

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7201

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES DE TUPAC AMARU II, SANTA FE Y OTARI SAN MARTIN

Departamento Cusco
Provincia La Convención
Distrito Pichari



DICIEMBRE
2021

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

Equipo de investigación:

*Gael Araujo
Norma Sosa
David Prudencio*

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). *Evaluación de peligros geológicos en los sectores de Túpac Amaru II, Santa Fe y Otari San Martín*. Distrito Pichari, provincia La Convención, departamento Cusco. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7201, 49 p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	4
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivos del estudio	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores.....	6
1.3. Aspectos generales	7
1.3.1. UBICACIÓN.....	7
1.3.2. ACCESIBILIDAD.....	8
1.3.3. CLIMA.....	8
2. DEFINICIONES	10
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	11
3.1. Unidades litoestratigráficas	11
3.1.1. COMPLEJO METAMÓRFICO CIELO PUNKU PICHARI (NP-cpcp-gra,gn).....	11
3.1.2. GRUPO SAN JOSÉ (Oim-sj).....	13
3.1.3. FORMACIÓN SANDIA (Oim-sj).....	14
3.1.4. DEPÓSITOS ALUVIALES (Qh-al)	14
3.1.5. DEPÓSITOS COLUVIALES (Qh-co).....	15
3.1.6. DEPÓSITOS FLUVIALES (Q-fl)	16
3.2. ASPECTOS TECTÓNICOS	16
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	17
4.1. Pendientes del terreno	17
4.2. Unidades geomorfológicas.....	17
4.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL .	18
4.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL	19
3. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA	21
4.1. Peligros geológicos y daños generados en los sectores de Túpac Amaru II, Santa Fe y Otari San Martín.....	24
4.1.1. PELIGROS GEOLÓGICOS Y DAÑOS EN EL SECTOR DE TÚPAC AMARU II.....	24
4.1.2. PELIGROS GEOLÓGICOS Y DAÑOS EN EL SECTOR DE SANTA FE	34
4.1.3. PELIGROS GEOLÓGICOS Y DAÑOS EN EL SECTOR DE OTARI SAN MARTIN .	35
4.2. Obras de rehabilitación a octubre de 2021	39
4.3. Factores condicionantes y desencadenantes.....	40
4.3.1. FACTORES CONDICIONANTES	40
4.3.2. FACTORES DESENCADENANTES	41
5. CONCLUSIONES	42
6. RECOMENDACIONES	44
7. BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXOS (MAPAS).....	47

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en los sectores de Túpac Amaru II, Santa Fe y Otari San Martín, situados a ambos flancos de los ríos Túpac Amaru II - Santa Fe y Cusco Mayo, y 4 kilómetros al norte de la localidad de Pichari, distrito de Pichari, provincia de La Convención, departamento de Cusco.

Con este trabajo, el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – Ingemmet cumple con la función de brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada y confiable en el tema de peligros geológicos a los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

Geológicamente, en el área de estudio afloran granulitas y gneiss del complejo metamórfico Cielo-Punku, secuencias de pizarras del Grupo San José, niveles de pizarras y cuarcitas blanquecinas de la Formación Sandia. Afloramientos rocosos que se encuentran ligeramente meteorizados, con alto grado de fracturamiento y oxidación. La presencia del sistema de fallas Quimbiri-Pichari explica el intenso fracturamiento de las unidades geológicas y sobre todo la salida de agua subterránea (puquiales y ojos de agua) que condicionan la existencia de riachuelos y río en los sectores evaluados. Las unidades no consolidadas están representadas por depósitos aluviales (fragmentos heterométricos y heterogéneos envueltos en una matriz areno-arcillosa/limosa), depósitos coluviales (fragmentos heterogéneos con material fino de arena y limo) y depósitos fluviales con bolones, cantos y gravas subredondeados en matriz arenosa o limosa, distribuidos en el fondo de valle, quebradas principales y lecho de ríos.

Las unidades geomorfológicas que representan las áreas de estudio son geoformas de carácter tectónico degradacional como montañas en roca metamórfica con pendientes que varían de baja (1° - 5°) a muy fuerte (25° - 45°), y geoformas de carácter depositacional como las vertientes coluviales de detritos, vertiente aluvio-torrencial y llanura o planicie inundable, con pendientes que varían de baja (1° - 5°) a media inclinación (5° - 15°). Estas características asociadas a la geología clasifican el área con un grado de susceptibilidad **media a muy alta**, a la ocurrencia de movimientos en masa.

Los peligros geológicos reconocidos, corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamientos, caídas (derrumbes), flujo de detritos y lodo, desencadenados el 20 de abril de 2021 en los sectores de Túpac Amaru II, Santa Fe y Otari San Martín, a lo largo de los ríos Túpac Amaru I, II, III - Santa Fe y Cusco Mayo generando ensanchamiento y profundización de sus cauces y destrucción de 15 hectáreas de terrenos de cultivo de cacao, plátano, cítricos y yuca en ambos márgenes de los ríos, más de 200 metros de trocha carrozable, bocatoma de Túpac Amaru II, tuberías superficiales, badenes, presas de paso del sistema de captación de agua potable de Túpac Amaru II, afectando también viviendas de la comunidad de Santa Fe y 150 m de la carretera nacional PE-28B (poblado Otari San Martín).

Se concluye que, las áreas de estudio presentan peligro **muy alto** a la ocurrencia de movimientos en masa en temporada de lluvia intensa y/o prolongada.

El presente informe se pone a disposición de las autoridades, a fin de que las conclusiones y recomendaciones sirvan como instrumento, para contribuir en los planes de reducción de riesgo de desastre.

1. INTRODUCCIÓN

El INGEMMET, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que exponen elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de Pichari, según oficio N° 334-2021-MDP/AL, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos de movimientos en masa, tipo “flujo de detritos, deslizamientos y caídas (derrumbes)” ocurridos la mañana del 20 de abril de 2021, a lo largo del cauce de los ríos Túpac Amaru I, II, III, Santa Fe y Cusco Mayo, destruyendo terrenos de cultivos, captaciones de agua potable, bocatomas, trochas carrozables y afectando la plataforma de los puentes y la carretera nacional PE-28B en los sectores de Túpac Amaru II, Santa Fe y Otari San Martín, ubicados a ambos flancos del río Túpac Amaru – Santa Fe y el flanco izquierdo del río Cusco Mayo respectivamente.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los ingenieros Gael Araujo, Norma Sosa y David Prudencio, realizar una evaluación técnica de peligros geológicos en los sectores de Túpac Amaru II, Santa Fe y Otari San Martín, llevándose a cabo el 10 de Octubre de 2021.

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

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital de Pichari e instituciones técnico normativas del SINAGERD (INDECI y CENEPRED), a fin de contribuir con información técnica de evaluación geológica y geodinámica, así como conclusiones y recomendaciones propuestas en el marco de la gestión de riesgo de desastres (Ley 29664)

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar, cartografiar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa en los sectores de Túpac Amaru II, Santa Fe y Otari San Martín.
- b) Emitir conclusiones y recomendaciones que contribuyan a los planes de prevención y/o mitigación del riesgo de desastre por movimientos en masa en la localidad de Pichari.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

- A) En el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la región Cusco elaborado por Ingemmet (Vílchez et al., 2020); el distrito de Pichari, los sectores de Túpac Amaru II, Santa Fe y Otari San Martín, ubicados a lo largo del río Otari, presentan niveles de susceptibilidad media a muy alta a la ocurrencia de movimientos en masa (figura 1 y cuadro 1).

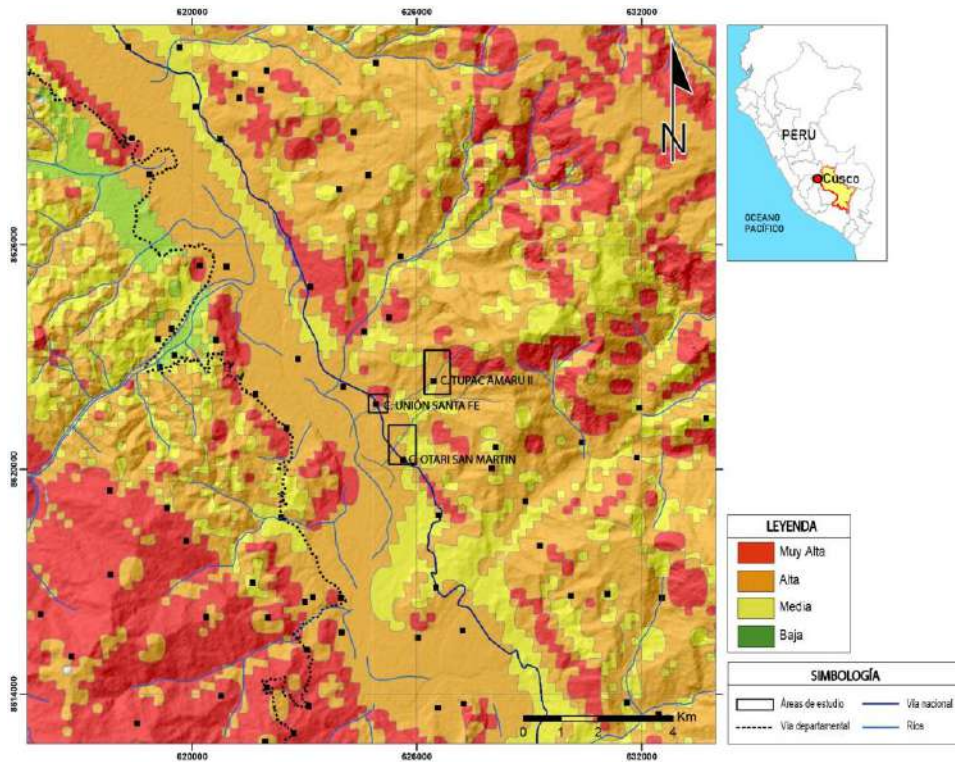


Figura 1. Niveles de susceptibilidad a movimientos en masa del área de estudio. Fuente: Vílchez et al., 2020

- B) El boletín N°74, serie C: Peligros Geológicos en la región Cusco (Vílchez et al., 2020) muestra la descripción de los niveles de susceptibilidad y pendientes de los peligros geológicos frente a movimientos en masa e inundaciones en el Cusco (figura 1 y cuadro 1).

GRADO	CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRENOS	RECOMENDACIONES
BAJA	Las condiciones intrínsecas del terreno no son propensas a generar movimientos en masa. Estas áreas presentan una topografía plano-ondulada con pendientes muy bajas a medias (0°- 15°) en algunos sectores. Se tienen depósitos de materiales superficiales aluviales, deluviales, coluviales y glacio-fluvial. El substrato está constituido por rocas sedimentarias (calizas macizas, areniscas y lutitas, y areniscas cuarzosas), rocas intrusivas (granito, monzogranito; dioritas, tonalitas y gabrodiorita), rocas volcánicas (secuencia de rocas piroclásticas, lavas andesíticas y basálticas), secuencias volcano-sedimentarias y gneis. La cobertura vegetal está representada por matorrales, bosques húmedos de montañas, colinas, lomadas y terrazas pajonales, y zonas agrícolas.	En esta zona se puede permitir el desarrollo de infraestructura siempre y cuando se incorporen las recomendaciones del estudio de diseño para hacer viable cualquier proyecto o adaptarse a las condiciones del terreno.

MEDIA	Aquí algunas condiciones pueden favorecer la ocurrencia de movimientos en masa. Estas áreas presentan pendientes bajas a medias (5°-15°). Así se tienen depósitos de material superficial coluvio-deluvial, glaciar, poligénico, aluvial y proluvial. El substrato es de rocas sedimentarias. Estas rocas se encuentran fracturadas por los procesos tectónicos que los levantaron y plegaron, así como por las fallas que las cortan. También se hallan alteradas (meteorizadas) por efectos del clima. Las unidades hidrogeológicas que favorecen esta susceptibilidad son los acuíferos (sedimentarios, fisurados sedimentarios y volcánicos), acuitardos (intrusivas, sedimentarios, metamórficos y volcánicos).	Es probable que cuando se construyan obras de Infraestructura en estas áreas se generen movimientos en masa, por lo que se recomienda conocer en detalle las propiedades de los terrenos y también conocer las condiciones geodinámicas de las áreas Circundantes.
ALTA	En esta zona confluyen la mayoría de condiciones favorables del terreno a generar movimientos en masa, cuando se desestabilizan las laderas por causas naturales (por levantamiento o abatimiento de niv freático, erosión en el pie de laderas, etc.) o por modificación de taludes por acción del hombre.	Se debe restringir el desarrollo de infraestructura urbana y de instalaciones o esta debe de ser muy bien planificada y contar con sus respectivos estudios de zonificación por peligros,
MUY ALTA	Presentan condiciones del terreno muy favorables para que se generen movimientos en masa. Estas áreas presentan pendientes fuertes a muy fuertes (15- 45°), compromete suelos coluviales derivados de antiguos movimientos en masa, proluviales y glaciares; el sustrato está conformado por rocas sedimentarias, Aquí se produce la mayor cantidad de movimientos en masa (mega eventos de tipo deslizamientos, caídas, flujos y movimientos complejos), además de procesos de erosión de laderas. Los taludes de corte de carretera presentan problemas de derrumbes y caídas de rocas, por el alto grado de fracturamiento de la roca y la elevada pendiente de las laderas, a las cuales se les puede considerar inestables.	Se recomienda prohibir el desarrollo de toda infraestructura de cualquier tipo (carreteras, puente, presas, hidroeléctricas) o habilitación urbana sin el conocimiento geológico detallado previo.

