

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7196

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES DE NOGALPAMPA, SHANKIRWATO Y OTARI NATIVOS

Departamento Cusco
Provincia La Convención
Distrito Pichari



NOVIEMBRE
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 Nogalpampa, Shankirwato y Otari Nativos*. Distrito Pichari, provincia La Convención, región Cusco. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7196, 46 p.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN..... | 4 |
| 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. ASPECTOS GEOLÓGICOS..... | 10 |
| 2.1. Unidades litoestratigráficas..... | 10 |
| 2.1.1. COMPLEJO METAMÓRFICO: GRANULITAS-GNEIS CIELO PUNKU PICHARI (NP-cpcp-gra,gn) | 10 |
| 2.1.2. GRUPO SAN JOSÉ (Oim-sj) | 11 |
| 2.1.3. FORMACIÓN SANDIA (Oim-sj) | 13 |
| 2.1.4. DEPÓSITOS ALUVIALES (Qh-al) | 13 |
| 2.1.5. DEPÓSITOS COLUVIALES (Qh-co)..... | 14 |
| 2.1.6. DEPÓSITOS FLUVIALES (Q-fl) | 15 |
| 2.2. ASPECTOS TECTÓNICOS..... | 15 |
| 3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS..... | 16 |
| 3.1. Pendientes del terreno..... | 16 |
| 3.2. Unidades geomorfológicas | 17 |
| 3.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL..... | 17 |
| 3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL..... | 18 |
| 4. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA..... | 21 |
| 4.1. Peligros geológicos y daños generados en los sectores de Nogalpampa Alta, Shankirwato y Otari Nativos | 23 |
| 4.1.1. PELIGROS GEOLÓGICOS Y DAÑOS EN EL SECTOR DE NOGALPAMPA | 24 |
| 4.1.2. PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR DE SHANKIRWATO | 30 |
| 4.1.3. PELIGROS GEOLÓGICOS Y DAÑOS EN EL SECTOR DE OTARI NATIVOS..... | 35 |
| 4.2. Obras de rehabilitación a octubre de 2021 | 37 |
| 4.3. Factores condicionantes y desencadenantes..... | 38 |
| 4.3.1. FACTORES CONDICIONANTES..... | 38 |
| 4.3.2. FACTORES DESENCADENANTES..... | 39 |
| 4. CONCLUSIONES | 40 |
| 5. RECOMENDACIONES | 42 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA | 43 |
| ANEXOS | 44 |

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en los sectores de Nogalpampa, Shankirwato y Otari Nativos, ubicados a ambos flancos de los ríos Agua Virgen, Shankirwato, Periaventura y Otari, al norte de la localidad de Pichari, distrito de Pichari, provincia de La Convención y región 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, el área de estudio está conformada por el complejo metamórfico Cielo-Punku: granulitas – gneiss, el Grupo José (secuencias de pizarras con fuerte fracturamiento y oxidación), la Formación Sandía (niveles de pizarras con cuarcitas blanquecinas con intenso grado de fracturamiento), depósitos aluviales (fragmentos heterométricos y heterogéneos envueltos en una matriz areno-arcillosa/limosa y distribuidos en los fondos de valle y quebradas principales), 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. La presencia de fallas regionales 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 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 ($1^\circ - 5^\circ$) a muy fuerte ($25^\circ - 45^\circ$), 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 ($1^\circ - 5^\circ$) a media inclinación ($5^\circ - 15^\circ$). 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.

El 20 de abril de 2021, a lo largo de los ríos Agua Virgen, Shankirwato, Periaventura se presentaron flujos de detritos y lodo, deslizamientos y caídas (derrumbes), estos eventos generaron ensanchamiento y profundización de cauces, como también destruyó hectáreas de terrenos de cultivo de cacao y árboles frutales, piscigranjas, tuberías superficiales, tramos de carretera afirmada, trocha carrozable, caminos de herradura, badenes. También afectó viviendas de la comunidad de Otari y puentes de Periaventura y Otari.

Se concluye que, las áreas de estudio son dinámicamente **muy activas** a la presencia de los peligros geológicos identificados, por lo tanto, el nivel de **peligro es muy alto** en temporada de lluvias intensas y prolongadas. Finalmente, se brinda recomendaciones para que las autoridades competentes pongan en práctica.

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

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 tengan 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 eventos de tipo “flujo de detritos y lodo, deslizamientos y derrumbes/caída de suelos” ocurridos la mañana del 20 de abril de 2021, destruyendo piscigranjas, terrenos de cultivos, trochas carrozables de uso vehicular y caminos de herradura para transporte de productos frutales de los sectores de Nogalpampa, Shankirwato y Otari Nativos, ubicados a ambos flancos del río Otari.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los ingenieros. Gael Araujo, Norma Sosa y David Prudencio, para realizar una evaluación técnica de peligros geológicos en los sectores de Nogalpampa, Shankirwato y Otari Nativos, llevándose a cabo una inspección técnica a la zona afectada el 09 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 proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la ley 29664.

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 Nogalpampa, Shankirwato y Otari Nativos
- b) Emitir conclusiones y recomendaciones que contribuyan en los planes de prevención y/o mitigación del riesgo de desastre por movimientos en masa.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

- A) El mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la región Cusco elaborado por Ingemmet (Vílchez et al., 2020), en el distrito de Pichari, región Cusco, muestra que los sectores de Nogalpampa Alta, Shankirwato y Otari Nativos, 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).

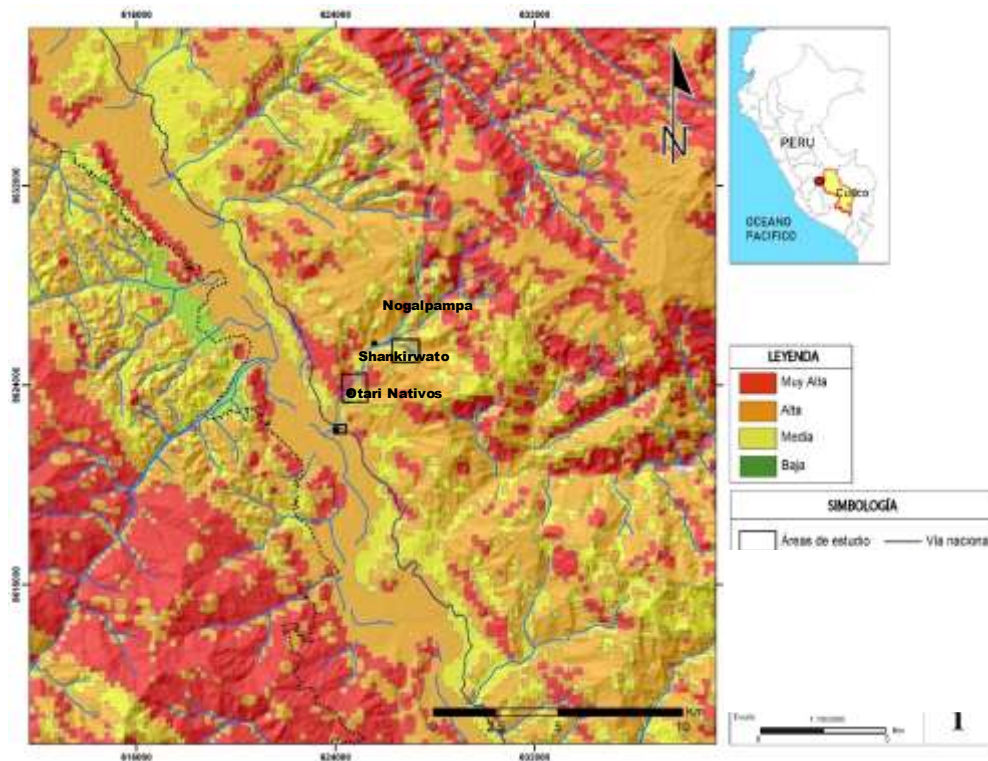


Figura 1. Niveles de susceptibilidad a movimientos en masa del área de estudio. Fuente: Vílchez et al., 2020

- 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, glacial, 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 (intrusivos, 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 nivel 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 Nogalpampa, Shankirwato y Otari Nativos están ubicados a 13 km, 10 km y 8 km respectivamente al norte de la localidad de Pichari. Los sectores de estudios con las comunidades del mismo nombre pertenecen al distrito de Pichari, provincia de La Convención y región del Cusco, ubicadas en las coordenadas UTM WGS84 y geográficas mostradas en el cuadro 2 y figura 2.

