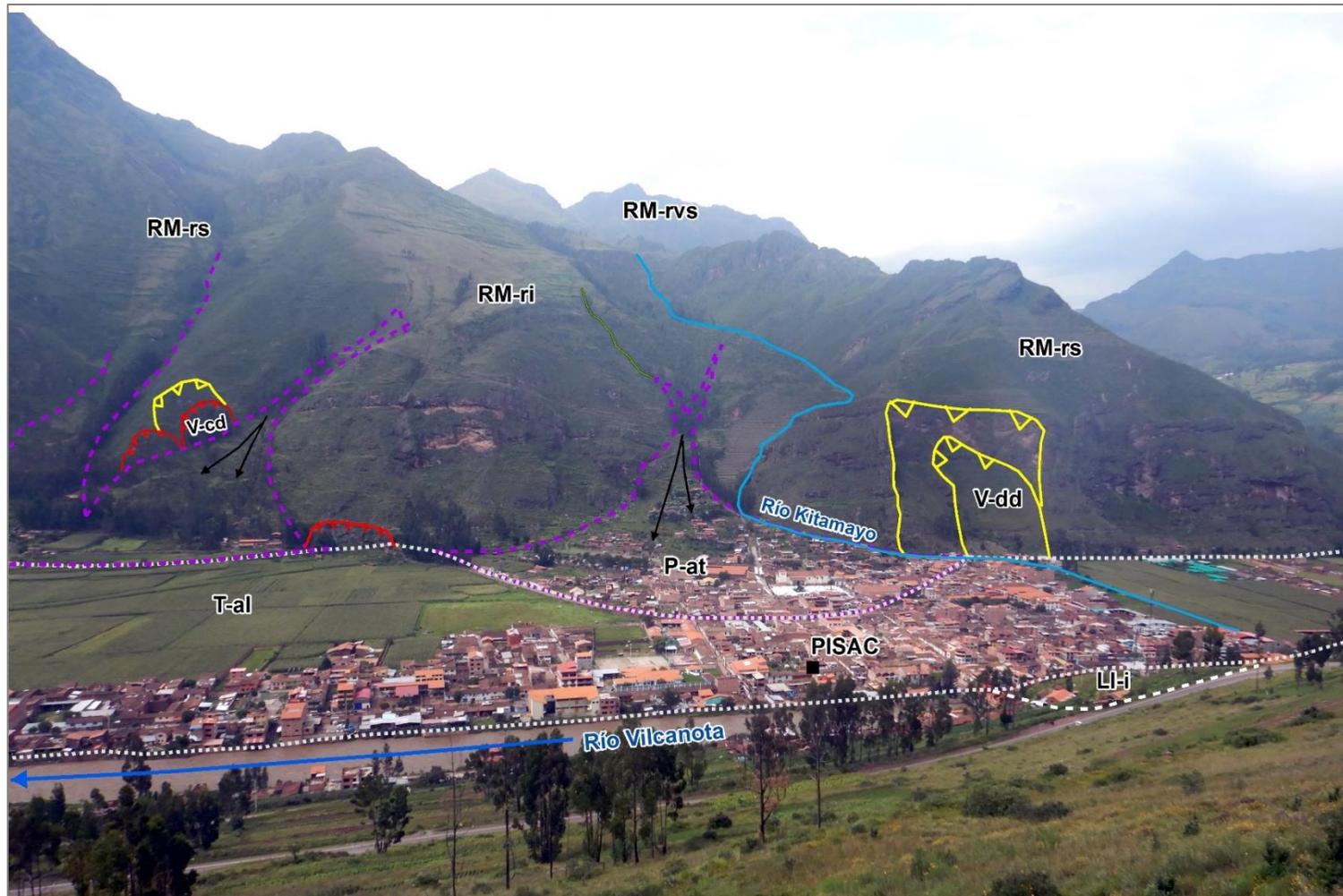


Figura 4. Unidades geomorfológicas del distrito de Pisac. Sub unidad de montaña en roca sedimentaria (RM-rs), sub unidad de montaña en roca volcánica (RM-ri), sub unidad de montaña en roca volcano - sedimentarias (RM-rvs), sub unidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd), sub unidad de vertiente coluvio - deluvial (V-cd), sub unidad de vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at), sub unidad de llanura o planicie inundable (LI-i) y sub unidad de terrazas aluviales (T-al).