Cuadro 1. Niveles de Susceptibilidad en el área de estudio. Fuente: Vilchez et al. 2020

- C) El boletín N° 120, de la carta geológica nacional. Geología de los cuadrángulos de Llochegua, río Picha y San Francisco. Hojas 25-o, 25-p, 26-o (Monge et al., 1998) y el boletín N°74, serie C: de peligros geológicos en la región Cusco describen las unidades geológicas presentes en la zona evaluada.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. UBICACIÓN

Los sectores de Túpac Amaru II, San Fe y Otari San Martín están ubicados a 7 km, 6 km y 5 km respectivamente al norte de la localidad de Pichari. Todos estos sectores y comunidades, pertenecen al distrito de Pichari, provincia de La Convención, departamento del Cusco. Cuenta con las siguientes coordenadas UTM WGS84 y geográficas mostradas en el cuadro 2 y figura 2.

N°	Nombre de Comunidad	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
		Este	Norte	Latitud	Longitud
1	Túpac Amaru II	626424	8622311	- 12.459°	- 73.836°
2	Santa Fe	624926	8621733	-12.465°	-73.850°
3	Otari San Martín	625478	8620461	-12.476°	-73.845°

Cuadro 2. Coordenadas centrales de las áreas de estudio

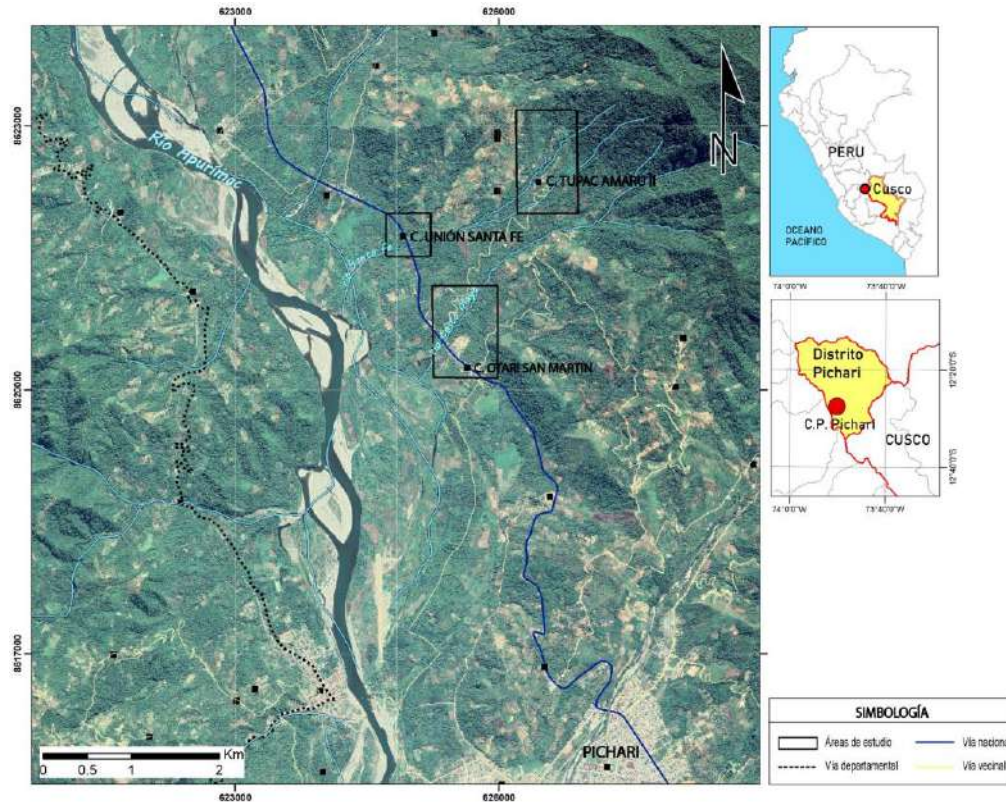


Figura 2. Ubicación del área de estudio.

1.3.2. ACCESIBILIDAD

Teniendo como base la provincia del Cusco, el área de estudio es accesible por la ruta Cusco – Pichari – (Túpac Amaru II – Santa Fe – Otari San Martín), a través de vías asfaltadas, afirmadas y trochas carrozables, en un trayecto de 11 horas con 45 min (cuadro 3).

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Cusco – Pichari	Asfaltada Carretera Afirmada	489	11 h 10 min
Pichari – Túpac Amaru II	Asfaltada Trocha carrozable	9.8	20 min
Túpac Amaru II – Santa Fe	Trocha carrozable Asfaltada	1.7	12 min
Santa Fe – Otari San Martín	Asfaltada	1.5	3 min

Cuadro 3. Rutas y accesos a las zonas evaluadas

1.3.3. CLIMA

- Temperaturas y Precipitaciones

Según el Mapa climático Nacional del SENAMHI (2020), Pichari, ubicado al límite de los departamentos de Cusco y Ayacucho, presenta un clima lluvioso con invierno

seco. Alcanza temperaturas máximas promedio entre 17°C a 23 °C, temperaturas mínimas entre 7°C a 11°C y precipitaciones anuales entre 1200 mm y 1800 mm aproximadamente.

Según el reanálisis de la época de satélites MERRA-2 de la NASA y su estación meteorológica más cercana a 200 km de Pichari, los veranos en la zona de estudio son cálidos y secos, los inviernos cortos, calurosos y mojados y está nublado durante todo el año. La temporada calurosa dura 3.3 meses, del 14 de agosto al 22 de noviembre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 32 °C. La temporada fresca dura 2.8 meses, del 12 de enero al 7 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 31 °C.

La temporada de lluvia dura 7.5 meses, del 9 de setiembre al 26 de abril, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. El periodo del año sin lluvia dura 4.5 meses, del 26 de abril al 9 de setiembre. Aproximadamente el 42% de lluvia se da en el mes de febrero.

Además, la estación meteorológica automática del SENAMHI en Pichari, localizada en las coordenadas geográficas latitud: 12°31'19.9" S; longitud: 73°50'22.28" W Altitud: 570 m.s.n.m., registra temperaturas horarias entre 20.3 a 33.9 en el último mes (octubre 17 a noviembre 02) (figura 3).

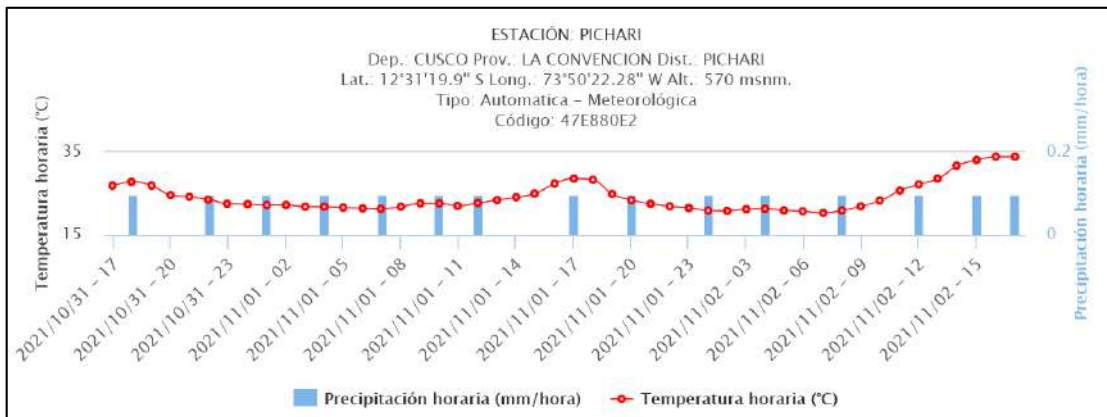


Figura 3. Temperatura y precipitaciones registradas en la estación Pichari entre el 31/10/2021 al 02/11/2021. SENAMHI,2021

- Humedad

El nivel de humedad percibido en Pichari, debido por el porcentaje de tiempo en el cual el nivel de comodidad de humedad es *bochornoso, opresivo o insoportable*, no varía considerablemente durante el año, y permanece entre el 1 % del 1 %. En la zona de estudio, los terrenos de cultivo permanecen húmedos durante todo el año.

1.3.4. USOS DE SUELO

Los pobladores de las comunidades de Túpac Amaru II, Santa Fe y Otari San Martín usan extensas áreas de terrenos de cultivos para la siembra y cosecha de frutales (plátano, coco, naranjas, palta, limones), yuca, cacao, etc.

2. DEFINICIONES

El Perú es un país que por su variedad de climas, complejidad geológica y ubicación en el denominado “Cinturón de Fuego del Pacífico”, está expuesto a diversos peligros geológicos que pueden convertirse en desastres. El lugar donde vives puede estar expuesto a estos procesos geológicos; si no conocemos los peligros, no estaremos preparados para afrontarlos. Para que los peligros no causen daños y muertes debemos conocerlos, estar alertas y preparados. En este sentido el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, INGEMMET, cuenta con equipos de trabajos multidisciplinarios, compuestos por geólogos, geodestas, geofísicos y geoquímicos, especializados en la identificación, evaluación y análisis de los peligros geológicos del territorio nacional. Con el fin de dar a conocer el resultado de los estudios a las autoridades y puestos a disposición del público en general, se brinda una definición de los términos más importantes del presente informe (cuadro 4).

PELIGROS GEOLÓGICOS	Los peligros geológicos son procesos o fenómenos geológicos que podrían ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud. Daños a la propiedad, pérdida de medios de sustento y servicios, trastornos sociales y económicos o daños materiales. Pueden originarse al interior (endógenos) o en la superficie de la tierra (exógenos). Al grupo de endógenos pertenecen los terremotos, tsunamis, actividad y emisiones volcánicas; en los exógenos se agrupan los movimientos en masa (deslizamientos, aludes, desprendimientos de rocas, derrumbes, avalanchas, aluviones, huaicos, flujos de lodo, hundimientos, entre otros), erosión e inundaciones.
MOVIMIENTOS EN MASA	Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. Los tipos más frecuentes son: caídas, deslizamientos, flujos, vuelcos, expansiones laterales, reptación de suelos, entre otros. Existen movimientos extremadamente rápidos (más de 5 m por segundo) como avalanchas y/o deslizamientos, hasta extremadamente lentos (menos de 16 mm por año) a imperceptibles como la reptación de suelos.
DESIZAMIENTOS	Movimientos ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla. Según la forma de la superficie de falla se clasifican en traslacionales (superficie de falla plana u ondulada) y rotacionales (superficie de falla curva y cóncava).
CAIDA	Movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera. El material se desplaza por el aire, golpeando, rebotando o rodando. Se le conoce también como desprendimiento de rocas, suelos y/o derrumbes.
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 deslizamiento o una caída. Estos pueden ser canalizados (flujos de detritos o huaicos) y no canalizados (avalanchas).
MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD	Este mapa muestra las áreas propensas a movimientos en masa (deslizamientos, huaicos, caída de rocas, etc) en el territorio nacional. A menor escala junto con el mapa de peligros determinan las zonas críticas ante peligros geológicos. Se cuenta también con mapas regionales y por cuencas.
FALLAS GEOLÓGICAS ACTIVAS	Las fallas geológicas activas son importantes fuentes sismogénicas originadas en continente, estas estructuras son capaces de generar sismos con magnitudes de hasta 7 Mw. A diferencia de los sismos originados por la subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana, las fallas geológicas activas presentan sismicidad superficial, es decir, tienen epicentros superficiales (
SISMOS	Los sismos son movimientos que se producen al interior de la tierra y liberan energía de manera violenta, se originan por: i) el contacto de placas tectónicas, por ejemplo de las Placas de Nazca y Sudamericana; y ii) la deformación de la corteza en el interior del continente que da origen a las fallas activas

Cuadro 4. Definición de términos técnico - científicos

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La descripción geológica se desarrolla en base al mapa geológico del cuadrángulo de Llochegua (Hoja 25-o) y el boletín N° 120, de la Carta Geológica Nacional. Geología de los cuadrángulos de Llochegua, río Picha y San Francisco elaborado por Monge R., et al. a escala 1:100 000; Además, del boletín N° 74: Peligros geológicos en la región Cusco, elaborado por Vilchez et al. 2020.

3.1. Unidades litoestratigráficas

De acuerdo al mapa regional a escala 1: 100 000 elaborado por Monge R., et al, (1998), los sectores de Túpac Amaru II, Santa Fe y Otari San Martín están distribuidos sobre depósitos aluviales (Qh-al) y coluviales (Q-co), que cubren afloramientos del Complejo Metamórfico Pichari Cielo Punku (NP-cpcp-gra,gn), Grupo San José (Oim-sj) y Formación Sandia (Os-s) (ver anexos - mapa 1). Además, regionalmente se observa fallas normales e inversas que condicionan el fracturamiento intenso la geología de las zonas de estudio (mapa 1). A continuación, se describe detalladamente las unidades mencionadas con anterioridad:

3.1.1. COMPLEJO METAMÓRFICO: GRANULITAS-GNEIS CIELO PUNKU PICHARI (NP-cpcp-gra,gn)

Este complejo metamórfico de edad Neoproterozoica, se emplaza conformando parte del bloque denominado Pichari-Cielo Punku como el basamento y el núcleo del anticlinorio de Vilcabamba, cuyas rocas han sido afectadas por un tectonismo polifásico (Dalmayrac, 1970), En el área de estudio, esta unidad aflora siguiendo una dirección andina, principalmente en el cuadrángulo de Llochegua. Dalmayrac B. et al. 1977, 1988, describen un complejo metamórfico constituido por gneiss charnoquítico de estructura granoblástica, con una ligera orientación (Monge et al., 1998).