Cuadro 2. Coordenadas centrales de las áreas de estudio

| N° | Nombre | UTM - WGS84 - Zona 18S | | Geográficas | |
|----|---------------|------------------------|---------|-------------|----------|
| | | Este | Norte | Latitud | Longitud |
| 1 | Nogalpampa | 627076 | 8625242 | -12.433° | -73.830° |
| 2 | Shankirwato | 624663 | 8623776 | -12.446° | -73.852° |
| 3 | Otari Nativos | 623991 | 8622355 | -12.459° | -73.859° |

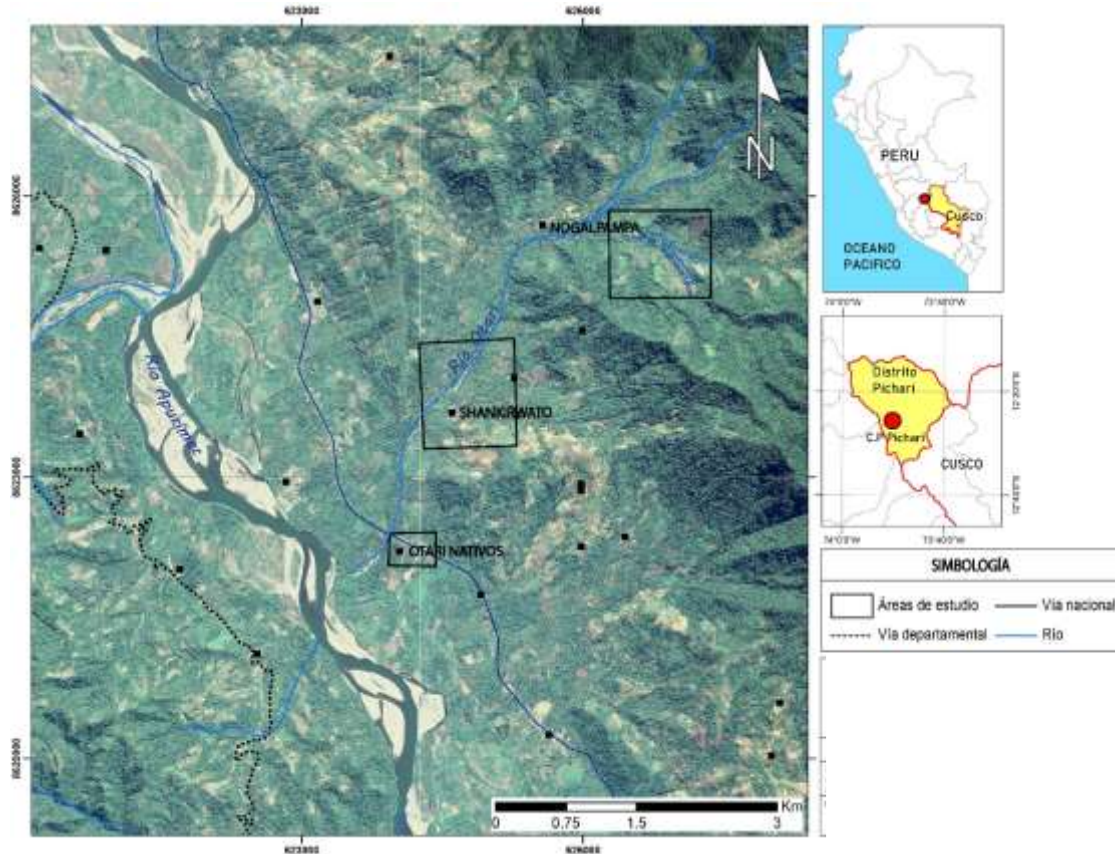


Figura 2. Ubicación del área de estudio.

1.3.2. ACCESIBILIDAD

Teniendo como base la provincia del Cusco, el área de estudio es accesible por la ruta Cusco – Pichari – (Nogalpampa – Otari Nativos - Shankirwato), a través de vías asfaltadas, afirmadas y trochas carrozables, con un total de 11 horas con 50 min (cuadro 3).

Cuadro 3. Rutas y accesos a las zonas evaluadas

| <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 – Nogalpampa | Asfaltada Trocha carrozable | 14.7 | 25 min |
| Nogalpamapa – Otari Nativos | Trocha carrozable Asfaltada | 5.6 | 12 min |
| Otari Nativos -Shankirwato | Affaltada Tocha carrozable | 1.4 | 3 min |

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 %.

1.3.4. USOS DE SUELO

Los sectores de Nogalpampa, Shankirwato y Otari Nativos, presentan terrenos dedicados a la construcción de estantes piscícolas (piscigranjas artesanales) y sobre todo extensas áreas de terrenos de cultivos dedicadas a la siembra de frutales (plátano, coco, naranjas, palta, limones), yuca, cacao, etc.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La descripción geológica se desarrolló 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 M., et al.

2.1. Unidades litoestratigráficas

De acuerdo al mapa regional a escala 1: 100 000 elaborado por Monge R., et al, (1998), los sectores de Nogalpampa, Shankirwato y Otari Nativos están distribuidos sobre depósitos aluviales (Qh-al) y coluviales (Q-co), 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 cada una de las unidades mencionadas con anterioridad:

2.1.1. 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 sobre la base de unas muestras tomadas en el río Pichari afluente del río Apurímac localizado en el departamento de Cusco, donde menciona la existencia de un gneis 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), bien compactos, en algunos casos con deformación plástica, en pliegues pequeños (figura 4), los que siguen una tendencia lineal ligeramente ondulante.



Fotografía 1. Bloque de Gneiss macizo del complejo metamórfico de Pichari Cielo-Punku, localizado en la piscina natural de Nogalpampa, donde nace el río Periaventura, en las coordenadas UTM X:627131.2 Y:8624993.5



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).

2.1.2. GRUPO SAN JOSÉ (Oim-sj)

El Grupo San José en el área de estudio está expuesto principalmente en la margen

derecha del río Apurímac y afluentes como río Pichari, río Quimbiri (hoja de Llohegua).

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.

El Grupo San José es de edad Paleozoico (Ordovícico inferior - medio). Litológicamente está compuesta por pizarras, lutitas con presencia de fósiles graptolites, trilobites, intercalado con cuarcitas. Las secuencias homogéneas de pizarras, en capas delgadas tabulares, característicamente con laminación interna paralela (fotografía 2), con fuerte fracturamiento y que tiene algunos niveles de filitas y con una foliación ligeramente marcada (Monge et al., 1998). Esta secuencia presenta una coloración característicamente oscura, con patinas de Fe por oxidación (fotografía 3).



Fotografía 2: Pizarras en capas delgadas con laminación paralela, fuertemente fracturada y patinas de Fe por oxidación.



Fotografía 3: Pizarras fuertemente fracturada y patinas de Fe por oxidación. Ubicada en las coordenadas UTM WGS84: 655232 Este; 8585684 Norte

2.1.3. 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).

2.1.4. DEPÓSITOS ALUVIALES (Qh-al)

Estos depósitos aluviales de edad Cuaternaria – Holocena, se encuentran distribuidos en toda el área de estudio rellenando el fondo de los valles, quebradas principales, llanuras aluviales antiguas y/o niveles de terrazas adyacentes al valle principal (fotografía 4), la mayoría de éstos alcanzan el nivel freático (Monge et al., 1998).

Está compuesto por una mezcla de fragmentos heterométricos de 10 cm a 50 cm y heterogéneos (bolones, cantos, gravas, arenas y limos), los cantos presentan son redondeados a sub-redondeados, transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias. Tienen regular a buena selección y se presentan estratos diferenciados que evidencian la actividad dinámica fluvial. Se observa terrazas diferenciadas de depósitos aluviales más antiguos. Estos depósitos son utilizados 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 Otari.

2.1.5. DEPÓSITOS COLUVIALES (Qh-co)

Se encuentran conformados por bloques rocosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, acumulados al pie de taludes escarpados, en forma de conos cuando es un solo depósito. Forman piedemontes cuando hay varios depósitos ubicados consecutivamente. Los bloques angulosos más gruesos se depositan en la base y los bloques menores disminuyen gradualmente hacia el ápice. Carecen de relleno, aunque puede encontrarse material fino de arena y limo entre los clastos. Son sueltos, sin cohesión y conforman taludes de reposo poco estables (Vilchez M. et al., 2020).

También se consideran dentro de esta categoría a los depósitos formados por los materiales que fueron movilizados por algunos tipos de movimientos en masa, los cuales están conformados por fragmentos de tamaños heterométricos, mezclados de forma caótica. Pueden presentarse algo consolidados (Vilchez et al., 2020).

