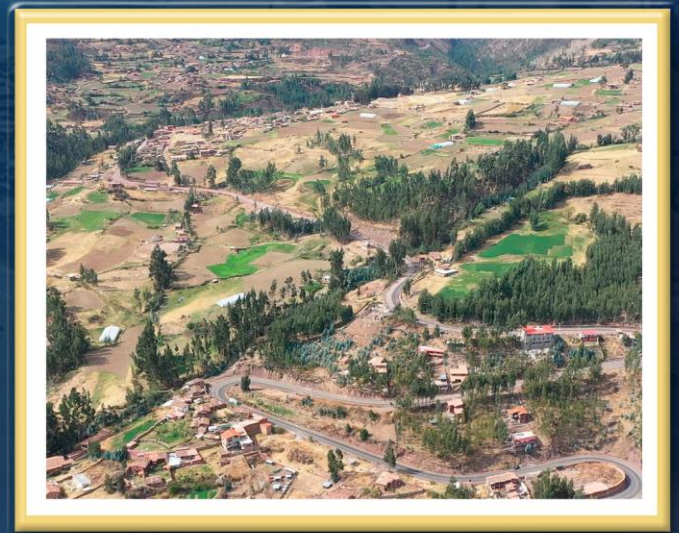


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7405

MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE CUYO CHICO PERIODO 2021-2022

Departamento Cusco
Provincia Calca
Distrito Pisac



AGOSTO
2023

MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE CUYO CHICO PERIODO 2021-2022

Distrito Pisac, provincia Calca, departamento Cusco

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

Equipo de investigación:

Luis Albinez

Angella Zegarra

Joseph Huanca

Dulio Gómez

Fredy Perez

Referencia Bibliográfica:

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). *Monitoreo del deslizamiento de Cuyo Chico periodo 2021 - 2022, distrito Pisac, provincia Calca, departamento Cusco*. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7405, 26 p.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	3
1.1 Aspectos generales	3
1.1.1 ANTECEDENTES	3
1.1.2 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	4
1.1.3 CONTEXTO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO	5
1.1.4 PELIGROS GEOLÓGICOS	11
1.1.6 CLIMA Y PRECIPITACIONES	14
2 MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE CUYO CHICO	17
2.1 Geodesia	17
2.1.1 MONITOREO PERIODOS 2009-2011, 2014-2016.....	17
2.1.1 MONITOREO ACTUAL, PERIODO 2021-2022.....	18
2.2 Interpretaciones	22
2.2.1 DESPLAZAMIENTOS EN LA MASA DESLIZADA.....	22
3. CONCLUSIONES	24
4. RECOMENDACIONES	25
5. BIBLIOGRAFÍA	26

1 INTRODUCCIÓN

El deslizamiento de Cuyo Chico, ubicado en el distrito de Pisac, provincia de Calca, departamento del Cusco (figura 1), afecta a los poblados de Ccotataqui, Ampay y principalmente Cuyo Chico. Sus efectos, de este movimiento en masa, pueden verse en agrietamientos de la superficie del terreno y viviendas, asentamientos, ruptura de canales de riego y deformación permanente de la carretera asfaltada que conecta al centro arqueológico Pisac y la vía Pisac Paucartambo.

Por ubicación crítica, magnitud, características geológicas peculiares, recurrencia y afectación, el deslizamiento de Cuyo Chico ha sido objeto de diferentes estudios en el pasado. Es por ello que el INGEMMET, viene realizando su monitoreo con fines técnico-científicos y como aporte a la gestión de riesgo de desastres.

En el presente informe se da a conocer el estado de la actividad del deslizamiento de Cuyo Chico a finales del 2022, en base a datos geológicos, geodinámicos y medidas geodésicas realizadas en diferentes campañas realizadas en los últimos años.

1.1 Aspectos generales

1.1.1 ANTECEDENTES

Sobre estudios geológicos y de peligros geológicos realizados para el contexto del deslizamiento de Cuyo Chico, se pueden citar:

- a) Boletín Geología de los Cuadrángulos de Urubamba y Calca, realizado por Carlotto et al. (1996), donde se puede observar que el deslizamiento de Cuyo Chico se asienta sobre la Formación Paucartambo, la cual se correlaciona con el grupo Ananea.
- b) Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Urubamba y Calca, realizado por Sánchez & Fernandez (2003), donde se denomina Fm. Ananea a la anteriormente denominada Fm. Paucartambo.
- c) En el año 2003 se emitió el informe técnico N°A5882: “Inspección de los peligros en las comunidades de Cuyo Chico, Ampay, Ccotataqui”, el cual evalúa el peligro potencial en cada una de las comunidades.
- d) En el año 2012 se publicó el estudio realizado por Taipei et al., titulado: “Deslizamiento activo de Cuyo Chico. Resultados preliminares del monitoreo GPS”, donde se concluye el resultado de un avance del deslizamiento de 3.2 m. en dos años de monitoreo.
- e) Boletín de Peligros Geológicos en la Región Cusco, realizado por Vílchez et al. (2020), en el cual se elabora el cartografiado geomorfológico y el inventario de peligros geológicos de la región.
- f) En el Informe Técnico N°A7062: “Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el río Kitamayo”, elaborado por INGEMMET (2020), en el cual se considera al Centro Poblado de Pisac como una zona crítica y de peligro muy alto debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa.
- g) En el Informe Técnico N°A7114 (2021): “Evaluación de peligros geológicos en la vía de acceso al Parque Arqueológico de Pisac”, en el cual se determina al área de estudio como zona de peligro muy alto a ocurrencia de derrumbes desencadenados, principalmente, en temporada de lluvias o ante eventos sísmicos.

- h) A inicios del año 2021 se publicó el informe técnico N°A7110: “Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en la comunidad de Cuyo Grande”. Concluye que el área estudiada es de Alto peligro a la ocurrencia de deslizamientos detonados por lluvias intensas o actividad sísmica.

1.1.2 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El deslizamiento de Cuyo Chico se encuentra al sureste del complejo arqueológico de Pisac, en la margen izquierda de la quebrada Chongo, en el valle de Sagrado de los Incas, distrito de Pisac, provincia de Calca, departamento de Cusco (figura 1 y tabla 1). Abarca los poblados de Cuyo Chico, Cotataqui y Ampay. Al frente del deslizamiento está ubicada parte de la vía de acceso hacia el complejo arqueológico de Pisac y la carretera Pisac - Paucartambo.

Tabla 1. Coordenadas del deslizamiento, zona 1.

COORDENADA CENTRAL				
N°	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
A	194923	8514420	13°25'01"S	71°49'01"O

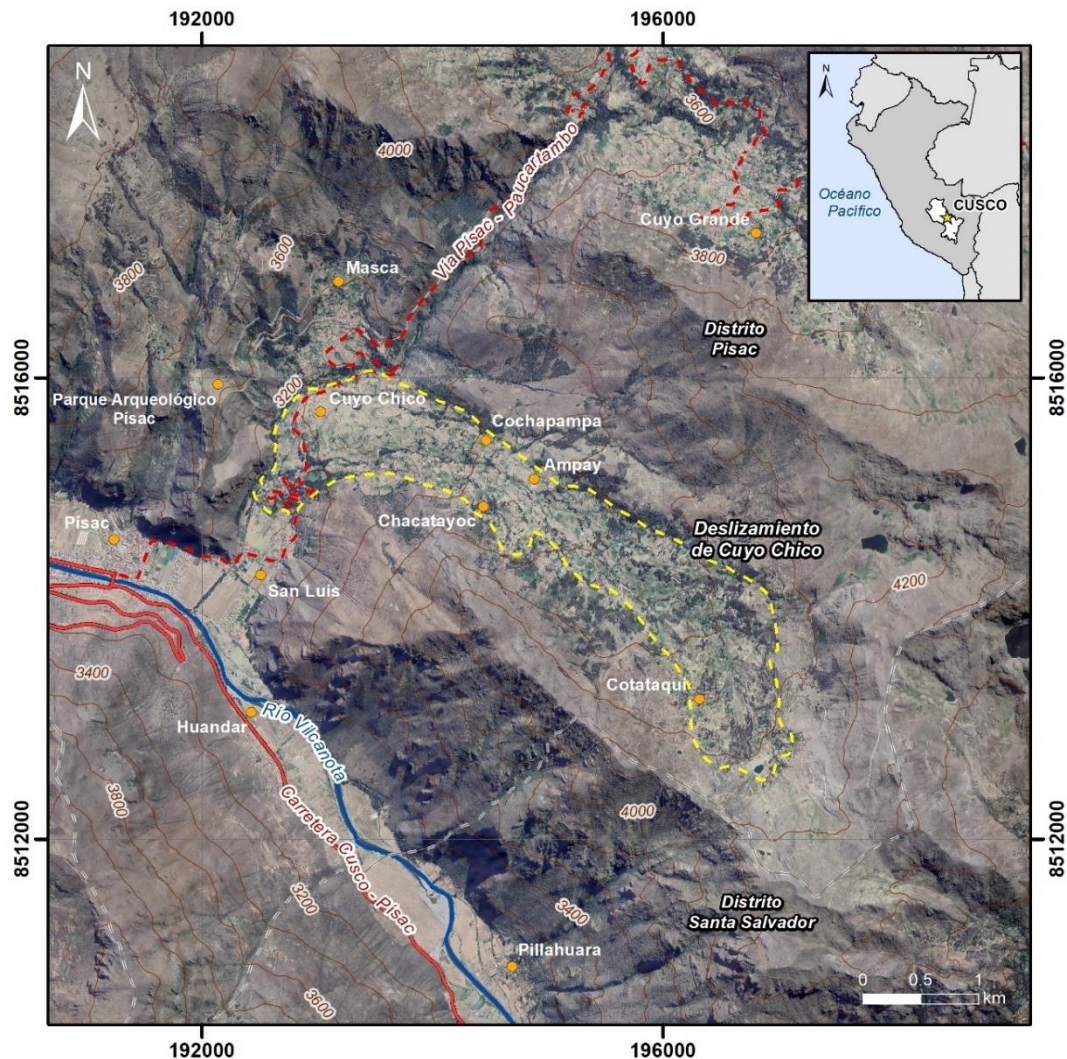


Figura 1. Mapa de ubicación del deslizamiento de Cuyo Chico. La línea entrecortada delimita el área aproximada del deslizamiento.

