

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7446**

# EVALUACIÓN DEL IMPACTO OCASIONADO POR EL ALUVIÓN DEL 20/03/2023 EN LOS CENTROS POBLADOS SANTA ROSA DE QUIVES, ARAHUAY, LICAHUASI Y LAGUNA YARCÁN

Departamento Lima

Provincia Canta

Distritos Santa Rosa de Quives y Arahuary



NOVIEMBRE  
2023

## **EVALUACIÓN DEL IMPACTO OCASIONADO POR EL ALUVIÓN DEL 20/03/2023 EN LOS CENTROS POBLADOS SANTA ROSA DE QUIVES, ARAHUAY, LICAHUASI Y LAGUNA YARCÁN**

Distritos Santa Rosa de Quives y Arahuaay, provincia Canta, departamento Lima

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

*Equipo de investigación:*

*Julio Lara Calderón*

*Norma Sosa Senticala*

*Dulio Gómez Velásquez*

### **Referencia bibliográfica**

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). *Evaluación del impacto ocasionado por el aluvión del 20/03/2023 en los centros poblados Santa Rosa de Quives, Arahuaay, Licahuasi y laguna Yarcán*. Distritos Santa Rosa de Quives y Arahuaay, provincia Canta, departamento Lima. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7446, 64 p.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Objetivos del estudio .....	7
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores.....	8
1.3. Aspectos generales .....	16
1.3.1. Ubicación.....	16
1.3.2. Accesibilidad.....	18
1.3.3. Población.....	18
1.3.4. Clima .....	19
2. DEFINICIONES .....	20
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS .....	22
3.1. Unidades litoestratigráficas.....	22
3.1.1. Super Unidad Santa Rosa – monzogranito (Ks-bc/sr-mgr) .....	23
3.1.2. Formación Arahuay (Kis-ar).....	24
3.1.3. Formación Collqui (PN-col/tb,vs,lv) .....	25
3.1.4. Depósito aluvial (Qp-al) .....	26
3.1.5. Deposito fluvio-aluvial (Q-fal).....	27
3.1.6. Depósito glacial (Q-gl).....	28
3.1.7. Depósito coluvial (Q-cl).....	29
3.1.8. Depósito fluvial (Q-fl) .....	29
3.1.9. Depósito proluvial o aluvio-torrencial (Q-pr).....	30
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS .....	31
4.1. Pendientes del terreno.....	31
4.2. Unidades geomorfológicas .....	31
4.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	31
4.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional.....	34
5. PELIGROS GEOLÓGICOS .....	37
5.1. Aluvión por desborde de la laguna Yarcán .....	37
5.1.1. Laguna Yarcán .....	38
5.1.2. Sector Arahuay.....	42
5.1.3. Sector Licahuasi .....	44
5.1.4. Sector Santa Rosa de Quives.....	47
6. CONCLUSIONES .....	51

7. RECOMENDACIONES.....	53
8. BIBLIOGRAFÍA.....	55
ANEXO 1: MAPAS.....	57

## RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación del impacto ocasionado por el aluvión del 20/03/2023 en los centros poblados Santa Rosa de Quives, Arahua, Lichuasi y laguna Yarcán, que pertenecen a la jurisdicción de los distritos Santa Rosa de Quives y Arahua, provincia Canta, departamento Lima. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), cumple con una de sus funciones, que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología para los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

Los centros poblados Santa Rosa de Quives, Lichuasi y Arahua se asientan sobre depósitos fluvio-aluviales, susceptibles a remoción por erosión fluvial del río Arahua, durante temporada de crecidas del río (presencia de lluvias intensas y/o extraordinarias). Mientras que, el substrato rocoso corresponde a rocas intrusivas de tipo monzogranito de la Super Unidad Santa Rosa, las cuales estaban moderadamente meteorizadas y medianamente a muy fracturadas. Asimismo, los afloramientos son susceptibles a la ocurrencia de caída de rocas.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico degradacional y erosional, conformadas por montañas en rocas intrusivas y volcánicas; y geoformas de origen depositacional y agradacional, que agrupan a vertiente coluvio deluvial, piedemonte proluvial o aluvio torrencial, terraza fluvio-aluvial y valle glaciar. Cabe precisar que, las terrazas fluvio-aluviales están sujetas normalmente a procesos de erosión e inundación fluvial consecuentes de huaicos y aluviones.

Los peligros geológicos identificados en los centros poblados Santa Rosa de Quives, Arahua, Lichuasi y laguna Yarcán, corresponden a movimientos en masa de tipo flujo (aluvión) y caída (derrumbe y caída de rocas). El aluvión, de origen en la laguna Yarcán, recorrió aproximadamente 30 km desde la ruptura del dique artificial hasta su desembocadura en el río Chillón. Durante este trayecto erosionó la base y ambos márgenes del río Arahua, socavando y profundizando el lecho del río, también generó procesos de erosión e inundación en ambos márgenes del río en mención, ocasionando daños en viviendas, pérdidas de terrenos de cultivo, así como destrucción y/o afectación de puentes y vías de acceso.

Es importante indicar que, el valle del río Arahua y quebradas tributarias presentan **Peligro Alto** a la ocurrencia de flujo de detritos (huaicos y aluviones) que pueden ser desencadenados por lluvias intensas y/o extraordinarias, así como por el desembalse de la laguna Yarcán.

Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa, los centros poblados Santa Rosa de Quives, Lichuasi, Arahua y laguna Yarcán, son considerados como **Zonas Críticas de Peligro Alto** a la ocurrencia de flujo de detritos (huaicos y aluviones), derrumbes y caídas de rocas que pueden ser desencadenados por lluvias intensas y/o extraordinarias.

Finalmente, se brindan recomendaciones que deben ser tomadas en cuenta por las autoridades competentes, las cuales consisten principalmente en: mejorar y/o rediseñar el dique artificial en la laguna Yarcán, con sus respectivos sistemas de regulación de volumen y seguridad para casos de elevación peligrosa del nivel de agua de la laguna durante la

temporada de lluvias intensas y/o extraordinarias; realizar estudios geotécnicos y geofísicos a detalle en el dique que contiene a la laguna Yarcán; realizar un levantamiento topográfico a detalle en los centros poblados afectados, con el objetivo de realizar estudios para el análisis de estabilidad de taludes; reubicar a la población y viviendas que se encuentren dentro de la faja marginal del río Arahúay; realizar estudios de Evaluación de Riesgos (EVAR), para determinar medidas de control adicionales, ante la ocurrencia de huaicos o aluviones; realizar un monitoreo continuo del comportamiento del dique en la laguna Yarcán; así como también en el río Arahúay y quebradas tributarias, durante la temporada de lluvias intensas y/o extraordinarias, ante una posible ruptura del dique; implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT), entre otras.

## 1. INTRODUCCIÓN

El INGEMMET, ente técnico-científico desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)” y 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.

En atención al DECRETO SUPREMO N° 035- 2023- PCM “Decreto Supremo que declara el Estado de Emergencia en varios distritos de algunas provincias de los departamentos de Áncash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Ica, Junín, Lima, Moquegua, Puno y Tacna, por peligro inminente ante intensas precipitaciones pluviales” y Oficio N° 614-2023-AL-MDSRQ, en el marco de nuestras competencias se realizó la evaluación del evento de tipo aluvión, que afectó a la población, viviendas, terrenos de cultivo y vías de acceso de los centros poblados Santa Rosa de Quives, Licahuasi, Arahua y la laguna Yarcán ubicados en los distritos Santa Rosa de Quives y Arahua, provincia Canta, departamento Lima.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los especialistas Julio Lara, Norma Sosa y Dulio Gómez para realizar la evaluación técnica correspondiente.

La evaluación técnica se basó en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por el INGEMMET, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS, fichas de inventario y fotografías), la cartografía geológica, geomorfológica y geodinámica, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de las municipalidades distritales de Santa Rosa de Quives y Arahua, el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) y el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

### 1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos que se presentan en los centros poblados de Santa Rosa de Quives, Licahuasi, Arahua y laguna Yarcán ubicados en los distritos Santa Rosa de Quives y Arahua, provincia Canta, departamento Lima, que comprometen la seguridad física de personas, viviendas, obras de infraestructura y vías de comunicación en la zona de influencia de los eventos.
- b) Determinar las causas de origen de los peligros geológicos identificados.
- c) Emitir las recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

## 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del INGENMET, que incluyen los centros poblados Santa Rosa de Quives, Arahua, Lichuasi y laguna Yarcán relacionados a temas de geología y geodinámica externa, los cuales se detallan en el cuadro 1 y se describen a continuación:

**Cuadro 1.** Estudios en el área de estudio.

N°	Estudio	Autor (es)	Año	Aporte
1	Estudio geodinámico-geotécnico de la cuenca del río Chillón	Pérez, Guillermo	1978	Condiciones de seguridad geológica de los centros poblados Santa Rosa de Quives, Huar Huar, Olivo, Collo y Arahua
2	Estudio geodinámico de la cuenca del río Chillón	Ingenmet	1979	Condiciones de seguridad geológica de los centros poblados Santa Rosa de Quives, Collo y Arahua
3	Boletín N° 43 “Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica” (Hojas 25i, 25j, 24i, 24j)	Palacios, Oscar; Caldas, Julio & Vela, Churchill	1992	Estudio realizado a escala 1: 100 000 que identifica rocas volcánicas e intrusivas, así como depósitos aluviales.
4	Estudio de Riesgos Geológicos del Perú - Franja N° 4	Ingenmet	2006	Identificación de 31 eventos de peligros geológicos por movimientos en masa, peligros geohidrológicos y otros peligros
5	Informe Técnico N° A6539 “Zonas críticas por peligros geológicos en la cuenca del río Chillón”	Villacorta, Sandra; Vásquez, Jenny & Núñez, Segundo	2010	Identificación de 2 zonas críticas: Arahua/Quebrada Piscopampa y Pacllahuasi-Cerro Espuela de Gallo
6	Informe Técnico “Zonas críticas por peligros geológicos en la región Lima”	Luque, Griselda & Rosado, Malena	2014	Identificación de 2 zonas críticas: Lichuasi y Arahua-Piscopampa
7	Boletín N° 76 “Peligro geológico en la región Lima”	Luque, Griselda; Rosado, Malena; Pari, Walter; Peña, Fluquer & Huamán, Melanie	2020	Identificación de 37 eventos por flujo de detrito, caída de roca, derrumbe, flujo de lodo, erosión fluvial, inundación fluvial y erosión de laderas. Identificación de 2 zonas críticas en los sectores Lichuasi y Arahua-Piscopampa.
8	Boletín N° 38 “Geología del cuadrángulo de Chosica (hojas 24j1, 24j2, 24j3, 24j4)”	Mamani, Yuly; Fabián, Claudia & Jacay, Javier	2021	Estudio realizado a escala 1: 50 000 que identifica rocas volcánicas, sedimentarias e intrusivas, así como depósitos fluviales, aluviales, fluvio-glaciares y coluviales.