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



Fotografía 5: Vista de una mezcla de fragmentos heterogéneos subredondeados envueltos en una matriz limo-arenosa, relleno del flanco izquierdo del río Periaventura.

2.1.6. 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 subredondeadas en matriz arenosa o limosa, mezcla de lentes arenosas y arenolimosas (fotografía 6). 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. Son depósitos inconsolidados a poco consolidados hasta sueltos, fácilmente removibles, cuya permeabilidad es alta (Vilchez et al., 2020)



Fotografía 6: Depósitos redondeados a subredondeados heterométricos con matriz, vista del río Otari a la altura del sector Puerto Mayo

2.2. 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 ubicadas al norte del departamento de Cusco, presenta un rumbo NW-SE (Benavente C., et al. 2013).

La falla Quimbiri-Pichari se ubica entre los 0.67 km a 3.5 km al SO de las áreas de estudio (entre Otari Nativos y Nogalpampa Alta)

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.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

El modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución extraído del satelital de Alaska, determina que los sectores de Nogalpampa, Shankirwato y Otari presentan pendientes que varían entre baja a muy fuerte (cuadro 4) (ver anexos - mapa 2). La descripción de estas pendientes se da en el cuadro 5.

| Sectores | Pendientes |
|-----------------|--|
| Nogalpampa Alta | baja (5° - 15°) a muy fuerte (25° - 45°) |
| Shankirwato | baja (5° - 15°) a media (5° - 15°) |
| Otari Nativos | baja (5° - 15°) a media (5° - 15°) |

Cuadro 4. 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 4. Descripción de pendientes mostradas en el mapa.2. Fuente: Vilchez et al., 2020

3.2. 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 regionalmente el área de estudio en geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional (montañas en roca metamórfica) y geoformas de carácter deposicional (vertiente coluvial de detritos, vertiente aluvio torrencial y llanura o planicie inundable) (Ver Anexos - mapa 3).

3.2.1. 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.

3.2.1.1. Montañas en roca Metamórfica (RM-rs)

Se distribuyen en la parte alta de la zona 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 Agua Virgen (sector de Nogalpampa Alta) y río Shankirwato (sector de Shankirwato), ambos desembocan en el río Periaventina y este se une aguas abajo al río Otari.

Corresponde a las cadenas montañosas en donde procesos denudativos (fluvio-erosionales, glaciar y glacio-fluvial) afectaron rocas metamórficas, estas montañas son antiguas y se hallan expuestas en el lado central de la región 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 Sandia.

Presentan laderas con pendientes moderadas a abruptas, de cumbres redondeadas a agudas que fueron afectadas por actividad glaciar, formando valles glaciares (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 escarpado (>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.

3.2.2. 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 coluvio, 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. Hay escasa o nula presencia de suelos y vegetación por la acumulación de fragmentos de roca (entre 50 y 80%) de variado tamaño (gravas a bloques), resultantes de la meteorización física por gelifracción o termo-fracción de los materiales que los constituyen. Estos fragmentos, deprendidos de los escarpes, se desplazan en caída libre o rodando cuesta abajo. 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).

Por otro lado, cuando los fragmentos presentan tamaños variados, estos se disponen en un patrón selectivo, con los bloques de mayor tamaño hacia la base debido a su

mayor momento y a su facilidad para rodar. Los fragmentos más pequeños se ubican hacia el ápice del depósito. 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 en una ladera muy empinada. El desprendimiento de masas de suelo genera la aglomeración de bloques sueltos y la presencia escasa de vegetación, en comparación con la parte alta.

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 moderada (1-15°).

En la región Cusco, las planicies tienen buena distribución y abarcan el 1.05 % de su superficie. Ejemplos de estas geoformas 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 los 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).



Fotografía 9: Vista aérea de la vertiente aluvio-torrencial en el sector de Nogalpampa Alta. Las lluvias excepcionales en abril de 2021 provocaron un flujo de detritos que ensanchó el cauce del río Agua Virgen, Periaventina y Otari, destruyendo terrenos de cultivo a su paso.

UNIDAD DE VALLES

3.2.3.3. Llanura o planicie inundable (PI-i)

Son superficies bajas, adyacentes a los fondos de valles principales y al mismo curso

fluvial, sujetas a inundaciones recurrentes, ya sean estacionales o excepcionales. Morfológicamente, se distinguen como terrenos planos compuestos de material gravo-arenoso con limos, no consolidado y removible con cada subida estacional del caudal del río (Vilchez et al., 2020) (fotografía 10)



Fotografía 10: Vista aérea del sector de Nogalpampa Alta y el nuevo cauce del río Otari (después del flujo de detritos de abril de 2021). Se observan a lo largo del recorrido la presencia de zonas susceptibles a inundación frente a crecidas excepcionales, a ambos flancos del río Otari.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA

Las comunidades de Nogalpampa, Shankirwato y Otari Nativos están distribuidos a ambos flancos del río Periaventina y Otari (figura 5A), El río Periaventini a su vez tiene de afluentes a los ríos Agua Virgen y Shankirwato (ambos provenientes de aguas subterráneas).

La mañana del 20 de abril de 2021, el cauce del río Agua Virgen (punto inicial visible en la piscina natural de Nogalpampa Alta), creció producto de lluvias intensas y vino cargado de troncos y palos de plantaciones, causando derrumbes y deslizamientos a ambos lados de la piscina natural de Nogalpampa, generando al mismo tiempo un flujo de detritos que se extendió a lo largo del río Agua Virgen, Periaventina y Otari, al mismo tiempo otro flujo de detritos generado en el río Shankiwato se unió al río Periaventina - Otari a la altura de la comunidad de Shankirwato. Este evento destruyó piscigranjas, terrenos de cultivos, tuberías superficiales, badenes y trochas carrozables a ambos flancos del río Agua Virgen, Periaventina, Shankirwato y Otari, y por lo tanto afectó directamente los sectores de Nogalpampa, Shankirwato y Otari Nativo.

Los peligros geológicos reconocidos en los sectores evaluados, corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamiento, derrumbes y flujos de detritos en Nogalpampa Alta y Shankirwato que desencadenaron en un flujo de detritos de mayor dimensión con extensiones de ~ 3.5 km hasta desembocar en el río Apurímac. Este flujo de detritos al perder capacidad de transporte, dejó en su camino material grueso, para

luego solamente transportar lodo en la parte baja del río Otari, afectado directamente la comunidad de Otari Nativos (figura 5).

Se realizaron 2 sobrevuelos usando dron en los sectores de Nogalpampa Alta y Shankirwato, los cuales permitieron obtener una vista aérea del nuevo ancho del cauce del río Periventina, Shankirwato y Otari 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 y abundante vegetación a ambos flancos de los ríos Periventina, Shankirwato y Otari, estado que cambió radicalmente después del evento, observándose actualmente cauces de río hasta de 66 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 peligros geológicos como deslizamientos y derrumbes generados en las laderas del sector de Nogalpampa Alta, por lo tanto su dimensionamiento se torna complicado.

Los deslizamientos y derrumbes en Nogalpampa Alta se desarrollan en depósitos no consolidados, con abundante humedad producto de aguas subterráneas y pendientes con inclinación fuerte (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 cuyas pendientes tienen inclinaciones bajas (1° - 5°) a medias (5° - 15°).

Este evento fue desencadenado por lluvias intensas excepcionales que, asociado a sus condiciones geológicas y geomorfológicas antes descritas, son sectores de mediana a muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa.

Por lo tanto, los sectores evaluados son considerados dinámicamente muy activos a la ocurrencia de deslizamientos, derrumbes y flujos de detritos frente a lluvias intensas excepcionales.

