

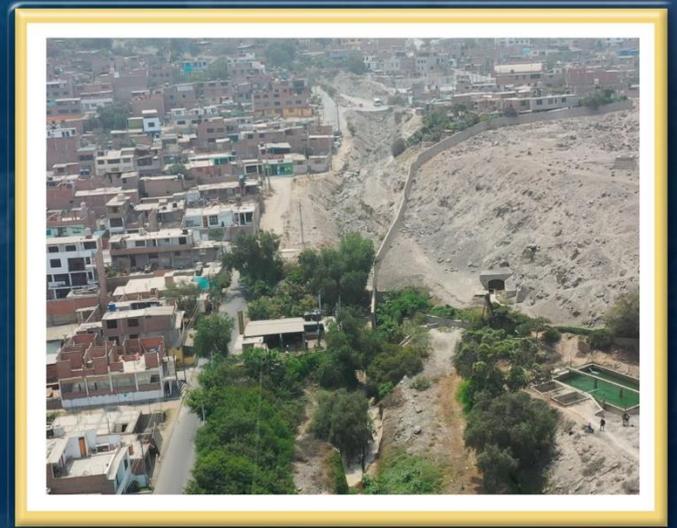
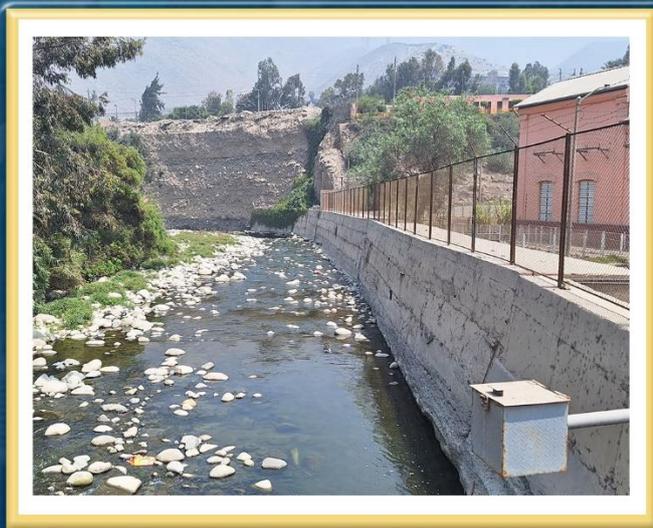
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7458

INFORME FINAL

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS LOCALES DE YANACOTO I Y II

Departamento Lima
Provincia Lima
Distrito Lurigancho-Chosica



**DICIEMBRE
2023**

**INFORME FINAL EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLOGICOS EN LOS LOCALES DE
YANACOTO I Y II**

Distrito Lurigancho - Chosica, provincia Lima, departamento Lima

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

Equipo de investigación:

*Guisela Choquenaira Gárate
Gonzalo Luna Guillen*

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). *Informe final Evaluación de peligros geológicos en los locales de Yanacoto I y II. Distrito Lurigancho – Chosica, provincia Lima, departamento Lima:* Ingemmet, Informe Técnico A7458, 44 p.

INDICE

RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. Objetivos del estudio.....	5
1.2. Alcances	5
1.3. Antecedentes y trabajos anteriores	6
1.4. Aspectos generales.....	8
2. DEFINICIONES	11
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	12
3.1. Unidades Litoestratigráficas	12
3.2. Depósitos superficiales	13
3.2.1. Depósito coluvial	13
3.2.2. Depósito proluvial.....	14
3.2.3. Depósito aluvial.....	14
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	16
4.1. Pendientes del terreno	16
4.2. Modelo digital de elevaciones (MDE)	17
4.3. Unidades geomorfológicas.....	18
4.3.1. Unidad de montaña	18
4.3.2. Unidad de piedemonte	19
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	20
5.1. Movimientos en masa	20
5.1.1. Flujo de detritos del 2017	20
5.1.2. Flujo de detritos en la quebrada Santa María	22
5.2. Peligros geohidrológicos	26
5.2.1. Erosión fluvial.....	26
5.3. Factores condicionantes	28
5.4. Factores desencadenantes	29
5.5. Factores Antrópicos	29
5.6. Modelamiento por flujo de detritos: Debris flow	29
6. CONCLUSIONES.....	34
7. RECOMENDACIONES.....	35
BIBLIOGRAFÍA:.....	37
ANEXO 1: MAPAS	38

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, tipo flujo de detritos, realizado en el área del local Yanacoto I y II, de propiedad privada del MINEM, perteneciente a la jurisdicción distrital de Lurigancho – Chosica, provincia Lima, departamento Lima. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos, para los tres niveles de gobierno.