Fuente: Elaboración propia



a) “Estudio geodinámico-geotécnico de la cuenca del río Chillón” (Pérez, 1978). Este trabajo indica que:

- Las condiciones de seguridad geológica de Santa Rosa de Quives son buenas, excepto el área inmediatamente contigua a la Quebrada Arahua, donde se están levantando un conjunto de viviendas de interés social. Esta área se encuentra amenazada por la desembocadura de un antiguo curso de agua que desciende de la parte alta del cerro Pampa Grande, el mismo que podría entrar en actividad en el caso de fuertes precipitaciones pluviales. Por las razones expuestas, se recomienda no continuar la construcción del conjunto habitacional.
- Por el fondo de la quebrada Arahua discurre un pequeño curso de agua, el mismo que, en épocas de fuertes precipitaciones pluviales adquiere gran poder de transporte, tal como aconteció en febrero de 1972, en que tuvo lugar la acumulación en su desembocadura de un gran volumen de materiales. La caudalosa descarga arrasó aguas abajo el puente sobre la carretera Lima- Canta.
- El caserío de Huar Huar del anexo de Santa Rosa de Quives es la primera localidad de la quebrada de Arahua, aguas arriba de Santa Rosa de Quives. Este pequeño caserío se ubica al borde izquierdo de la quebrada en referencia, y consiste de 10 viviendas cuyos pobladores se dedican al sembrío de frutales. Las condiciones de seguridad geológica del área urbana son buenas.
- El caserío del Olivo del anexo de Santa Rosa de Quives, se ubica a 10 Km. aguas arriba de Santa Rosa, donde la quebrada de Arahua adquiere un ensanchamiento de 800 m. y por su flanco derecho (de suaves- formas topográficas) descienden las quebradas Piscopampa y Cruzayera. Se presentan amplias superficies de cultivo y viviendas aisladas características del caserío del Olivo. Sus condiciones de seguridad física son buenas.
- El caserío de Collo, Distrito de Arahua, Provincia de Canta, se sitúa a 20 Km. de Santa Rosa de Quives, en el flanco derecho de la quebrada de Arahua, en las faldas del cerro Chicllan de 3,200 m s.n.m. El cerro Chicllan se encuentra formado por un intrusivo granodiorítico, observándose en su cumbre, grandes bloques de rocas provenientes de la disyunción esferoidal. El área urbana de este caserío, que se emplaza justamente en las faldas del cerro en referencia se encuentra amenazada de sufrir el impacto de los bloques que podrían caer a causa de eventuales movimientos sísmicos. Manifiestan los antiguos vecinos, que, en 1914, la caída de rocas de estas cumbres ocasionó la muerte de varias personas. Se aconseja proceder a la progresiva reubicación del área urbana en los terrenos del paraje conocido como El Olivo. Igualmente, debe de impedirse toda nueva construcción de viviendas.
- El poblado de Arahua se ubica a 3,500 m s.n.m., justamente al comienzo de la quebrada del mismo nombre, y ha sido levantada sobre potentes acumulaciones fluvio aluvionales. Es el centro más densamente poblado de la quebrada Arahua. Caracteriza al área urbana de Arahua sus construcciones de adobe de dos y tres

plantas, que no fueron muy afectadas por los últimos movimientos sísmicos. Las condiciones de seguridad de esta ciudad son buenas.

b) Boletín N° 4, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Estudio geodinámico de la cuenca del río Chillón” (Ingemmet, 1979). Este estudio concluye que:

- Dentro de la cuenca del río Chillón, la quebrada más propicia a la ocurrencia de huaicos espectaculares durante las épocas de intensas lluvias es la de Arahuay, tributario principal del río Chillón.
- Según versión de los lugareños, el día 6 de febrero de 1972, a las 3 p.m. se produjo un huaico de proporciones en la quebrada Arahuay. Dicho fenómeno hídrico apareció de forma intempestiva, con olas de 5 a 10 metros de altura; la creciente contenía agua turbia y grandes bloques de rocas y sedimentos finos. El huaico cubrió toda la estructura del puente de Santa Rosa de Quives destruyendo la losa, quedando solamente los estribos.
- Las condiciones de seguridad geológica de Santa Rosa de Quives son buenas, excepto el área inmediatamente contigua a la quebrada Arahuay, lugar donde se están levantando un conjunto de viviendas de interés social; esta área se encuentra amenazada por la desembocadura de un antiguo curso de agua que desciende de la parte alta del cerro Pampa Grande, el mismo que podría entrar en actividad en caso de fuertes precipitaciones pluviales. Por las razones expuestas, se recomienda no continuar la construcción del conjunto habitacional en dicho lugar, y buscar un área de mejores condiciones para su reubicación.
- El cerro Chicllán, ubicado en el caserío de Collo, se encuentra formado por un intrusivo granodiorítico, observándose en su cumbre grandes bloques de rocas provenientes de la disyunción esferoidal. El área urbana de este caserío, que se emplaza justamente en las faldas del cerro en referencia, se encuentra amenazada de sufrir el impacto de los bloques que podrían desplazarse a causa de eventuales movimientos sísmicos. Manifiestan los antiguos vecinos que en 1914 la caída de rocas de estas cumbres ocasionó la muerte de varias personas. Se aconseja proceder a la progresiva reubicación del área urbana en los terrenos del paraje conocido como El Olivo. Igualmente, debe de impedirse toda nueva construcción de viviendas, en la ubicación actual.
- El área urbana de Arahuay se caracteriza por sus construcciones de adobe de dos y tres plantas, las cuales no fueron muy afectadas por los últimos movimientos sísmicos. Las condiciones de seguridad de esta ciudad son buenas.

c) Boletín N° 43, serie A, carta geológica nacional: “Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica” (Hojas 25i, 25j, 24i, 24j) (Palacios *et al.*, 1992). Este estudio realizado a escala 1: 100 000 muestra que el ámbito evaluado se asienta sobre tobas de cristales rosáceos y areniscas subordinadas del Grupo Rímac; andesitas intercaladas con lodolitas y areniscas de la Formación Colqui; metavolcánicos andesíticos con lodolitas calcáreas de la Formación Arahuay; dioritas y tonalidad de la Super Unidad

Paccho; granitos de la Super Unidad Santa Rosa; así como depósitos aluviales y depósitos glaciares.

- d) Boletín N° 29, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Estudio de Riesgos Geológicos del Perú - Franja N° 4” (Ingemmet, 2006). En este trabajo, a escala regional, se tratan acápites de geología, geomorfología, peligros geológicos de tipo movimientos en masa y geohidrológicos, la susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa, finalmente identifica zonas críticas. En base a este trabajo y considerando el área de estudio del presente informe, se tiene el inventario de peligros geológicos por movimientos en masa, peligros geohidrológicos y otros peligros. Dentro de los movimientos en masa se tienen: flujo de detrito, caída de roca, derrumbe y flujo de lodo; los peligros geohidrológicos corresponden a: erosión fluvial e inundación fluvial. Mientras que, los otros peligros geológicos son de tipo erosión de laderas. Los peligros antes mencionados afectan los sectores: Lachahuasi, Naica Collo, Huarhuar, Huallupampa, Santa Rosa de Quives, Orobel, Tingo, War-Warc, así como las quebradas Piscopampa, Calcabamba, Caracol, El Punton, Pasana, Pasuma, Pumachicle, entre otros.
- e) Informe Técnico N° A6539 “Zonas críticas por peligros geológicos en la cuenca del río Chillón” (Villacorta *et al.*, 2010). El informe indica que en la cuenca del río Chillón se han identificado un total de 56 zonas críticas. De este total, se han identificado dos zonas críticas en el distrito de Arahua, las cuales se detallan en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Zonas críticas en la provincia de Canta.

N°	Código BDGR	Peligro geológico	Distrito	Paraje	Recomendaciones
1	154711094	Derrumbe	Arahua	Arahua/Quebrada Piscopampa	Canalizar la quebrada.
2	154711584	Flujo de Detritos		Pacllahuasi-Cerro Espuela de Gallo	Reforestar las laderas.

Fuente: Villacorta *et al.* (2010).

- f) Informe Técnico “Zonas críticas por peligros geológicos en la región Lima” (Luque & Rosado, 2014). El informe indica la identificación de 273 zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos del departamento de Lima. Considerando el área de estudio, se han identificado dos zonas críticas, las cuales se detallan en el cuadro 3.

**Cuadro 3.** Zonas críticas identificadas en la provincia de Canta.

SECTOR (DISTRITO)	AREA SUJETA A/COMENTARIO GEODINÁMICO	ESTE	NORTE	RECOMENDACIONES
18. Licahuasi (Santa Rosa de Quives)	Zona de huaycos, caída de rocas, inundación fluvial y erosión de laderas. Caída de rocas ocasionado por el material suelto e inestable suspendido en laderas del cerro Espuela de Gallo, con presencia de bloques hasta de 10 m de diámetro. Se observa escasa vegetación en la parte baja de la ladera. También es afectado por erosión en cárcavas de 1,5 m de ancho, en época de lluvias discurren huaycos a través de	312275	8711990	Canalizar la quebrada. Reforestar las laderas. Limpieza de cauce del Río Arahua. Construir obras de arte (cunetas, alcantarillas) en el tramo de carretera Santa Rosa de Quives-Arahua.

	ellas. La carretera Santa Rosa de Quives-Archu cruza esta zona de cárcavas, aprox. 1 km. Puede inundar tierras de cultivo.			
<b>31.</b> Arahuay- Piscopampa (Arahuay)	Área sujeta a derrumbes, deslizamientos, erosión de laderas y flujo de detritos. Derrumbe activo en ladera del cerro Lurincocho, en la margen derecha de la quebrada Piscopampa, aportando material al cauce de la quebrada, donde se podría generar flujos de detritos en época de lluvias. Puede afectar tramo de carretera Santa Rosa de Quives-Arahuay, viviendas de Piscobamba y canal de regadío.	301913	8706838	Canalizar la quebrada. Reforestar las laderas. Reubicar viviendas que se encuentran muy próximas o dentro del cauce de las quebradas. Limpieza de cauce.

Fuente: Luque & Rosado (2014).

- g) Boletín N° 76, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Peligro geológico en la región Lima” (Luque *et al.*, 2020). Los trabajos de campo y gabinete realizados como parte de este estudio en el departamento de Lima, permitieron identificar un total de 4329 eventos de peligros geológicos según su origen: siendo los de movimientos en masa de mayor ocurrencia (75.6 %); peligros geohidrológicos (10.3 %) y otros peligros geológicos (14.1 %).

De acuerdo con el mapa de inventario de peligros geológicos, en el área de estudio se han identificado 37 eventos: flujo de detrito, caída de roca, derrumbe, flujo de lodo, erosión fluvial, inundación fluvial y erosión de laderas en los sectores: Lachahuasi, Naica Collo, Huarhuar, Huallupampa, Santa Rosa de Quives, Orobel, Tingo, War-Warc, así como las quebradas Piscopampa, Calcabamba, Caracol, El Punton, Pasana, Pasuma, Pumachicle, entre otros.

También en el departamento de Lima, se han identificado un total de 278 zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos; 106 zonas críticas corresponden a Lima Metropolitana (provincias Lima y Callao) y 172 zonas críticas al resto del departamento. Se tienen identificadas dos zonas críticas, en el área de estudio, en los sectores Licahuasi y Arahuay- Piscopampa (cuadro 4).