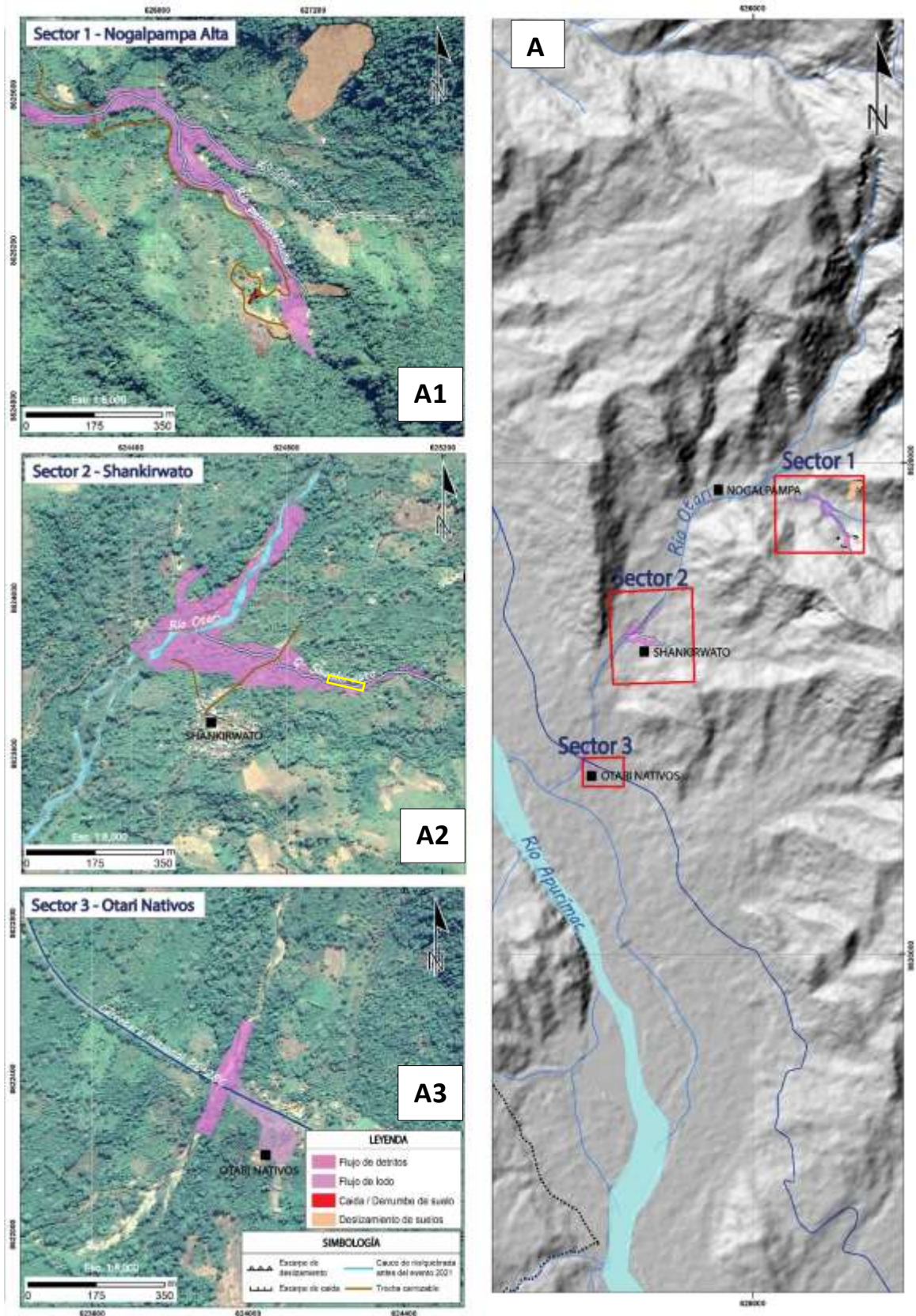


Figura 5. Cartografía de peligros geológicos
4.1. Peligros geológicos y daños generados en los sectores de Nogalpampa Alta, Shankirwato y Otari Nativos

El 20 de abril de 2021, a las 06:30 horas, se produjo el incremento del caudal de los ríos de Agua Virgen, Shankirwato y Periaventina, a consecuencia de lluvias intensas, esto generó la activación de deslizamientos y derrumbes en la parte alta de Agua Virgen y Shankirwato, y el inicio de flujos de detrito a lo largo de estos ríos los cuales desembocaron en el río Periaventina y luego en el río Otari, para extenderse por más de 3.5 km hasta finalmente desembocar el río Apurímac.

4.1.1. PELIGROS GEOLÓGICOS Y DAÑOS EN EL SECTOR DE NOGALPAMPA

Las imágenes satelitales de Google Earth de marzo de 2020 y el sobrevuelo dron de octubre de 2021 muestran el sector de Nogalpampa Alta antes (figura 6A) y después del evento de abril del 2021 (figura 6B). La característica más representativa de esta comparación de imágenes temporales es la ampliación del ancho del cauce del río Agua Virgen y Periaventina y la destrucción de terrenos de cultivo.

En el sector de Nogalpampa se identificaron peligros geológicos de tipo deslizamientos, derrumbes y flujos de detritos a lo largo del río Agua Virgen (figura 6B).

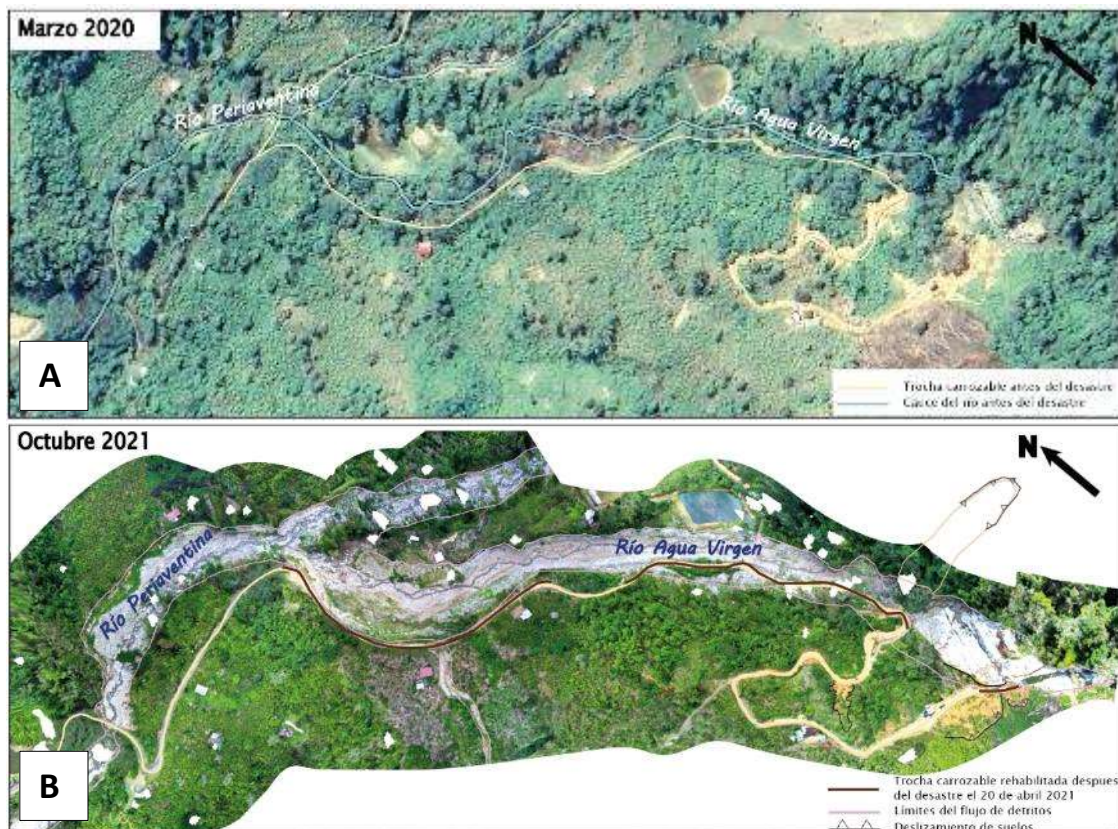


Figura 6. Imágenes temporales antes y después del evento de abril de 2021

- NOGALPAMPA ALTA

El punto inicial visible del río Agua Virgen es la piscina natural de Nogalpampa (uno de los atractivos turísticos del VRAEM), abastecida de agua por la catarata de Nogalpampa (fotografía 11), sin embargo, su cauce se extiende a mayor longitud desde el SW, su curso no es visible a simple vista debido a que bordea la montaña metamórfica del

complejo de granulitas - gneis, la densa vegetación y la presencia de pequeñas cataratas que genera desniveles a lo largo su cauce. Se puede observar la continuidad del cauce del río Agua Virgen al SW a través de la imagen aérea obtenida con el sobrevuelo dron (fotografía 12).



Fotografía 11. Piscina natural y catarata de Nogalpampa



Fotografía 12. Continuidad del cauce del río Agua Virgen al SW

El día del evento, el cauce del río Agua Virgen aumentó su caudal y arrastró troncos y rocas de distintas dimensiones sobre la piscina natural de Nogalpampa (ver fotografía 11), destruyendo al mismo tiempo una caseta de paja construida a lado de la piscina.