En el contexto litológico, los locales Yanacoto I y II, se asientan sobre depósitos de flujos antiguos emplazados por la quebrada Santa María y el río Rímac; constituido por material heterométrico, de bloques angulosos de hasta 2 m de diámetro, gravas, arenas, limos y arcillas, mal clasificado, permeables y medianamente a poco consolidados; cuyas características de los materiales los hace muy susceptibles a erosión pluvial (lluvias), fácilmente removible y erosionable generando flujo de detritos

Desde el punto de vista geomorfológico el área evaluada y alrededores presentan una morfología variable, configurada y modelada por los diferentes procesos de movimientos en masa ocurridos; específicamente el área de Yanacoto II se asienta sobre un piedemonte aluvio torrencial, con pendiente media (5°-15°); mientras que Yanacoto I, se sitúa sobre una parte de terraza aluvial, de pendiente media a baja. Ambas geoformas de acumulación son circundadas por montañas modeladas en rocas intrusivas, de configuración abrupta, y con laderas de pendiente fuerte (25°-45), lo que facilita la ocurrencia de derrumbes y caída de rocas, que alimentan los flujos y se canalizan sobre la quebrada Santa María. Dicha quebrada, cuenta con antecedentes de ocurrencia de huacos antiguos de carácter excepcional, que ante la presencia de lluvias extraordinarias se reactivan y generan desastres. Se caracteriza por presentar abundante material suelto y acumulado en el cauce, muy susceptible hacer acarreado a manera de flujo de detritos, poniendo en peligro, especialmente, al terreno de Yanacoto II.

Por otro lado, a la altura de Yanacoto I, el río Rímac viene generando erosión fluvial, principalmente en el recodo de la margen derecha, donde finaliza el muro de concreto de aproximadamente 270 m de largo, construido para proteger el local en mención.

El modelamiento numérico realizado para un tiempo de retorno de 50 años, muestra un área de inundación de ~1.5 Km², donde parte del flujo de detritos desborda por la margen izquierda de la quebrada Santa María e ingresa al terreno de Yanacoto II. El flujo de detritos discurre en dirección suroeste, llegando hasta la carretera Central, con tirante mínimo de 0.3 m y velocidad que fluctúa de 1 m/s a 3 m/s.

Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa, se determina que, el local de **Yanacoto I** es considerado como **Zona Crítica** y de **peligro Alto** a erosión fluvial; mientras que, el local de **Yanacoto II** es considerado como **Zona Crítica** y de **peligro Alto** a flujo de detritos.

Por todo lo expuesto anteriormente, se recomienda realizar limpieza periódica del cauce del río Rímac (descolmatación). Así mismo, realizar mantenimiento al muro de concreto que protege el terreno de Yanacoto I. Para Yanacoto II, se recomienda reemplazar el muro de mampostería, por un muro de concreto armado, el mismo que debe contar con una buena cimentación en la base; finalmente, añadir barreras dinámicas y/o diques transversales en la quebrada Santa María, para atenuar y disipar la energía de flujo de detritos.

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)”, 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 Oficina General de Administración – Ministerio de Energía y Minas – Lima, según Oficio N° 0376-2023/MINEN-SG-OGA, es en el marco de nuestras competencias, se realizó una evaluación geológica y de peligros geológicos en los locales Yanacoto I y II, perteneciente a la jurisdicción del distrito de Lurigancho.