1.1.3 CONTEXTO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

Para este informe, se realizó un resumen de los aspectos geológico-litológicos y geomorfológicos descritos en estudios anteriores.

1.1.3.1 Aspectos geológicos.

En la zona de Pisac y sus inmediaciones (figura 2), afloran en su mayoría secuencias rocosas del Paleozoico al Cenozoico, de naturaleza sedimentaria, volcano-sedimentaria y metamórfica. Así también se tienen distintos tipos de depósitos cuaternarios.

La descripción de las unidades litoestratigráficas del área de estudio ha sido elaborado en base al boletín del cuadrángulo de Calca (Carlotto et al., 1996) y la memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Calca (Sánchez, A. & Zapata, A., 2003). Se consolidaron las formaciones que son afectadas por el deslizamiento o se encuentran en la zona de influencia.

Formación Ananea (SD-a)

Aflora al norte de la falla inversa que saca al Paleozoico sobre el Permo-Triásico, y en las escamas paleozoicas que aparecen al seno de formaciones Meso-Cenozoicas. En la zona de estudio, se expone en los alrededores del poblado de Cuyo Chico y Cotataqui como una secuencia, del Silúrico-Devónico, monótona de pizarras y esquistos pizarrosos, sin aparente estratificación, intercalados de manera esporádica, con algunos estratos delgados lenticulares de cuarciarenitas (Sánchez, A. & Zapata, A., 2003).

Geomecánicamente de mala calidad debido a que son rocas fuertemente deformadas, fracturadas y con esquistosidades.

Grupo Mitu (PET-mi)

Se le asigna la edad del Permiano medio al Triásico inferior, por infrayacer a las calizas del Grupo Pucará y sobreyacer con discordancia erosional al Grupo Copacabana del Permiano Inferior.

El grupo Mitu está compuesto principalmente por paquetes volcánicos de gran espesor. Aflora ampliamente en casi todo el sector en estudio (figura 2). Se diferencian dos unidades litológicas denominadas como Fm. Pisac y Fm. Pachatusan. (Carlotto et al., 1996), conformados por una secuencia grano-estrato creciente de brechas y conglomerados (con clastos de calizas con fusulinas, volcánicos y cuarcitas), intercalados con areniscas y limolitas rojas y brechas, aglomerados y coladas volcánicas de basaltos, riolitas e ignimbritas; intercaladas con rocas sedimentarias de color rojo violáceo (Carlotto et al., 1996) respectivamente. Geomecánicamente complejo y diverso en su comportamiento ante esfuerzos y condiciones geológicas, masa rocosa de condición regular. Al SE, cerca al abra, se observan dos familias de fracturamiento principales e intemperizadas.

Depósitos fluvio-glaciares (Q-flgl)

Comprenden aquellos materiales glaciares, como morrenas, que han sufrido movilización producto de la acción fluvial y/o la gravedad. Compuestos por material gravoso subredondeado, heterométrico, en matriz areno-arcillosa, de espesor y permeabilidad variable, medianamente compactos. (Vílchez, et al., 2020). Los depósitos

descritos tienen estructura estratificada o granulada. La textura es heterogénea. La consistencia es firme debido a su matriz compactada pero permeable.

Depósitos aluviales (Q-al)

Se observan depósitos aluviales en la terraza donde se asienta el pueblo de Pisac y las terrazas colindantes al río Vilcanota, litológicamente conformada por bloques de rocas volcánicas inmersas en matriz areno-arcillosa. Las zonas de terrazas bajas son vulnerables ante inundaciones, flujos de lodo y erosión. Los depósitos aluviales descritos en la llanura de la localidad de Pisac, tienen consistencia firme y textura heterogénea, están formados por bloques y gravas dispersos en matriz limo arcillosa en estructura estratificada.

Depósitos coluviales (Q-cl)

Depositados en la parte baja de las laderas de los cerros y los poblados de Cuyo Chico y Ampay, sobre rocas de la Fm. Ananea, encontramos depósitos coluviales compuestos por material inconsolidado de bloques y gravas de rocas tipo pizarras, areniscas y volcánicas englobados en una matriz limo-arcillosa, sueltas a medianamente compactas. Geomecánicamente tienen características malas por lo que son susceptibles a deslizamientos, reptación de suelos y asentamientos al encontrarse saturados por agua.

1.1.3.2 Contexto neotectónico

Falla CuyoChico (Benavente et al., 2013)

Se trata de una falla dextral con componente normal que afecta depósitos coluviales y fluvio-glaciares de edad pleistocena.

Tiene un escarpe de 8 metros, dirección preferencial es de N 165° E y buzamiento hacia el oeste. A lo largo de la traza de falla, 8 kilómetros, se pudieron observar deslizamientos y caídas de rocas que estarían asociados a la actividad de esta estructura.

En la prolongación este de la estructura se observan pequeños escarpes generando saltos de 1.5 metros y afectando depósitos fluvio-glaciares, esta geometría está relacionada a un estilo de deformación de tipo cola de caballo o echelón.

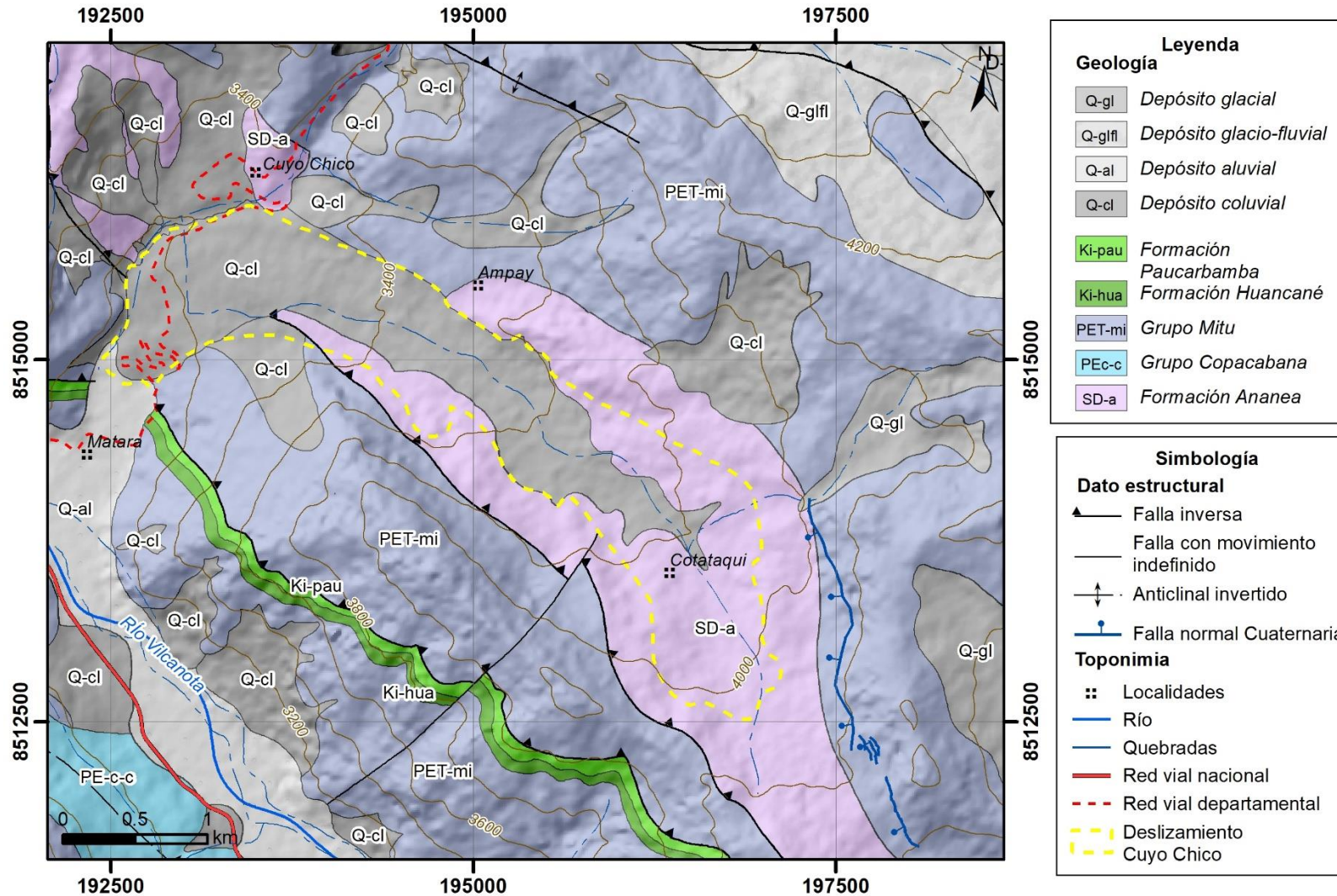


Figura 2. Mapa geológico de Pisac y alrededores, a escala 1/50,000. (Modificado de la hoja 27s3, INGEMMET – Geocatmin, 2022).

1.1.3.3 Aspectos geomorfológicos.

Para la descripción de las unidades geomorfológicas del área de estudio (figura 3) se tomó como base el “Boletín de Peligros Geológicos de la región Cusco” (Vílchez, 2020)

Geoformas de carácter tectónico-degradacional y denudacional-erosional

Es el efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes.