La característica más saltante que se observa es su naturaleza de cuerpo macizo de granulitas y Gneis (fotografía 1), es que están bien compactos, en algunos casos con deformación plástica, en pliegues pequeños, los que siguen una tendencia lineal ligeramente ondulante (figura 4).

En las zonas de estudio, los gneiss y granulitas se encuentran altamente fracturadas y condicionan la salida de agua subterránea (fotografía 1).



Fotografía 1. Bloque de Gneiss macizo del complejo metamórfico de Pichari Cielo-Punku, localizado en la parte alta del cauce del río Túpac Amaru II, en las coordenadas UTM X:626733 Y:8622811



Figura 4. Vista parcial del gneiss del complejo metamórfico de Pichari Cielo-Punku, localizado en la quebrada de Pichari, donde se observa deformación intensa (Monge et al., 1998).

3.1.2. GRUPO SAN JOSÉ (Oim-sj)

El Grupo San José aflora principalmente en la margen derecha del río Apurímac y afluentes Pichari y Quimbiri (hoja de Llochegua).

En las quebradas de Chirumpiari y Quimbiri se tiene la mejor exposición, debido a su accesibilidad y a la presencia de fósiles, suprayaciendo discordantemente al complejo metamórfico de granulitas y gneiss Cielo-Punku (Monge et al., 1998).

En trabajos realizados por la Universidad del Cusco en los cuadrángulos de Urubamba, Calca, Chuanquiri y Pacaypata también reportan esta unidad como una secuencia de pizarras (Monge et al., 1998).

Litológicamente está compuesta por pizarras, lutita intercalado con cuarcitas. Las secuencias homogéneas de pizarras, en capas delgadas tabulares con laminación paralela e intenso fracturamiento y meteorización (fotografía 2). Esta secuencia presenta una coloración característicamente oscura, con pátinas de Fe por oxidación (fotografía 3). Las pizarras del grupo San José están distribuidas a lo largo y a ambos flancos del río Túpac Amaru I, II (fotografía 2), III.



Fotografía 2: Pizarras en capas delgadas con laminación paralela, altamente fracturada en el flanco derecho del río Túpac Amaru II. Coordenadas UTM WGS84: 626512 Este; 8622503 Norte



Fotografía 3: Pizarras fuertemente fracturadas con patinas de Fe por oxidación en el flanco derecho del río Túpac Amaru II.

3.1.3. FORMACIÓN SANDIA (Oim-sj)

Nombre dado por LAUBACHER G. (1973) a una secuencia de cuarcitas y pizarras que afloran en el valle del río Sandia y en la Cordillera Oriental (Monge et al., 1998). Las pizarras se encuentran altamente fracturadas y con meteorización intensa.

En el área de estudio afloran en la margen derecha del río Apurímac, cuadrángulos de

San Francisco, Llochegua y en el S y SO del cuadrángulo de Río Picha formando parte del anticlinorio del bloque de Pichari-Cielo Punku. Esta unidad morfológicamente es bien sobresaliente debido a su competencia, siendo un nivel guía en las interpretaciones en las imágenes de satélite, fotografías aéreas y en el campo, presenta estructuras continuas de carácter regional (Monge et al., 1998).

Los mejores afloramientos y más accesibles se localizan a lo largo de la margen derecha del río Apurímac siguiendo un rumbo NO, que corresponde a parte del flanco oeste del anticlinorio (Monge et al., 1998).

3.1.4. DEPÓSITOS ALUVIALES (Qh-al)

Estos depósitos aluviales de edad Cuaternaria – Holocena, se encuentran distribuidos en toda el área de estudio rellenando fondo de valles, quebradas principales, llanuras aluviales antiguas y/o niveles de terrazas adyacentes al valle principal de los ríos Túpac Amaru I, II, Santa Fe y Cusco Mayo (fotografía 4).

Compuesto por una mezcla de fragmentos heterométricos de 10 cm a 50 cm y heterogéneos (bolones, cantos, gravas, arenas y limos). Los cantos son redondeados a sub-redondeados, transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias, con estratos de terrazas diferenciadas de depósitos aluviales más antiguos a ambos flancos de los ríos que evidencian la actividad fluvial. Estos depósitos son usados como terrenos de sembríos o asentamiento urbano en las zonas de estudio.



Fotografía 4: Vista de depósitos aluviales formando terrazas en el flanco derecho del río Cusco Mayo.

3.1.5. DEPÓSITOS COLUVIALES (Qh-co)

Se encuentran conformados por bloques rocosos heterométricos, acumulados al pie de taludes empinados. Los bloques angulosos más gruesos se depositan en la base y los bloques menores disminuyen gradualmente hacia el ápice. Son sueltos, sin cohesión y conforman taludes de reposo poco estables (Vilchez et al., 2020).

También se consideran depósitos coluviales a aquellos materiales que fueron movilizados por algunos tipos de movimientos en masa antiguos, recientes y/o reactivados. Cerca de la comunidad del Túpac Amaru II se observa depósitos coluviales con bloques que varían de 10 cm a 30 cm, muchos de ellos clastos soportados, envueltos en una matriz limosa (fotografía 5).

Los principales agentes formadores de estos depósitos son el intemperismo, la gravedad, movimientos sísmicos, movimientos en masa (deslizamientos, caída de rocas y/o detritos (derrumbes), movimientos complejos, etc.) (fotografía 5)



Fotografía 5: Vista de una mezcla de fragmentos heterogéneos sub-angulosos envueltos en una matriz limo-arenosa, en el corte de carretera ubicada a 10 metros del río Túpac Amaru II.

3.1.6. DEPÓSITOS FLUVIALES (Q-fl)

Los depósitos fluviales constituyen los materiales del lecho de ríos, terrazas bajas y llanura de inundación. Son depósitos no consolidados heterométricos constituidos por bolones, cantos y gravas sub-redondeadas en matriz arenosa o limosa. Son transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias en el fondo de los valles y depositados en forma de terrazas o playas, removibles por el curso actual del río y ubicados en su llanura de inundación (Vilchez et al., 2020). En las zonas de estudio, los depósitos fluviales inconsolidados, con cantos que varían de 10 a 60 cm (fotografía 6), estos son fácilmente removibles; distribuidos a lo largo de los lechos de los ríos Túpac Amaru I, II, Santa Fe y Cusco Mayo.



Fotografía 6: Depósitos redondeados a subredondeados heterométricos con matriz, vista del río Cusco Mayo a la altura de la comunidad Otari San Martín

3.2. ASPECTOS TECTÓNICOS

FALLA QUIMBIRI-PICHARI

Al noroeste de la Provincia de La Convención, adyacente al río Apurímac y entre los poblados de Santa Rosa y Pichari se ubica la Falla Quimbiri-Pichari con dirección promedio N145°E y con 70 kilómetros de longitud (ver mapa 3). Se observan facetas triangulares de hasta 300 metros y desviación de los cursos de ríos afluentes al río Apurímac con movimiento de rumbo de tipo sinextral. La falla Quimbiri-Picharia fue actualizada al 2013 con una cinemática inversa. Es una falla de la zona subandina ubicada al norte del departamento de Cusco, y presenta un rumbo NW-SE (Benavente C., et al. 2013).

La falla Quimbiri-Pichari se ubica entre los 229 m y 445 m al SO de Santa Fe y Otari San Martín.

Hacia el NE del área de estudio se observan más fallas en dirección NW-SE y NE-SW, entre 1 km a 4 km de longitud.

Según el testimonio de los pobladores, no se registra sismos frecuentes en el sector. Sin embargo, las fallas regionales y locales generan condiciones geológicas de

fuerte fracturamiento y sobre todo la presencia de acuíferos o acuitardos que condicionan la existencia de riachuelos y ríos.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

El modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución extraído del satelital de Alaska, determina que los sectores de Túpac Amaru II, Santa Fe y Otari San Martín presentan pendientes que varían entre baja a fuerte (cuadro 5) (ver anexos - mapa 2). La descripción de estas pendientes se da en el cuadro 6.

Sectores	Pendientes
Túpac Amaru II	baja (5° - 15°) a muy fuerte (25° - 45°)
Santa Fe	baja (5° - 15°) a media (5° - 15°)
Otari San Martín	baja (5° - 15°) a media (5° - 15°)

Cuadro 5. Pendientes en los 03 sectores evaluados

PENDIENTES	DESCRIPCIÓN
Muy Baja/ Muy Llanos	Es muy difícil que se generen movimientos en masa, pero son afectadas por el alcance de eventos originados en las porciones adyacentes o superiores de mayor pendiente. Sin embargo, se debe considerar que, debido a precipitaciones pluviales intensas, estos terrenos planos elevados (mesetas y terrenos plano ondulados) pueden presentarse cortados por surcos, cárcavas y pequeñas torrenteras por donde discurren flujos excepcionalmente. Son afectados por inundaciones, por ser terrenos con escaso drenaje.
Baja/ Suave	Áreas poco susceptibles a movimientos en masa de inclinación suave afectadas o cortadas por eventos que se generan en zonas más altas o de pendiente más inclinada, generalmente flujos de detritos que depositan los materiales que acarrear en estas zonas planas, formando abanicos.
Media	Conforman relieves inclinados, sus laderas presentan una susceptibilidad media a los movimientos en masa
Fuerte	Conforman relieves inclinados, se les considera altamente susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa
Muy fuerte	Caracterizado por presentar muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa.
Abrupto/ Muy Escarpado	Son zonas abruptas. La ocurrencia de peligros dependerá de las condiciones intrínsecas de la roca (grado de fracturamiento y orientación, estratificación, etc.), la presencia de suelo y de los detonantes (lluvia, sismos). Se les ha considerado con alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa

Cuadro 6. Descripción de pendientes mostradas en el mapa.2. Fuente: Vílchez et al., 2020

4.2. Unidades geomorfológicas

El mapa geomorfológico a escala 1:500 000 del boletín N° 74: Peligros Geológicos en la región Cusco y la fotointerpretación de imágenes satelitales, clasifica e identifica regionalmente ,geofomas de carácter tectónico degradacional y erosional (montañas en roca metamórfica) y geofomas de carácter deposicional (vertiente coluvial de detritos, vertiente aluvio torrencial y llanura o planicie inundable) (Ver Anexos - mapa 3).

4.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL

Están representadas por geoformas montañosas con pendientes pronunciadas. La erosión y degradación de su afloramiento en la parte alta originan geoformas de carácter depositacional, por transporte arrastre y acumulación de sedimentos.

4.2.1.1. Montañas en roca Metamórfica (RM-rs)

Se distribuyen en la parte alta de las zonas de estudio en dirección NW-SE, son montañas de rocas metamórficas macizas y altamente fracturadas, de donde nacen muchos afluentes subterráneos que forman el río Túpac Amaru I, II, III (se unen para formar el río Santa Fe, a la altura de la comunidad del mismo nombre) y río Cusco Mayo. Los ríos que representan las zonas de estudio evaluada nacen en la montaña 'Teta de Oso' (fotografía 7).

Esta subunidad geomorfológica corresponde a cadenas montañosas en donde procesos denudativos (fluvio-erosionales, glacial y glacio-fluvial) afectaron rocas metamórficas y se hallan expuestas al lado central del departamento del Cusco (como la provincia de La Convención), abarcando el 21.24% de su superficie total, con altitudes que pueden alcanzar los 4 950 m s.n.m. Litológicamente corresponden a rocas metamórficas del Complejo Metamórfico Pichari, Cielo-Punku, el Grupo San José y la Formación Sandía.

Presentan laderas con pendientes moderadas a abruptas, de cumbres redondeadas a agudas (fotografía 7). El patrón de drenaje es paralelo a subdendrítico, con valles profundos en forma de V, sus laderas varían en pendiente desde fuerte (15°) a muy fuerte (25° - 45°). Geodinámicamente, están asociadas a grandes deslizamientos, flujos de detritos y derrumbes (Vilchez et al., 2020).



Fotografía 7: Vista aérea de montañas de roca metamórfica, cubiertas con abundante vegetación.

4.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL

Están representadas por relieves formados por depósito o acumulación de sedimentos en piedemontes o vertientes.

3.2.2.1. Vertiente coluvial de detritos (V-cd)

En esta unidad se agrupan los depósitos de naturaleza coluvial, producto de la denudación – transporte de sedimentos o deslizamientos históricos, recientes y/o reactivaciones. Estas vertientes son cortadas por ríos, en donde se observa mayor erosión de laderas y presencia de movimientos en masa (Vilchez et al., 2020).

Se forma al pie de acantilados, escarpes y laderas muy empinadas. Estas unidades geomorfológicas van formando aglomeraciones de bloques sueltos que adoptan una forma semicónica (fotografía 8). Así, pues, se les denomina conos cuando se presentan como un depósito único, y talud de detritos cuando se presentan como varios conos acomodados de forma sucesiva. Los materiales coluviales acomodados al pie de acantilados o laderas tienen un ángulo de reposo de 35° aproximadamente (Vilchez et al., 2020).