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: etapa de precampo con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET; etapa de campo a través de la observación, toma de datos (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de población local; y para la etapa final de gabinete se realizó el procesamiento de toda información terrestre y aérea adquirida en campo, fotointerpretación de imágenes satelitales, cartografiado e interpretación, elaboración de mapas, figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone a consideración del Ministerio de Energía y Minas e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – Sinagerd, como el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre - 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

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa y otros peligros que comprometen las infraestructuras de Yanacoto I y II.
- b) Determinar los factores condicionantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de mitigación, viables por las autoridades locales, ante los peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Alcances

El informe permitirá conocer las características geológicas del macizo rocoso y depósitos cuaternarios que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos en Yanacoto I y II; así como, la configuración morfológica en la generación de movimientos en masa y otros peligros geológicos; para lo cual se desarrolla las siguientes evaluaciones:

1.2.1. Investigaciones básicas

- Descripción de la masa rocosa y depósitos cuaternarios involucrados, en base a un mapeo detallado.
- Determinar los tipos de depósito involucrado en la ocurrencia de movimientos en masa y otros peligros.

1.3. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del Ingemmet, que incluyen sectores aledaños a las zonas de evaluación (informes técnicos) y otros estudios regionales relacionados a temas de geología y geodinámica externa (boletines), de los cuales destacan los siguientes:

- A) Boletín N° 59, Serie C, “Peligros geológicos en Lima Metropolitana, y región Callao” (Villacorta et al., 2015). De acuerdo al mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1:100 000, se evidencia que el área de evaluación se encuentra en **zonas de susceptibilidad alta a flujo de detritos** (figura 1).

Entendiéndose, la susceptibilidad a movimientos en masa, como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

- B) Boletín en revisión. Zonas críticas por peligro geológico en la zona centro del Perú (Luque, et al., 2023). Considera al A.H. Rinconada del Bosque de Yanacoto (Lurigancho), como **Zona Crítica**, denominado PI-25/213.

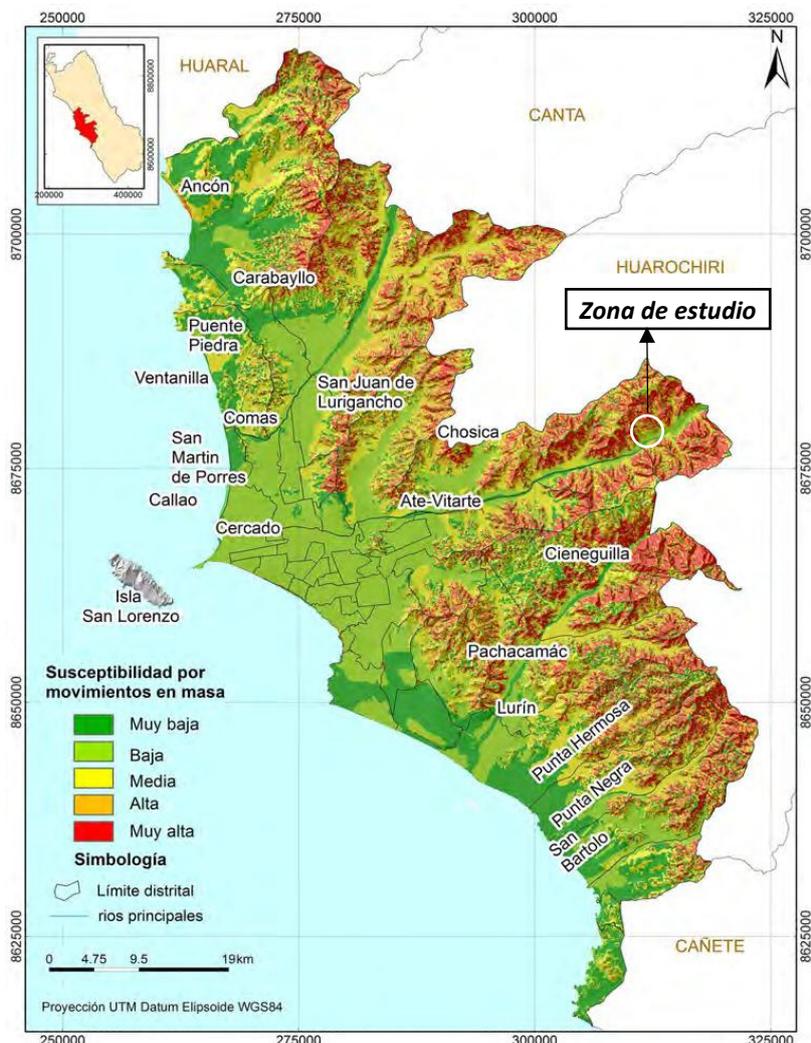


Figura 1. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa en el área de Lima Metropolitana. Fuente: Villacorta et al., 2015.