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

5.1. 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 5), 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).

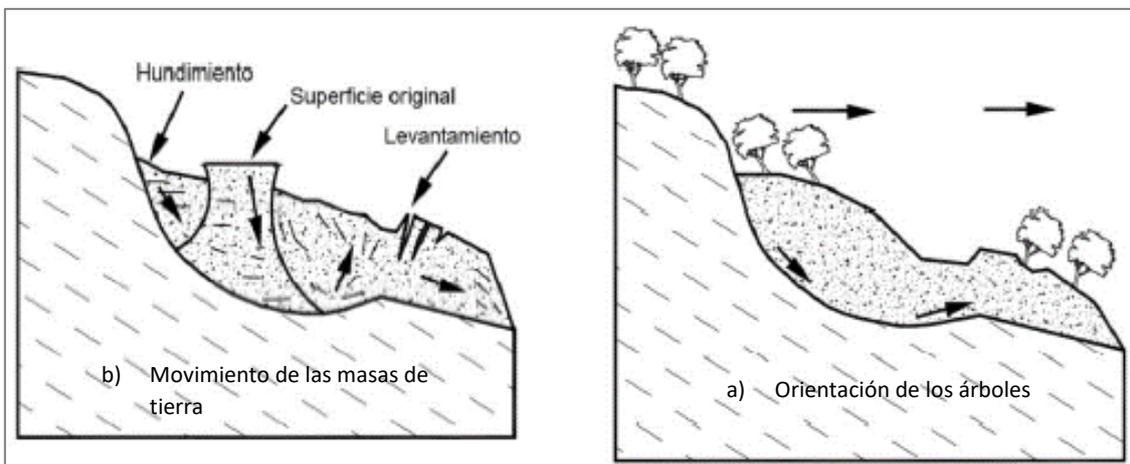


Figura 5. Deslizamiento rotacional típico. Fuente Suárez (2009).

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 6). 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.

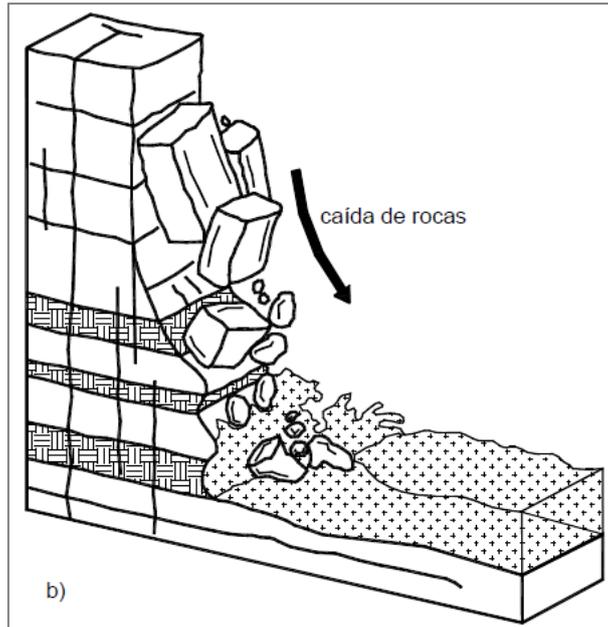


Figura 6. Esquema de caída de rocas. Fuente Suárez (1998).

c. Flujos

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes 1978). Según el tipo de material y mecanismo de velocidad de desplazamiento y ocurrencia, se pueden identificar flujos de detritos, de lodo y aluviones (figura 7).