En las zonas de estudio se observa depósitos coluviales sucesivos antiguos cubiertos por abundante vegetación, la misma que mantiene la humedad constante del subsuelo generando movimientos en masa como derrumbes y deslizamientos de detritos (fotografía 8) en tiempo de lluvias intensas y excepcionales. La activación de deslizamientos y derrumbes recientes en vertientes coluviales genera la aglomeración de bloques sueltos y la presencia de escasa vegetación temporal, debido a la rápida recuperación de cobertura vegetal propio del clima del sector. Esta

característica evita identificar derrumbes y deslizamientos ocurrido en los 5 meses anteriores, al ser cubiertos completamente por vegetación.

Estos depósitos se consideran inestables, ya que no existe cohesión entre sus fragmentos. Por esta razón, es fácil que un sobrepeso (caída de nuevos bloques) produzca deslizamiento de parte de los materiales. Cuando el talud o vertiente de detritos es relativamente antiguo y el clima es propicio, se pueden desarrollar suelo y cobertura vegetal estabilizadora (Villota, 2005).



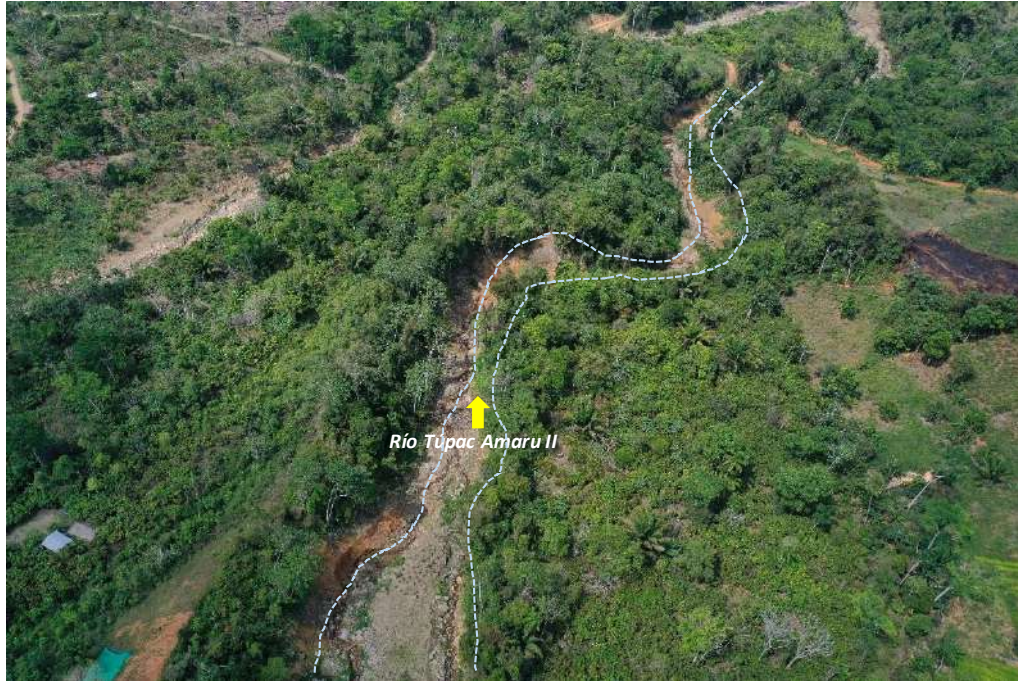
Fotografía 8: Vista de depósito coluvial que adoptan formas semicónicas a ambos flancos de los ríos Túpac Amaru I y II. Además, se observa la presencia de deslizamiento de detritos sobre la geofoma de vertiente coluvial

3.2.2.2. Vertiente 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. La pendiente de estos depósitos es suave a media (1-15°).

En la región Cusco, las planicies tienen buena distribución y abarcan el 1.05 % de su superficie. Ejemplos de estas geofomas pueden ser observados a lo largo de los valles de los ríos Apurímac, Vilcanota, Urubamba, Yavero, Santo Tomás, Velille, Mapacho, Paucartambo, entre otros. Todos estos abanicos son formados por los materiales acumulados por flujos de detritos constituidos en quebradas tributarias, que alcanzan los cauces principales (Vilchez et al., 2020) (fotografía 9).

Esta unidad es susceptible a remoción por flujo de detritos y por erosión fluvial en las márgenes de las quebradas. Sus materiales pueden ser arrancados y transportados por las corrientes de ríos principales en los cuales confluyen (Vilchez et al., 2020). Las zonas de estudio muestran esta unidad geomorfológica a lo largo de los ríos Túpac Amaru I, II, III y Cusco Mayo.



Fotografía 9: Vista aérea al SW de la unidad geomorfológica 'vertiente aluvio-torrencial' a lo largo del río Túpac Amaru II

3. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA

Los tres sectores evaluados (Túpac Amaru II, Santa Fe y Otari San Martín) están distribuidos a lo largo de dos ríos principales (Túpac Amaru -Santa Fe y Cusco Mayo), quienes nacen en la montaña 'Teta de Oso' y desembocan en el río Apurímac con un recorrido de 6 km. A su vez el río Santa Fe, se forma gracias a la confluencia de los ríos Túpac Amaru I, II y III a la altura de la comunidad de Santa Fé. Por otro lado, el río Cusco Mayo presenta afluentes en la parte alta de su cauce. Estos afluentes nacen en la montaña 'Teta de Oso' producto de la filtración de agua subterránea en afloramientos de gneis y granulitas del complejo metamórfico Cielo Punku Pichari (figura 5A).

Según el testimonio de los pobladores, la mañana del 20 de abril de 2021, se originó un deslizamiento de grandes dimensiones en la montaña 'Teta de Oso' que sumando a la crecida del cauce de los ríos Túpac Amaru I, II, III y Cusco Mayo producto de lluvias intensas, se originó flujos de detritos en los ríos Túpac Amaru-Santa Fe (figura 5B y 5C) y Cusco Mayo (figura 5D), causando derrumbes y deslizamientos a lo largo de su recorrido (figura 5 B, 5C Y 5D). Se observan daños y destrucción de captaciones de agua potable, bocatomas, tuberías superficiales, badenes, trochas carrozables y terrenos de cultivos a ambos flancos del río Túpac Amaru-Santa Fé y Cusco Mayo.

En resumen, todos los peligros geológicos reconocidos en los sectores evaluados, corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamiento, caídas (derrumbes), flujos de detritos y lodo.

Cabe indicar, que se realizaron dos sobrevuelos dron en los sectores de Túpac Amaru II y Otari San Martín, los cuales permitieron obtener una vista aérea de deslizamientos generados y el nuevo ancho del cauce del río Túpac Amaru I, II y Cusco Mayo a lo largo de su extensión y los daños generados en el evento de abril de 2021.

Las imágenes satelitales de Google Earth muestran el estado pre-evento de las zonas evaluadas, en donde se observa cauces de río con 3 m de ancho con abundante vegetación a ambos flancos de los ríos Túpac Amaru I, II, III, Santa Fe y Cusco Mayo; los cuales cambiaron radicalmente después del evento, observándose actualmente cauces de río hasta de 20 m de ancho y destrucción de terrenos de cultivo a ambos flancos.

La abundante vegetación de los sectores de estudio y el rápido crecimiento de su cobertura vegetal, a 6 meses del evento, cubrió algunos deslizamientos generados en la montaña 'Teta de Oso'; por lo que no se pudo identificar, localizar y dimensionar (figura 5B).

Los deslizamientos y derrumbes se desarrollan en depósitos no consolidados, con abundante humedad producto de aguas subterráneas y pendientes fuertes (15° - 25°) a muy fuerte (25° - 45°); mientras que el flujo de detritos y lodo se extiende a lo largo de geoformas de vertientes coluviales de detritos, aluvio-torrenciales y planicies inundables, con pendientes bajas (1° - 5°) a medias (5° - 15°).

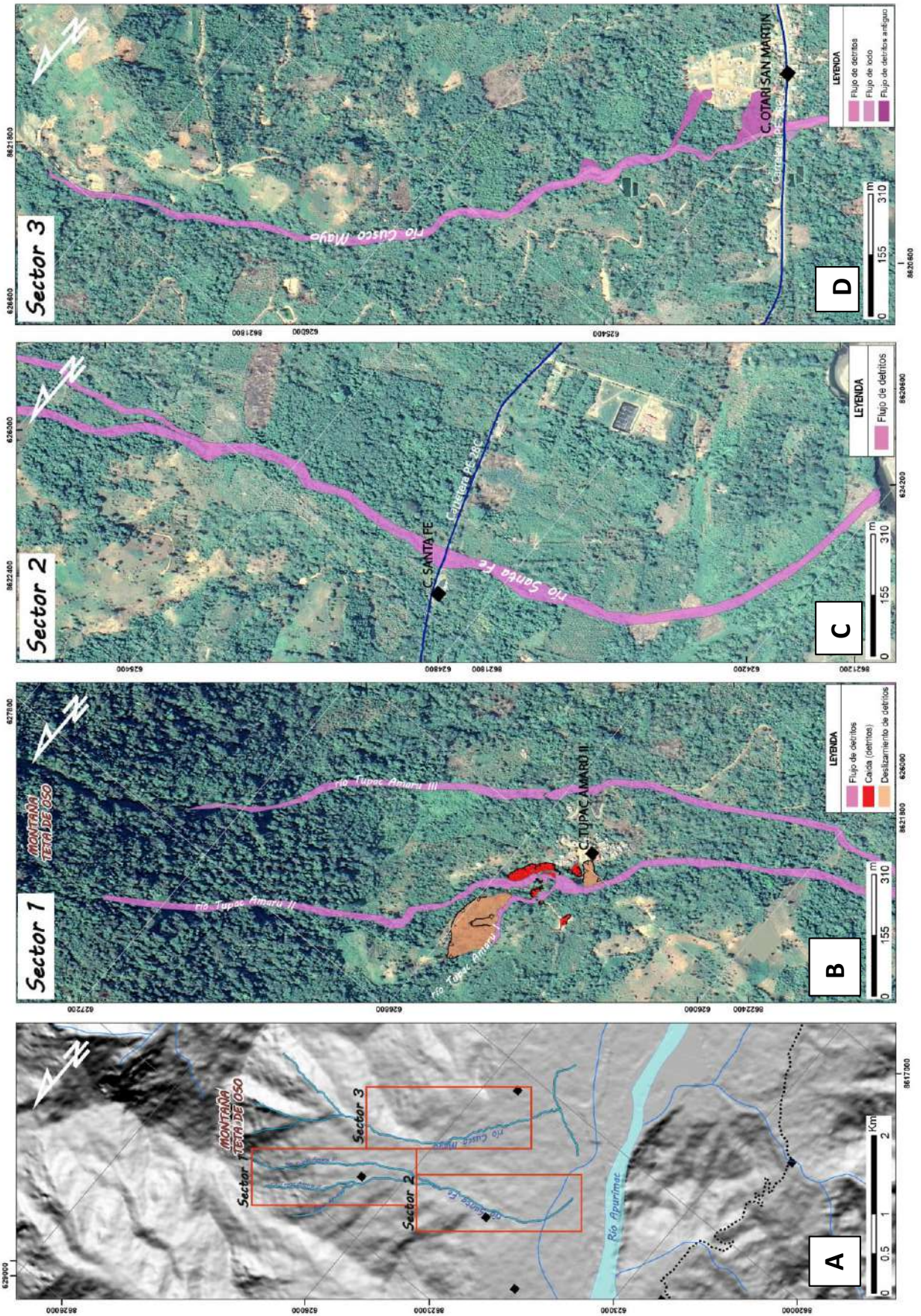


Figura 5. Cartografía de peligros geológicos

Todos estos eventos fueron desencadenados por lluvias intensas excepcionales que, asociado a condiciones geológicas y geomorfológicas antes descritas, presentan sectores de mediana a muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa.

Los sectores evaluados son dinámicamente muy activos a la ocurrencia de deslizamientos, derrumbes y flujos de detritos frente a lluvias intensas excepcionales, por lo tanto, el peligro es **Muy Alto**.

4.1. Peligros geológicos y daños generados en los sectores de Túpac Amaru II, Santa Fe y Otari San Martin

El 20 de abril de 2021, a las 06:30 horas, se produjo grandes deslizamientos en la montaña Teta de Oso (figura 5B), además del incremento del caudal de los ríos de Túpac Amaru I, II III y Cusco Mayo a consecuencia de lluvias intensas, esto activo flujos de detritos a lo largo de los ríos Túpac Amaru-Santa Fe (Figura 5B y 5C) y Cusco Mayo (figura 5D) y destruyó terrenos de cultivos e infraestructura de los sectores de Túpac Amaru II, Santa Fe y Otari San Martin.