De igual manera, se cuenta con un mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1: 500 000 (Luque *et al.*, 2020). Considerando este mapa, los sectores evaluados presentan terrenos con susceptibilidad alta a muy alta a la ocurrencia de movimientos en masa (figura 1). Mientras que, el mapa de susceptibilidad por inundación y erosión fluvial, indica que los sectores en estudio presentan susceptibilidad media a alta a la ocurrencia de estos procesos (figura 2). Entendiéndose susceptibilidad a movimientos en masa como la propensión que tiene determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

**Cuadro 4.** Zonas críticas identificadas en la provincia de Canta.

Sector (distrito)	Peligro geológico y comentario geodinámico	Este	Norte	Recomendaciones
<p><b>20</b> Licahuasi (Santa Rosa de Quives)</p>	<p>Zona de huaicos, caída de rocas, inundación fluvial y erosión de laderas.                      Caída de rocas ocasionado por el material suelto e inestable suspendido en la ladera del cerro Espuela de Gallo, con presencia de bloques hasta de 10 m de diámetro. Se observa escasa vegetación en la parte baja de la ladera. También es afectada por erosión en cárcavas de 1.5 m de ancho; en época de lluvias discurren huaicos a través de ellas. La carretera Santa Rosa de Quives-Archu cruza esta zona de cárcavas, aproximada 1 km. Puede inundar tierras de cultivo.</p>	312275	8711990	<p>Canalizar la quebrada. Reforestar las laderas. Limpieza de cauce del Río Arahuay. Construir obras de arte (cunetas, alcantarillas) en el tramo de carretera Santa Rosa de Quives-Arahuay.</p>
<p><b>33</b> Arahuay- Piscopampa (Arahuay)</p>	<p>Área sujeta a derrumbes, deslizamientos, erosión de laderas y flujo de detritos. Derrumbe activo en ladera del cerro Lurincocho, en la margen derecha de la quebrada Piscopampa, aportando material al cauce de la quebrada, donde se podría generar flujos de detritos en época de lluvias. Puede afectar tramo de carretera Santa Rosa de Quives-Arahuay, viviendas de Piscobamba y canal de regadío.</p>	301913	8706838	<p>Canalizar la quebrada. Reforestar las laderas. Reubicar viviendas que se encuentran muy próximas o dentro del cauce de las quebradas. Limpieza de cauce.</p>

Fuente: Luque et al. (2020).

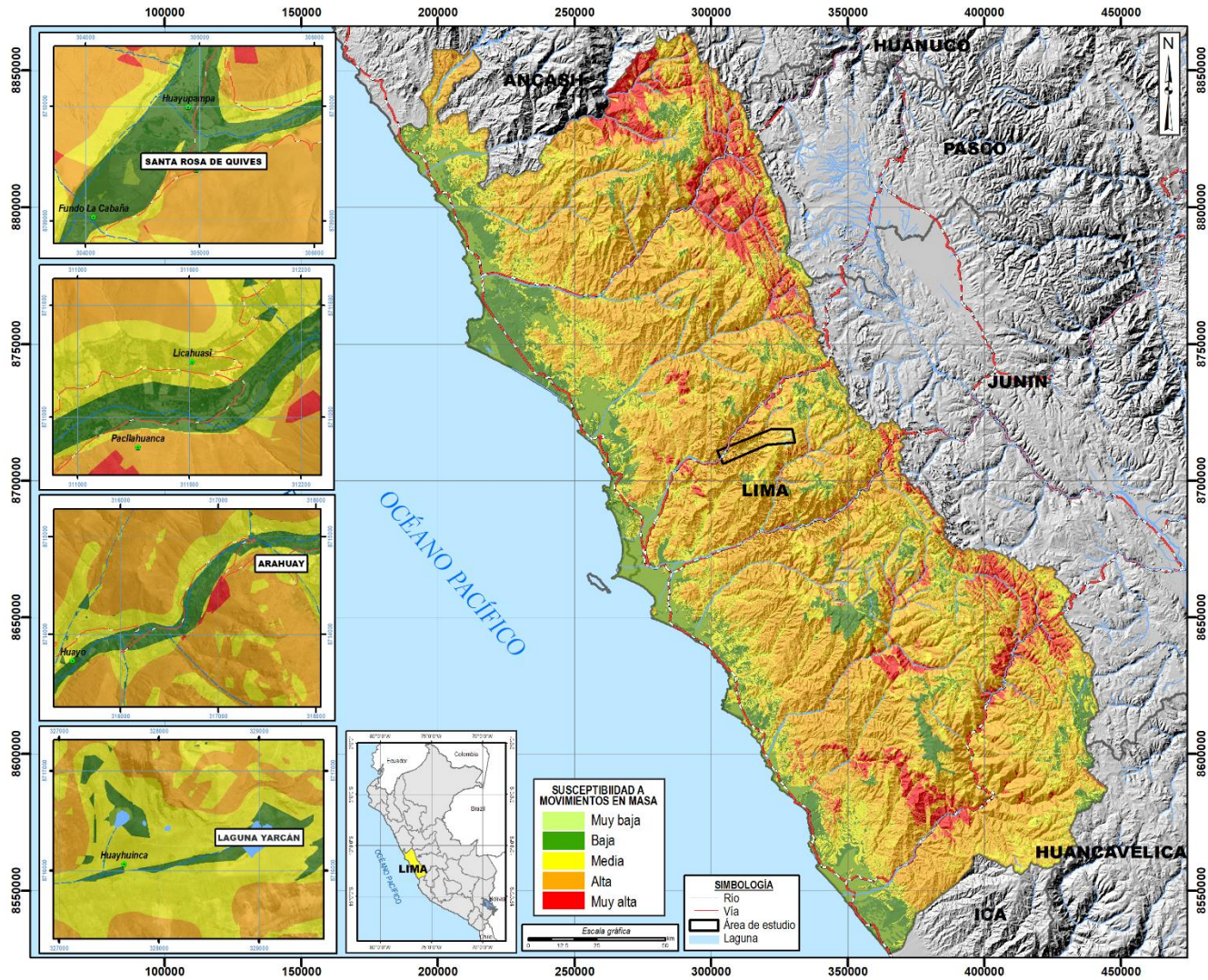


Figura 1. Susceptibilidad por movimientos en masa en la zona de estudio y alrededores. Fuente: Luque *et al.* (2020).

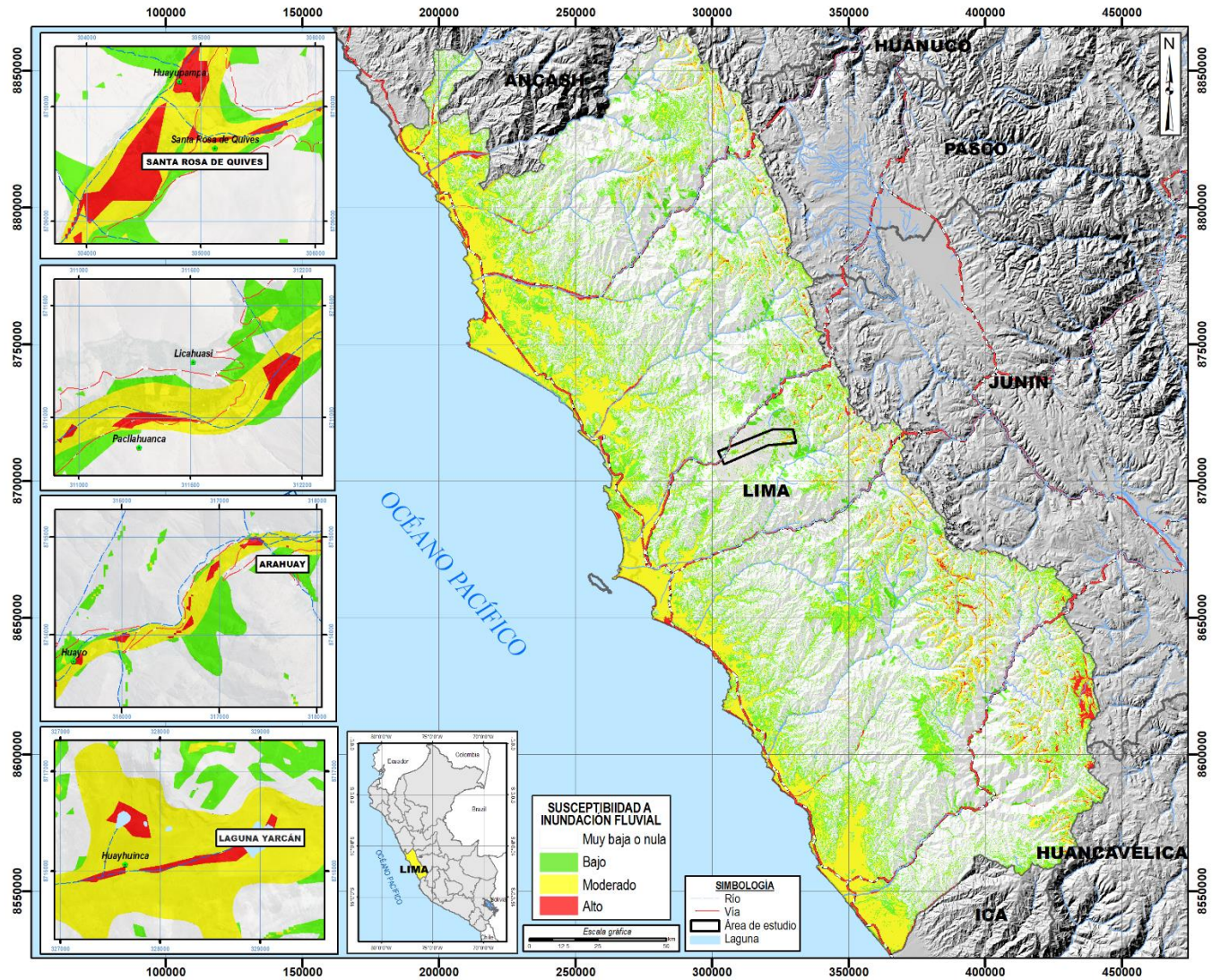


Figura 2. Susceptibilidad por inundación y erosión fluvial en la zona de estudio y alrededores. Fuente: Luque *et al.* (2020).

- h) Boletín N° 38, Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000): “Geología del cuadrángulo de Chosica (hojas 24j1, 24j2, 24j3, 24j4)” (Mamani *et al.*, 2021). Este estudio realizado a escala 1: 50 000 muestra que en el ámbito evaluado existen rocas de tipo: tobas de lapilli, color gris verdosos, violáceo intercaladas con niveles volcanoclásticos y lavas pertenecientes a la Formación Colqui; derrames de lavas gris oscuro de composición andesítica a basalto, lutitas, calizas y chert de la Formación Yangas; calizas, lodolitas calcáreas, hornfels y chert en estratos delgados, y lavas andesíticas de la Formación Arahuay; tonalitas y dioritas pertenecientes al Batolito de la Costa - Super Unidad Paraíso; monzogranitos, tonalitas y granodioritas de la Super Unidad Santa Rosa. También se han identificado depósitos recientes: depósito aluvial antiguo (terrazas de conglomerados y brechas con cantos de tonalita, diorita, andesita, subangulosos a subredondeados), depósitos fluvio-glaciares (gravas y arenas con matriz limoarenosa), depósitos aluviales y fluviales (arenas y limos inconsolidados con laminación paralela y oblicua), depósitos aluviales (Acumulaciones de fragmentos rocosos, redondeados a subredondeados, depositados en forma de terrazas), depósitos fluviales (bloques rocosos heterométricos y heterogéneos, redondeados a subredondeados, con matriz de arcillas, limos y arenas), y depósitos coluviales (depósitos de bloques y gravas angulosos conformando abanicos).

### 1.3. Aspectos generales

#### 1.3.1. Ubicación

Los centros poblados de Santa Rosa de Quives, Licahuasi, Arahuay y laguna Yarcán, están ubicados en los distritos de Santa Rosa de Quives y Arahuay, provincia de Canta y departamento de Lima (figura 3), en las coordenadas UTM (WGS84 - Zona 18S) detalladas en el cuadro 5.