Relieve de montaña en rocas volcano-sedimentaria (RM-rvs)

Cubren gran parte de la zona de estudio y se consideran afloramientos de asociaciones de rocas volcánico-sedimentarias, piroclásticas, lavas andesíticas, basálticas y riolíticas, intercaladas con areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados (Grupo Mitu), incluyendo rocas de la Formación Ananea conformadas por pizarras y esquistos pizarrosos. Presenta huellas de los efectos de procesos fluvio-erosionales, glaciares y glacio-fluviales. Estas montañas presentan laderas que alcanzan pendientes moderadas a muy fuertes.

Geodinámicamente está asociada a la ocurrencia procesos de erosión de laderas, flujos de detritos, mega deslizamientos, movimientos complejos, derrumbes y caída de rocas.

Relieve de montaña en rocas sedimentarias (RM-rs)

Pertencen a las elevaciones del terreno que forman parte de la cordillera, cuyo levantamiento ha sido producto de la actividad tectónica mientras que su morfología actual corresponde a procesos exógenos degradacionales determinados por la lluvia-escorrentía, glaciares y agua del subsuelo, con fuerte incidencia de la gravedad. En el área de estudio corresponde a montañas modeladas en afloramientos de rocas sedimentarias, como: calizas, lutitas carbonosas, limoarcillitas y areniscas cuarzosas del Pérmico (Grupo Copacabana), areniscas, lutitas y limoarcillitas del Devónico (Grupo Cabanillas), conglomerados, areniscas, margas, limoarcillitas y lutitas del Cretácico (Fm. Huancané y Paucarbamba).

Geoformas de carácter depositacional y agradacional

Son el resultado del conjunto de procesos geomorfológicos, constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento y también por agentes móviles, como el agua de escorrentía, glaciares, corrientes marinas, mareas y vientos. Estos tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados.

Vertiente glacial (V-gl)

Formada por acumulación gravitacional de detritos al pie de las paredes de un valle glaciar o en laderas montañosas afectadas por retroceso glaciar. Estos son producidos por meteorización mecánica del substrato rocoso que conforman las paredes del valle.

Vertiente glacio-fluvial (V-glfl)

Conformada por la acumulación de materiales de origen glaciar, los cuales han sido transportados y redepositados por escorrentías formadas por el deshielo del glaciar o precipitaciones pluviales que se concentran, forman cursos de agua y transportan materiales sueltos.

Estos depósitos pueden encontrarse al pie de laderas, acantilados o en altiplanicies formando conos de diversos tamaños o mantos de material no consolidado, que cubren el substrato rocoso.

Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)

Correspondiente a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa, antiguos y/o recientes, que pueden ser deslizamientos, avalancha de rocas y/o movimientos complejos.

En su mayoría su composición litológica es homogénea; con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados; son depósitos de corto o mediano recorrido relacionados a las laderas superiores de los valles. Su morfología es usualmente convexa y su disposición semicircular a elongada con relación a la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd)

Esta unidad está formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial. Se encuentran interestratificados y no es posible separarlos como unidades individuales. Están acumulados al pie de laderas de montañas o acantilados de valles.

Vertiente o piedemonte aluvial (V-al)

Conforma planicies inclinadas a ligeramente inclinadas y extendidas, posicionadas al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Están formadas por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales, que pueden formar abanicos debido al movimiento lateral-cíclico del curso de los ríos o quebradas que los originan.

Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at)

Conforma planicies inclinadas a ligeramente inclinadas y extendidas, ubicadas al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Están formadas por la acumulación de sedimentos que son acarreados por corrientes de agua de carácter excepcional y están relacionadas a lluvias ocasionales, extraordinarias y muy excepcionales que se presentan en la región. Pueden estar asociadas al fenómeno de El Niño. La pendiente de estos depósitos es suave a moderada (1-15°).

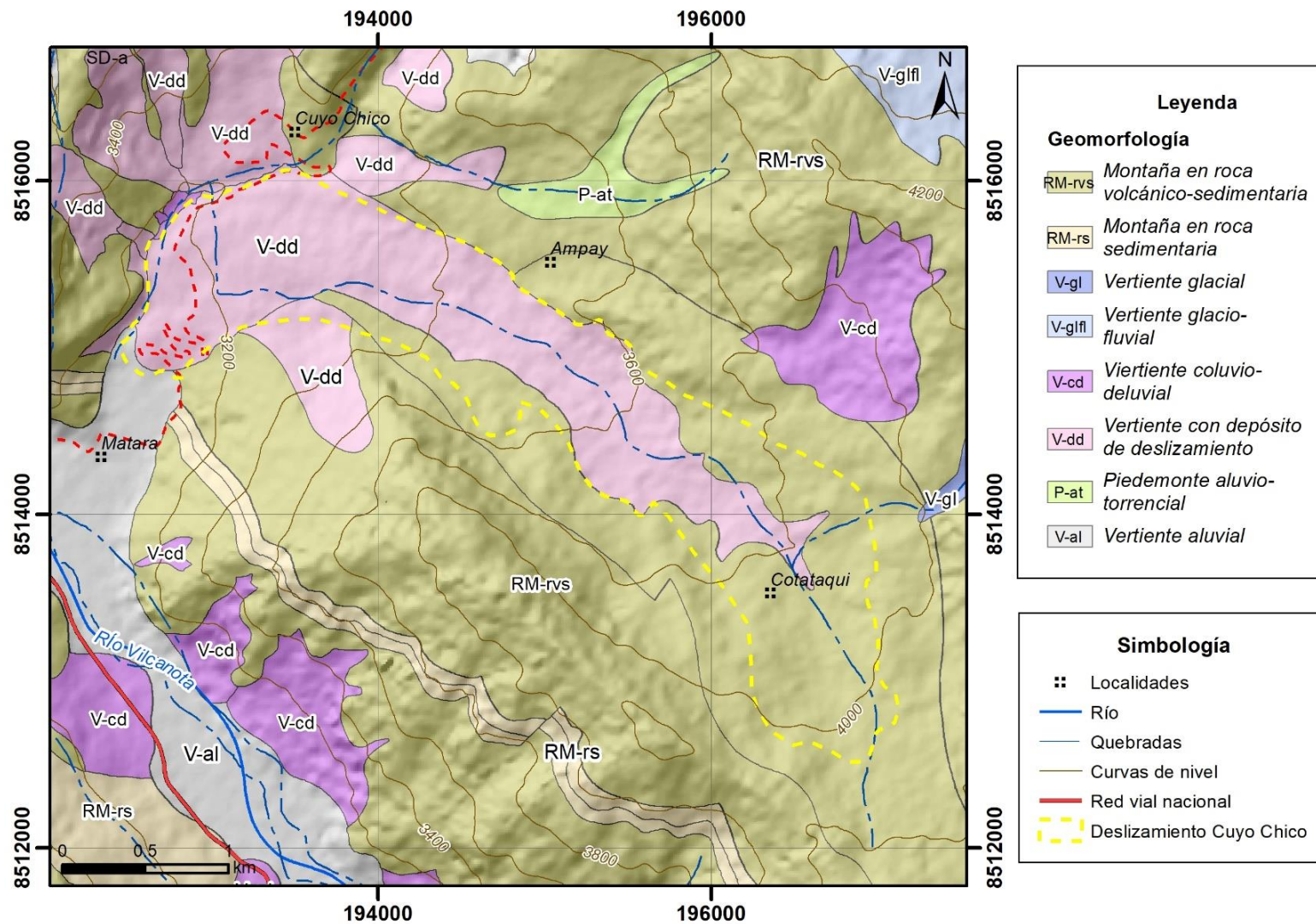


Figura 3. Mapa geomorfológico de Pisac y alrededores, a escala 1/50,000 (Adaptado de Vilchez et al., 2020).

1.1.4 PELIGROS GEOLÓGICOS

Según la información disponible en GEOCATMIN, en el área de estudio se identificaron movimientos en masa como caídas, deslizamientos y otros peligros geológicos como erosión de laderas, inundación y erosión fluvial. Estos peligros son condicionados por factores como la pendiente, litología, hidrogeología, geomorfología, entre otros, y desencadenados por factores como lluvias o sismos. En el informe técnico A7062 (INGEMMET 2020), se observan cartografiados los deslizamientos, caídas y procesos de erosión ubicados en las laderas del centro arqueológico de Pisac que ocurren en inmediaciones y frente al deslizamiento de Cuyo Chico (figura 4).

1.1.4.1 Deslizamiento de Cuyo Chico

La geodinámica del deslizamiento de Cuyo Chico ha sido estudiada por Guzmán & Rivera (2003), Carreño (2006), Vílchez et al. (2008-inedito), entre otros. Los desplazamientos en zonas más activas, se describen en Taípe et al. (2012) y Taipei (2017).

Guzmán & Rivera (2003), mencionan dos zonas con deslizamientos activos en el área de Cuyo Chico. El primer deslizamiento fue descrito en una ladera localizada al sureste del pueblo, con escarpa poco distinguible debido a la actividad agrícola, de aproximadamente 180 metros de ancho. Se documentaron asentamientos de la carretera y daños en el terraplen, asimismo, comprometía 4 viviendas ubicadas en el talud superior de la vía. Un segundo deslizamiento fue identificado en la parte baja del poblado de Cuyo Chico, margen izquierda del río Huayccomayo. Al momento la evaluación el evento comprometía 6 viviendas y 40 metros de vía agrietada. Finalmente, este estudio también menciona los asentamientos ocurridos en la parte central del pueblo, en el talud superior de la carretera. A consecuencia de los permanentes agrietamientos, varias viviendas fueron reconstruidas durante esos años. Los asentamientos también afectaron al centro educativo secundario Tahuantinsuyo y primario N°50178, este último fue desocupado el año 2022 ante posible colapso. Adicionalmente identificaron un ojo de agua a las espaldas del colegio.

Carreño (2006) menciona que los megadeslizamientos existentes en Pisac corresponden a una muy rara categoría donde no existe plano de ruptura, siendo el plano de cabalgamiento el que actúa como superficie de transporte o deslizamiento. Su génesis estaría relacionada a la tectorogénesis andina en sus fases compresivas que dieron lugar a los grandes sobrecabalgamientos que caracterizan el sector oriental de la cordillera andina. Parte de las napas de cabalgamiento dejaron escamas en depresiones someras, las que, una vez aisladas, se transformaron en deslizamientos.