4.1.1. PELIGROS GEOLÓGICOS Y DAÑOS EN EL SECTOR DE TÚPAC AMARU II

Las imágenes satelitales de Google Earth antes del evento, el testimonio de los pobladores de los hechos suscitados el día del evento y el sobrevuelo dron de octubre de 2021 muestran la evolución temporal del sector de Túpac Amaru II, antes (figura 6A), durante (figura 6B) y después del evento del 20 de abril de 2021 (figura 6C). En dichas comparaciones se resaltan la ampliación del cauce del río Túpac Amaru I, II y III, la presencia de derrumbes y erosión intensa a ambos flancos de los ríos que desencadenaron en deslizamientos de grandes dimensiones en laderas de media (15° - 25°) a fuerte inclinación (25° – 45°) (figura 6B).

El sector de Túpac Amaru II, con el centro poblado del mismo nombre, se encuentra a treinta y uno metros mal alto que el cauce de los ríos Túpac Amaru II y III (figura 5A y 6B).

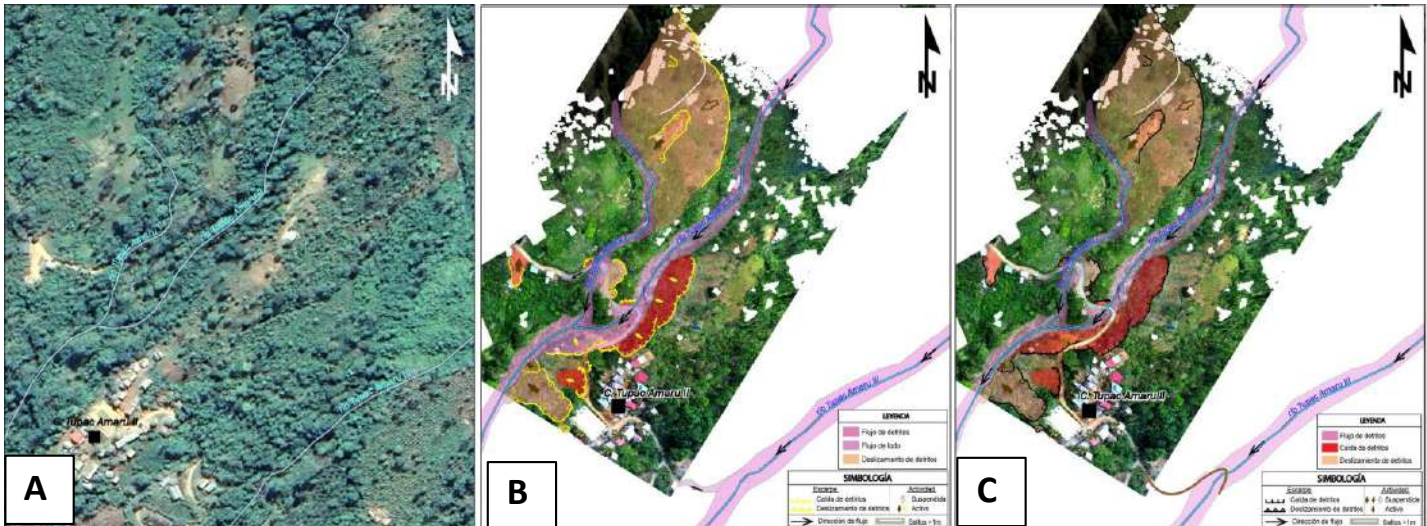


Figura 6. Imágenes temporales antes, durante y después del evento de abril de 2021

ANTES DEL EVENTO

Antes del evento la comunidad de Túpac Amaru II se ubicaba a 65 m del flanco izquierdo del cauce del río Túpac Amaru II y a 45 m del flanco derecho del río Túpac Amaru III (figura 6A). El ancho del cauce de los ríos Túpac Amaru I, II y III variaban entre 1.5 m a 3 m en época de lluvia y los terrenos ubicados a ambos flancos de estos ríos eran usados para el cultivo de árboles frutales, cacao, etc. Además 48 familias de la comunidad de Túpac Amaru era abastecidas de agua potable a través del sistema de captación hidráulico construido año atrás.

Según el testimonio de pobladores hace 12 años ocurrió un flujo de detritos de menor magnitud al ocurrido en pasado 20 de abril. Es así que sobre el cauce del río Túpac Amaru se observó bloques de 2 m a 3 m de diámetro, producto de flujos pasados (fotografía 10)

DURANTE EL EVENTO: 20 de abril de 2021

Parte Alta – Sector 1 (ver figura 5)

El 20 de abril de 2021, los deslizamientos generados en la parte alta de la montaña ‘Teta de Oso’ y a lo largo de los flancos del cauce de los ríos de Túpac Amaru I, II y III (figura 5B y figura 7), producto de lluvias intensas, generó un flujo de detritos que se extendió 5 km a lo largo del río Túpac Amaru – Santa Fe, ampliando el ancho del cauce a de 2.5 a 20 m (figura 5B).

En el flanco izquierdo del río Túpac Amaru I, se observaba la presencia de un deslizamiento activo de 70 m de alto por 17m de ancho y otros deslizamientos en proceso de activación con saltos de hasta 14 m y grietas de 2 m a 15 m (figura 7)

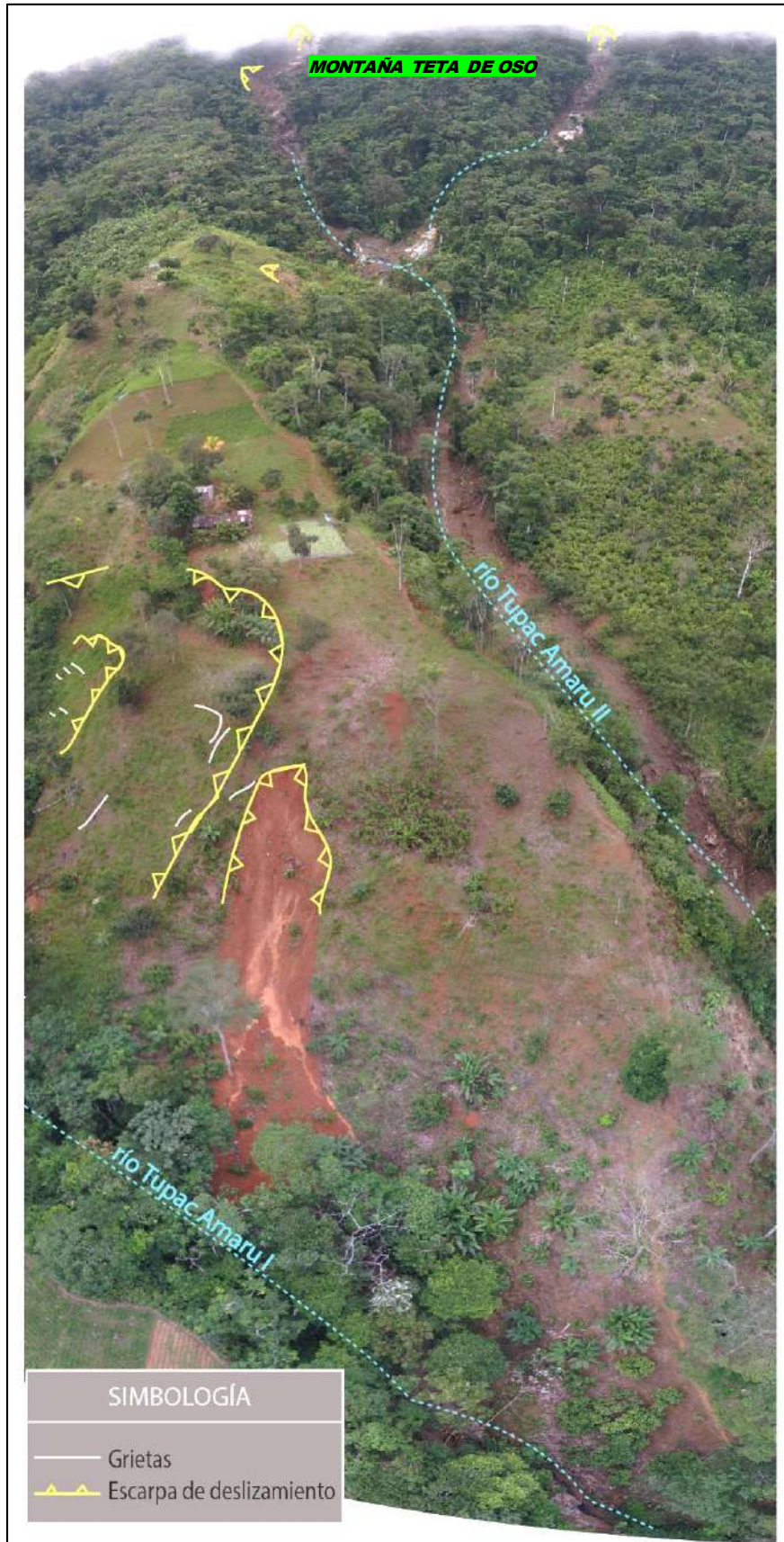


Figura 7. Vista aérea del sector 1 – Túpac Amaru en abril de 2021. Fuente: Base de datos INDECI-PICHARI.

El flujo de detritos arrastró bloques de 40 cm a 60 cm de diámetro, de litología metamórfica y redondez sub-redondeada a subangulosa, envueltos en material limo-arcilloso (fotografía 11), al igual que troncos de plantaciones y cobertura vegetal como parte de los detritos (fotografía 12). El flujo alcanzó una altura promedio de 8 metros a lo largo de su recorrido.



Fotografía 10. Bloques de 2 a 3 m de diámetros sobre el cauce del río Túpac Amaru II, corresponde a material arrastrado en flujos de hace 1 década atrás.



Fotografía 11. Flujo de detritos generado en el evento del 20 de abril de 2021



Fotografía 12. Troncos y rocas arrastrados como parte del material del flujo de detrito0, cerca de la comunidad Túpac Amaru II en el evento de 20 de abril de 2021. Fuente: INDECI-PICHARI

El evento destruyó trochas carrozables (fotografía 13, 14 y 15), aproximadamente siete hectáreas de terrenos de cultivo (fotografía 15), badén, bocatomas y captación de uso potable de agua que abastecía a 48 familias de la comunidad de Túpac Amaru II (fotografía 16).



Fotografía 13. Plataforma Túpac Amaru colapsada debido al crecimiento del rio Túpac Amaru II de la comunidad con el mismo nombre. Fuente: INDECI-PICHARI



Fotografía 14. Vista aérea frontal de la trocha carrozable de Túpac Amaru II destruida debido al crecimiento del rio del mismo nombre, las flechas amarillas muestran la dirección del flujo. Fuente: INDECI-PICHARI



Fotografía 15. Vista aérea trasera de la trocha carrozable de Túpac Amaru II destruida debido al crecimiento del rio del mismo nombre, las flechas amarillas muestran la dirección del flujo. Fuente: INDECI-PICHARI

DESPUÉS DEL EVENTO: 10 de octubre de 2021

Actualmente la comunidad de Túpac Amaru II se ubica a 50 m del flanco izquierdo del cauce del río Túpac Amaru II y a 40 m del flanco derecho del río Túpac Amaru III (figura 6C), debido al ensanchamiento del cauce de los ríos Túpac Amaru II y III.

El flujo de detritos generó inestabilidad de la parte baja de los depósitos coluviales distribuidos en las zonas de estudio, dando lugar a erosión intensa y derrumbes a ambos flancos del río Túpac Amaru I, II y III. Además, las intensas lluvias de abril generaron la activación y reactivación de deslizamientos mayores a 70 m de longitud (figura 6C y figura 7), cuyo material aportó al flujo de detritos en arrastre (figura 7).

Río Túpac Amaru II

El río de Túpac Amaru II nace en la montaña 'Teta de Oso' y se extiende por casi 3 km en dirección SW hasta acoplarse al río Santa Fe (figura 5A), tiene por afluentes el río Túpac Amaru I y III quienes confluyen con Túpac Amaru II a 55 metros más abajo de la trocha carrozable de Túpac Amaru II (figura 8 y fotografía 15) y 600 metros más arriba de la comunidad de Santa Fe (ver figura 5C) respectivamente.