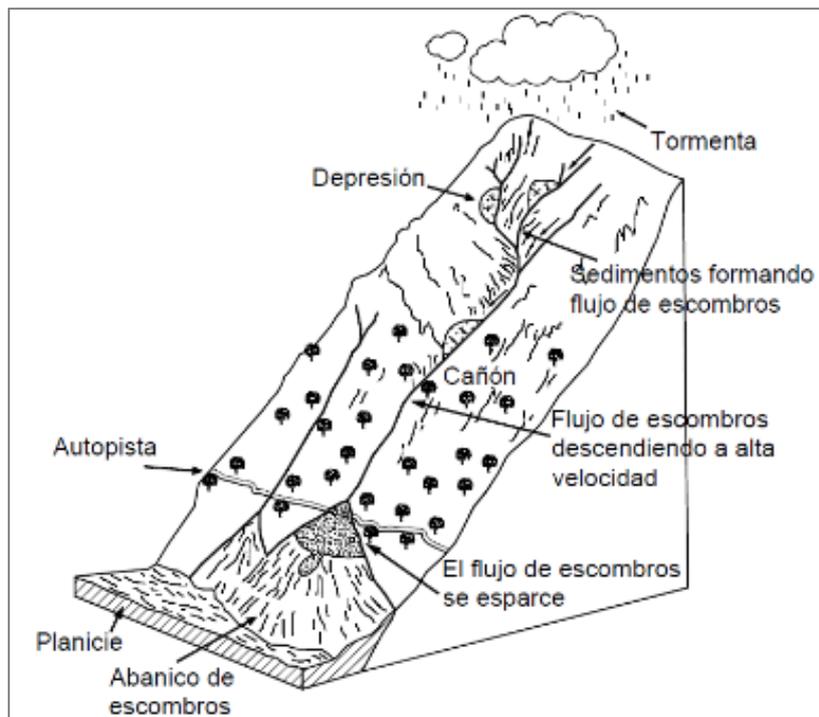


Figura 7. Esquema de un flujo de detritos (huaico). Fuente: Suárez (2009).

5.2. Procesos de remoción en masa en el poblado de Pisac

Los procesos de remoción en masa de mayor incidencia en la ciudad de Pisaq, el centro arqueológico y áreas adyacentes, son debido a la presencia de huaicos, deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, erosión fluvial y carcavamiento (figura 9), procesos que se ven favorecidos principalmente por la presencia de precipitaciones pluviales – aguas superficiales, laderas de pendiente empinada, substrato rocoso con intensa meteorización y altamente fracturado, baja o pobre consistencia de los depósitos.

El río Kitamayo, de 4.87 km de longitud aproximadamente y una pendiente media de 21%, nace de la confluencia de 4 quebradas (Quishuarani, Wiracuchayoc Ancahuachano y Hatunhuayco) y el principal afluente nace en la laguna Quillhuacocha (4215 m s.n.m.). Su cauce natural discurría con una dirección aproximada norte - sur, y disectaba el poblado de Pisac por la calle Kitamayo (INDECI-PNUD PER 02/051), antes de confluir al río Vilcanota.

5.2.1. Flujo de detritos

Registros históricos (INDECI-PNUD 2015), muestran que desde los años 30, por el río Kitamayo discurren de manera excepcional flujo de detritos (huaicos); prueba de ello es la existencia de un cono proluvial en su desembocadura, formado por la acumulación de material acarreado. El cono proluvial está conformado por bloques heterométricos, gravas, arenas y limos, en cuyo depósito se encuentra asentado el poblado de Pisac.

Cabe mencionar que, a partir del aluvión de 1930, el cauce del río Kitamayo, se desvió en dirección al Este, bordeando el cerro Intihuatana en su base, antes de su ingreso por el poblado de Pisac.

El 6 de febrero de 2020, aproximadamente a las 23:00 p. m, producto de las precipitaciones pluviales intensas registradas horas antes al evento, se produjo el incremento de caudal y posterior flujo de detritos (huaico) en el río Kitamayo (figura 9A).

La dinámica erosiva del flujo de detritos (huaico), en su trayecto socavó la base y erosionó ambas márgenes del río Kitamayo, generando derrumbes, cuyo material desplazado incrementó el volumen del huaico.

El flujo de detritos al ingresar por el poblado de Pisac, busco retomar su cauce antiguo (calle Kitamayo), razón por la cual, se desbordo por la margen derecha, en un recodo del cauce del río Kitamayo (figura 10A).

Es importante mencionar que, la ubicación de viviendas contiguas a la margen derecha del río Kitamayo (figura 10B), evito que el material acarreado por el flujo de detritos se desplazara cuesta abajo, depositándose en esta zona, bloques heterométricos de hasta 1.5 m de diámetro, arenas y limos (figura 10C), lo cual afectó varias viviendas (figura 10D y E). Además, afectó la carretera y el puente de acceso por el lado este al poblado de Pisac, ubicado a 1 m de altura con respecto a la base del río Kitamayo (figura 10F).