Al mismo tiempo este flujo violento de agua y materiales en suspensión desestabilizaron depósitos no consolidado de laderas empinadas, generando

deslizamientos y derrumbes a ambos lados de la piscina natural de Nogalpampa (ver figura 5 A1 y fotografía 13), y posterior flujo de detritos a lo largo del río Agua Virgen. El flujo de detritos en la parte alta, se extendió 100 m sobre el camino que lleva a la piscina natural de Nogalpampa (figura 5 A1 y figura 6)



Fotografía 13. Derrumbes re-activados en el lado izquierdo de la piscina natural de Nogalpampa, en el camino que lleva a piscina natural de Nogalpampa

El flujo de detritos generado en la parte alta (catarata de Nogalpampa o más arriba) destruyó y eliminó terrenos de cultivos, carreteras afirmada, trocha carrozable, tuberías superficiales y 03 piscigranjas ubicadas a ambos flancos del cauce del río Agua Virgen, ampliando el ancho de su cauce de 3 m a (38m - 65 m) (figura 6).

Al mismo tiempo se activó otro flujo de detritos sobre el cauce del río Periaventina, destruyendo terrenos de cultivo a ambos flancos. Ampliando el ancho de su cauce de 3 m a ~35 m (figura 7). Ambos ríos confluyen en las coordenadas UTM WGS84 X: 626833 E Y: 8625524 N

El flujo de detritos a lo largo del río de Agua Virgen se une al río Periaventina y aguas abajo a la altura del puente Otari se une al río Otari. Este flujo de detritos está conformado por bloques subanguloso a subredondeados de roca metamórfica (gneis y pizarras) de 10 cm a 1.5 m de diámetro sobre el cauce de los ríos (figura 8).

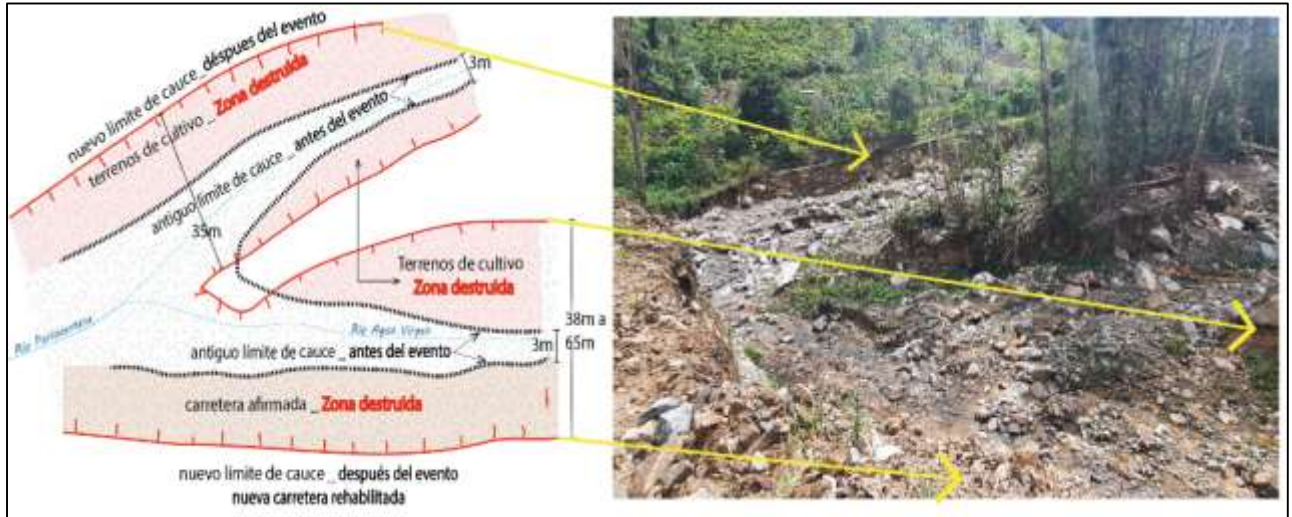


Figura 7. Límites de los flancos del cauce del río Agua Virgen y Periaventina antes y después del evento de abril de 2021



Figura 8. Remantes del flujo de detritos en el cauce de los ríos Agua Virgen (A) y Otari.(B)

- PUEBLO PERIAVENTINA

A lo largo del cauce del río Periaventina se observa erosión de la plataforma del puente Periaventini (15 m de longitud) (fotografía 14) y la acumulación de palos y lodos a los extremos, producto del paso del flujo de detritos. El puente tiene una altura de ~8.4 m y el flujo llegó a 5.8 m, con presencia de bloques de hasta 2.7 m de diámetro. Se observa también una vivienda que no fue afectada por el flujo de detritos, al límite del flanco derecho del río Periaventina (fotografía 15)



Fotografía 14. Erosión de la plataforma del puente Periaventina y acumulación de flujo de detritos.



Fotografía 15. Vista del flujo de detritos y vivienda al límite del flanco derecho del río Periaventina

- COMUNIDAD DE NOGALPAMPA

La comunidad de Nogalpampa sufrió pérdidas de terrenos de cultivo en ambos flancos del río Periaventina, en respuesta a ello se realizó una descolmatación y construcción de diques de 2 m de ancho. Además, el ancho del nuevo cauce del río Periaventini después del evento alcanzó 35.7 m.



Fotografía 16. Descolmatación y construcción de diques a la altura de la comunidad de Nogalpampa en el flanco derecho del río Periaventina y vista de la confluencia del flujo de detritos generado en el río Shankirwato hasta el río Periaventina

- FLANCOS DEL CAUCE DEL RÍO OTARI

Continuando con el cauce del río a la altura del puente colgante de Periaventina, se unen los ríos de Periaventina y Otari, donde también se muestra erosión de la plataforma del puente colgante y grandes bloques del flujo de detritos.

En la coordenada UTMWGS84: X:624389 E Y:8623882 N, más abajo del puente colgante de Periaventina, se observa una carretera de trocha afectada por el flujo de detritos del 20 de abril de 2021, las medidas de rehabilitación realizadas fueron de limpieza y compactación de tierra para habilitar la carretera de uso vehicular (fotografía 17). Sin embargo, se observa la presencia de agua estancada que afecta directamente la carretera rehabilitada (fotografía 17).

Los pobladores indican que también fue destruida una tubería que abastecía de agua potable al centro poblado de Puerto Mayo



Fotografía 17. Carretera rehabilitada para habilitar el tránsito vehicular

El testimonio de la población indica que hace 15 años o más ocurrió un huaico con características similares activando el río Agua Virgen_Periaventina y desbordando el cauce del río Otari.

Daños en el sector de Nogalpampa.

- ✓ Caseta de paja construida a lado de la piscina
- ✓ 03 Piscigranjas y terrenos de cultivos de 2 familias de Nogalpampa Alta
- ✓ Tuberías superficiales
- ✓ Caminos de herradura usadas para sacar frutales
- ✓ Carreteras afirmadas de 5 m de ancho
- ✓ Plataforma del puente Periaventina
- ✓ Pérdidas de terrenos de cultivo a ambos flancos del río Periaventina y Otari
- ✓ Carreteras de trocha de uso vehicular

4.1.2. PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR DE SHANKIRWATO

Las imágenes satelitales de Google Earth de marzo de 2020 y el sobrevuelo dron de octubre de 2021 muestran el sector de Shankirwato antes (figura 9A) y después del evento de abril del 2021 (figura 9B). La característica más representativa de esta comparación de imágenes temporales es la ampliación del ancho del cauce de los ríos Shankirwato y Otari y la destrucción de terrenos de cultivo en ambos flancos de los ríos. La vivienda más próxima al límite del flujo de detritos está ubicada a solo 20 m.

En el sector de Shankirwato se identificaron peligros geológicos de tipo flujo de detritos a lo largo de los ríos Shnakirwato y Otari y deslizamiento en el cerro 'Teta de Oso' (figura 9B).