**Cuadro 5.** Coordenadas centrales de los sectores evaluados

N°	Sector	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
		Este	Norte	Latitud	Longitud
1	Santa Rosa de Quives	305128.72 m E	8709569.36 m S	11°40'5.50"S	76°47'19.10"O
2	Licahuasi	311812.75 m E	8711187.28 m S	11°39'12.65"S	76°43'34.73"O
3	Arahuay	317888.65 m E	8714777.42 m S	11°37'17.07"S	76°40'13.54"O
4	Laguna Yarcán	328950.73 m E	8716317.37 m S	11°36'29.23"S	76°34'7.94"O



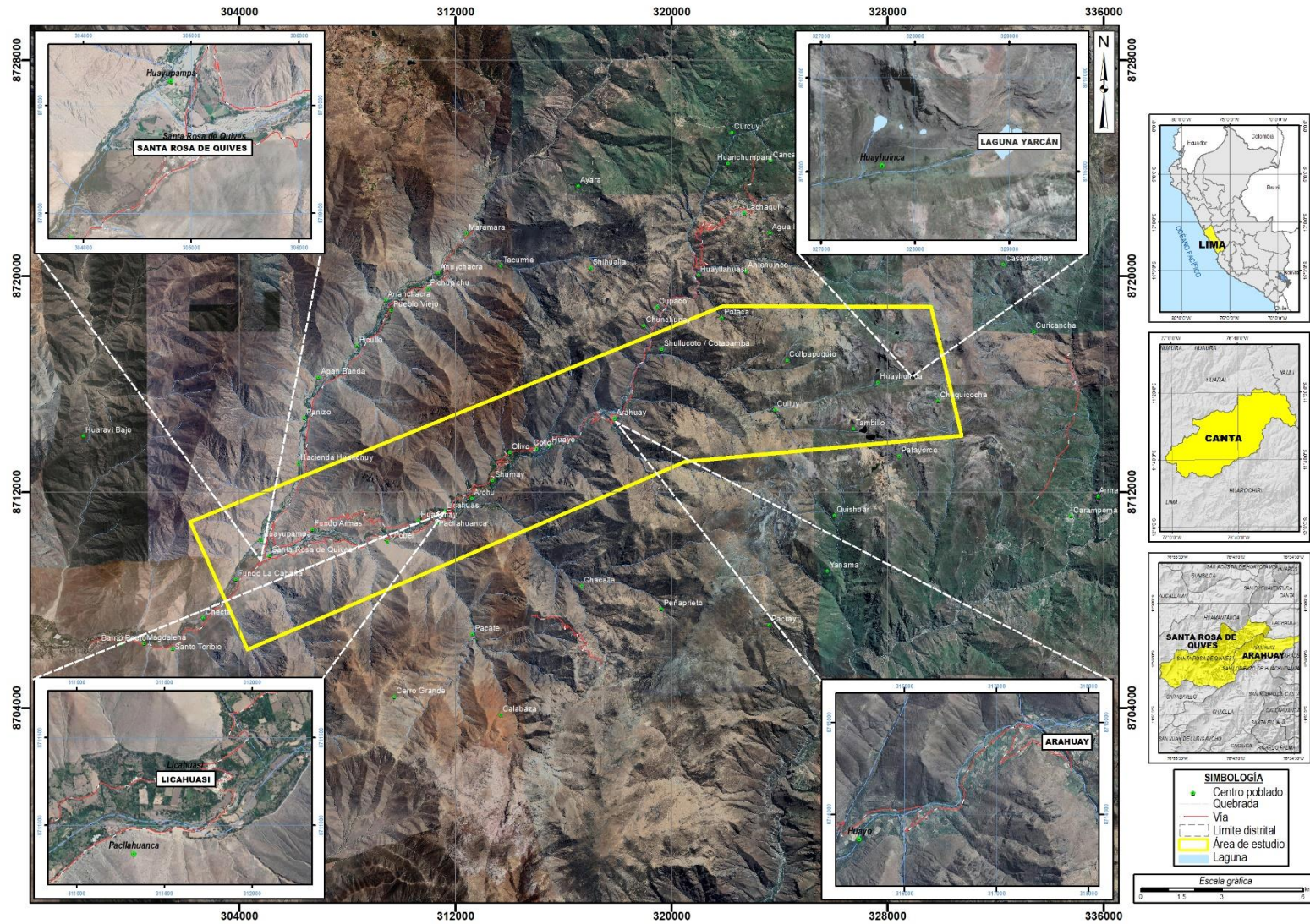


Figura 3. Ubicación de los centros poblados de Santa Rosa de Quives, Licahuasi, Arahua y laguna Yarcán.

### 1.3.2. Accesibilidad

El acceso a los centros poblados de Santa Rosa de Quives, Licahuasi, Arahua y laguna Yarcán, ubicados en los distritos de Santa Rosa de Quives y Arahua, provincia de Canta y departamento de Lima, se realiza mediante el sistema vial Metropolitano de Lima, así como la vía departamental del departamento de Lima. El recorrido total desde el distrito de San Borja hasta cada sector evaluado, es de 219.4 km aproximadamente por un tiempo estimado de 475 minutos.

Partiendo desde la sede central del Ingemmet (Av. Canadá 1470, San Borja), se sigue por la Carretera Panamericana Norte hasta el distrito de Los Olivos, luego se continua por la Av. Universitaria hasta llegar al distrito de Carabayllo.

Se continúa por la Av. Tupac Amaru, pasando los poblados de Chocas Alto y Yangas para llegar a Santa Rosa de Quives. Del sector de Santa Rosa de Quives se continúa por una vía afirmada para llegar al poblado de Licahuasi y el Puente Masquin.

Finalmente, para poder llegar a la Laguna Yarcán, se debe seguir la ruta Santa Rosa de Quives-Canta- Pariamarca- Carhua- Lachaqui, como se indica en el cuadro 6.

**Cuadro 6.** Rutas y accesos a las áreas evaluadas.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
San Borja - Los Olivos	Asfaltada	26.7	41 minutos
Los Olivos - Carabayllo	Asfaltada	12.5	27 minutos
Carabayllo - Chocas Alto	Asfaltada	15.7	25 minutos
Chocas Alto - Yangas	Asfaltada	20.8	24 minutos
Yangas - Santa Rosa de Quives	Asfaltada	8.2	11 minutos
Santa Rosa de Quives - Licahuasi	Afirmada	9.4	21 minutos
Licahuasi - Puente Masquin	Afirmada	10.2	25 minutos
Puente Masquin - Santa Rosa de Quives	Afirmada	19.6	46 minutos
Santa Rosa de Quives - Canta	Asfaltada	38.4	47 minutos
Canta - Pariamarca	Asfaltada - Trocha	5.1	14 minutos
Pariamarca - Carhua	Trocha	8.4	22 minutos
Carhua - Lachaqui	Trocha	9.4	22 minutos
Lachaqui - Laguna Yarcán	Trocha	35	150 minutos

### 1.3.3. Población

De acuerdo con el XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas o Censo peruano de 2017, la población total del distrito de Santa Rosa de Quives es de 5 710 hab. Mientras que, el distrito de Arahua tiene 596 hab. Cabe precisar que, los centros poblados de Santa Rosa de Quives, Licahuasi y Arahua

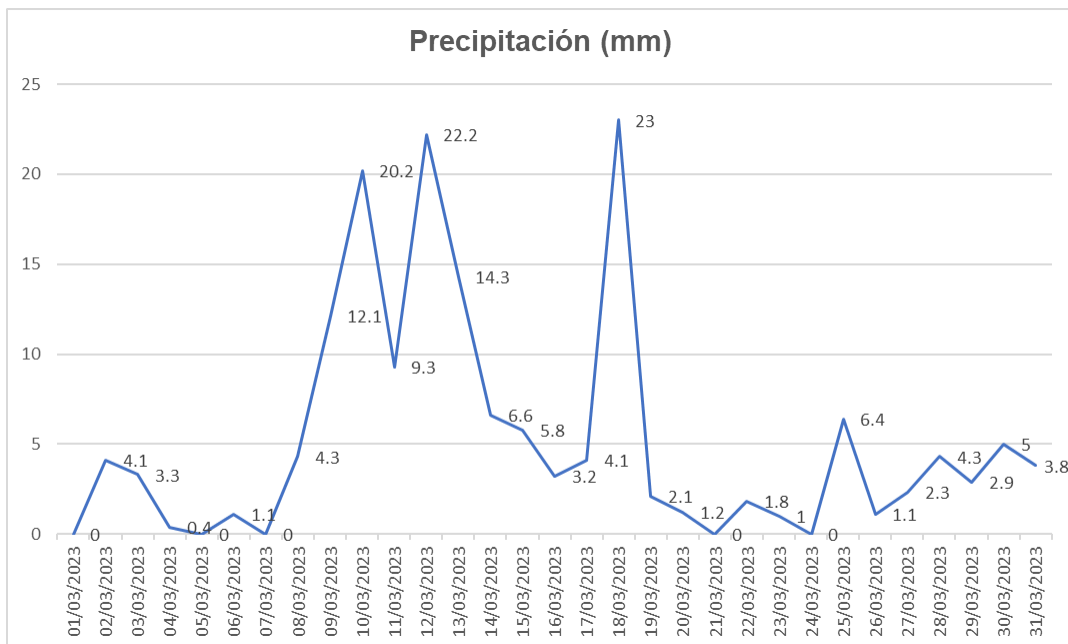
tienen 330, 38, 304 hab., respectivamente (Fuente: INEI - Censos Nacionales de Población y Vivienda 2017).

### 1.3.4. Clima

De acuerdo con el Mapa climático del Perú, elaborado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, el sector de Santa Rosa de Quives presenta un clima de tipo árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año y templado (figura 3). Durante el año, en promedio, presenta temperaturas máximas de 19°C en las partes altas de la zona sur y hasta los 31°C en la zona norte. Mientras que, las temperaturas mínimas alcanzan hasta los 3°C en las partes altas la zona sur y los 21 °C en la zona norte. La precipitación anual varía entre 0 mm y 5 mm en las partes adyacentes al litoral y alcanza valores entre 500 y 700 mm en las zonas altas de costa norte.

Mientras que, el sector de Arahua presenta un clima de tipo semiárido con invierno seco y templado. Durante el año, en promedio, presenta temperaturas máximas de 19°C a 23°C y temperaturas mínimas de 15°C a 19°C. Los acumulados anuales de lluvias en estas áreas varían desde los 300 mm hasta los 700 mm aproximadamente.

Los datos de precipitaciones totales mensuales en milímetros, distribuidas a lo largo del mes de marzo de 2023, según datos pluviométricos de la estación meteorológica convencional Arahua (SENAMHI), presentan una precipitación máxima de hasta 23 mm el 18 de marzo de 2023 (Figura 4). Estos datos enfatizan que las lluvias más intensas ocurrieron los días 10, 12 y 18 del mes de marzo del presente año.



**Figura 4.** Histograma de precipitaciones (mm)-Estación Arahua, distribuidas a lo largo del mes de marzo de 2023. Fuente: Estación meteorológica convencional Arahua - SENAMHI.

## 2. DEFINICIONES

**Aluvi3n:** Materiales con fragmentos subredondeados a redondeados, depositados por una corriente natural de agua o por un movimiento tipo flujo canalizado. En Argentina y Chile se denomina as3 a los movimientos en masa tipo flujo originados ya sea por el colapso de un lago glacial o del rompimiento de un dique natural.

**Condicionante:** Se refiere a todos aquellos factores naturales o antr3picos que condicionan o contribuyen a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituyen el evento detonante del movimiento.

**Ca3da:** Es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido el material, cae desplazándose principalmente por el aire, y puede efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Se subdivide en tres tipos principales: aludes, ca3da de rocas y derrumbes.

**C3rcava:** Tipo de erosi3n concentrada en surcos que se forma por el escurrimiento de las aguas sobre la superficie de las laderas.

**Derrumbe:** Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, que involucra desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros. Se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de monta3a de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de diferentes tipos de rocas; as3 como en dep3sitos poco consolidados.

**Desembalse:** Disminuci3n del nivel de agua de un embalse.

**Detonante** (sin.: disparador, desencadenante, gatillante): Acci3n o evento natural o antr3pico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavaci3n del pie de una ladera y la sobrecarga de una ladera.