Sin embargo, a partir de la calle Paucartambo (fotografía 1), empezó a discurrir flujo de lodo, con mayor porcentaje de agua sobre la fracción sólida (finos), por las calles Paucartambo, Castilla (figura 10G), Grau, Mariscal y la avenida Federico Zamalloa. Afectó locales públicos, puestos de artesanía y el vehículo del cuerpo de Bomberos.

En su recorrido el flujo de lodo se acumuló hasta una altura de 80 cm (figura 8A y B), evidenciándose en las paredes de las viviendas de la calle Grau.



Fotografía 1. Viviendas de la calle Paucartambo, afectadas por flujo de detritos (huaico).



Figura 8. Vista del nivel alcanzado por el flujo de lodo en las paredes de viviendas de la Calle Grau.

Por otro lado, los trabajos de inspección realizado el 8 de febrero en la parte alta del río Kitamayo, permitió identificar a lo largo de su cauce la presencia de deslizamientos y derrumbes en procesos de reactivación, los cuales podrían generar represamientos en el cauce, cuyo desembalse violento, generaría en consecuencia flujos de detritos (huaicos) de mayor magnitud.

Además, las constantes lluvias, reactivaron las zonas de carcavamiento, generando el ensanchamiento de las mismas.

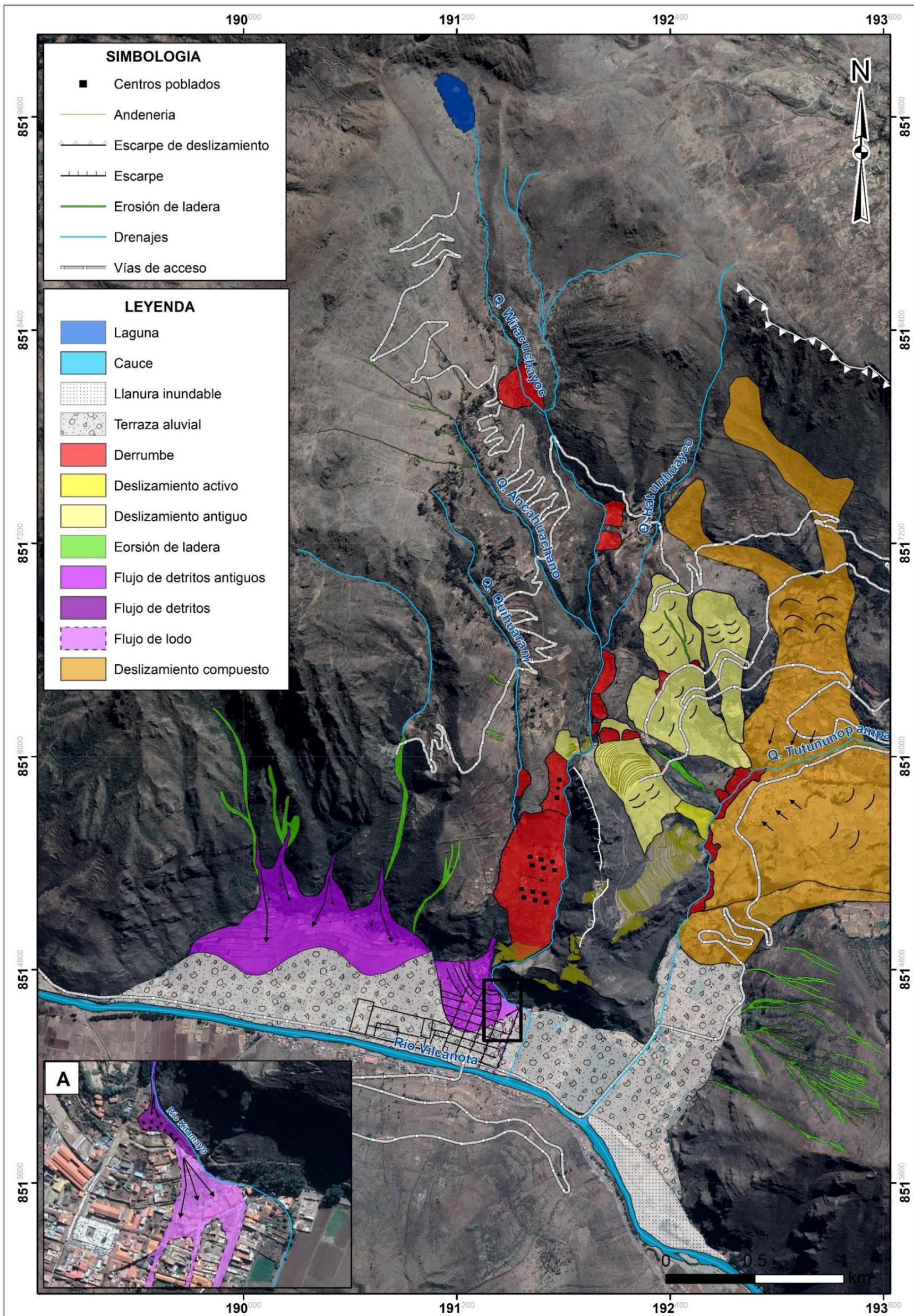


Figura 9. Cartografía de peligros geológicos por movimientos en masa en el distrito de Pisac (Modificado de Vílchez et al 2008-inedito).