Posteriormente Vílchez et al. (2008-inedito) caracterizan al movimiento en masa de Cuyo Chico-Ampay como mega evento de deslizamiento-flujo de tierra, catalogado como un proceso inactivo-maduro, reactivado. Describen material movilizado por una longitud de más 4,5 km, extendido de forma alarga y algo lobulada en el extremo distal, de composición arcillo-limo-gravoso, color crema a grisáceo, con presencia de trenes de bloques de cuarcita en la parte superior del depósito, que alcanzan dimensiones de más de 2 m. Se interpreta un movimiento muy lento y progresivo que desvió el curso de la quebrada, a falta de evidencias de depósitos de represamiento generados por embalses más rápidos. Los materiales comprometidos corresponden a las secuencias de cuarcitas, areniscas, limolitas, pizarras y lutitas fracturadas al encontrarse en zona de falla. Por evidencias de campo, asocian la ocurrencia del mega evento a la interestratificación de lutitas pizarrosas, esquistos muy fracturados y foliados, cuarcitas y areniscas fracturadas en bloques de más de 2 m, donde las lutitas y esquistos constituyeron la zona de debilidad que conformo el plano del deslizamiento, ayudado

con la presencia de abundante agua, favoreciendo la movilización de la masa saturada ladera abajo con los bloques de mayor dimensión constituidos por cuarcitas transportados en la parte superior.

Vílchez et al. (2008-inedito) también menciona que el mega deslizamiento presenta diversas reactivaciones de tipo caídas y deslizamientos, en la margen izquierda de la quebrada Chongo, en la parte del pie del movimiento compuesto, evidenciando alta susceptibilidad. Los derrumbes estarían relacionados a erosión fluvial. Los depósitos de estas reactivaciones están conformados por limos, arcillas, gravas y bloques. De forma más local, se mencionan los movimientos en masa que afectan la carretera de acceso a Pisac en un tramo de 850 m, comprometiendo también terrenos de cultivo y viviendas asentadas en la zona. Se describe un deslizamiento rotacional activo entre la progresiva 4+100 al 4+170 cuya escarpa arranca de la plataforma de la carretera produciendo pérdida de la plataforma asfaltada. También se hace mención del segundo deslizamiento identificado por Guzmán, caracterizándolo como reptación de suelos intensa, donde el terreno se presenta muy irregular y removido, produciéndose asentamientos, desplazamientos horizontales, pérdida de asfalto, ondulamientos, desniveles, terracetas y grietas entre las progresivas 4+170 al 4+450, en un área de 0.15 km². El movimiento estaría condicionado por el suelo limo-arcilloso gravoso, pendiente y presencia de agua subterránea, además del inadecuado uso del agua para fines agrícolas. El trabajo hace hincapié en la no construcción de infraestructura, puesto que el sector es muy susceptible a que se produzca un deslizamiento.

El trabajo de Taipe et al. (2012) reporta deformación por medio del monitoreo de datos geodésicos obtenidos entre el 2009 y 2011, clasificando al deslizamiento como de desplazamiento lento (Cruden y Varnes, 1996). Los datos de deformación publicados por Taipe et al. (2017) clasificarían al deslizamiento como muy lento (PMA 2007).

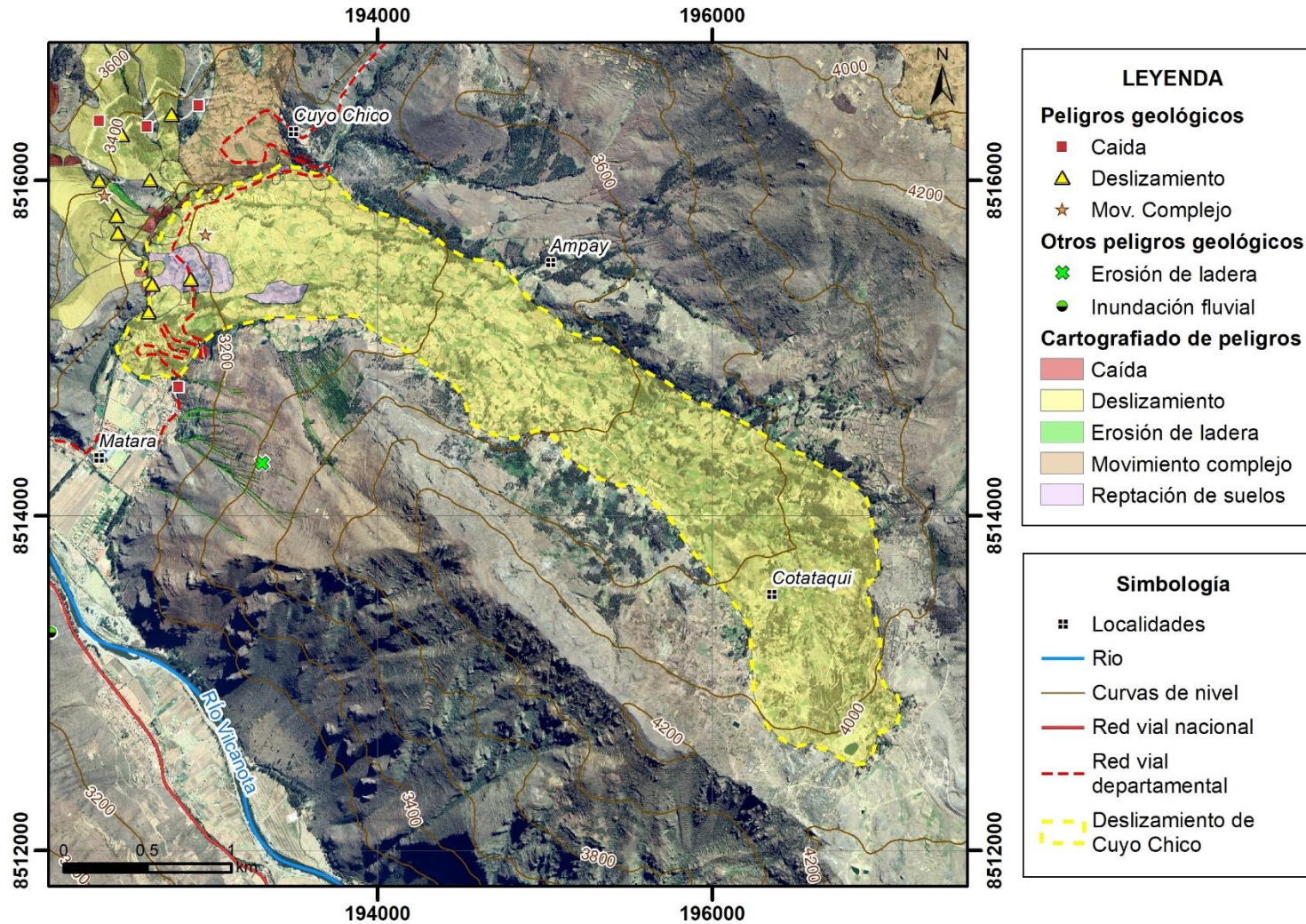


Figura 4. Inventario de movimientos en masa (GEOCATMIN, capa “Peligros Geológicos”) y cartografiado de peligros (tomado y actualizado de INGEMMET 2020) en el área de estudio e inmediaciones. El area amarilla entrecortada delimita de forma estimada el megadeslizamiento de Cuyo Chico, acorde a la escala 1/50,000.

1.1.6 CLIMA Y PRECIPITACIONES

De acuerdo con el mapa climático del SENAMHI, se presenta un clima de tipo semiseco, templado y con otoño e invierno seco. Presenta durante el año, en promedio temperaturas máximas de 23°C a 27°C y temperaturas mínimas de 5°C a 11°C. Asimismo los acumulados anuales de lluvias alcanzan valores desde los 500 mm hasta los 900 mm. Esta clasificación climática es sustentada con información meteorológica recolectada de aproximadamente 20 años, 1965 a 1984, a partir los índices climáticos (índice de precipitación efectiva, concentración estacional de humedad y eficiencia térmica) de acuerdo con la clasificación climática por el método de Thornthwaite. (SENAMHI, 2021).

Los datos de precipitación de los últimos periodos (2019 – 2022), presentados en la tabla 2, se obtuvieron de la estación meteorológica convencional Pisac (SENAMHI). Anualmente, las precipitaciones pluviales en la zona de estudio se presentan con una mayor tasa durante el primer y último trimestre (tabla 2 y figura 5).

Tabla 2. Precipitaciones mensuales y anuales de la estación de Pisac (2019-2023). Información no disponible: S/D. Fuente: SENAMHI.

	Estación Pisac			
	Precipitación (mm/mes)			
	2019	2020	2021	2022
Enero	-	132.1	90	102.9
Febrero	-	107.7	92.3	43.4
Marzo	-	87.7	29.4	73.4
Abril	-	S/D	24.3	1.3
Mayo	-	S/D	6.8	1.1
Junio	-	0.4	2.7	0.2
Julio	-	0.9	0	0
Agosto	-	0	2.3	10.5
Setiembre	4.8	0.1	2.3	13.2
Octubre	53.1	16.3	29.5	-
Noviembre	95.8	19.8	87.8	-
Diciembre	93.9	79.8	66.3	-
Total (mm/año)		444.8	433.7	

La precipitación varió durante el primer trimestre de cada año. En 2020 fue la más alta (~327 mm), seguida por 2022 (~219 mm) y luego 2021 (~211 mm). Sin embargo, en el último trimestre, la lluvia disminuyó, siendo más baja en 2020 (~115 mm), seguida por 2021 (~183 mm), y la más alta fue en el último trimestre de 2019 (~242 mm) (tabla 2).

En la figura 5 se destaca el pico de la primera temporada lluviosa (2019-2020), sobre las temporadas lluviosas 2020-2021 y 2021-2022, mostrando además una disminución hacia el último trimestre del 2022.