Figura 9: Imágenes temporales antes y después del evento de abril de 2021

- PARTE BAJA _ COMUNIDAD DE SHANKIRWATO

El río de Shankiwato nace de agua subterránea del cerro 'Teta de Oso', siempre ha presentado un ancho de cauce delgado de ~ 4 m y tiene una extensión de ~ 3 km desde el cerro Teta de Oso hasta la confluencia con el río Periaventina – Otari. Sin embargo, las intensas lluvias excepcionales del pasado 20 de abril de 2020 conllevaron al desencadenamiento de un deslizamiento en el cerro Teta de Oso y posterior flujo de detritos, que se extendió a lo largo del río Shankirwato, arrastrando troncos, rocas, cultivos y árboles, ampliando el ancho de cauce de 7m a 12 m y generando un flujo de detritos de bloques subangulosos a subredondeados de rocas metamórficas de hasta 1.5 m de diámetro envueltas en una matriz areno_limosa (fotografía 18) que enterró ~3.8 hectáreas de terrenos de cultivo de cacao y árboles frutales (cítricos y coco) en el sector de Shankirwato, carretera afirmada y badén (fotografía 19 y figura 10)



Fotografía 18: Bloques del flujo de detritos en el flanco derecho del río Shankirwato



Fotografía 19: Flujo de detritos en el sector de Shankirwato, destrucción de terrenos de cultivos, carretera afirmada y baden. INDECI-Pichari, 2021



Figura 10: Vista aérea del flujo de detritos en el sector de Shankirwato, enterró terrenos de cultivos, carretera afirmada de Shankirwato y badén de Shankirwato.

- PARTE ALTA _ A 1.5 KM DEL CERRO TETA DE OSO (cauce del río Shankirwato)

Siguiendo el cauce del río Shankirwato, en las coordenadas UTMWGS 84: X:625999E; Y: 8623607N (punto amarillo de la figura 11), se observa la presencia de derrumbes en el flanco izquierdo del río con el mismo nombre, destruyendo un baden y 200 m de longitud y 22.2 m de ancho de trocha carrozable, única vía de acceso entre Shankirwato y Tupac Amaru (fotografía 20).



Figura 11: Imagen satelital de la parte alta del sector de Shankirwato



Fotografía 20: Infraestructura destruida (carreta de trocha y el badén)

El flujo de detritos está formado por bloques de roca metamórfica (gneis y pizarras altamente fracturadas) de 10 cm a 1 m de diámetro (fotografía 21)



Fotografía 21: Se observa grandes bloques de roca metamórfica

Hay mucha infiltración natural en el sector debido a la presencia de muchos puquiales en la parte alta, esta característica condiciona a la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes en la zona (fotografía 22).



Fotografía 22: Presencia de derrumbes en el flanco izquierdo del río Shankirwato

Daños en el sector de Shankirwato

Parte Alta

- ✓ Destrucción de ~3.8 hectáreas de terrenos de cultivo de cacao y árboles frutales (cítricos y coco)
- ✓ Destrucción de 2 metros de la carretera afirmada en la comunidad de Shankirwato
- ✓ Destrucción del baden en la comunidad de Shankirwato

Parte Baja

- ✓ Destrucción de 22 metros de trocha carrozable, única vía de acceso entre Shankirwato y Túpac Amaru
- ✓ Baden

4.1.3. PELIGROS GEOLÓGICOS Y DAÑOS EN EL SECTOR DE OTARI NATIVOS

En el sector de Otari Nativos se identificaron peligros geológicos de flujo de detritos y lodo (figura 12)

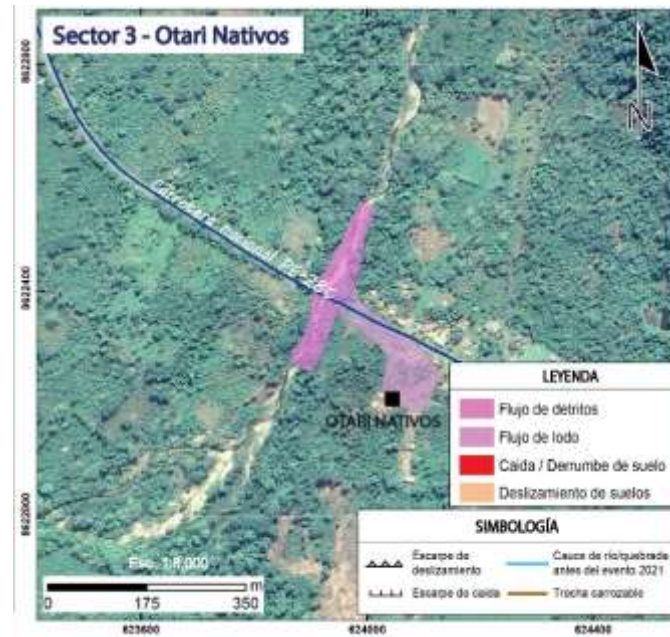


Figura 12. Peligros geológicos en el sector de Otari Nativos

La comunidad de Otari está ubicada en la parte baja del río Otari a la altura del puente con el mismo nombre y al límite de la carretera nacional PE 28B, esta comunidad está conformada por 40 familias a ambos lados del río Otari.

Durante el evento del 20 de abril de 2021, un flujo de detritos y lodo afectó el puente de Otari, la carretera nacional PE-28B (fotografía 23), la comunidad de Otari en la margen izquierda del río Otari y viviendas/camiones ubicados en la margen derecha del río Otari.



Fotografía 23: Vista del flujo de detritos que sobrepasó el puente de Otari, ampliando su cauce y desbordando hacia la comunidad de Otari Nativos, fotografía tomada en abril de 2021.
 INDECI_PICHARI 2021

El testimonio de los pobladores indica que algunas familias ubicadas en la margen derecha del río Otari se salvaron gracias a la presencia de volquetes y maquinaria pesada que sirvió de muro cuando el flujo golpeó. Mientras que en el flanco izquierdo el flujo se expandió hacia la comunidad de Otari, cubriendo de lodo una altura de 45 cm de sus viviendas, escuela y terrenos (fotografía 24).



Fotografía 24: flujo de lodo llegó a una altura de 45 cm, fotografía tomada en octubre de 2021

Daños en el sector de Otari Nativos

- ✓ Viviendas afectadas en la comunidad de Otari Nativos

4.2. Obras de rehabilitación a octubre de 2021

SECTOR DE NOGALPAMPA:

- Rehabilitación de ~30 m de trocha carrozable en el sector de Nogalpampa Alta. Esta trocha rehabilitada conecta con una vía camino a la piscina natural de Nogalpampa.
- Se habilitó un camino que cruza ambos flancos del río Agua Virgen a través de la limpieza de detritos, para facilitar la extracción de frutales. Sin embargo, hay agricultores aguas abajo que no cuentan con vías de acceso a sus terrenos de cultivo para extraer sus frutales debido a la destrucción de las trochas carrozables.
- Limpieza del puente Periaventina.
- Rehabilitación de la plataforma tramo Puerto Mayo a Nogalpampa.

SECTOR DE SAHANKIRWATO:

- Descolmatación del río Shankirwato progresiva 0+060m, progresiva 0+140m, progresiva 0+000 a 0+340m.
- Rehabilitación de la nueva plataforma tramo Mayo a Nogalpampa al frente de la comunidad de Shankirwato.

SECTOR DE OTARI NATIVOS:

- Se realizaron trabajos de descolmatación y construcción de enrocado del 25 al 27 de abril de 2021
- Se rehabilitó el tramo de la carretera afirmada Puerto Mayo a Nogalpampa progresiva 0+000m a 0+056m
- Rehabilitación del tramo 0+000m a 0+147m de la carretera afirmada
- Limpieza del puente Otari y carretera nacional PE-28B
- Los habitantes del lado derecho de la comunidad de Otra, decidieron abandonar sus terrenos por temor a que vuelva a ocurrir un evento similar.
- Existe un proyecto de encausamiento y descolmatación desde el puente Periaventini hasta el puente colgante (altura de la comunidad de Shankirwato).

4.3. Factores condicionantes y desencadenantes

4.3.1. FACTORES CONDICIONANTES

- **GEOLOGÍA:** Las unidades geológicas que conforman las áreas de estudio son 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. Sin embargo, potentes depósitos aluviales y coluviales cubren parte de estos afloramientos dando lugar a movimientos en masa de tipo deslizamiento y derrumbes.
- **TECTÓNICA:** Regionalmente se observa la presencia de fallas normales e inversas distribuidas cerca de las zonas de estudio, esta tectónica activa condicionó y/o 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 que conforman las áreas de estudio son montañas en rocas metamórficas, vertientes

coluvial de detritos, vertiente aluvio-torrencial, llanura o planicie inundable, las tres últimas unidades son 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 Nogalpampa Alta presenta pendientes que varían de baja ($5^\circ - 15^\circ$) a muy fuerte ($25^\circ - 45^\circ$) inclinación, mientras que el sector de Shankirwato y Otari Nativos 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 los meses de 9 de septiembre al 26 de abril, donde aproximadamente el 42% de lluvia se da en el mes de febrero.
- **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 utiliza mangueras artesanales que direccionan de los cauces de río para riego o para abastecer de agua a las piscigranjas de la zona.