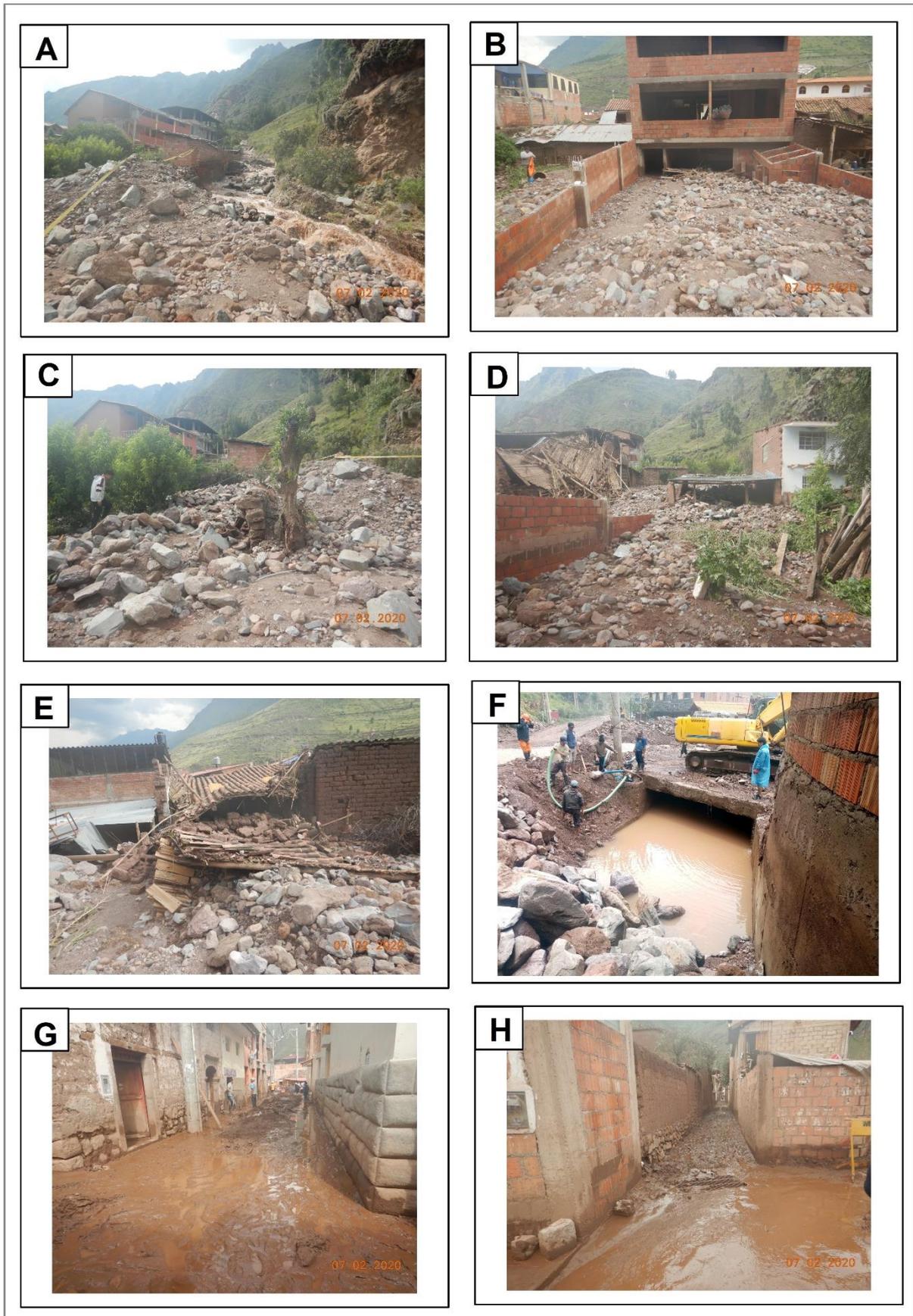


Figura 10. Viviendas y calles afectadas por el desborde del río Kitamayo y posterior flujo de detritos (huaico).

De la misma forma, la quebrada Ancahuachano (fotografía 2) afluente al río Kitamayo, se reactivó en flujo de detritos (huaico), en su trayecto transportó bloques de hasta 1.2 m de diámetro, arenas y limos. En la margen derecha erosionó y ensancho su cauce en 2 m aproximadamente

A la altura de comunidad de Viacha, el huaico, alcanzó 1 m de altura, ello afectó 20 m del canal de riego revestido (fotografía 3 y figura 11), construida transversalmente sobre la quebrada Ancahuachano, así mismo destruyó la tubería de agua para consumo humano, dejando a toda la comunidad referida sin el abastecimiento de agua.

Así también, se observó caída de rocas de hasta 2 m de diámetro, sobre tramos del canal de riego (fotografía 5).



Fotografía 2. Camino carrozable afectado por el incremento de caudal de la quebrada Ancahuachano.



Fotografía 4. Canal de riego de la comunidad de Viacha afectado por el flujo de detritos (huaico).



Figura 11 A,B. Vista del canal de riego obstruido por el material acarreado por el flujo de detritos (huaico).



Fotografía 5. Caída de rocas sobre el canal de riego para el sector Viacha.

5.2.2. Caída de rocas

En la margen derecha del camino que conduce al centro arqueológico de Pisac, afloran rocas sedimentarias fuertemente fracturas y con intensa meteorización (fotografía 6), además del talud escarpado e inestable producto del corte realizado para la construcción de la carretera referida, los cuales condicionan la ocurrencia de caída de rocas (fotografía 7), que obstruyen constantemente la vía de acceso al centro arqueológico Intihuatana.