La figura 6 muestra la precipitación acumulada durante los periodos lluviosos 2019-2020, 2020-2021 y 2021-2022, tomando en cuenta el rango de octubre a abril. Se observa que, en el periodo de octubre de 2020 a marzo de 2021, la precipitación acumulada fue menor, alcanzando aproximadamente 350 mm. En contraste, el periodo de octubre de 2021 a marzo de 2022 registró una mayor precipitación acumulada, alrededor de 400 mm. Ambos periodos fueron superados por la mayor precipitación

acumulada durante el periodo 2019-2020, que alcanzó cerca de 570 mm. Estas diferencias representan aproximadamente 220 mm y 170 mm respectivamente, aunque se aprecia una tendencia de acumulación similar.

PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

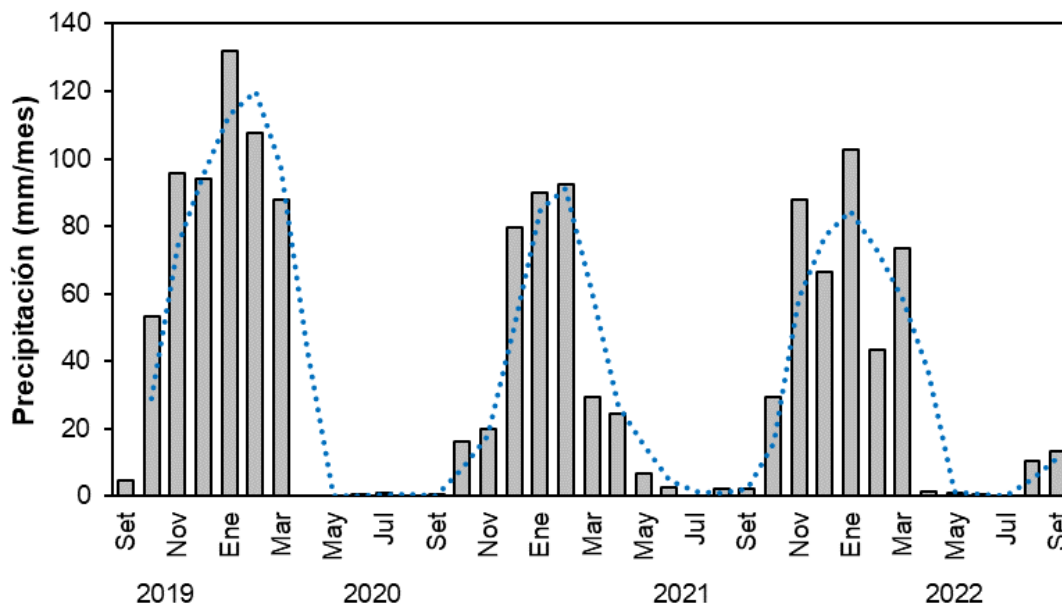


Figura 5. Precipitación mensual registrada por la estación Pisac (2019-2022).

Precipitación acumulada (mm)

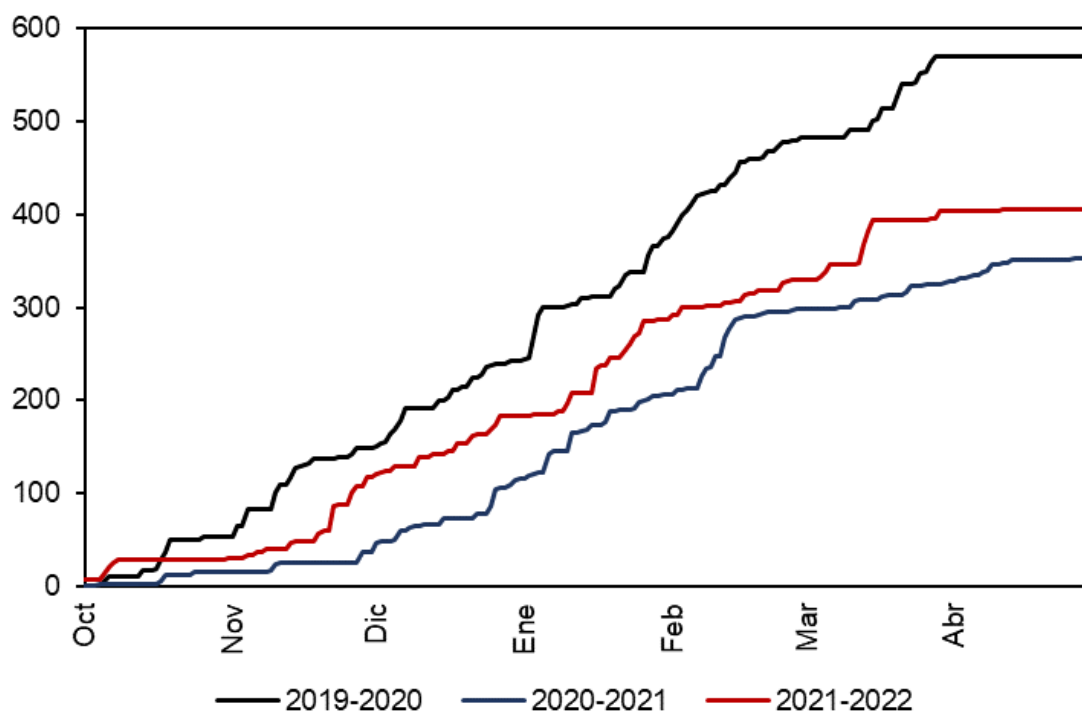


Figura 6. Precipitación acumulada registrada en la estación Pisac, entre octubre y abril para los periodos 2019-2020, 2020-2021 y 2021-2022.

1.1.6.1 Precipitación histórica y peligros geológicos

Las precipitaciones anuales obtenidas de la estación meteorológica convencional de Pisac no han sido constantes en el periodo 2000 – 2022 (figura 7). La serie de datos comprende 22 años, con un hiato del registro entre 2014 y 2016. Los valores oscilan entre un mínimo de 346,6 mm en 2022 y un máximo de 902,4 mm en 2010. La precipitación promedio para el periodo analizado es de 594,1 mm/año. Se calcula una diferencia de 550 mm entre mínimo y máximo.

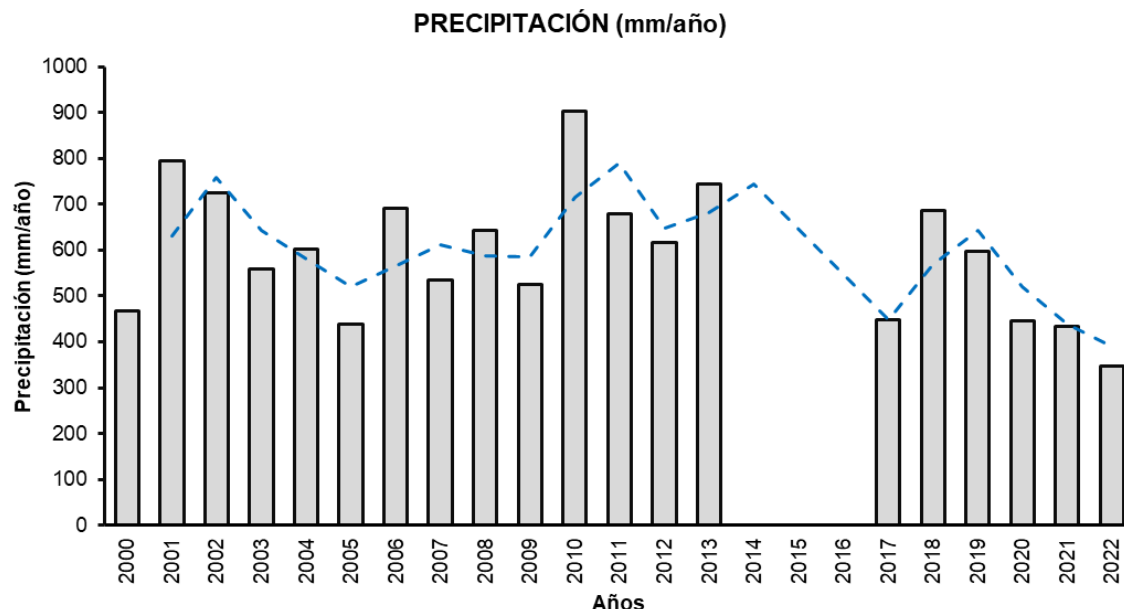


Figura 7. Precipitación anual registrada por la estación Pisac (2000-2022). Fuente: SENAMHI.

El año 2010 en la región de Cusco, entre los meses de enero y febrero, ocurrieron lluvias extraordinarias, con un total acumulado de 267 lt/m² para el mes de enero, que representa casi el doble de 142 lt/m², que es el promedio histórico en los registros meteorológicos. Estas lluvias desencadenaron deslizamientos, huaycos, inundaciones, erosión fluvial del cauce y márgenes, erosión superficial y reptación de suelos, que afectaron las laderas y quebradas del Valle del Cusco (Cárdenas et al., 2013).

Las precipitaciones del 2010 pueden observarse en el registro de la estación meteorológica de Pisac (figura 7), con un máximo de 902,4 mm/año para ese año.

2 MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE CUYO CHICO

El seguimiento de la evolución del deslizamiento de Cuyo Chico se llevó a cabo aplicando monitoreo geodésico (GNSS diferencial) temporal. Los resultados del monitoreo permitieron describir e interpretar el comportamiento del deslizamiento de Cuyo Chico durante el periodo comprendido entre junio de 2021 y setiembre de 2022.