- C) Resumen “Evaluación Geodinámica de los flujos de detritos del 23-03-15 en el distrito de Lurigancho – Chosica (Villacorta, 2015). Menciona que las quebradas de Chosica tienen un historial recurrente de eventos por huaicos desde inicios del siglo XX (cuadro 1). Su composición litológica y geomorfológica es condicionante de los eventos de movimientos en masa. La evaluación de la susceptibilidad ante movimientos en masa refleja que toda la zona de Chosica tiene una categoría Alta-Muy Alta, por lo que la población asentada en estas zonas tiene que tomar medidas de prevención ante los eventos de flujos de detritos (figura 2).

Cuadro 1. Eventos históricos de huaicos sucedidos en el distrito de Lurigancho-Chosica.

Años de activación en flujo de detritos	Eventos ocurridos
1907	Se activaron las quebradas Quirio, San Antonio y otras, en relación con el evento ENSO.
1925	Se activaron las quebradas Quirio, San Antonio y otras, en relación con el evento ENSO.
1926	El 22 de marzo la quebrada Santa María se activó en flujo de detritos. En Yanacoto se venían haciendo los trabajos de limpieza del canal cubierto.
1952	El 14 de febrero, caen huaycos en la Carretera Central, siendo interrumpida en los km 56, 57 y 60.
1965	Santa Eulalia fue afectada por huaicos violentos.
1970	Se activaron las quebradas Quirio y San Antonio.
1978	Santa Eulalia fue afectada por huaicos violentos.
1976	Se activaron las quebradas Quirio y San Antonio.
1981	Se generaron huaicos, deslizamientos y desbordes del río Rímac.
1983	Se activó la quebrada Cashahuacra. Huaicos en San José de Palle y la Trinchera.
1987	Se activaron las quebradas Pedregal, Corrales, Quirio, Carossio, Rayos de sol y Cashahuacra.
1998	Se activaron las quebradas Quirio, Pedregal, Santo Domingo y La Cantuta, en relación al evento ENSO.
2009	Huaicos en la quebrada Quirio. En febrero el 2009 un pequeño huaico cobró una víctima en la zona de Quirio. A la altura del km 33 de la Carretera Central, grandes cantidades de lodo y piedras bloquearon calles y vías.
2012	Se activaron las quebradas La Ronda, Dos Barrios, Santo Domingo, La Cantuta, California, Coricancha y Los Cóndores. Así mismo, 05 de abril del 2012, se activaron las quebradas Pablo Patrón/Dos Amigos, La Cantuta, Santo Domingo, Coricancha y Los Cóndores. Afectando a una población de 1813, pérdidas humanas 02, viviendas inhabitadas 371 y viviendas afectadas 522.
2015	El 2015 se activaron las quebradas Huampani, Chacrasana, Santa María , Quirio, San Antonio, Mariscal Castilla y California (Chosica), La Ronda (Ricardo Palma), La Floresta (Chaclaclaro). Afectaron un total de 96 viviendas.
2017	Activación de la quebrada durante el Fenómeno El Niño.

Fuente: Villacorta, 2015.