**Erosi3n:** Parte del proceso denudativo de la superficie terrestre que consiste del arranque y transporte de material de suelo o roca por un agente natural como el agua, el viento y el hielo, o por el hombre. De acuerdo con el agente, la erosi3n se puede clasificar en e3lica, fluvial, glacial, marina y pluvial. Por su aporte, de acuerdo a las formas dejadas en el terreno afectado se clasifica como erosi3n en surcos, erosi3n en c3rcavas y erosi3n laminar.

**Erosi3n de laderas:** Se manifiesta a manera de l3minas, surcos y c3rcavas en los terrenos. Un intenso patr3n de estos tipos de erosiones se denomina tierras malas o bad lands. Este proceso comienza con canales muy delgados cuyas dimensiones, a medida que persiste la erosi3n, pueden variar y aumentar desde estrechas y poco profundas (< 1 m) hasta amplias y de varios metros de profundidad.

**Flujo:** Movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido, pero que en principio se origina en otro movimiento como un

deslizamiento o caída. Hungr *et al.* (2001), los clasifican de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral y otras características que los hacen distinguibles.

**Flujo canalizado:** Tipo de movimiento en masa en el cual el material desplazado se mueve preferencialmente a lo largo de un cauce o canal.

**Formación geológica:** Es una unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por sus propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

**Fractura:** Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

**Meteorización:** Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes.

**Movimientos en masa:** Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. En el territorio peruano, los tipos más frecuentes corresponden a caídas, deslizamientos, flujos, reptación de suelos, entre otros.

**Peligro geológico:** Es un proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

**Susceptibilidad:** La susceptibilidad está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico, expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos son intrínsecos (la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, el drenaje superficial y subterráneo, y el tipo de cobertura del terreno) y los detonantes o disparadores de estos eventos son la sismicidad y la precipitación pluvial.

**Zona crítica:** Zona o área con peligros potenciales de acuerdo a la vulnerabilidad asociada (infraestructura y centros poblados), que muestran una recurrencia, en algunos casos, entre periódica y excepcional. Pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales y puede ser necesario considerarlas dentro de los planes o políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres.

### 3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base el Boletín N° 43: “Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica” (Hojas 25i, 25j, 24i, 24j) (Palacios *et al.*, 1992) a escala 1: 100 000 y el Boletín N° 38, Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000): “Geología del cuadrángulo de Chosica (hojas 24j1, 24j2, 24j3, 24j4)” (Mamani *et al.*, 2021) a escala 1: 50 000.

Palacios *et al.* (1992) indican que el ámbito evaluado se asienta sobre tobas de cristales rosáceos y areniscas subordinadas del Grupo Rímac; andesitas intercaladas con lodolitas y areniscas de la Formación Colqui; metavolcánicos andesíticos con lodolitas calcáreas de la Formación Arahua; dioritas y tonalidad de la Super Unidad Paccho; granitos de la Super Unidad Santa Rosa; así como depósitos aluviales y depósitos glaciares.

Mientras que, Mamani *et al.* (2021) muestran que en el ámbito evaluado existen rocas de tipo: tobas de lapilli, color gris verdosos, violáceo intercaladas con niveles volcanoclásticos y lavas pertenecientes a la Formación Colqui; derrames de lavas gris oscuro de composición andesítica a basalto, lutitas, calizas y chert de la Formación Yangas; calizas, lodolitas calcáreas, hornfels y chert en estratos delgados, y lavas andesíticas de la Formación Arahua; tonalitas y dioritas pertenecientes al Batolito de la Costa - Super Unidad Paraíso; monzogranitos, tonalitas y granodioritas de la Super Unidad Santa Rosa. También se han identificado depósitos recientes: depósito aluvial antiguo (conglomerados y brechas con cantos de tonalita, diorita, andesita, subangulosos a subredondeados), depósitos fluvio-glaciares (gravas y arenas con matriz limoarenosa), depósitos aluviales y fluviales (arenas y limos inconsolidados con laminación paralela y oblicua), depósitos aluviales (Acumulaciones de fragmentos rocosos, redondeados a subredondeados, depositados en forma de terrazas), depósitos fluviales (bloques rocosos heterométricos y heterogéneos, redondeados a subredondeados, con matriz de arcillas, limos y arenas), y depósitos coluviales (depósitos de bloques y gravas angulosos conformando abanicos).

#### 3.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en el ámbito de estudio corresponden a la Super Unidad Santa Rosa, Formación Arahua, Formación Collqui, así como depósitos aluviales, fluvio-aluviales, glaciares, coluviales, fluviales y proluviales (Mapa 1, Anexo 1).

### 3.1.1. Super Unidad Santa Rosa – monzogranito (Ks-bc/sr-mgr)

Las rocas de esta super unidad son dominantes en el segmento Lima del Batolito de la Costa (Cobbing *et al.*, 1981).

En el área de estudio, los afloramientos de esta super unidad se extienden ampliamente en ambas márgenes del río Arahua (fotografía 1). Así, intruye a rocas del Grupo Casma e intrusivos dioríticos que están cubiertos por los depósitos volcánicos cenozoicos y depósitos inconsolidados del Cuaternario.

Las rocas de estos afloramientos presentan textura granular, de grano medio a grueso. Además, la composición mineralógica presenta ligeras variaciones entre sienogranitos o monzogranitos. La edad de estas rocas fue determinada en monzogranitos del cerro Canchacaya y varía entre 66 Ma y 67 Ma (Vidal, 1987). Esto la ubica en el Cretácico superior.

Durante los trabajos de campo, también se evidenció que las rocas estaban moderadamente meteorizadas y medianamente a muy fracturadas. Asimismo, los afloramientos son susceptibles a la ocurrencia de caída de rocas.



**Fotografía 1.** Afloramientos del Batolito de la Costa correspondientes a la Super Unidad Santa Rosa en la margen izquierda del río Arahua, al sureste del sector Santa Rosa de Quives.

### 3.1.2. Formación Arahuary (Kis-ar)

De acuerdo con el estudio de Mamani *et al.* (2021), la Formación Arahuary se encuentra suprayaciendo concordantemente al Grupo Casma (Formación Yangas) y subyace en discordancia erosional al Grupo Rímac.

En el área de estudio, esta formación corresponde a una secuencia sedimentaria que aflora en el Cerro Carme, ubicado en la margen derecha del río Arahuary.

La Formación Arahuary está conformada por calizas, lodolitas calcáreas, hornfels y chert en estratos delgados, así como la presencia restringida de lavas andesíticas. Estos afloramientos fueron identificados en el camino afirmado Santa Rosa de Quives-Arahuary y en el Puente Maquín, específicamente en el estribo derecho del puente en mención, donde se encontraron secuencias de calizas y lodolitas calcáreas en estratos delgados (fotografía 2).

Durante los trabajos de campo, se evidenció que las rocas estaban moderadamente meteorizadas y medianamente a muy fracturadas. Asimismo, los afloramientos se encuentran cubiertos por depósitos coluviales y coluvio-deluviales.



**Fotografía 2.** Afloramiento de calizas y lodolitas calcáreas en estratos delgados pertenecientes a la Formación Arahuary en la margen derecha del río Arahuary.



### 3.1.3. Formación Collqui (PN-col/tb,vs,lv)

Considerando el trabajo de Mamani *et al.* (2021), la Formación Collqui se encuentra suprayaciendo concordantemente al Grupo Calipuy, asimismo subyace a la Formación Millotingo.

En el área de estudio, esta formación corresponde a una secuencia volcánica que aflora en los alrededores de la laguna Yarcán.

La Formación Collqui está conformada por niveles de tobas de lapilli, color gris verdosos, violáceo intercalados con niveles volcanoclásticos y lavas. Estos afloramientos fueron identificados en la laguna Yarcán, donde se encontraron diferentes secuencias de tobas de lapilli con coloraciones gris verdosas e intercalaciones de niveles de lavas (fotografía 3).

La evaluación geológica permitió evidenciar que las rocas estaban moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas.



**Fotografía 3.** Substrato rocoso en los alrededores de la laguna Yarcán conformado por tobas de lapilli con coloraciones gris verdosas e intercalaciones de niveles de lavas pertenecientes a la Formación Collqui.

#### 3.1.4. Depósito aluvial (Qp-al)

Corresponden a materiales antiguos acumulados por el río Arahua y que presentan una pseudo estratificación un poco difusa. Los bloques y clastos se ubican en la base, en la parte media y en la zona superior de la sucesión, soportados en matriz arenosa y/o limosa. Asimismo, el diámetro de los bloques y clastos puede variar, bruscamente, al interior de un mismo nivel.

Los depósitos aluviales antiguos se han acumulado en la desembocadura del río Arahua (ambos márgenes), en la confluencia por la margen izquierda del río Chillón.

En la zona de estudio y alrededores, también se extienden con amplitud a lo largo de las quebradas, principalmente, con espesores que van desde unos pocos metros hasta varios metros de altura. En el sector de Santa Rosa de Quives, estos depósitos aluviales se encuentran formando terrazas de hasta 30 m de altura (margen derecha del río Arahua), mientras que, la población del sector en mención se asienta sobre terrazas de hasta 15 m.

Los depósitos aluviales están conformados por bloques (hasta 2 m de diámetro), gravas y cantos, de diferente litología como tonalita, diorita, andesita, subangulosos a subredondeados envueltos en una matriz arenolimososa (fotografía 4).



**Fotografía 4.** Depósitos aluviales conformados por bloques, gravas y cantos subangulosos a subredondeados envueltos en una matriz arenolimososa, ubicados en la margen derecha del río Arahua.

### 3.1.5. Depósito fluvio-aluvial (Q-fal)

Los depósitos fluvio-aluviales están formados por materiales inconsolidados acumulados por el río Arahúy y que presentan ciertos niveles y/o capas.

Estos depósitos se encuentran conformando terrazas de hasta 10 m de altura en relación al cauce principal del río Arahúy (fotografía 5).

En el área de estudio, los depósitos fluvio-aluviales están conformados por bloques y clastos subredondeados a redondeados envueltos por una matriz arenosa y/o limosa. Asimismo, el tamaño de los bloques y clastos puede variar, al interior de un mismo nivel, algunos bloques pueden medir hasta 2.5 m de diámetro.

Estos depósitos son susceptibles a remoción por erosión fluvial del río Arahúy, durante temporada de crecidas del río (presencia de lluvias intensas y/o extraordinarias). Cabe precisar que, sobre este tipo de depósitos se asientan los centros poblados Santa Rosa de Quives, Licahuasi y Arahúy.



**Fotografía 5.** Depósitos fluvio-aluviales en ambas márgenes del río Arahúy (altura del sector Licahuasi), conformando terrazas de hasta 10 m, sobre los cuales se encuentran terrenos de cultivos.

### 3.1.6. Depósito glaciar (Q-gl)

Los depósitos glaciares se encuentran en el sector noreste del área de estudio y generan valles en forma de U. En estos valles se pueden distinguir geoformas de frentes de morrenas, morrenas laterales y morrenas de fondo, especialmente, en las quebradas Yarcán y Quenhua.

En la zona de estudio, estos depósitos de origen glaciar, se ha acumulado en los alrededores de la laguna Yarcán; constituyendo morrenas que cubren a los afloramientos volcánicos de la Formación Collqui, con alturas de hasta 120 m.

Durante los trabajos en campo, se evidenciaron que estos depósitos glaciares están conformados por gravas y cantos subredondeados envueltos en una matriz limoarenosa, así como arenas, estos depósitos actúan como diques naturales de la laguna Yarcán (fotografía 6).



**Fotografía 6.** Depósitos glaciares conformando morrenas ubicadas en los alrededores de la laguna Yarcán.

### 3.1.7. Depósito coluvial (Q-cl)

Son depósitos de origen gravitacional, acumulados en las laderas de las elevaciones; constituyendo escombros de laderas que cubren parcialmente a los afloramientos rocosos.