2.1 Geodesia

2.1.1 MONITOREO PERIODOS 2009-2011, 2014-2016

Inicialmente el monitoreo del deslizamiento de Cuyo Chico fue parte de la red geodésica del INGGEMMET en la región Cusco, implementada para el monitoreo de los sistemas de fallas geológicas activas empleando GPS. La zona contaba con 4 estaciones: CUYO (cuerpo del deslizamiento) y HUYK, COTA y PANT (monitoreo regional, referencia). Posteriormente, se implementaron otros 6 puntos de control a lo largo del deslizamiento para el registro con GPS Diferencial (DGPS) de doble frecuencia (figura 8). Este método implicó la instalación de una estación base de referencia (PANT) que registraba datos simultáneamente con las 6 estaciones móviles. Los resultados más resaltantes de esta etapa se obtuvieron de los datos de la estación CUYO, tomados durante 4 campañas (3 periodos de desplazamiento), en un intervalo de 21 meses, entre noviembre del 2009 y agosto del 2011 (tabla 3). El desplazamiento horizontal total fue de 3.239 m. con una orientación oestesuroeste y el hundimiento total fue de 0.592m. Se determino una velocidad de 1.8 m/año.

Según lo descrito por Taipei (2017), los datos obtenidos durante las campañas de monitoreo llevadas a cabo entre 2014 y 2016 mostraron que el deslizamiento presentó un desplazamiento con velocidad de 0.5 m/año durante ese periodo.

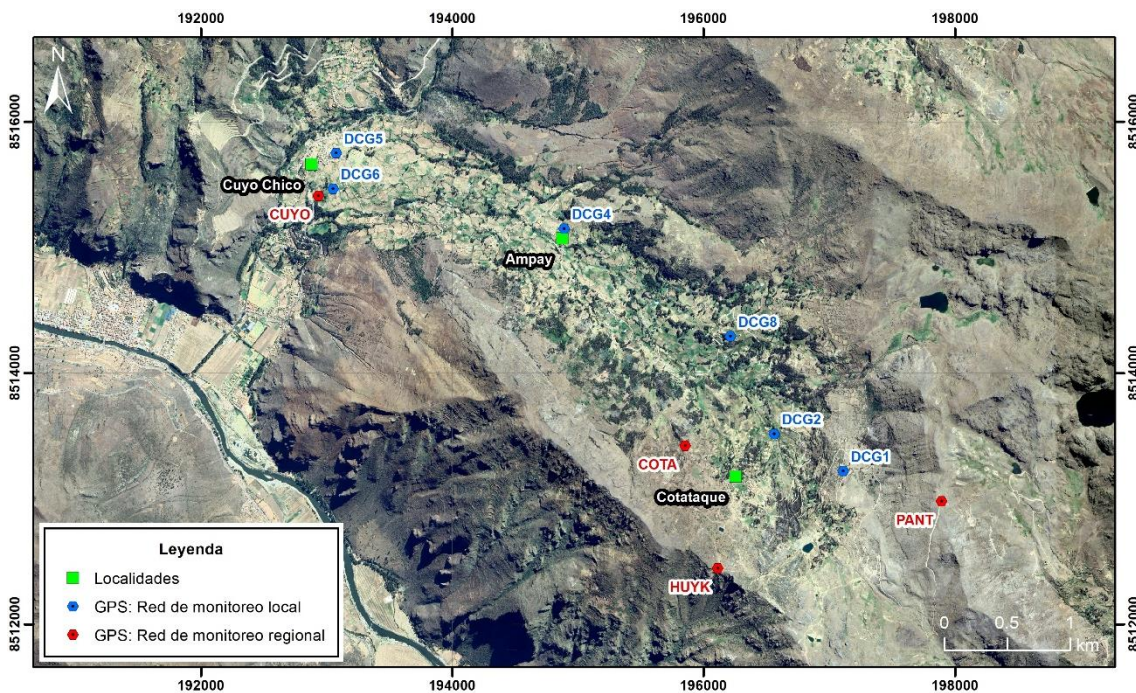


Figura 8. Red de monitoreo Cuyo Chico 2009 -2011. Tomado y modificado de Taipei et al. (2012).

Tabla 3. Desplazamientos de la red de monitoreo Cuyo Chico 2009 -2011. DH = Desplazamiento Horizontal, DV = Desplazamiento vertical.

ESTACIÓN	11/11/2009 al 23/06/2010 (~7 meses)		23/06/2010 al 2010-10-04 (~4 meses)		2010-10-04 al 2011-08-09 (~10 meses)	
	DH	DV	DH	DV	DH	DV
	$\Delta E-N(m)$	$\Delta Z(m)$	$\Delta E-N(m)$	$\Delta Z(m)$	$\Delta E-N(m)$	$\Delta Z(m)$
CUYO	1.499	-0.313	0.347	-0.049	1.393	-0.230

2.1.1 MONITOREO ACTUAL, PERIODO 2021-2022

El deslizamiento de Cuyo Chico cuenta con una red de 8 puntos de control (hitos de monitoreo) distribuidos en el área de estudio. Uno de los puntos de control (figura 9) se instaló en el 2009 (Taipe et al., 2012) y los siete puntos de control restantes se instalaron en junio del 2021. Posteriormente, en mayo del 2022 se instalaron 5 puntos de control adicionales, localizados en las proximidades de las comunidades de Ampay y Ccotataqui (figura 10).

La medición de estos puntos se realizó con receptores GNSS diferenciales de doble frecuencia (Trimble R6 y R-12) aplicando la técnica de posicionamiento RTK (cinemático en tiempo real), durante cuatro campañas de monitoreo entre el 4 de junio del 2021 y el 19 de septiembre del 2022 (~1.3 años).

Las coordenadas medidas de cada punto de control no requirieron de postproceso y presentaron precisiones centimétricas. Cabe mencionar que la posición del centro de los puntos de control terrestre (marcas de pintura y lonas cuadradas impresas) para vuelos con dron también se midieron con receptores GNSS en modo cinemático en tiempo real. A partir del procesamiento fotogramétrico se obtuvieron productos de alta resolución, como el ortomosaico que se muestra en la figura 10.



Figura 9. Hito de monitoreo o punto de control “CUYO” (actualmente denominado como CY06, ver figura 8) instalado en el 2009.

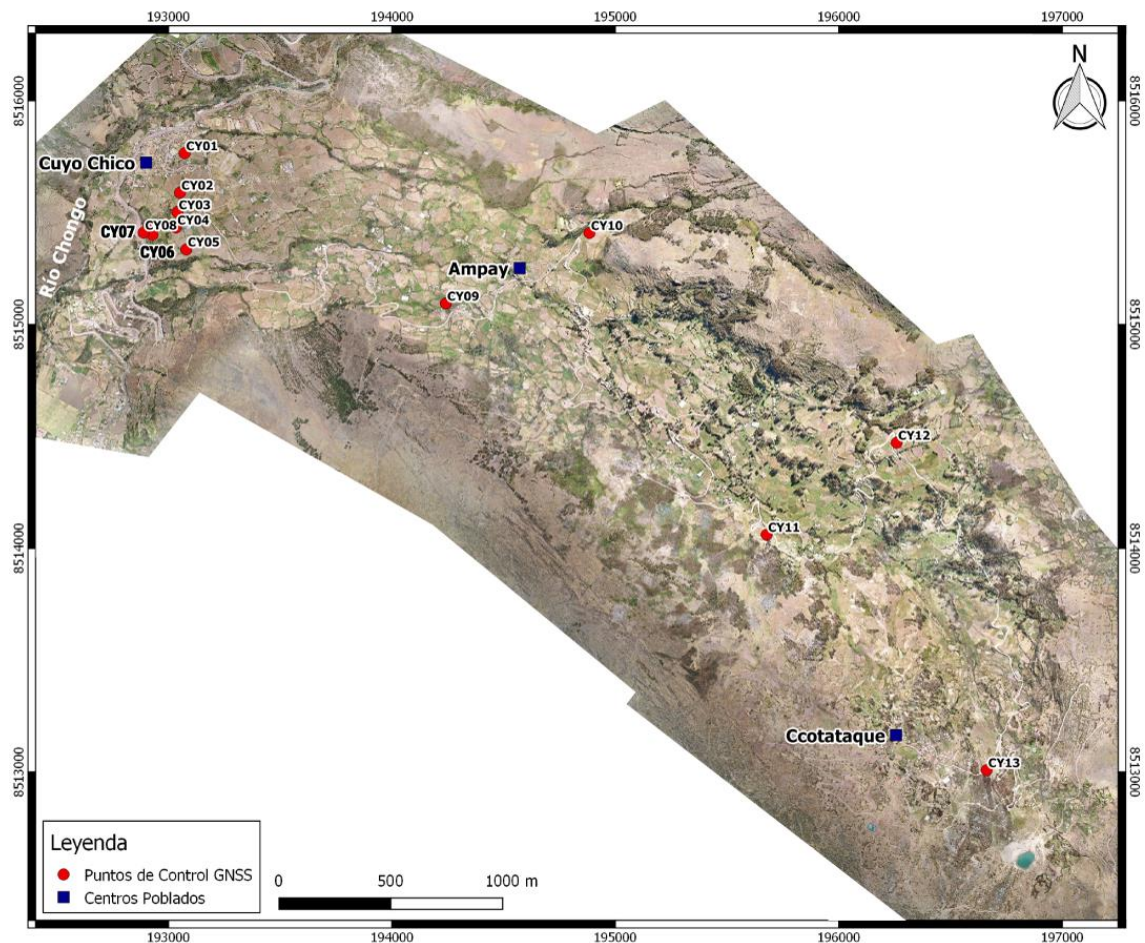


Figura 10. Red de monitoreo geodésico del deslizamiento de Cuyo Chico. Los puntos de control GNSS se encuentran sobre el ortomosaico de septiembre de 2022.

2.1.1.1 Cuantificación de desplazamientos y cinemática

Los desplazamientos horizontales (E, N) y verticales (Z) que se muestran en la tabla 3, se cuantificaron a partir de la diferencia entre las coordenadas de las 4 campañas de medición realizadas.