Fotografía 6. Substrato rocoso fuertemente fracturado y con intensa meteorización.



Fotografía 7. Desprendimiento de roca que obstruye la vía de acceso al centro arqueológico de Pisac.

5.2.3. Afectación al centro arqueológico de Pisac

En el río Kitamayo, se han identificado numerosos problemas geodinámicos como: deslizamientos antiguos, algunos en proceso de reactivación, cárcavas, derrumbes y erosión fluvial en sus márgenes. Sobre todo, en el tramo donde se encuentra el cerro Intihuatana, y los restos incas pertenecientes al Conjunto Arqueológico Pisac (figura 12).

Los trabajos de campo permitieron identificar varios sectores donde se viene generando procesos de erosión fluvial, producto del socavamiento en la base de las laderas que delimitan el río Kitamayo, lo cual produce la pérdida de terreno por derrumbes constantes que comprometen la seguridad física de terrazas y obras de encauzamiento realizadas por los incas.

El proceso erosivo causado por el flujo de detritos (huaico) del 6 de febrero, socavó y erosionó las márgenes del río Kitamayo, afectando 30 m de muro de sostenimiento inca (figura 13A) en la margen derecha y 15 m en la margen izquierda (figura 13B).

Además, el flujo de detritos afectó la andenería (fotografía 8) del centro arqueológico de Pisac en un recodo del río Kitamayo.