- **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.

4. CONCLUSIONES

- a) Geológicamente el área de estudio está conformada por el complejo metamórfico Cielo-Punku: granulitas –gneiss, el Grupo José (secuencias de pizarras con fuerte fracturamiento y oxidación), la Formación Sandía (niveles de pizarras con cuarcitas blanquecinas con intenso grado de fracturamiento), depósitos aluviales (fragmentos heterométricos y heterogéneos envueltos en una matriz arenarcillosa/limosa y distribuidos en los fondos de valle y quebradas principales), depósitos coluviales (fragmentos heterogéneos con material fino de arena y limo entre los clastos, los principales agentes formadores de estos depósitos es el intemperismo, la gravedad movimientos sísmicos, movimientos en masa) y los depósitos fluviales constituyen los materiales del lecho de ríos, terrazas bajas y llanuras de inundación que son depósitos no consolidados de bolones, cantos y gravas subredondeados en matriz arenosa o limosa.
- b) Tectónicamente, la falla de Quimbiri-Pichari con 7 Km de longitud y dirección NO se extiende regionalmente sobre las áreas evaluadas, y otras fallas más pequeñas entre 1 km a 4 km de longitud en las montañas metamórficas explican el intenso fracturamiento de los afloramientos y la presencia de ojos de agua y puquiales que condicionan la existencia 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 sectores evaluados, por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, que evidencian se consideran como dinámicamente **muy activos**, por lo tanto, las áreas de estudio tienen un nivel de **peligro muy alto** en temporada de lluvia intensa y prolongadas.
- e) El 20 de abril de 2021, a las 06:30 horas, el cauce del río Agua Virgen (punto inicial visible en la piscina natural de Nogalpampa Alta), creció, producto de lluvias intensas, causó derrumbes y deslizamientos a ambos lados de la piscina natural de Nogalpampa, y generó un flujo de detritos que se extendió a lo largo de los ríos Agua Virgen, Periaventina y Otari, al mismo tiempo otro flujo de detritos se formó en el río Shankiwato, y se unió al río Periaventina - Otari a la altura de la comunidad de Shankirwato. Este evento destruyó piscigranjas, terrenos de cultivos, tuberías superficiales, badenes y trochas carrozables a ambos flancos del río Agua Virgen, Periaventina, Shankirwato y Otari, y por lo tanto afectó directamente los sectores de Nogalpampa, Shankirwato y Otari Nativo.

- f) Se realizaron trabajos de rehabilitación como la descolmatación de algunos tramos de los ríos Periaventina, Otari y Shankirwato, rehabilitación de algunos tramos de carretera afectadas en el sector de Nogalpampa y Shankirwato, limpieza de puentes, apertura de nuevos tramos de trochas en el sector de Nogalpampa Alta.

- g) Los factores condicionantes del área de estudio son la geología, tectónica (fracturamiento y desfogue de puquiales y ojos de agua), la geomorfología y pendiente, mientras que sus factores desencadenantes son lluvias intensas y sismos de gran magnitud.

5. RECOMENDACIONES

NOGALPAMPA:

- A) Es recomendable realizar la descolmatación de la parte alta del río Agua Virgen y Periaventina.
- B) Restringir el uso de la piscina natural de Nogalpampa durante época de lluvias intensas, para proteger vidas, de ocurrir otro evento excepcional.
- C) Se debe respetar los nuevos cauces de los ríos Agua Virgen y Periaventina, (formado después del flujo de detritos del 20 de abril de 2021), no se deben permitir actividades agrícolas, piscícolas, ni de urbanización.
- D) La trocha carrozable rehabilitada en el sector de Nogalpampa Alta (Vía de acceso a la piscina natural de Nogalpampa), en abril de 2021 fue ubicada dentro del cauce del río Agua Virgen a través de trabajos de limpieza y compactación. Es recomendable restringir el uso de la trocha carrozable en época de lluvia y/o realizar un nuevo trazo de trocha, fuera del cauce del río Agua Virgen.
- E) Realizar la limpieza y rehabilitación de la plataforma del puente de Periaventina.

SHANKIRWATO

- A) Se debe respetar el cauce del río Shankirwato (generado después del flujo de detritos del 20 de abril de 2021), no se debe permitir el desarrollo de actividades agrícolas, piscícolas, ni de urbanización.
- B) Ejecutar la limpieza de detritos que enterró terrenos de cultivos, que se ubican a solo 20 m de viviendas de la comunidad de Shankirwato (lado izquierdo del flujo de detritos).
- C) Realizar trabajos ingenieriles (enrocado o muro no menor a 2 metros de altura) en la curvatura del cauce del río Shankirwato (ver cuadro amarillo de la figura 6A2).

OTARI NATIVOS

- A) Se debe respetar nuevo cauce del río Otari (generado después del flujo de detritos del 20 de abril de 2021), no permitir desarrollo de actividades agrícolas, piscícolas, ni de urbanización.
- B) Realizar diques de protección a ambos flancos del río Otari, a la altura del puente Otari, con la finalidad de proteger a la comunidad de Otari Nativos de otro flujo de detritos.



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



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

6. BIBLIOGRAFÍA

Benavente, C.; Delgado, F.; Taípe, 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

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

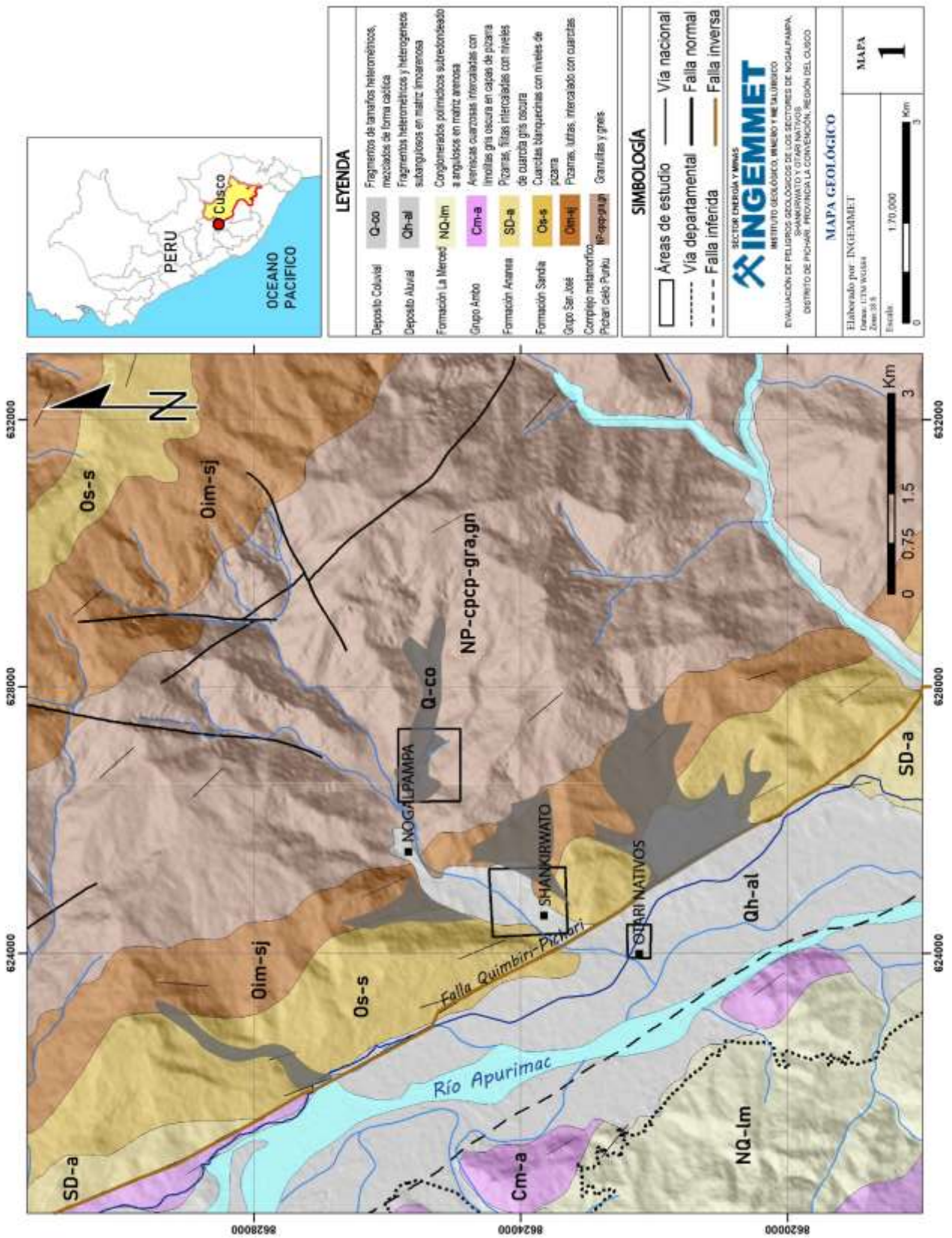
Proyecto Multinacional Andino: GCA,2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas. Servicio Nacional De Geología Y Minería.
Publicación Geológica Multinacional No. 4, 2007.