La tabla 4 se presentan los desplazamientos totales, que incluyen los datos de la primera (junio del 2021) y la última campaña de medición (septiembre de 2022); así mismo, se realizó un mapa de vectores de desplazamiento horizontal y vertical (figura 11) para representar de manera gráfica, las magnitudes y las direcciones de los desplazamientos individuales de la red Cuyo Chico. Cabe mencionar que los puntos con asterisco no tienen datos anteriores porque fueron instalados recién en la campaña de mayo del 2022.

Tabla 4. Desplazamientos y velocidades de la red de puntos de control GNSS del deslizamiento de Cuyo Chico. DH = Desplazamiento Horizontal, DV = Desplazamiento vertical.

PUNTOS DE CONTROL GNSS	4/06/2021 al 2/12/2021 (~6 meses)		2/12/2021 al 11/05/2022 (~5.3 meses)		11/05/2022 al 16/09/2022 (~4.3 meses)	
	DH DV		DH DV		DH DV	
	$\Delta E-N(m)$	$\Delta Z(m)$	$\Delta E-N(m)$	$\Delta Z(m)$	$\Delta E-N(m)$	$\Delta Z(m)$
CY01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.02
CY02	0.01	0.01	0.03	-0.01	0.02	0.01

CY03	0.01	0.01	0.01	-0.01	0.02	0.02
CY04	0.09	-0.03	0.12	-0.07	0.05	-0.01
CY05	0.01	0.02	0.01	-0.02	0.01	0.03
CY06	0.11	-0.01	0.12	-0.04	0.04	-0.02
CY07	0.07	0.01	0.06	-0.05	0.05	0.03
CY08	0.05	0.05	0.06	0.00	0.02	0.03
CY09*	-	-	-	-	0.02	0.00
CY10*	-	-	-	-	0.03	-0.05
CY11*	-	-	-	-	0.02	0.00
CY12*	-	-	-	-	0.03	0.00
CY13*	-	-	-	-	0.02	-0.01
Máximo	0.11	-0.03	0.12	-0.07	0.05	-0.05

En el mapa de vectores de la figura 11 se observa que el desplazamiento horizontal se da hacia el suroeste en dirección al río Chongo en los puntos de control CY04, CY06, CY07 y CY08, con un desplazamiento máximo de 0.27 m (tabla 5). Por otro lado, el desplazamiento vertical muestra valores de hundimiento en los puntos de control CY04, CY06 y CY07 y de levantamiento en el punto de control CY08, con valores de hundimiento y levantamiento acumulados máximos de -0.11 m y 0.07 m respectivamente.

Tabla 5. Desplazamiento acumulado de la red de puntos de control GNSS del deslizamiento de Cuyo Chico, entre junio de 2021 y septiembre de 2022. DH = Desplazamiento horizontal. DV = Desplazamiento Vertical.

Puntos de Control	4/06/2021 AL 16/09/2022 (~1.3 años)	
	DH	DV
	$\Delta E-N$ (m)	ΔV (m)
CY01	0.04	0.03
CY02	0.02	0.00
CY03	0.02	0.01
CY04	0.27	-0.11
CY05	0.01	0.03
CY06	0.26	-0.07
CY07	0.18	-0.02
CY08	0.13	0.07
Máximo	0.27	-0.11

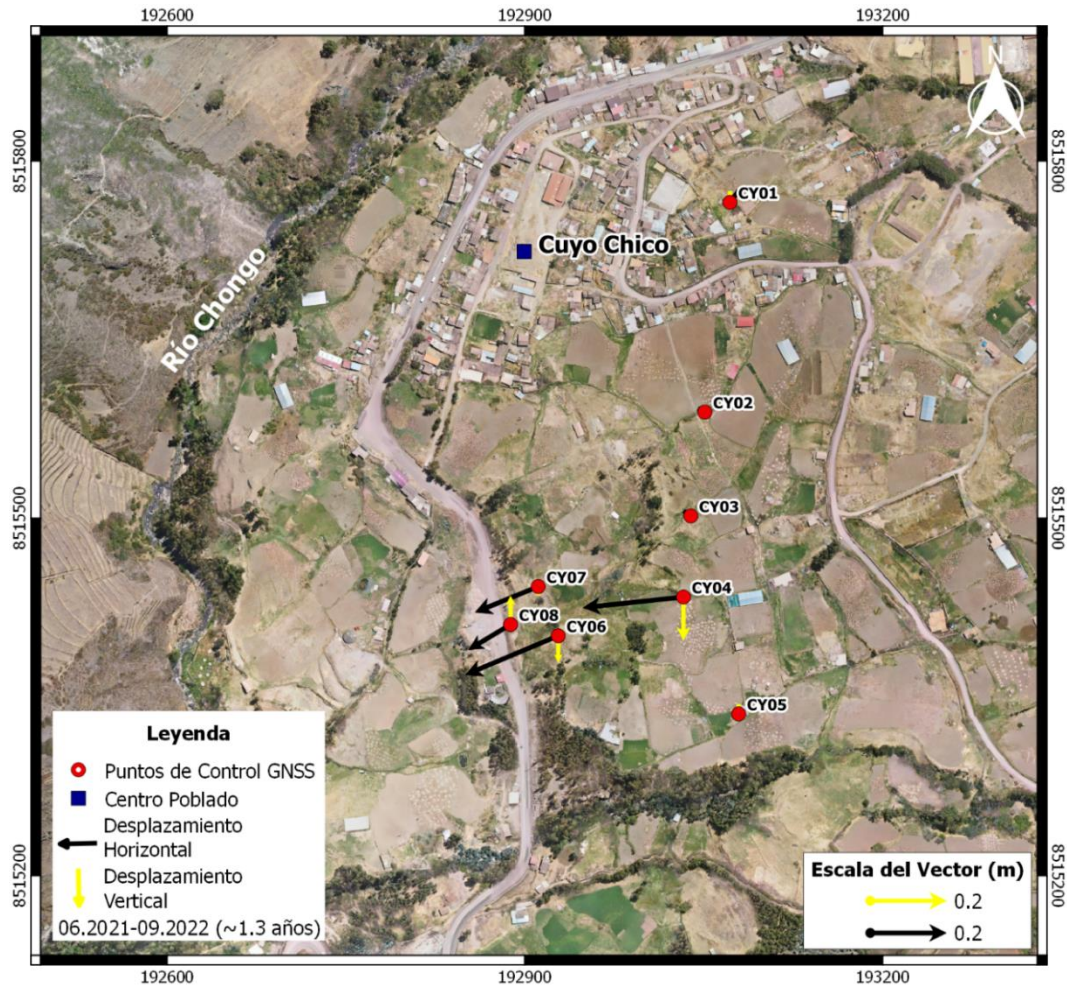


Figura 11. Mapa de vectores de desplazamiento horizontal (flechas negras) y vertical (flechas amarillas) de los puntos de control GNSS, para el periodo 11.2021-11.2022. La magnitud de los desplazamientos se puede apreciar en la tabla 4.

Cabe mencionar que, durante el periodo de época seca de mayo a septiembre de 2022, se observaron movimientos poco significativos en los puntos de control recién instalados cerca de los centros poblados de Ampay y Ccotataqui (CY09, CY10, CY11, CY12 y CY13). Sin embargo, se registró un hundimiento de -0.05 m en el punto CY10 (tabla 4).

2.1.2.2 Series temporales

Con los datos de desplazamiento acumulado de cuatro campañas de medición (periodo junio 2021 - septiembre 2022) se graficaron las series temporales de la figura 12. La serie temporal de cada punto de control está representada por una línea de diferente color.

Las series temporales muestran mayor actividad para los puntos de control CY04, CY06, CY07 y CY08. Se observa que el punto de control más activo, CY04, presenta un movimiento horizontal hacia el suroeste de forma similar a los puntos CY06, CY07 y CY08. En lo que respecta al movimiento vertical en el punto CY04, se presentaron hundimientos en los 3 periodos registrados, llegando hasta -0.27 cm. Los demás puntos que también presentaron hundimientos a excepción del CY08, que registró un levantamiento de hasta 0.05 cm en el primer periodo analizado.