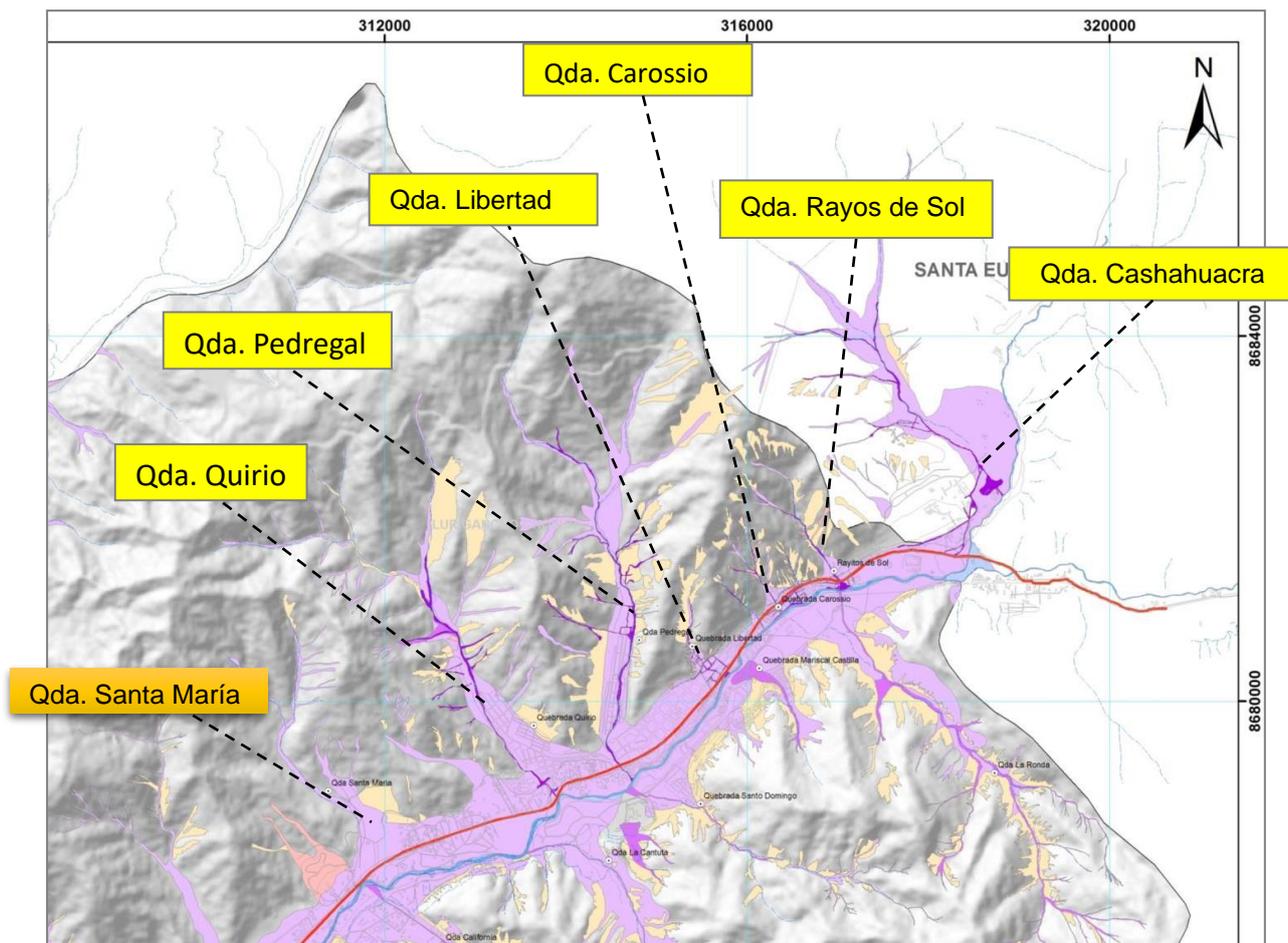


Figura 2. Ubicación de las quebradas evaluadas en la margen derecha de los ríos Rímac y Santa Eulalia. (tomado de: Villacorta, Núñez & Huarez, 2015).

1.4. Aspectos generales

Los locales de Yanacoto I y II, geográficamente, se sitúan en la margen derecha del río Rímac y margen izquierda de la quebrada Yanacoto, en el kilómetro 30 de la carretera Central (figura 3). Políticamente, pertenece al distrito Lurigancho - Chosica, provincia Lima, departamento de Lima.