Asimismo, corresponde a depósitos de materiales conformados por bloques y clastos angulosos a subangulosos y pueden alcanzar hasta 10 metros de espesor.

En el área de estudio, este tipo de depósito fue identificado en ambas márgenes del río Arahúay, por ejemplo, a la altura del sector Licahuasi, en la margen izquierda del río Arahúay, se identificaron depósitos coluviales en las laderas de los cerros, estos depósitos corresponden a bloques y gravas angulosos conformando abanicos (fotografía 7).



**Fotografía 7.** Depósitos coluviales frente al sector Licahuasi, conformados por bloques y gravas angulosas en forma de abanicos.

### 3.1.8. Depósito fluvial (Q-fl)

Los depósitos fluviales se ubican a lo largo del río Chillón, formando terrazas en ambas márgenes del río en mención.

Litológicamente están conformados por bloques y clastos heterométricos y heterogéneos subredondeados a redondeados, alargados y sobre todo imbricados envueltos por una matriz de arcillas, limos y arenas.

### 3.1.9. Depósito proluvial o aluvio-torrencial (Q-pr)

Los depósitos proluviales fueron generados por el aluvión ocurrido el 20 de marzo del presente año, a partir del desembalse de la laguna Yarcán y por la existencia de material detrítico suelto acumulado en el valle del río Arahúay. El agua proveniente del desembalse de la laguna, a causa de las precipitaciones pluviales intensas y/o extraordinarias, arrasó con todo a su paso y transportó material aguas abajo por el río Arahúay, hasta su desembocadura en el río Chillón.

Estos depósitos corresponden a materiales inconsolidados, transportados y depositados por el aluvión en mención, hasta el río Chillón. Están conformados por bloques con diámetro de hasta 5 m y gravas con formas subangulosas a subredondeadas, envueltos en una matriz areno-limosa (fotografía 8).



**Fotografía 8.** Depósitos proluviales canalizados por el cauce principal del río Arahúay. Estos materiales generaron inundaciones y erosiones que destruyeron el puente Maquín, única vía de acceso al centro poblado de Arahúay.

## 4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Para el análisis de la geomorfología, se obtuvo el modelo digital de terreno del servidor ALOS PALSAR con una resolución (GSD) de 12.5 m, además se realizó el análisis de imágenes satelitales para el estudio de la morfometría del relieve, complementada con los trabajos de campo.

### 4.1. Pendientes del terreno

La pendiente, es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa, debido a que actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

En el Mapa 2 (Anexo 1), se presenta el mapa de pendientes de terreno, elaborado en base a la información del modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución, donde predominan laderas con pendiente suave ( $1^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ) a terrenos de pendiente muy escarpada ( $>45^{\circ}$ ).

Los centros poblados Santa Rosa de Quives, Arahuay, Licahuasi y la laguna Yarcán se asientan sobre terrenos con pendiente suave ( $1^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ) a moderada ( $5^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ). Estos terrenos corresponden a depósitos aluviales y proluviales, que son susceptibles a la ocurrencia de flujos de detritos. Mientras que, en los alrededores las laderas de las elevaciones presentan pendientes entre fuerte ( $15^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ) a muy escarpado ( $>45^{\circ}$ ). Cabe precisar que, en las laderas de estas elevaciones, sobre todo en los terrenos con pendiente muy fuerte a muy escarpado, en caso de sismo o cualquier otra vibración facilita la ocurrencia de movimientos en masa como derrumbes o caídas de rocas.

### 4.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio (Mapa 3, Anexo 1), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez *et al.*, 2019).

De acuerdo a su origen, se distinguen geoformas tanto de carácter tectónico degradacional y erosional (montaña en roca intrusiva y montaña en roca volcánica), como de carácter deposicional y agradacional (vertiente coluvio deluvial, piedemonte proluvial o aluvio torrencial y valle glaciar); las cuales se detallan a continuación:

#### 4.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación

parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005).

Los paisajes morfológicos, resultantes de los procesos denudativos forman parte de las cadenas montañosas, colinas, superficies onduladas y lomadas. Dentro de este grupo se tiene la siguiente unidad:

### **Unidad de montañas**

Se considera dentro de esta unidad a las geoformas con alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de base local. Sus laderas presentan un pendiente promedio superior al 30 % (Villota, 2005). Es la unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una gran elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 m de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub aguda, semiredondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas y que presenta un declive promedio superior al 30% (FAO, 1968, citado por Villota. 2005, p. 43).

#### **Subunidad de montaña en roca intrusiva (RM-ri)**

Corresponde a geoformas modeladas en rocas intrusivas de la Super Unidad Santa Rosa (monzogranito). Estas geoformas presentan pendiente del terreno fuerte (15°-25°) a muy escarpado (>45°), por ello son terrenos susceptibles a la ocurrencia de derrumbes o caídas de rocas, así como la presencia de surcos y cárcavas (figura 5). Estos relieves se localizan en los alrededores de los centros poblados de Santa Rosa de Quives, Arahuay y Licahuasi.

#### **Subunidad de montaña en roca volcánica (RM-rv)**

Estas geoformas presentan pendiente del terreno fuerte (15°-25°) a muy fuerte (25°-45°), y en algunos sectores puede llegar a muy escarpado (>45°), por ello son relieves susceptibles a la ocurrencia de derrumbes y/o caídas de rocas. Estos relieves modelados en rocas volcánicas de la Formación Collqui están conformados por niveles de tobas de lapilli, color gris verdosos, violáceo intercalados con niveles volcanoclásticos y lavas, los cuales se localizan en los alrededores de la laguna Yarcán (figura 6).





**Figura 5.** Montañas modeladas en rocas intrusivas, al sur del sector de Santa Rosa de Quives, cuyas laderas presentan pendiente fuerte a muy escarpado.



**Figura 6.** Montañas con pendiente fuerte a muy fuerte modeladas en rocas volcánicas, localizadas en los alrededores de la laguna Yarcán.

#### **4.2.2. Geformas de carácter depositacional y agradacional**

Estas geoformas son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos a los que se puede denominar constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como: el agua de escorrentía y los vientos; los cuales tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados (Villota, 2005). Dentro de este grupo se tienen las siguientes unidades:

##### **Unidad de piedemontes**

Los piedemontes corresponden a un conjunto de depósitos que conforman una superficie inclinada y disectada que se extiende al pie de sistemas montañosos y que ha sido formada por la depositación de las corrientes de agua que emergen de los terrenos más elevados hacia las zonas más bajas y abiertas (Villota, 1991). Dentro de esta unidad se tiene la siguiente subunidad:

##### **Subunidad de piedemonte proluvial o aluvio torrencial (P-at)**

Esta geoforma es el resultado de la acumulación de materiales movilizados por el aluvión ocurrido el 20 de marzo de 2023, debido al desborde de la laguna Yarcán, a consecuencia de las precipitaciones pluviales (lluvias) extraordinarias y/o intensas que se generaron en la zona. Estas geoformas están conformadas por bolones, cantos y gravas en una mezcla de limo, arcilla y arena que fueron canalizados por el río Arahua (figura 7).

##### **Subunidad de vertiente coluvial de detritos (V-d)**

Son depósitos inconsolidados acumulados al pie de las laderas de montañas, en forma de talud de detritos irregulares de origen coluvial, de edad reciente, que descienden hacia los valles principales o quebradas tributarias. Por encontrarse cerca de su fuente de origen, presentan una naturaleza litológica homogénea; sin embargo, su granulometría es variable con fragmentos angulosos y su grado de compacidad es bajo, no consolidado.

Los depósitos coluviales conforman material potencialmente inestable en las laderas y se producen en las rocas diaclasadas y alteradas de las montañas intrusivas, que dejan bloques inestables que caen o ruedan por la fuerza de gravedad, con ayuda de las lluvias intensas o movimientos sísmicos.

En la zona de estudio, estas geoformas están asociadas a movimientos en masa de tipo derrumbe o caída de rocas, las cuales presentan pendiente del terreno fuerte (15°-25°) a muy fuerte (25°-45°).



**Figura 7.** Piedemonte proluvial o aluvio torrencial generado por el aluvión ocurrido el 20 de marzo de 2023 y canalizados por el río Arahuay.

## **Unidad de valles**

### **Subunidad de valle glaciar (VII-gI)**

Esta geoforma se encuentra restringida a las zonas más altas del área de estudio, por encima de los 4 000 m s.n.m. aproximadamente, específicamente en los alrededores de la laguna Yarcán. Se caracteriza por conformar incisiones de laderas rectas con una típica sección transversal en U, así como la presencia de la laguna glaciar denominada Yarcán represada por un dique (figura 8).



**Figura 8.** Valle glaciar con sección transversal en U, así como la presencia de la laguna glaciar denominada Yarcán represada por un dique.

### **Unidad de planicies**

Constituyen depósitos convexos residuales acarreados y depositados en vertientes o laderas bajas y medias, engloba orígenes variados asociados a la gravedad, aguas superficiales, etc. y la pendiente como una condición determinante para la movilidad y acumulación de los materiales sueltos. Dentro de esta unidad se tiene la siguiente subunidad:

#### **Subunidad de terraza fluvio-aluvial (T-fa)**

Las terrazas fluvio-aluviales son geoformas planas que se encuentran dispuestas a los costados del lecho principal del río Arahúy. Han sido disectadas por las corrientes fluviales como consecuencia de la profundización del valle del río en mención. Estas geoformas están sujetas normalmente a procesos de erosión e inundación fluvial, y sobre estas se asientan los centros poblados Santa Rosa de Quives, Licahuasi y Arahúy (figura 9). Las terrazas pueden llegar a medir hasta 10 m de altura en relación al cauce principal del río Arahúy.



**Figura 9.** Terrazas fluvio-aluviales sobre las cuales se asienta el sector Licahuasi (margen derecha del (río Arahúay). Estas geoformas están sujetas normalmente a procesos de erosión e inundación fluvial, especialmente en temporada de lluvias intensas y/o excepcionales.

## 5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en los centros poblados Santa Rosa de Quives, Arahúay, Licahuasi y laguna Yarcán, de acuerdo con el Proyecto Multinacional Andino: GCA, (2007), corresponden a movimientos en masa de tipo flujo (aluvión) y caída (derrumbe y caída de rocas) (Mapa 4, Anexo 1).

### 5.1. Aluvión del 20 de marzo de 2023 por desborde de la laguna Yarcán

El aluvión ocurrido el 20 de marzo de 2023, con origen en la laguna Yarcán, se originó debido a las precipitaciones pluviales (lluvias) extraordinarias y/o intensas que se generaron en la laguna Yarcán, las cuales generaron el desborde de la laguna en mención, así como la ruptura de una parte del dique artificial (10 m aproximadamente).

Los depósitos aluvio-torrenciales o proluviales generados por el aluvión están compuestos por bloques y gravas subredondeadas a redondeadas, con diámetros que varían entre 0.03 a 2.7 m, envueltos en una matriz de areno-limosa. Los bloques y gravas de diferente composición (intrusivos y volcánicos), fueron transportados por el río Arahúay hasta su desembocadura en el río Chillón.

El aluvión, de origen en la laguna Yarcán (4418 m s.n.m.) se canalizó por el río Arahua y recorrió aproximadamente 30 km desde la ruptura del dique artificial hasta su desembocadura en el río Chillón. Durante este trayecto erosionó la base y ambos márgenes del río Arahua, socavando y profundizando el lecho del río, también generó procesos de erosión e inundación en ambos márgenes del río en mención, ocasionando daños en viviendas, pérdidas de terrenos de cultivo, así como destrucción y/o afectación de puentes y vías de acceso.