La comunidad de Túpac Amaru II, ubicada en el flanco izquierdo del río con el mismo nombre, es habitada por 48 familias quienes contaban con un sistema hidráulico de captación de agua para consumo humano (bocatomas (fotografía 16), tuberías, presa de paso y pozos de filtración (fotografía 17)) antes de su destrucción el 21 de abril de 2021. Esta Infraestructura hidráulica se encontraba distribuida dentro del cauce del río Túpac Amaru II entre 3 m a 60 m del flanco izquierdo del mismo río (figura 8)

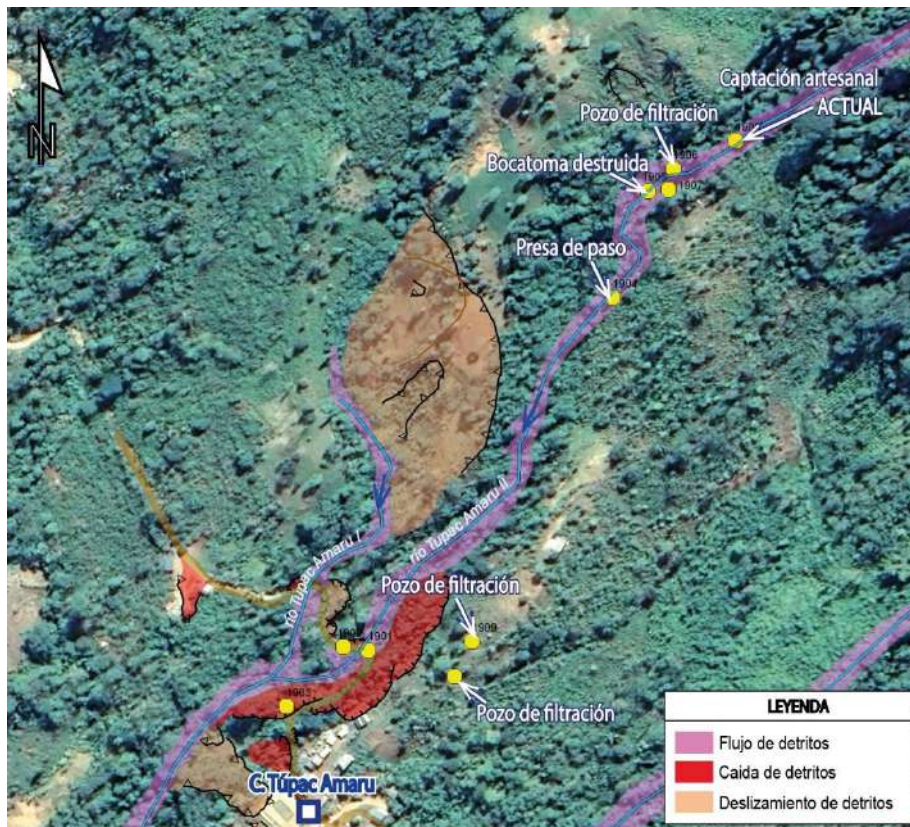


Figura 8. Ubicación de infraestructura hidráulica, destruida el 21 de abril de 2021



Fotografía 16. Bocatoma destruida por el flujo de detritos del 21 de abril de 2021



Fotografía 17. Pozo de filtración en mal estado ubicado de 60 m del flanco izquierdo del río Túpac Amaru, se observa tuberías rotas y abundante material arenoso y limoso en el interior del pozo.

El testimonio de los pobladores indica que después del flujo de detritos generado el 21 de abril de 2021, los habitantes de la comunidad de Túpac Amaru II no tuvieron agua potable por 6 días, optando por realizar una captación artesanal del cauce del río Túpac Amaru II (figura 8). Desde entonces, hasta hace más de medio año, que los pobladores utilizan una manguera sin ningún tipo de filtro (fotografía 18) con la finalidad de transportar agua para consumo humano a 48 familias de la comunidad de Túpac Amaru II, Sin embargo, no es agua apta para consumo humano por la presencia de abundante arenilla y limo en su transporte, además cuando la lluvia es intensa la manguera se atasca con rocas o lodo y no pueden usarla para consumo humano, a pesar de ser la única fuente de abastecimiento hídrico.



Fotografía 18. Captación artesanal con manguera en la parte alta del río Túpac Amaru II.

La manguera colocada para captar el agua de río es direccionada al pozo de filtración del anterior sistema hidráulico, es acá donde se observa las arenillas y limos al fondo de la infraestructura (fotografía 19), el pozo de filtración no funciona debido al exceso de material arenoso y terroso suspendido en el agua.



Fotografía 19. Agua captada con la manguera en el cauce del río Túpac Amaru II.

Río Túpac Amaru I y II

El río Túpac Amaru I y II confluyen 55 metros más abajo de la trocha carrozable de Túpac Amaru II (fotografía 15). El 21 de abril de 2021, en este sector, fueron destruidos y/o afectados terrenos de cultivo, la trocha carrozable, 1 vivienda ubicada a 6 metros del flanco derecho del río Túpac Amaru II y en la trocha carrozable y

A la fecha la trocha carrozable de Túpac Amaru II, fue rehabilitada a través de trabajos de limpieza y compactación. Sin embargo, el flujo generó desestabilización de depósitos coluviales que cubren la zona de estudio y se desarrolló derrumbes por donde pasó el flujo (fotografía 20).



Fotografía 20. Vista de la carretera Túpac Amaru II rehabilitada, flanco izquierdo del río Túpac Amaru II, se observa la presencia de derrumbes por donde pasó el flujo de detritos.

Río Túpac Amaru III

El río de Túpac Amaru III nace en la montaña 'Teta de Oso' y es afluente del río Túpac Amaru II (figura 5B). La comunidad de Túpac Amaru II está ubicada en el flanco derecho del río Túpac Amaru III (ver figura 6C). El flujo de detritos que pasó por este sector arrastró consigo bloques clasto soportado hasta de 80 cm de diámetro envueltos en una matriz areno – limosa (fotografía 21), el flujo de detritos ensanchó el cauce de 2.5 m a 20 m, destruyendo terrenos de cultivos, trochas carrozables y afectando de flujo de lodo una vivienda ubicada a 25 m del flanco derecho del río Túpac Amaru III.



Fotografía 21. Vista del material detrítico que arrastró el flujo a lo largo del río Túpac Amaru III

Daños en el sector de Túpac Amaru II.

- ✓ Destrucción de 150 metros de trocha carrozable Túpac Amaru II
- ✓ Destrucción de 50 metros de trocha carrozable en el río Túpac Amaru III (altura de la comunidad Túpac Amaru II)
- ✓ Destrucción de 62 metros de trocha carrozable en el río Túpac Amaru III (250 aguas debajo de la comunidad Túpac Amaru II)
- ✓ Destrucción de 7 hectáreas de terrenos de cultivo a ambos flancos del río Túpac Amaru II
- ✓ Destrucción de 3 hectáreas de terrenos de cultivos a ambos flancos del río Túpac Amaru III
- ✓ Destrucción de la bocatoma de Túpac Amaru II
- ✓ Destrucción de tuberías superficiales
- ✓ Destrucción de presas de paso del sistema hidráulico de captación
- ✓ Badenes destruidos
- ✓ Afectación de 2 viviendas encontradas en el flanco derecho del río Túpac Amaru II y III

4.1.2. PELIGROS GEOLÓGICOS Y DAÑOS EN EL SECTOR DE SANTA FE

Las imágenes satelitales Google Earth de 2020 (figura 9A) y el cartografiado insitu después del evento (figura 9B) muestran que después del 21 de abril de 2021, el ancho del río Santa Fe se ensanchó de 4 m a 53 m y destruyó terrenos de cultivo a ambos flancos del río. La comunidad de Santa Fé, estuvo protegida por trailers contratados días atrás para trabajos ingenieriles en la zona, aun así se observa flujos de lodo que arrastraron rocas y troncos de plantaciones afectando la comunidad de Santa fe (fotografía 22)



Fotografía 22. Flujos de lodo que generaron daños materiales en la comunidad de Santa Fe.
Fuente: INDECI-PICHARI

Actualmente la comunidad de Santa Fe está ubicada solo a 25 m del flanco derecho del río Santa Fe, en la vía nacional PE-28B y era habitada por 12 familias, después del evento 10 familias se retiraron y a la fecha solo 2 familias se encuentran en la comunidad de Santa Fe.

En el sector de Santa Fe se identificaron peligros geológicos de tipo flujo de detritos a lo largo del río Santa Fe y flujo de lodo en la comunidad Santa Fe (figura 9).



Figura 9: Imágenes Google Earth antes y después del evento del 21 de abril de 2021

Los pobladores de Santa Fe solicitaron reubicación, sin existo alguno procedieron a deshabitar viviendas.

Daños en el sector de Santa Fe

- Destrucción de aproximadamente 3 hectáreas de terrenos de cultivo a ambos flancos del río Santa Fé
- Destrucción de badén
- Afectación de 12 viviendas de la comunidad Santa Fé
- Destrucción del ~150 m del tramo de la carretera Pichari Capital –Puerto Ene.

4.1.3. PELIGROS GEOLÓGICOS Y DAÑOS EN EL SECTOR DE OTARI SAN MARTIN

Río Cusco Mayo

Afluentes que nacen en la montaña 'Teta de Oso' forman el río Cusco Mayo, este río se extiende ~2.8 km desde las faldas de la montaña 'Teta de Oso' en dirección SW (paralelo al río Túpac Amaru II – Santa Fe) hasta desembocar en el río Apurímac (figura 5D).

La comunidad de Otari San Martin se ubica en el flanco izquierdo del río Cusco Mayo (parte baja del cauce del río). El 21 de abril de 2021 ocurrió deslizamientos en la parte alta de los afluentes del río Cusco Mayo, esto generó un flujo de detritos que ensanchó en cauce del río de 3m a 21 m (figura 10).

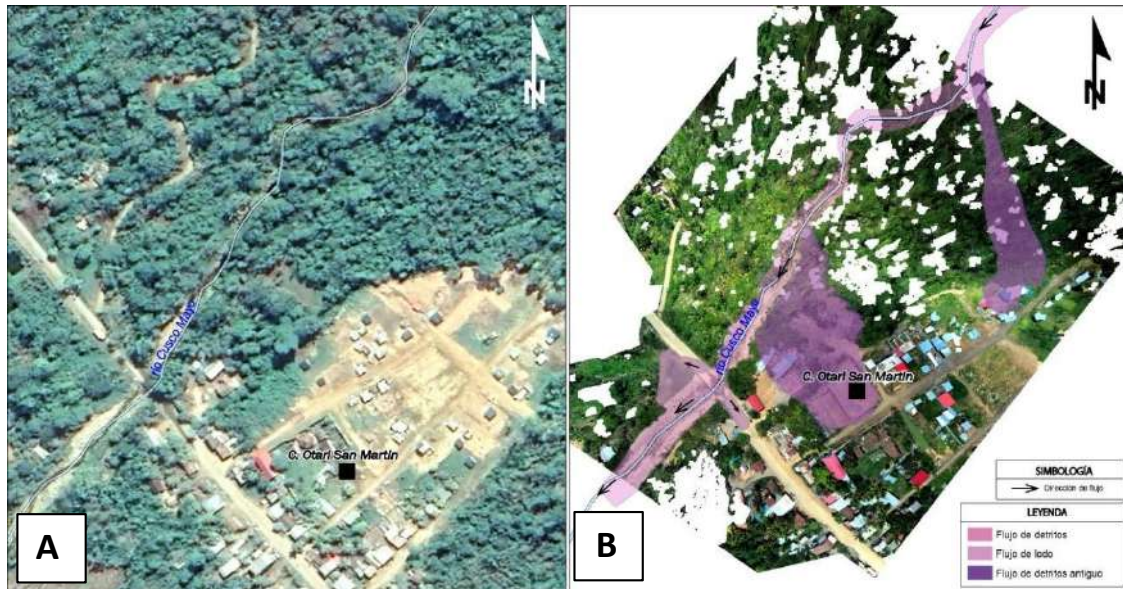


Figura 10. A. Vista del sector de Otari San Martín antes del evento. B. Vista aérea del sector de Otari San Martín después del evento del 21 de abril de 2020, se muestra el cartografiado del flujo de detritos y lodo generado en la zona de estudio.

ANTES DEL EVENTO

Antes del evento la comunidad de Túpac Amaru II se ubicaba a 16 m del flanco izquierdo del cauce del río Túpac Amaru II y (figura 10).

Según el testimonio de pobladores, hace 12 y 5 años lluvias intensas generaron la crecida del río Cusco Mayo, donde flujos de detritos y lodo entraron por los meandros del cauce del río Cusco Mayo (figura 11), extendiéndose 100 metros hasta llegar a infraestructura importante dentro de la comunidad Otari San Martín (figura 10B). Los depósitos aluviales generados en ese entonces son aún visibles dentro de las viviendas (figura 11)

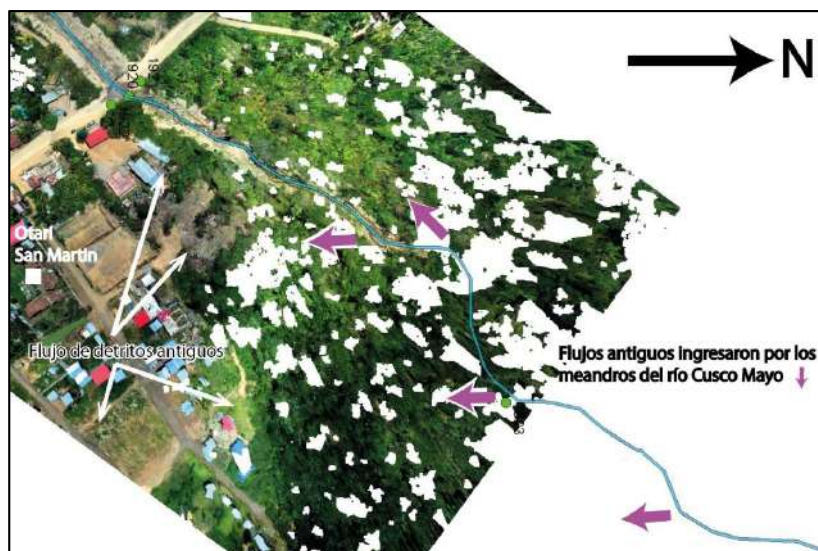


Figura 11: Vista de los meandros del cauce por donde entraron antiguos flujos de detritos. Y vista de depósitos de flujo de detritos en el centro poblado de Otari San Martín. Fotografía aérea de noviembre de 2021

DURANTE EL EVENTO: 20 de abril de 2021

Parte Baja – Sector 3 (ver figura 5D)

El flujo de detritos del 20 de abril de 2021 generó el ensanchamiento del cauce del río Cusco Mayo, desencadenado por lluvias intensas sumada a deslizamientos de detritos en la parte alta, este flujo generó la destrucción de aproximadamente 3 hectáreas de terrenos de cultivos ubicados a ambos flancos del río Cusco Mayo y enlodamiento del terraplén de la carretera nacional PE-28B (fotografía 23).