Las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18s) del área se muestran en la siguiente tabla 1:

Tabla 1. Coordenadas del área de evaluación.

Vértice	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	309567	8680599	-11.929882°	-76.748653°
2	31109	8677088	-11.961705°	-76.734874°
3	313634	8678368	-11.950278°	-76.711446°
4	310974	8681255	-11.924032°	-76.735699°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Yanacoto I	311962	8678070	-11.952751°	-76.726876°
Yanacoto II	311823	8678304	-11.950755°	-76.728075°

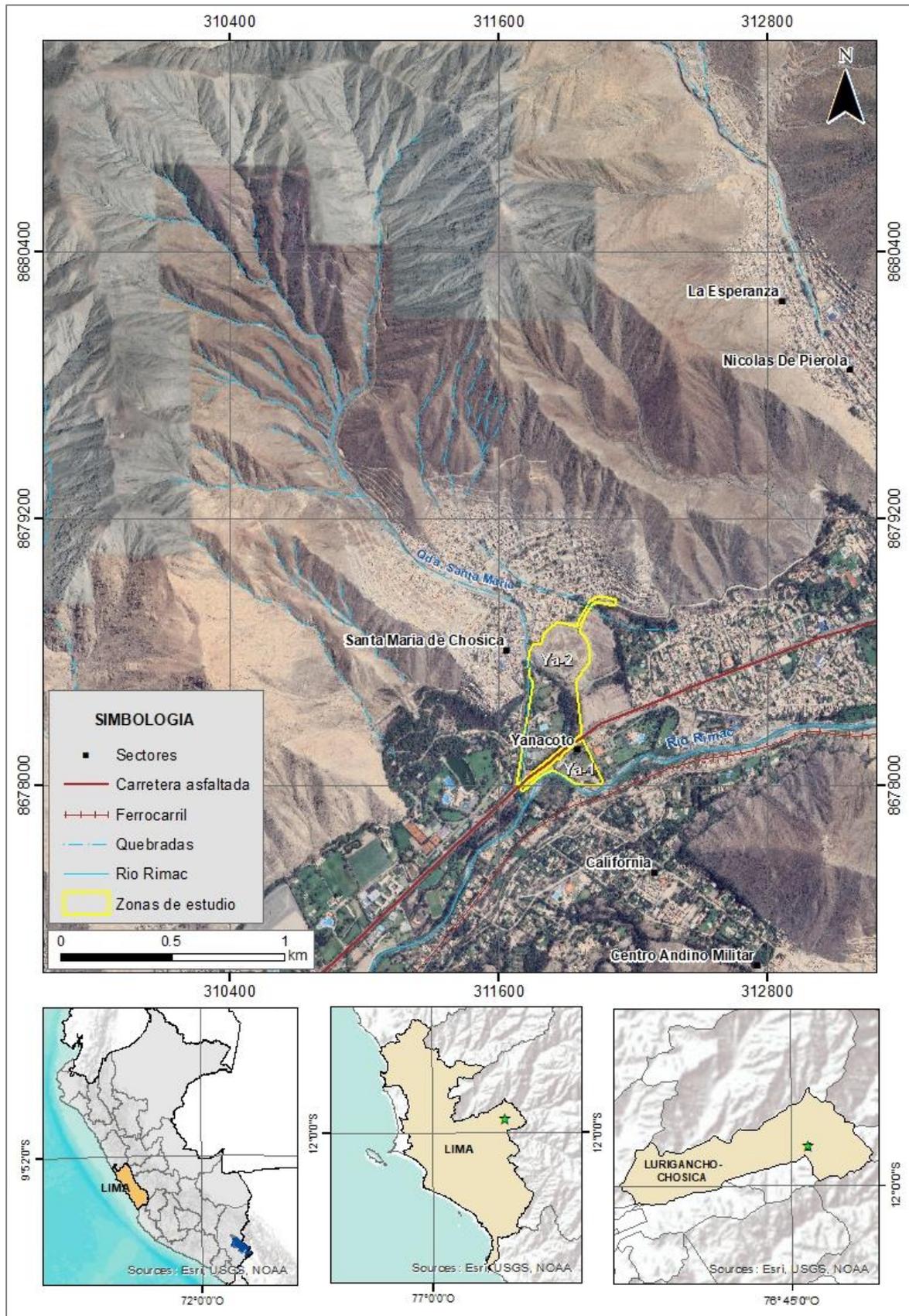


Figura 3. Mapa de ubicación del área evaluada.