A continuación, se detalla el impacto del aluvión, ocurrido el 20 de marzo de 2023, en los centros poblados afectados, así como la laguna Yarcán:

#### **5.1.1. Impacto del aluvión en la laguna Yarcán**

En la laguna Yarcán, a consecuencia de las precipitaciones pluviales (lluvias) extraordinarias y/o intensas, se generó la colmatación de la laguna en mención. La presión del volumen de agua generó la ruptura del dique artificial en 10 m aproximadamente (figura 10), lo cual desencadenó el desembalse de la laguna Yarcán (fotografía 9). El agua proveniente del desembalse, que luego se convertiría en un aluvión, se canalizó por la quebrada Yarcán y otras quebradas, así como por el río Arahua hasta su desembocadura en el río Chillón.

De acuerdo con el análisis multitemporal utilizando una imagen satelital de Google Earth del año 2021 y las imágenes obtenidas mediante vuelos con dron del año 2023 (figura 11), se puede apreciar el desembalse de la laguna Yarcán, así como la ruptura parcial del dique. También se puede observar el ensanchamiento del cauce de la quebrada Yarcán, hasta en 80 m aproximadamente. Mientras que los trabajos de campo permitieron evidenciar el socavamiento y profundización del lecho hasta en 10 m aproximadamente (fotografía 10), así como algunos sectores inundados (fotografía 11).



**Figura 10.** Destrucción parcial del dique, en 10 m aproximadamente, generada por la colmatación de la laguna Yarcán.



**Fotografía 9.** Desembalse de la laguna Yarcán a consecuencia de la rotura parcial del dique.

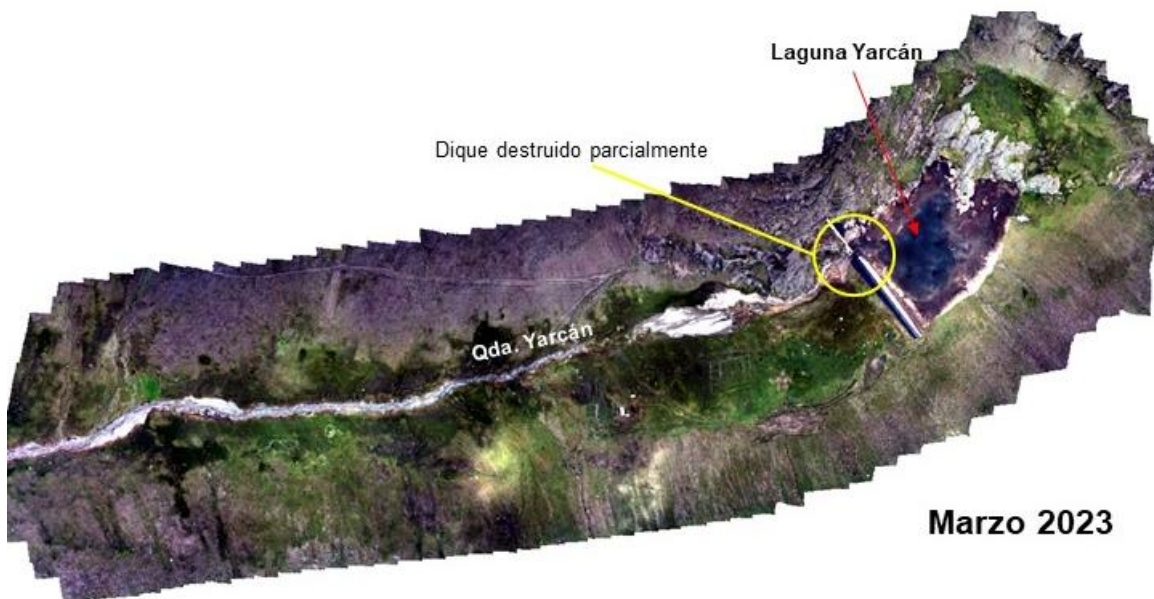


**Fotografía 10.** Procesos de erosión en la quebrada Yarcán, se evidencia el socavamiento y profundización del lecho hasta en 10 m aproximadamente.



**Fotografía 11.** Material depositado por la colmatación de la quebrada Yarcán.





**Figura 11.** Análisis multitemporal utilizando imágenes de Google Earth del año 2021 y las obtenidas mediante vuelos con dron del año 2023, donde se puede evidenciar el desembalse de la laguna Yarcán, así como la ruptura parcial del dique. También se puede observar el ensanchamiento del cauce de la quebrada Yarcán (hasta en 80 m aproximadamente) y el material depositado por la colmatación de la quebrada Yarcán.

### 5.1.2. Impacto del aluvión en el centro poblado Arahua

El aluvión generado el 20 de marzo de 2023 y canalizado por el río Arahua destruyó puentes y vías de acceso hacia el sector de Arahua, como el puente Maquín, dejándolo incomunicado, por ello la única manera de ingresar al sector en mención, era caminando.

El puente Maquín era la única vía de acceso al sector de Arahua (15 m aproximadamente), el cual fue destruido por el aluvión, cuyos materiales generaron erosión e inundación en ambas márgenes del río Arahua, afectando la única vía de acceso al sector en mención, así como terrenos de cultivos (fotografía 12).

De acuerdo con el análisis multitemporal utilizando una imagen satelital de Google Earth del año 2021 y las imágenes obtenidas mediante vuelos con dron del año 2023 (figura 12), se puede observar el ensanchamiento del cauce del río Arahua, hasta en 70.5 m aproximadamente. Mientras que, los trabajos de campo permitieron evidenciar el socavamiento y profundización del lecho del río hasta en 10 m aproximadamente.



**Fotografía 12.** Material depositado por el aluvión generado el 20 de marzo de 2023 y canalizado por el río Arahua, el cual generó la destrucción del puente Maquín.



**Figura 12.** El análisis multitemporal utilizando una imagen satelital de Google Earth (agosto 2021) y las imágenes obtenidas mediante vuelos con dron (marzo 2023), permitió verificar el ensanchamiento del cauce del río Arahua, hasta en 70.5 m aproximadamente, así como la destrucción total del puente Masquín, única vía de acceso al sector de Arahua.

El aluvión durante su recorrido, generó erosión e inundación de terrenos en ambos márgenes del río Arahua, así como derrumbes, estos procesos aportaron material al

cauce del río, incrementando la actividad erosiva del río en mención, lo cual generó daños y destrucción de puentes, vías de acceso y terrenos de cultivo (figura 13).



**Figura 13.** Algunas zonas en los alrededores del sector de Arahuary que fueron afectadas por el aluvión del ocurrido el 20 de marzo de 2023. Se puede observar el ensanchamiento y profundización del cauce del río Arahuary, así como la afectación de terrenos de cultivo y vías de acceso hacia el sector de Arahuary. Fuente: Municipalidad Distrital de Arahuary.

### 5.1.3. Impacto del aluvión en el centro poblado Licahuasi

El aluvión ocurrido el 20 de marzo de 2023 también generó daños en el sector de Licahuasi, como la afectación del puente de acceso al sector en mención (22 m aproximadamente), así como daños en terrenos de cultivos (fotografías 13 y 14).

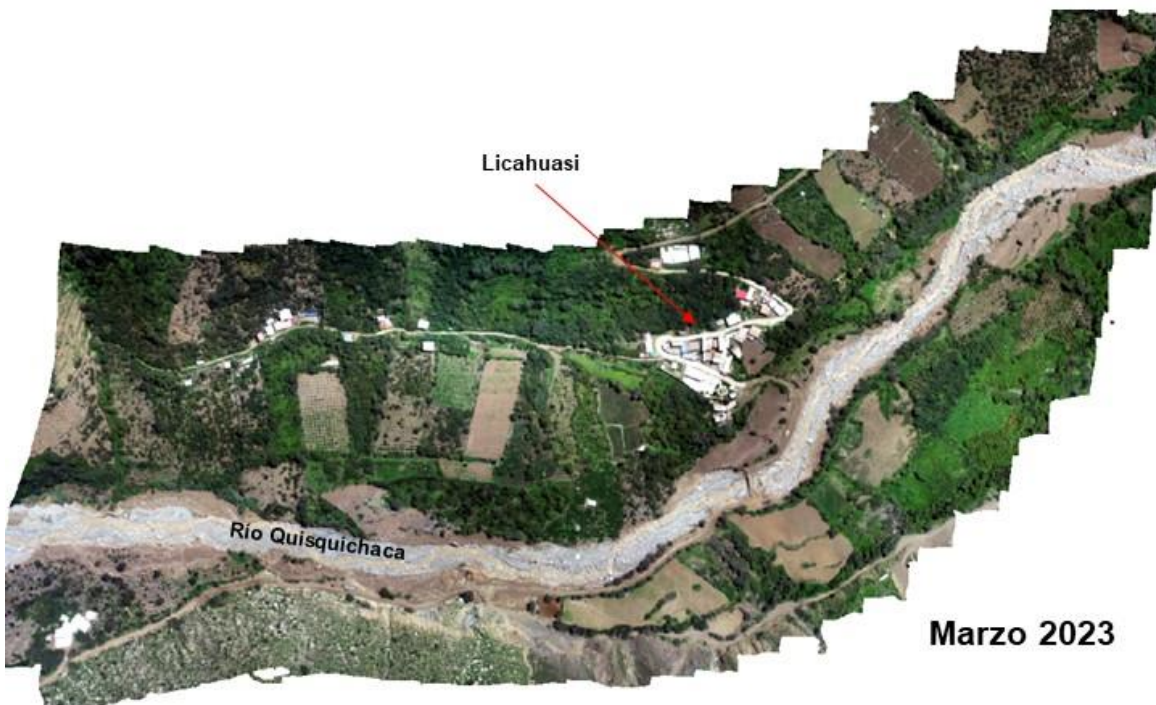
De acuerdo con el análisis multitemporal utilizando una imagen satelital de Google Earth del año 2020 y las imágenes obtenidas mediante vuelos con dron del año 2023 (figura 14), se puede observar el ensanchamiento del cauce del río Arahuary, hasta en 95 m aproximadamente. Mientras que, los trabajos de campo permitieron evidenciar el socavamiento y profundización del lecho del río hasta en 13 m aproximadamente.



**Fotografía 13.** Puente Licahuasi afectado por el aluvión, se pueden observar los estribos afectados.



**Fotografía 14.** Erosión fluvial del río Arahúay que afectó terrenos de cultivo en la margen derecha.



**Figura 14.** Análisis multitemporal utilizando una imagen satelital de Google Earth del año 2020 y las imágenes obtenidas mediante vuelos con dron del año 2023, que permitió verificar el ensanchamiento del cauce del río Arahuay, hasta en 95 m aproximadamente. El aluvión destruyó el puente de acceso al sector Lichuasi y generó daños en terrenos de cultivo, así como vías de acceso.

#### 5.1.4. Impacto del aluvión en el centro poblado Santa Rosa de Quives

Todo el material transportado por el río Arahúay, desde la laguna Yarcán hasta el río Chillón (30 km aproximadamente), fue depositado en la desembocadura de este, generando daños y afectación.

Parte del sector de Santa Rosa de Quives, así como vías de acceso, clubes campestres, terrenos de cultivo y animales, se asientan dentro del cauce antiguo del río Arahúay, así como sobre terrazas bajas inundables y llanuras de inundación, estos terrenos presentan un peligro alto ante la ocurrencia de flujos como el aluvión ocurrido el 20 de marzo de 2023.

Entre los daños generados por el aluvión, en el sector Santa Rosa de Quives, se tiene afectación en: terrenos de cultivos, infraestructura de clubes campestres, puente en 23 m y carretera Santa Rosa de Quives-Canta en 230 m. aproximadamente, vías de acceso vecinales y destrucción de viviendas e infraestructura de material noble (figura 15, fotografía 15).



**Figura 15.** Zonas afectadas (línea discontinua amarilla) por el aluvión en el sector de Santa Rosa de Quives. Estos terrenos representan un peligro alto ante la ocurrencia de huaicos o aluviones.