Fotografía 23: Vista del flujo de detritos que sobrepasó el puente Cusco Maro, en el flanco izquierdo se ubica la comunidad de Otari San Martín. El flujo amplió su cauce y se desbordó sobre la carretera nacional PE-28B. Fuente: INDECI_PICHARI 2021

DESPUES DEL EVENTO: 10 de octubre de 2021

Actualmente la comunidad de Otari San Martín se ubica a 8 m del flanco izquierdo del río Cusco Mayo. Se realizaron trabajos de descolmatación y limpieza del río Cusco Mayo a la altura del centro poblado de Otari San Martín (fotografía 24), Así mismo se realizó la limpieza de la carretera nacional PE-28B (ver fotografía 24)



Fotografía 24: Descolmatación y limpieza del cauce del río Cusco Mayo a la altura de la comunidad de Otari San Martín, en abril de 2021. Fuente: INDECI_PICHARI 2021
 Los detritos y rocas

Los detritos anteriormente descolmatados sobre el cauce del río Cusco Mayo, a la altura de la comunidad con el mismo nombre, son bloques subredondeados de 20 cm a 60 cm y fueron acumulados a ambos flancos del río Cusco Mayo a una altura de 2m, dando una apariencia de enrocado (fotografía 25). Sin embargo, de ocurrir un evento de mayor o igual magnitud al pasado 21 de abril de 2021, estos bloques serían arrastrados como parte del flujo de detritos, generando una afectación directa de comunidades y/o terrenos de cultivo existentes aguas abajo.

Los trabajos de descolmatación y limpieza fueron realizados en abril del 2021 (después de evento), a la altura de la comunidad Otari San Martín (fotografía 24), no obstante, los detritos acumulados en la parte alta (donde no se realizó los trabajos de descolmatación) continuaron siendo arrastrados por el cauce de río, llenándose de detritos nuevamente (fotografía 25).



Fotografía 25: Cauce del río Cusco Mayo en octubre de 2021, se observa la presencia de detritos arrastrados de la parte alta del río Cusco Mayo.

Daños en el sector de Otari San Martín

- Hace 12 años y 5 años, varios flujos de detritos y lodo entraron por los meandros del río Cusco Mayo y se extendieron 100 m hasta alcanzar y afectar la institución educativa, el grifo, criadero de cuyes y viviendas de la comunidad de Otari San Martín.

EL EVENTO DEL 21 DE ABRIL DE 2021

- Destruyó aproximadamente 2 hectáreas de terrenos de cultivos de la comunidad de Otari San Martín.
- Afectó la carretera nacional PE-28B

4.2. Obras de rehabilitación a octubre de 2021

SECTOR DE TÚPAC AMARU II:

- Rehabilitación de ~ 150 metros de la trocha carrozable Túpac Amaru II, a través de trabajos de limpieza
- Rehabilitación de ~ 50 metros de trocha carrozable en el río Túpac Amaru III (altura de la comunidad Túpac Amaru II), a través de trabajos de limpieza
- Rehabilitación de ~ 62 metros de trocha carrozable en el río Túpac Amaru III (250 aguas debajo de la comunidad Túpac Amaru II), a través de trabajos de limpieza
- Rehabilitación de badenes destruidos

SECTOR DE SANTA FE:

- Descolmatación del río de santa fe de la progresiva 0+000m, río arriba a 0+100m., río abajo progresiva 0+480m, progresiva 0+330.
- Descolmatación y protección con rocas (material detrítico del flujo) de terrenos de cultivos de plátano, cacao, etc. (fotografía 26)
- Rehabilitación de la carreta principal tramo Pichari – Puerto-Ene a través de trabajos de limpieza de detritos.



Fotografía 26: Descolmatación y protección con rocas (material detrítico del flujo) a ambos flancos del río Santa Fe. Fuente: INDECI_PICHARI 2021

SECTOR DE OTARI SAN MARTIN:

- Descolmatación de la progresiva 0+00m a 0+440m
- Descolmatación del río Cusco Mayo y protección con rocas (material detrítico del flujo) de terrenos de cultivos (fotografía 27).
- Limpieza de la carretera nacional PE-28



Fotografía 26: Descolmatación y protección de cultivos con rocas (material detrítico del flujo) en el río Cusco Mayo. Fuente: INDECI_PICHARI 2021

4.3. Factores condicionantes y desencadenantes

4.3.1. FACTORES CONDICIONANTES

- **GEOLOGÍA:** Las unidades geológicas de rocas metamórficas como gneis y granulitas del complejo Metamórfico Cielo Punku Pichari, pizarras y lutitas con intercalaciones de cuarcitas del Grupo San José y cuarcitas blanquecinas con niveles de pizarras de la Formación Sandia se presentan fuertemente fracturadas y meteorizadas por lo que van generando material disponible que se encauza en flujos de detritos. Sin embargo, la presencia de potentes depósitos aluviales y coluviales que cubren parte de estos afloramientos dan lugar a movimientos en masa de tipo deslizamiento y derrumbes.
- **TECTÓNICA:** La presencia de fallas normales e inversas regionales distribuidas cerca de las zonas de estudio, condiciona la presencia de intenso fracturamiento de las unidades lito-estratigráficas y sobre todo el desfogue de puquiales y ojos de agua.
- **GEOMORFOLOGÍA:** Las unidades geomorfológicas de montañas en rocas metamórficas, vertientes coluvial de detritos, vertiente aluvio-torrencial, llanura o planicie inundable; siendo las tres últimas unidades, producto de la denudación y transporte de sedimentos. Estas vertientes son disectadas por ríos, en donde se observa con mayor frecuencia la erosión de laderas y presencia de movimientos en masa. La unidad de montaña en roca metamórfica, se observa en la parte más alta del área de estudio.

- **PENDIENTE:** En el sector de Túpac Amaru II presenta pendientes que varían de baja ($5^\circ - 15^\circ$) a muy fuerte ($25^\circ - 45^\circ$) inclinación, mientras que el sector de Santa Fe y Otari San Martín presentan inclinaciones de baja ($5^\circ - 15^\circ$) a media ($5^\circ - 15^\circ$).

4.3.2. FACTORES DESENCADENANTES

- **LLUVIAS INTENSAS:** Hay lluvias intensas entre el 9 de septiembre al 26 de abril; siendo febrero el más intenso, con aproximadamente el 42% de lluvia.
- **INFILTRACIÓN DE AGUA:**

NATURAL - AGUA SUBTERRÁNEA: Muchos de los ríos de la zona de estudio son abastecidos por puquiales en la parte alta de las montañas. Considerando la densa cobertura vegetal en las zonas evaluadas se observa la presencia de humedad natural del suelo ya sea por la influencia de los ríos o por las precipitaciones.

En su mayoría los terrenos de cultivos son regados naturalmente por agua de lluvia, sin embargo, pocas veces se utilizan mangueras artesanales que direccionan de los cauces de río para riego.

SISMOS: Los sismos son uno de los factores que condicionan la ocurrencia de grandes movimientos en masa, sin embargo, según el testimonio de los pobladores no ocurren muchos sismos en las zonas evaluadas.

5. CONCLUSIONES

- a) Geológicamente, en el área de estudio afloran granulitas y gneiss del complejo metamórfico Cielo-Punku; secuencias de pizarras del Grupo San José; niveles de pizarras y cuarcitas blanquecinas de la Formación Sandía. Afloramientos rocosos que se encuentran ligeramente meteorizados, con alto grado de fracturamiento y oxidación. Las unidades geológicas no consolidadas que cubren estos afloramientos rocosos son depósitos aluviales (fragmentos heterométricos y heterogéneos envueltos en una matriz areno-arcillosa/limosa), depósitos coluviales (fragmentos heterogéneos con material fino de arena y limo) y depósitos fluviales con bolones, cantos y gravas subredondeados en matriz arenosa o limosa, distribuidos en el fondo de valle, quebradas principales y lecho de ríos.
- b) Tectónicamente, el sistema de fallas Quimbiri-Pichari y otras fallas más pequeñas al NE de las zonas de estudio, disectan afloramientos del Complejo metamórfico de Cielo-Punku y la Formación Sandía, condicionando el intenso fracturamiento de sus afloramientos y sobre todo la presencia de ojos de agua y puquiales, como fuente imprescindible para la formación de ríos afluentes de Periaventina y Otari.
- c) Las unidades geomorfológicas que representan las áreas de estudio son geoformas de carácter tectónico degradacional como las montañas en roca metamórfica con pendientes que varían de baja (1° - 5°) a muy fuerte (25° - 45°), y geoformas de carácter depositacional como las vertientes coluviales de detritos, vertiente aluvio-torrencial y llanura o planicie inundable, con pendientes que varían de baja (1° - 5°) a media inclinación (5° - 15°). Estas características asociadas a la geología clasifican el área con un grado de susceptibilidad **media a muy alta**, a la ocurrencia de movimientos en masa.
- d) Los peligros geológicos identificados, corresponden a movimientos en masa, tipo deslizamientos y caídas (derrumbes) que originaron un flujo de detritos y lodo en los sectores de Túpac Amaru II, Santa Fe y Otari San Martín, la mañana del 20 de abril de 2021. Además, se observa la reactivación de deslizamientos y derrumbes de grandes dimensiones producto de intensas lluvias. Por lo que se considera de peligro **muy alto, y muy susceptible a** desencadenarse ante temporada de lluvias intensas y prolongadas.
- e) El 20 de abril de 2021, a las 06:30 horas, se produjo grandes deslizamientos en la montaña Teta de Oso; además del incremento del caudal de los ríos de Túpac Amaru I, II y III y afluentes del río Cusco Mayo a consecuencia de lluvias intensas. Dichos flujos de detritos se extendieron a lo largo de los ríos Túpac Amaru-Santa Fe y Cusco Mayo, trayendo consigo la pérdida de 15 hectáreas de cultivo de cacao, plátano, cítricos y yuca a ambos flancos de los ríos Túpac Amaru I, II, III, Santa Fe y Cusco Mayo – sector de Otari San Martín; más de 200 metros de trocha carrozable, bocatoma de Túpac Amaru II, tuberías superficiales, badenes, presas de paso del sistema de captación de agua potable de Túpac Amaru II y afectación de viviendas de Santa Fe y la carretera nacional PE-28B,

infraestructura de las comunidades de Túpac Amaru II, Santa Fe y Otari San Martín.

- f) Se realizaron trabajos de rehabilitación como la descolmatación y limpieza de algunos tramos de los ríos Santa Fe y Cusco Mayo, rehabilitación de trochas carrozables en los sectores de Túpac Amaru II y Santa Fe, limpieza de carreteras.
- g) Los factores que condicionan la ocurrencia de los movimientos en masa en las zonas de estudio son la geología, tectónica (fracturamiento y desfogue de puquiales y ojos de agua), geomorfología y pendiente, mientras que el factor que desencadenó el evento fueron lluvias intensas y prolongadas. No descartándose los efectos de sismos de gran magnitud que detonan estos peligros geológicos.

6. RECOMENDACIONES

TÚPAC AMARU II

- A) Se ha identificado la reactivación de un deslizamiento de 182 m de ancho por 100 m de largo a partir de una escarpa principal de 215 m, con saltos de 14 m y agrietamientos longitudinales y transversales de 2 m a 15 m, en el flanco izquierdo del río Túpac Amaru I (figura 7). Por lo tanto, es recomendable realizar el monitoreo permanente de las aperturas del terreno, prohibir su uso como terreno agrícola, así como el riego no controlado en la cabecera del deslizamiento. Complementando con la plantación de árboles y/o arbustos de raíces profundas que solo necesiten agua de lluvia para sobrevivir, como medida de estabilización del terreno.
- B) Es urgente abastecer de agua potable a la comunidad de Túpac Amaru II a través del restablecimiento de su sistema hidráulico y captación hídrica, debido a que el consumo prolongado de agua no tratada y contaminada es un riesgo para la salud poblacional.
- C) Respetar el cauce del río Túpac Amaru I, II y III (generado después del flujo de detritos del 20 de abril de 2021), estableciendo fajas marginales-, que limiten el desarrollo de actividades agrícolas, y de urbanización.

SANTA FE

Recomendación I

- A) Reubicar a la población de Santa Fe, según la regulación de fajas marginales

Recomendación II

- B) Realizar trabajos de enrocado y/o gaviones a ambos flancos del río Santa Fe. Para los gaviones puede utilizarse el material rocoso arrastrado por el flujo de detritos, con el objetivo de no dejar material suelto en las riberas del río. Es importante contar con un especialista para determinar la altura de la infraestructura ingenieril.
- C) Respetar el cauce del río Santa Fe (generado después del flujo de detritos del 20 de abril de 2021), estableciendo fajas marginales-, que limiten el desarrollo de actividades agrícolas, de urbanización, ni cerrar el cauce del río con los trabajos ingenieriles.