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

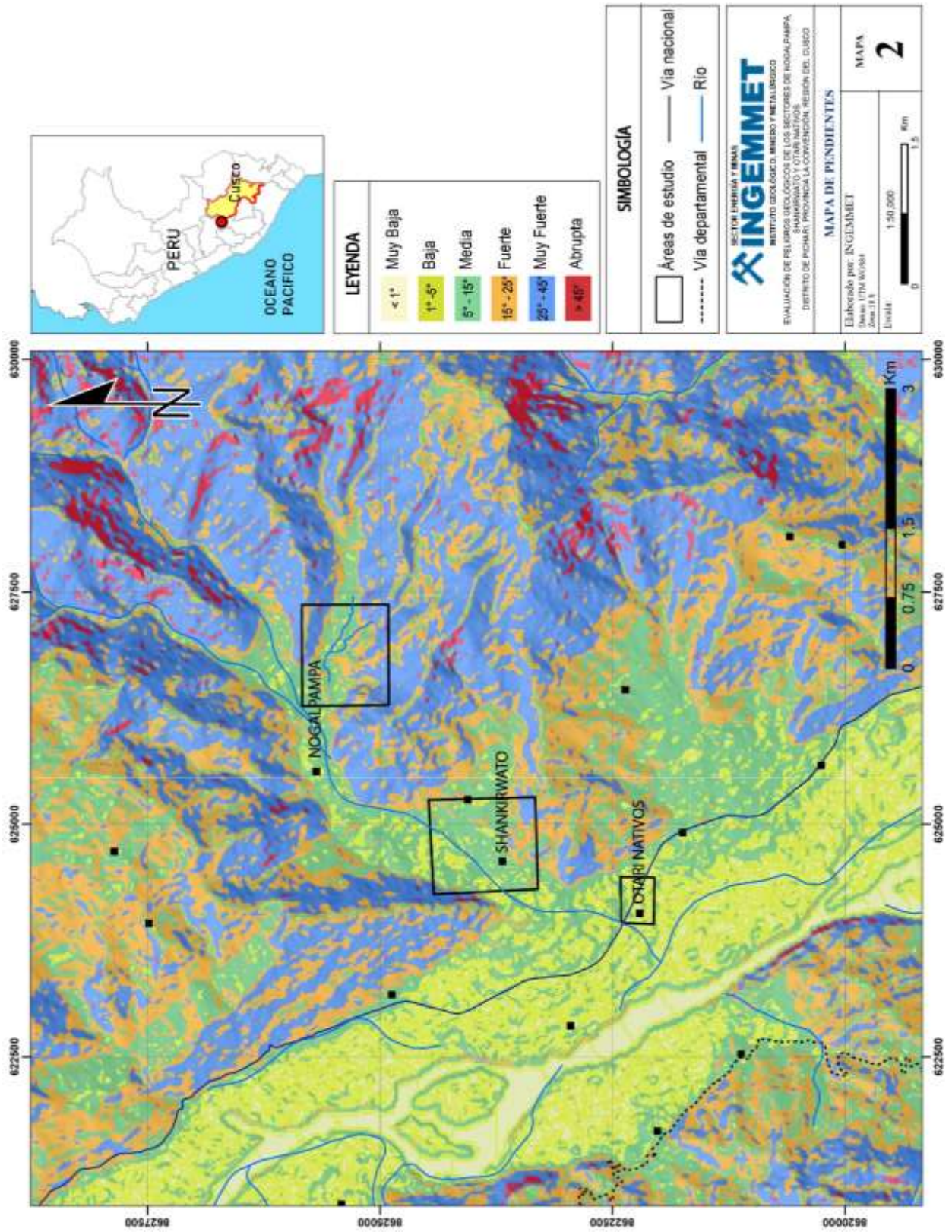
Vilchez M., Sosa N., Parí W., Peña F. (2020). Peligro Geológico en la región de Cusco. Boletín N° 74. Serie C. INGEMMET.

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

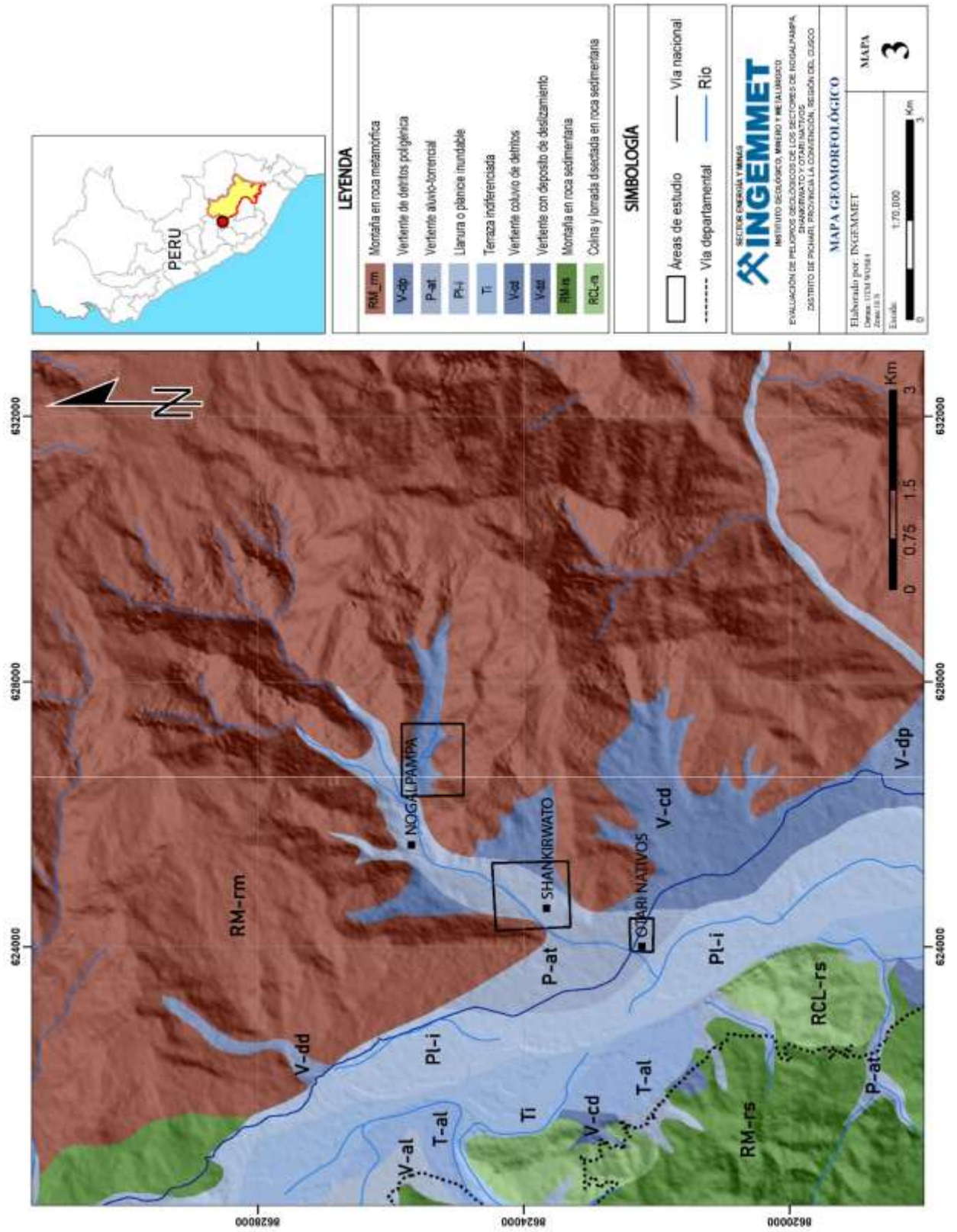
ANEXOS



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