**Fotografía 15.** Daños generados por el aluvión en el club campestre “Real Club” en el sector Santa Rosa de Quives.

De acuerdo con el análisis multitemporal utilizando una imagen satelital de Google Earth del año 2021 y las imágenes obtenidas mediante vuelos con dron del año 2023 (figura 16), se puede observar el ensanchamiento del cauce del río Arahúay, hasta en 176 m aproximadamente.

El aluvión durante su recorrido erosionó la base y ambas márgenes del río Arahúay, socavando y profundizando el lecho del río, así como el ensanchamiento hacia ambas márgenes. Mientras que, en la desembocadura del río Arahúay, se depositó todo el material transportado desde la laguna Yarcán, generando daños y afectación en la población del sector de Santa Rosa de Quives.

Cabe precisar que, la actividad antrópica ha incrementado en los últimos años, por ejemplo, el análisis multitemporal utilizando una imagen satelital de Google Earth del año 2002 y las imágenes obtenidas mediante vuelos con dron del año 2023, evidencia como la población se ha asentado en la desembocadura del río Arahúay, es decir en terrenos de peligro alto ante la ocurrencia de flujos como los aluviones (figura 17).





**Figura 16.** El análisis multitemporal utilizando una imagen satelital de Google Earth del año 2021 y las imágenes obtenidas mediante vuelos con dron del año 2023, permitió verificar el ensanchamiento del cauce del río Arahuay, hasta en 176 m aproximadamente. El aluvión generó daños en parte del sector de Santa Rosa de Quives, así como vías de acceso, clubes campestres, terrenos de cultivo y animales, que se asientan dentro del cauce antiguo del río Arahuay.



**Figura 17.** El análisis multitemporal utilizando una imagen satelital de Google Earth (agosto 2002) y las imágenes obtenidas mediante vuelos con dron (marzo 2023), permitió verificar la ocupación antrópica en la desembocadura y cauce antiguo del río Arahuay, estos terrenos presentan peligro alto ante la ocurrencia de flujos como el aluvión ocurrido el 20 de marzo de 2023.

## 6. CONCLUSIONES

- a) Los centros poblados Santa Rosa de Quives, Licahuasi y Arahua, se asientan sobre depósitos fluvio-aluviales y proluviales, mientras que, la laguna Yarcán se ubica sobre depósitos fluvio-glaciares, estos terrenos inconsolidados son de fácil erosión y remoción ante precipitaciones pluviales excepcionales y/ intensas. Cabe precisar que, en los alrededores de estos centros poblados se identificaron rocas intrusivas de tipo monzogranito pertenecientes a la Super Unidad Santa Rosa, así como secuencias de tobas de lapilli con coloraciones gris verdosas e intercalaciones de niveles de lavas que corresponden a la Formación Collqui.
- b) Las terrazas fluvio-aluviales y piedemontes proluviales, sobre los cuales se asientan los centros poblados Santa Rosa de Quives, Licahuasi y Arahua, presentan pendiente del terreno llano (0°-1°) a moderada (5°-15°), cuyos materiales son de fácil remoción ante lluvias intensas. Mientras que, las laderas de las elevaciones presentan pendiente del terreno fuerte (15°-25°) a muy escarpado (>45°); ello permite la ocurrencia de derrumbes y caídas de rocas. Mientras que, el material suelto disponible en las laderas se erosiona y se remueve fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad.
- c) Los peligros geológicos identificados en los centros poblados Santa Rosa de Quives, Arahua, Licahuasi y laguna Yarcán, corresponden a movimientos en masa de tipo flujo (aluvión) y caída (derrumbe y caída de rocas). El aluvión, de origen en la laguna Yarcán, recorrió aproximadamente 30 km desde la ruptura del dique artificial hasta su desembocadura en el río Chillón. Durante este trayecto erosionó la base y ambas márgenes del río Arahua, socavando y profundizando el lecho del río, también generó procesos de erosión e inundación en ambas márgenes del río en mención, ocasionando daños en viviendas, pérdidas de terrenos de cultivo, así como destrucción y/o afectación de puentes y vías de acceso.
- d) El valle del río Arahua y quebradas tributarias presenta **Peligro Alto** a la ocurrencia de flujo de detritos (huaicos y aluviones), que pueden ser desencadenados por lluvias intensas y/o extraordinarias, así como por el desembalse de la laguna Yarcán, la cual representa un peligro alto y latente, en temporada de lluvias, considerando la presencia de población, medios de vida, obras de infraestructura y vías de acceso que podrían volver a ser afectadas.
- e) Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa, los centros poblados Santa Rosa de Quives, Licahuasi, Arahua y laguna Yarcán, son considerados como **Zonas Críticas de Peligro Alto** a la ocurrencia de flujo de detritos (huaicos y aluviones), derrumbes y caídas de rocas que pueden ser desencadenados por lluvias intensas y/o extraordinarias.

- f) En temporada de lluvias intensas y/o extraordinarias, se podría volver a generar el desembalse de la laguna Yarcán, a partir de la ruptura del dique.
  
- g) El aluvión afectó principalmente los centros poblados Santa Rosa de Quives, Licahuasi, Arahuay y laguna Yarcán, donde ensanchó el cauce río Arahuay hasta 176 m aproximadamente, destruyó y/o afectó puentes como Maquín y Licahuasi, así como varios tramos de vías de acceso y terrenos de cultivo. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de ocurrencia de otro evento que pueda generar mayores daños, o la ocurrencia de huaicos y aluviones en otros sectores.

## 7. RECOMENDACIONES

### MEDIDAS ESTRUCTURALES

- a) Mejorar y/o rediseñar el dique artificial en la laguna Yarcán, con sus respectivos sistemas de regulación de volumen y seguridad para casos de elevación peligrosa del nivel de agua de la laguna durante la temporada de lluvias intensas y/o extraordinarias.
- b) Realizar obras de encauzamiento en el río Arahúy y afluentes, para lo cual se deben considerar medidas estructurales como la construcción de muros de contención (puede ser de hormigón, mampostería o de gaviones) para la canalización. La canalización no debe estrangular el cauce y debe realizarse considerando la morfología y alcance de los flujos (huaicos y/o aluviones), además de la ocurrencia de crecidas por lluvias extraordinarias con periodos de retorno acorde a la zona (50, 100 ó 500 años). Las obras de contención deben ser propuestas, diseñadas y ejecutadas por especialistas en el tema.
- c) Las obras de contención deben estar acompañadas con la arborización integral de las márgenes del cauce y considerando una zona intangible. Las márgenes intangibles no deben ser utilizadas para la construcción de viviendas, ni para otro uso o fin que pueda exponer la integridad de los pobladores.
- d) Los puentes Santa Rosa, Licahuasi, Maquín, entre otros deben tener dimensiones que permitan el paso de los huaicos y aluviones, por ello se deben considerar diseños y dimensiones ante máximas crecidas locales, esto permitirá el pase libre de flujos y evitar el colapso y destrucción de los puentes.

### MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

- a) Reubicar a la población y viviendas que se encuentren dentro de la faja marginal del río Arahúy y dentro o en los bordes de las quebradas. Prohibir la expansión urbana en estas zonas.
- b) Realizar la descolmatación periódica del cauce del río Arahúy y afluentes, previa a la temporada de lluvias.
- c) Realizar estudios de Evaluación de Riesgos (EVAR) por flujos de detritos (huaicos y/o aluviones) en los centros poblados afectados, para determinar medidas de control adicionales, ante la ocurrencia de estos procesos.
- d) Realizar un monitoreo continuo del comportamiento del dique en la laguna Yarcán; así como también en el río Arahúy y quebradas tributarias, durante la temporada de lluvias intensas y/o extraordinarias, ante una posible ruptura del dique.
- e) Implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para huaicos y aluviones, con los respectivos sensores y sistemas de comunicación-alarma, que avise con antelación a la población que vive a lo largo del valle del río Arahúy de la ocurrencia de nuevos eventos de tipo flujos (huaicos o aluviones).

- f) Realizar estudios geotécnicos y geofísicos a detalle en el dique que contiene a la laguna Yarcán.
- g) Realizar un levantamiento topográfico a detalle en los centros poblados afectados, con el objetivo de realizar estudios para el análisis de estabilidad de taludes.
- h) Se recomienda el uso de nuevas técnicas de conservación de tierras agrícolas: cultivos de contorno, barreras vivas, estacas, cultivos de cobertura, aislamiento de quebradas y cárcavas con fajas protectoras de vegetación ribereña en las zonas comprometidas por el aluvión.
- i) Realizar charlas de sensibilización y concientización del peligro al que se encuentran expuestos en el valle del río Arahua, especialmente a los poblados ubicados en ambas márgenes del río en mención y dentro de la faja marginal.
- j) Es de responsabilidad de las autoridades en los tres niveles de gobierno, delegar y facultar a los Grupo de Trabajo para la Gestión del Riesgo de Desastres de cada jurisdicción, el desarrollo de estudios de evaluaciones de riesgo, así como también la implementación de medidas y recomendaciones sugeridas por los especialistas en los informes técnicos elaborados y presentados, poniendo mayor énfasis e importancia ante la temporada de lluvia.



.....  
Julio César Lara Calderón  
Geólogo-Analista en peligros geológico



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

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Fidel, L.; Zavala, B; Núñez, S. & Valenzuela, G. (2006) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 4. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 29, 376 p., 19 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/263>

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (1979). *Estudio geodinámico de la cuenca del río Chillón*. Boletín. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, n° 4. Perú: INGEMMET. 98 p. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/249>

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2006). *Estudio de riesgos geológicos del Perú*, Franja N° 4. Boletín. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, n. 29. Perú: INGEMMET. 376 p.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas o Censo peruano de 2017. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1541/tomo4.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/tomo4.pdf)

Luque, G. & Rosado, M. (2014). Zonas críticas por peligros geológicos en la región Lima. Primer reporte. Lima: INGEMMET, Informe Técnico, 75 p, 1 mapa. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2018#files>

Luque, G.; Rosado, M.; Pari, W.; Peña, F. & Huamán, M. (2020). Peligro geológico en la región Lima. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica*, 76, 298 p., 9 mapas.

Mamani, Y.; Fabián, C. & Jacay, J. (2021) - Geología del cuadrángulo de Chosica (hojas 24j1, 24j2, 24j3, 24j4). INGEMMET, Boletín, Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1:50 000), 38, 80 p., 4 mapas.

Palacios, O., Caldas, J. & Vela, Ch. (1992). Geología de los cuadrángulos de Lurín, Chancay y Chosica. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, n° 43. Perú: INGEMMET. 163 p.

Pérez, G. (1978). Estudio geodinámico-geotécnico de la cuenca del río Chillón, provincia y departamento de Lima. INGEMMET, 74 p., <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2129#files>

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007). *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4.

Villacorta, S., Vásquez, J. & Núñez, S. (2010). Zonas críticas por peligros geológicos en la cuenca del río Chillón. Lima: INGEMMET, Informe Técnico N° A6539, 25 p, 1 mapa.

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



## **ANEXO 1: MAPAS**

Se presentan los siguientes mapas:

- Mapa N° 1. Geología de Santa Rosa de Quives, Arahuay y alrededores.
- Mapa N° 2. Pendiente de Santa Rosa de Quives, Arahuay y alrededores.
- Mapa N° 3. Geomorfología de Santa Rosa de Quives, Arahuay y alrededores.
- Mapa N° 4. Aluvión del 20/03/2023 en Santa Rosa de Quives.
- Mapa N° 5. Aluvión del 20/03/2023 en Arahuay.
- Mapa N° 6. Aluvión del 20/03/2023 en Licahuasi.
- Mapa N° 7. Aluvión del 20/03/2023 en la laguna Yarcán.