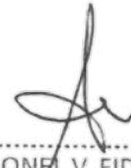
OTARI SAN MARTIN

- A) Realizar trabajos de enrocado y/o gaviones a ambos flancos del río Cusco Mayo. Para los gaviones puede utilizarse el material rocoso arrastrado por el flujo de detritos, con el objetivo de no dejar material suelto en las riberas del río. Es importante contar con un especialista para determinar la altura de la infraestructura ingenieril.

- B) Respetar el cauce del río Cusco Mayo (generado después del flujo de detritos del 20 de abril de 2021), no se debe permitir el desarrollo de actividades agrícolas, de urbanización, ni cerrar el cauce del río con los trabajos ingenieriles.
- C) Realizar diques de protección u otros trabajos ingenieriles, no menor a 2 metros de altura, donde se identificaron formas sinuosas del río Cusco Mayo que condicionaron la entrada de flujos de detritos antiguos en dirección a la comunidad de Otari San Martin (figura 11).
- D) Continuar con los trabajos de descolmatación en el río Cusco Mayo



Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto-Act. 11



.....
Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

7. BIBLIOGRAFÍA

Proyecto Multinacional Andino: GCA,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, 2007.

SENAMHI, 2020. Climas del Perú_Mapa de Clasificación Climática Nacional. Resumen Ejecutivo. 7 p.

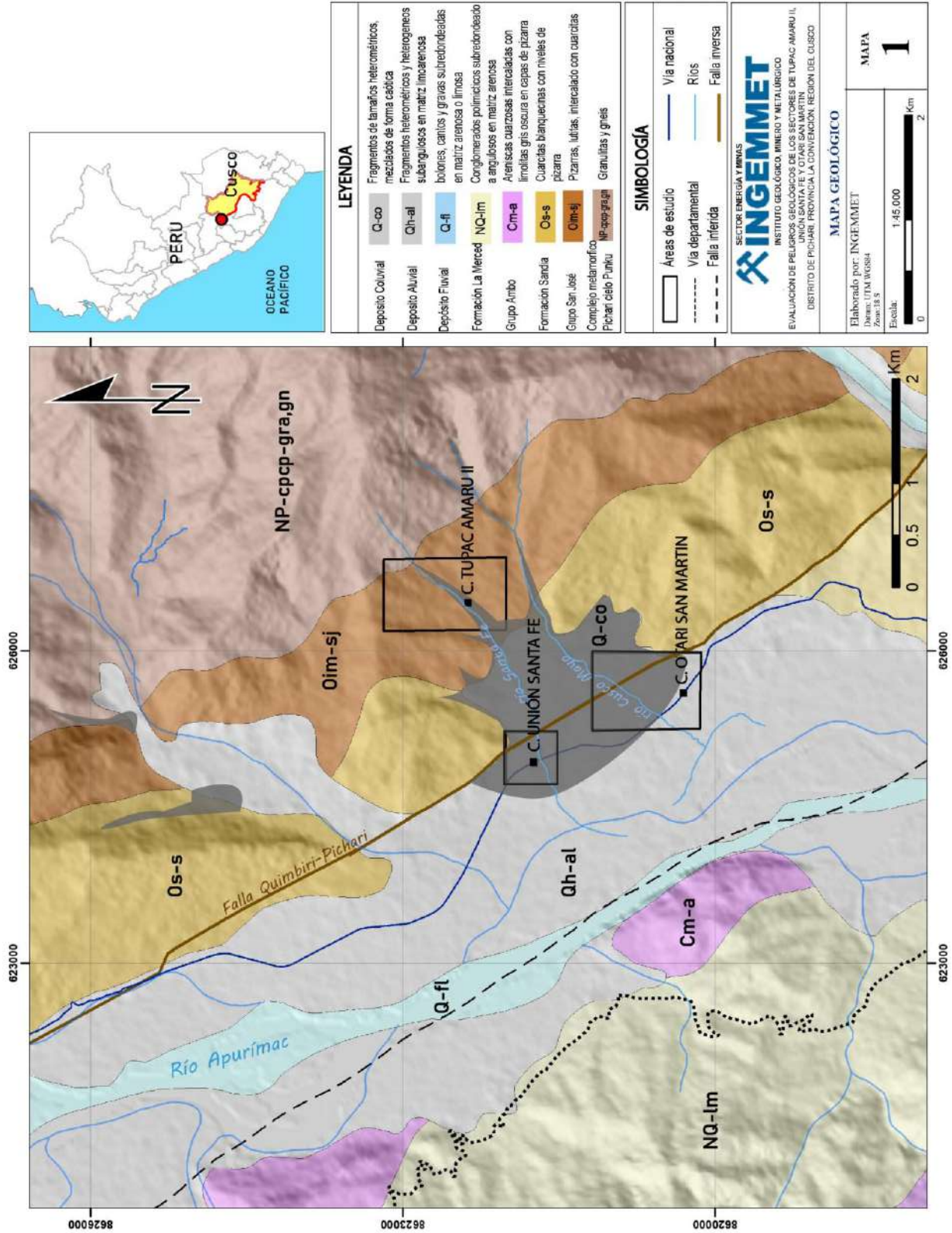
Vilchez M., Sosa N., Pari W., Peña F. (2020). Peligro Geológico en la región de Cusco. Boletín N° 74. Serie C. INGEMMET.

Monge R., Valencia M., Sánchez J. (1998). Geología de los cuadrángulos de Llochegua, Ría Picha y San Francisco, hojas 25-0, 25-p y 26-o. Boletín N° 120. Serie a: Carta Geológica Nacional. INGEMMET.

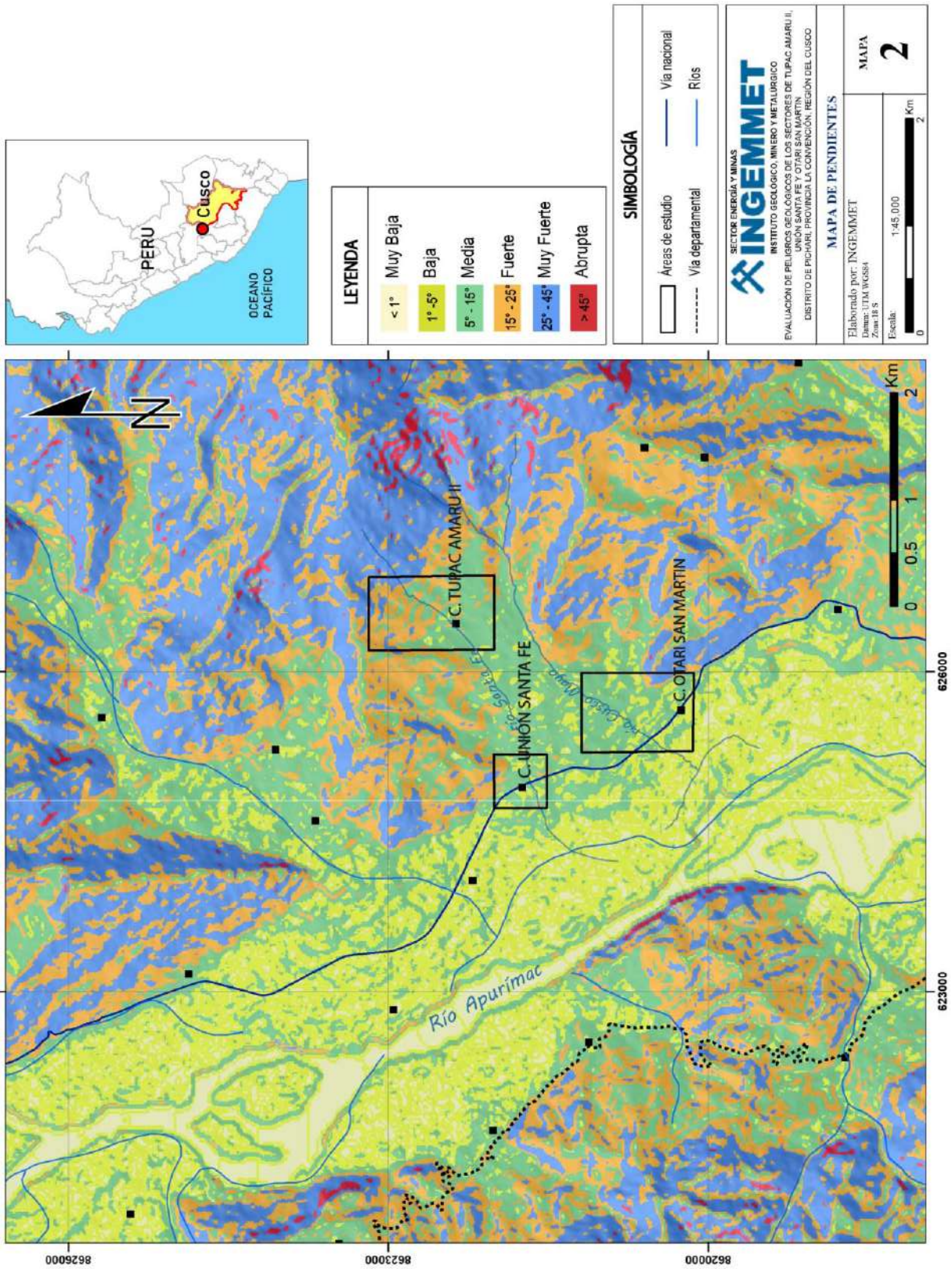
Villota, H. (2005) - Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de las tierras. 2. Ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.

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. Devlin, M.; McKinna, L.W.; Alvarez-Romer

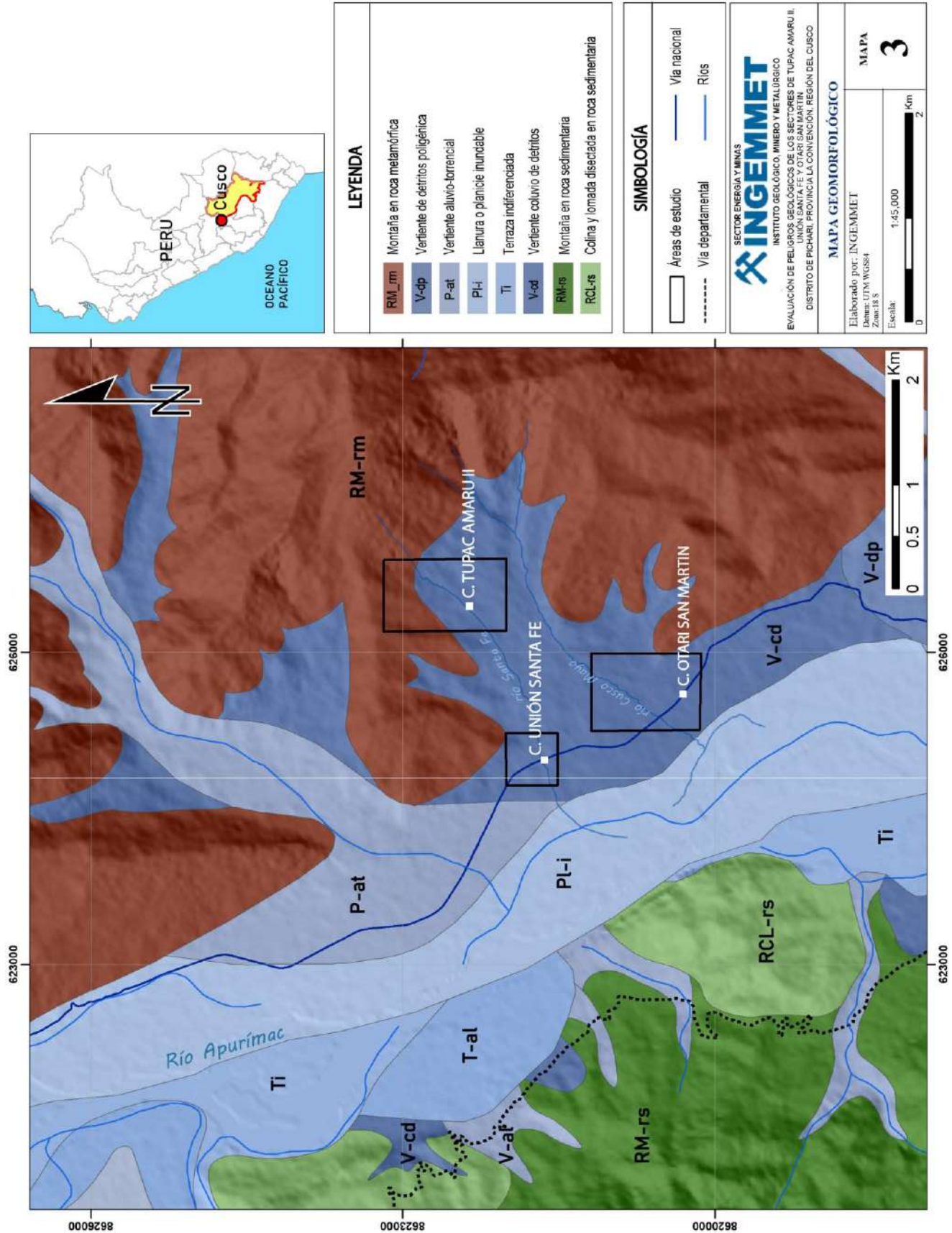
ANEXOS



Mapa 1. Mapa Geológico del área de estudio. Fuente: Monge et al., 1998



Mapa 2. Mapa de pendientes. Fuente DEM: Alaska satellite facility



Mapa 3. Mapa geomorfológico en el área de estudio. Fuente: Vilchez et al., 2020