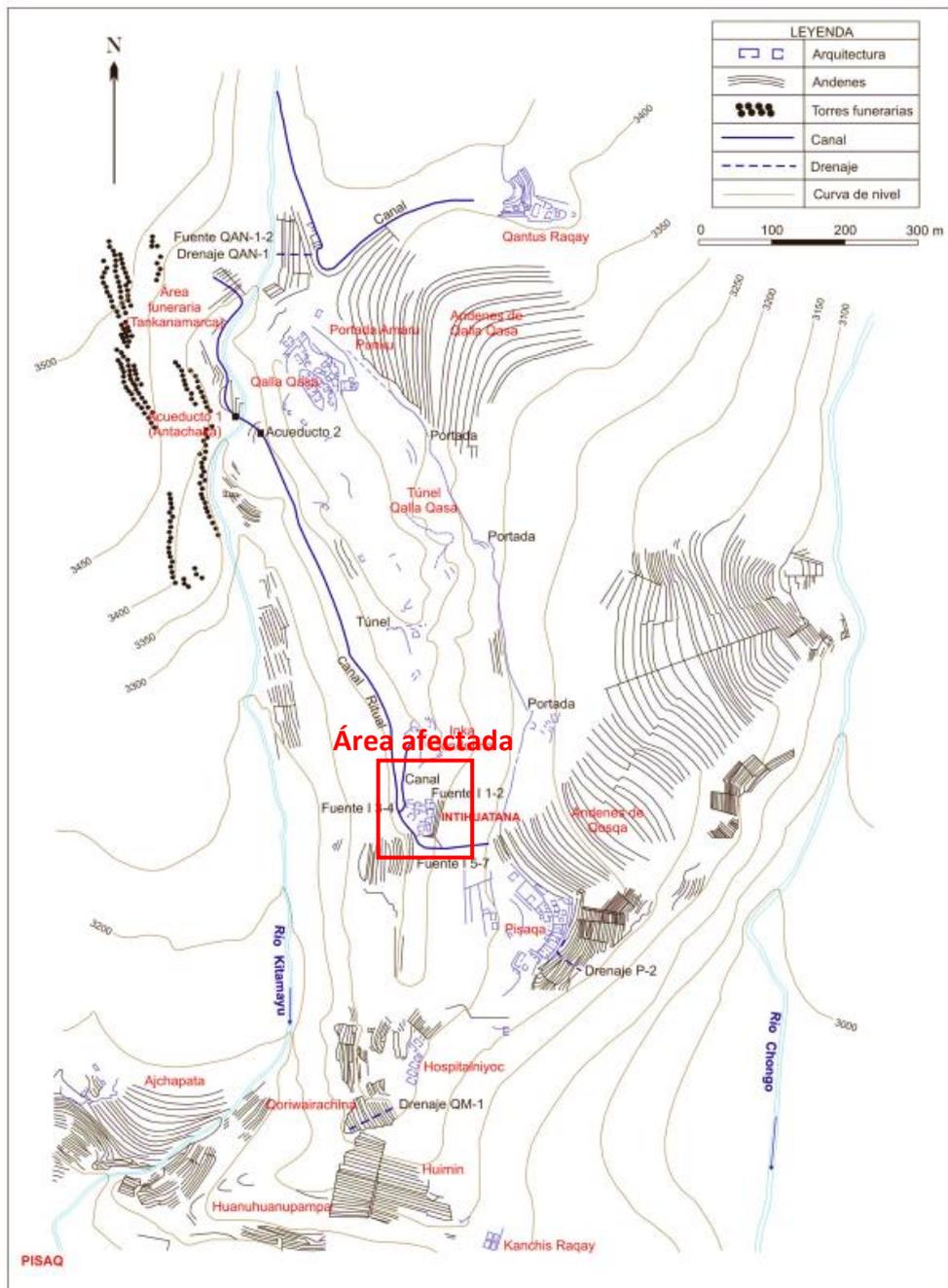


Figura 12. Distribución de recintos dentro de la zona arqueológica de Pisac (Adaptado de Zapata et al., 2001).



Figura 13. A) Vista del muro de sostenimiento inca colapsado en la margen izquierda del río Kitamayo por el flujo de detritos. B) Muro de sostenimiento afectado en la margen derecha.



Fotografía 8. Andenería del centro arqueológico Pisac afectado, debido a la erosión que generó el flujo de agua y detritos.