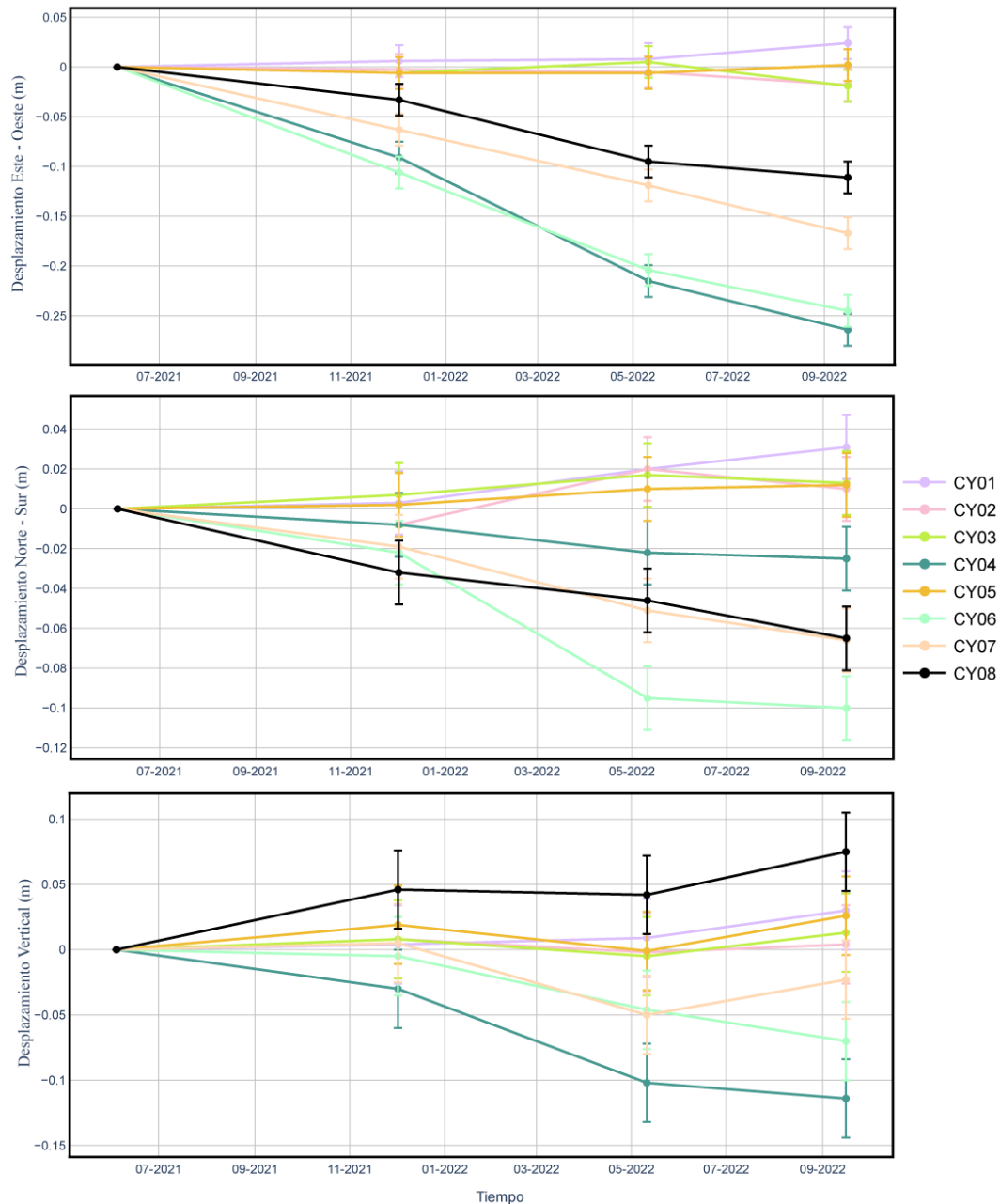


Figura 12. Series temporales de desplazamiento acumulado de las componentes este-oeste, norte-sur y vertical de los puntos de control instalados en el sector de Cuyo Chico.

2.2 Interpretaciones

2.2.1 DESPLAZAMIENTOS EN LA MASA DESLIZADA

El estudio de peligros geológicos realizado por Guzmán et al., (2003) y los trabajos de monitoreo posteriores (Taípe et al., 2012 y Taípe, 2017), reportan la permanente actividad del deslizamiento, principalmente en un sector al sur del centro poblado de Cuyo Chico donde actualmente se encuentran afectados terrenos de cultivo, la carretera de acceso al Complejo Arqueológico Pisac-Paucartambo y las viviendas situadas en las proximidades. Los datos procesados para el presente informe corroboran que dicha actividad continua hasta la actualidad.

Comparando las precipitaciones históricas y los registros de monitoreo de periodos anteriores, es posible correlacionar los mayores desplazamientos registrados con las precipitaciones extraordinarias ocurridas el 2010. Los datos de desplazamiento posteriores al 2011 muestran registros de movimiento similares a los obtenidos en la actualidad. Los datos multianuales estarían mostrando un proceso de deformación permanente, con picos de movimiento durante temporadas lluviosas extraordinarias, sin embargo, no se cuentan con datos geodésicos anteriores al 2009 para corroborar este comportamiento de la deformación a largo plazo, es por ello que, en función a los datos disponibles, también se podría interpretar desaceleración posterior a los periodos lluviosos del 2010 y 2011. Cabe mencionar, además, que en base a testimonios de pobladores locales y los datos recogidos por el trabajo de Guzmán, se conoce de desplazamientos en la zona anteriores al 2002, los cuales no se cuantificaron y pudieron ser mayores a los registrados instrumentalmente.

Por último, también en base a las precipitaciones históricas, podría interpretarse como detonante para la aceleración del movimiento en la zona, a picos de precipitación cercanos o superiores a 800 mm/año (registradas el 2001 y 2010), dado que su ocurrencia en el pasado coincide temporalmente con mayores desplazamientos como el evento de colapso del colegio primario descrito por Guzmán y los datos de deformación registrados instrumentalmente para el 2010, durante el pico de precipitación de los últimos 20 años.

En relación a los datos de monitoreo procesados para el periodo de monitoreo del presente informe, se observan mayores desplazamientos durante la época lluviosa 2021-2022. Este dato sería coherente asumiendo momentos de aceleración de la masa detonada por precipitaciones.

Debe mencionarse que las interpretaciones expuestas consideran como inherentes los factores detonantes antrópicos relacionados al exceso de riego y demás actividades antrópicas en la zona, además de las condiciones geomorfológicas, geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas, que por influyen directamente como factores de susceptibilidad naturales, que son potenciados con precipitaciones temporales y extraordinarias. También debe mencionarse a los sismos como factor detonante, considerando el contexto de tectónica activa.

3. CONCLUSIONES

1. Los datos de monitoreo geodésico temporal, obtenidos entre junio de 2021 y septiembre de 2022, muestran que el deslizamiento de Cuyo Chico - Sector carretera SO del centro poblado, presentó desplazamientos máximos de 0.27 m, con dirección de movimiento predominante, de la masa deslizada, hacia el río Chongo.
2. Los resultados del monitoreo 2021-2022 muestran que el deslizamiento se encuentra activo, principalmente en el sector de reptación, al sur del centro poblado de Cuyo Chico.
3. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas analizadas con datos de monitoreo del presente informe y anteriores, el deslizamiento de Cuyo Chico, es considerado como zona crítica de peligro Muy Alto a la ocurrencia de movimientos en masa y otros peligros geológicos, que pueden ser desencadenados por sismos, precipitaciones extraordinarias, o detonantes antrópicos (riego indiscriminado, cortes en el talud). Consecuentemente, persiste la condición de avance progresivo de la masa deslizada; además, también persiste el posible carácter retrogresivo de la corona hacia terrenos de cultivo u otras direcciones aledañas en su ámbito, como viviendas u otras infraestructuras de la localidad.

4. RECOMENDACIONES

1. Permanecer alerta e informar al personal de INDICE o GRD local, sobre la aparición de nuevas grietas en viviendas, el suelo o ante la ocurrencia de hundimientos.
2. Limitar o prohibir construcciones en zonas de peligro, que hayan sido afectadas o inventariadas anteriormente por movimientos en masa locales.
3. De intensificarse la deformación y ampliarse sectores inestables (reptación), contemplar la posibilidad de reubicación del poblado de Cuyo Chico, puesto que la zona representa peligro para la seguridad de los pobladores ante la ocurrencia de sismos de gran magnitud, lluvias extraordinarias o excepcionales y factores antrópicos.
4. Practicar riego tecnificado (goteo u otros según el tiempo y cantidad de agua suficiente que requiera el cultivo). Impermeabilizar canales y darles mantenimiento permanente. Debe evitarse dejar discurrir el agua por más horas de las que se necesite para el tipo de cultivo sembrado. El correcto uso del riego debe ser planificado por especialistas en el tema y supervisado por las entidades competentes. Así mismo, deben restringirse cultivos tras la corona de la zona más activa para evitar posibles acumulaciones de agua generadas por fugas o excesos de riego.
5. Continuar con el monitoreo del deslizamiento de Cuyo Chico. Instalar estaciones de monitoreo permanente.



ING. LUIS ALBÍNEZ BACA



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

5. BIBLIOGRAFÍA

Benavente, C.; Delgado, F.; Taipe, E.; Audin, L. & Pari, W. (2013) - Neotectónica y peligro sísmico en la región del Cusco. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 55, 245 p., 1 mapa.

Cárdenas, J.; Concha, R.; García, B.; Astete, I.; Arriola, D., et al. (2013) - Mapa de peligros geológicos del valle del Cusco. En: Foro Internacional Peligros Geológicos, Arequipa, 14-16 octubre 2013, Libro de resúmenes. Arequipa: INGEMMET, pp. 40-45.

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.

Carreño, C. (2006) Diagnostico de peligros geodinámicos en los parques Arqueológicos de Pisaq y Ollantaytambo-Cusco. Boletín del instituto francés de Estudios Andinos, año/vol. 35, número 002. pp. 97- 120. Lima: Intituto Frances de Estudios Andinos.

Guzmán, A.; Rivera, M. & Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2003). Inspección de los peligros en las comunidades de Cuyo Chico, Ampay, Ccotataqui. Distrito Pisac, provincia Calca, departamento de Cusco. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A5882, 27 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2020). Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el río Kitamayo., distrito de Pisac, provincia de Calca, departamento de Cusco. Lima: Ingemmet. Informe Técnico A7062, 25 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos en la vía de acceso al Parque Arqueológico de Pisac, distrito de Pisac, provincia de Calca, departamento de Cusco. Lima: Ingemmet. Informe Técnico A7114, 26 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en la comunidad de Cuyo Grande, distrito de Pisac, provincia de Calca, departamento de Cusco. Lima: Ingemmet. Informe Técnico A7110, 29 p.

Sánchez, A., Zapata, A. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Río Picha (25-p), Timpia (25-q), Chuanquiri (26-p), Quillabamba (26-q), Quebrada Honda (26-r), Parobamba (26-s), Pacaypata (27-p), Machupicchu (27-q), Urubamba (27-r), Calca (27-s), Chontachaca (27-t), Quincemil (27-u), Ocongate (28-t), Corani (28-u) y Ayapata (28-v). Escala 1:100 000. INGEMMET, 51p, 15 mapas.

Taipe, E., Benavente, C., Vilchez, M., Delgado, F. (2012). Deslizamiento activo de Cuyo Chico. Resultados preliminares del monitoreo con GPS, INGEMMET, 6p.

Taipe, E. (2017). Monitoreo geodésico de fallas activas en la región Cusco-Periodo 2017, INGEMMET, 26 p.

Vilchez, M.; Sosa, N.; Pari, W. & Peña, F. (2020) - Peligros geológicos en la región Cusco. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 74, 202 p, 9 mapas.