CONCLUSIONES

1. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa que presenta el poblado de Pisac, se le considera como zona de **peligro muy alto** a procesos de remoción en masa, además de **zona crítica** por peligro geológico.
2. El río Kitamayo representa un **peligro muy alto** ante inundaciones y flujo de detritos (huaico), en caso de producirse lluvias extraordinarias, el río buscara retomar su cauce natural (calle Kitamayo).
3. A lo largo del cauce del río Kitamayo, se han identificado procesos por movimientos en masa de tipo deslizamientos activos y antiguos, caída de rocas y derrumbes, los cuales pueden generar represamientos. También se identificó en ambas márgenes, procesos de erosión fluvial, los cuales originan derrumbes.
4. El flujo de lodo afectó las calles Amazonas, Federico Zamalloa, Paucartambo, Mariscal Castilla, Grau y el mercado de Artesanías – Pisac y vehículo del cuerpo de Bomberos.
5. El flujo de detritos (huaico) transportó bloques de hasta 1.5m de diámetro, afectando a las viviendas ubicadas en la margen derecha y contigua al canal revestido del río Kitamayo.
6. El flujo de detritos proveniente de la quebrada Ancahuachano, afectó el canal de riego, la tubería para consumo humano y el colegio Huayracpunco del sector Viacha. Así mismo generó el colapso de tres puentes peatonales.
7. A la altura del cerro Intihuatana, en un recodo del río Kitamayo, la dinámica erosiva del flujo de detritos (huaico), generó el socavamiento de la base del sistema de andenerías incas, un colapso posterior podría represar el cauce del río; cuyo desembalse puede generar flujos de detritos (huaicos) de mayor magnitud.
8. Los peligros por movimientos en masa están condicionados por los siguientes factores principalmente:
 - a) Material de fácil remoción (depósito coluvial principalmente), conformado por bloques subangulosos, inmersos en matriz areno-limosa.
 - b) Substratos rocosos altamente meteorizados y muy fracturados; lo que permite mayor filtración y retención de agua en su cuerpo.
 - c) Laderas con pendientes empinadas (25° a 70°), que por efectos de la gravedad son susceptibles a procesos de remoción en masa.
 - d) Cortes de talud para la apertura de carreteras y caminos carrozables.
 - e) Desvío del cauce natural del río Kitamayo (hasta 90° de variación).
 - f) Ocupación de viviendas en zonas susceptibles a movimientos en masa.
9. El factor desencadenante para la ocurrencia de flujo de detritos, inundaciones, derrumbes y caída de rocas fueron las precipitaciones pluviales intensas, registradas en el mes de febrero.

RECOMENDACIONES

1. Implementar Sistemas de Alerta Temprana (SAT), en las quebradas que conforman el río Kitamayo, con la finalidad de detectar movimiento por flujo de detritos o huaicos.
2. Realizar limpieza periódica del cauce del río Kitamayo.
3. A largo plazo diseñar el canal revestido del río Kitamayo, teniendo en cuenta las máximas avenidas.
4. Implementar sistemas de defensa ribereña, como enrocados o muro de gaviones en el río Kitamayo (priorizando el tramo que atraviesa por el centro arqueológico de Pisac), en coordinación con representantes del INC.
5. Rediseñar el trazo de canal de riego para la comunidad de Viacha, por zonas inexistentes de peligros geológicos.
6. Diseñar y construir el puente de acceso al poblado de Pisac por el lado norte, teniendo en cuenta las máximas avenidas del río Kitamayo.
7. Las zonas afectadas por procesos de erosión de laderas y cárcavas, pueden ser tratadas con la construcción de obras hidráulicas - transversales para cárcavas, para lograr la fijación de sedimentos, por medio de la colocación de trinchos de matorrales, presas de roca transversales y colocación de trinchos de roca en las cabeceras de las cárcavas.
8. Construir obras flexibles que se amolden a la deformación de los deslizamientos activos, caídas y derrumbes, estos pueden ser por elementos resistentes, tipo muros de revestimiento, de contención y sostenimiento.


P.
Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto. Act-07
DGAR - INGEMMET


César Augusto Chacaltana Budiel
Director de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- Corominas, J., y Yague, A., (1997). Terminología de los Movimientos de Laderas.
- 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.
- NEWELL, N. (1949). Geology of the lake Titicaca region, Peru. Geol. Soc. Amer., memoir 36, 111 p
- 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.
- Vílchez, M., Carlotto V. & Cárdenas, J. (2008). Geología y geodinámica del sitio histórico cultural de Pisac (Cusco) - Inédito. Boletín serie No 1. Patrimonio y geoturismo. INGEMMET.