1.5. Accesibilidad:

El acceso a la zona de estudio se realizó por vía terrestre desde la oficina central de Ingemmet (Lima), hasta los locales de Yanacoto I y II, mediante la siguiente ruta (cuadro 1):

Cuadro 1. Ruta de acceso.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Ingemmet – Yanacoto	Asfaltada	42	1h 5 minutos

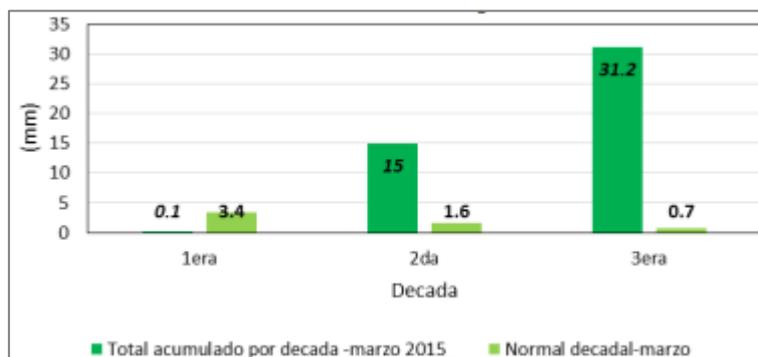
1.6. Clima

Según la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2023), en Lurigancho- Chosica, el clima es de tipo desértico con muy escasas precipitaciones en invierno. En términos generales, se puede afirmar que las precipitaciones en la zona de Lima, son escasas, sin embargo, en las dos últimas décadas se ha presentado con cierta frecuencia el fenómeno ENSO (El Niño Oscilación Sur).

El clima de Chosica corresponde al desértico templado y húmedo con escasas lluvias todo el año, a excepción de la temporada de enero a marzo, cuando se producen tenues lluvias (garúas). El promedio de precipitación total anual es de 143 mm, pudiendo alcanzar hasta 237 mm, existiendo un 66% de probabilidad de que ocurran precipitaciones entre 93 y 381 mm y un 33% de que sean entre 141 y 333 mm anuales. La temperatura media anual mínima es de 19.8C° (Villacorta, S., 2004).

En marzo del 2015, las lluvias en el distrito de Lurigancho acumularon la cantidad de 18.3 mm, siendo su normal para la tercera década (21 al 30 marzo) de 0.7 mm; lo que significó un exceso de 2 514 % respecto a su patrón decadal (gráfico 1); ello nos infiere que, esta cantidad de lluvia fue suficiente para desencadenar flujo de detritos en las diferentes quebradas de Chosica, incluyendo a Santa María.

Gráfico 1. Estación meteorológica de Chosica.



Fuente: CENEPRED, elaborados con datos de SENAMHI.

1.7. Vegetación

La vegetación en las laderas es casi inexistente, por lo que los suelos se encuentran expuestos directamente a la poca precipitación que recibe la parte baja y media. Sin embargo, en las partes altas de las quebradas existe vegetación dispersa, evidenciando que la precipitación es mayor y existe acumulación e infiltración del agua superficial.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos. En el informe se desarrollan terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres. La terminología técnica utilizada, tiene como base el libro: “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” desarrollado en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), donde participó la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet. Los términos y definiciones se detallan a continuación:

CAÍDA DE ROCAS: Tipo de caída producido cuando se separa una masa o fragmento de roca y el desplazamiento es a través del aire o caída libre, a saltos o rodando.

EROSIÓN DE LADERAS: Se manifiesta a manera de láminas, surcos y cárcavas en los terrenos. Un intenso patrón 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 erosión, pueden variar y aumentar desde estrechas y poco profundas (< 1 m) hasta amplias y de varios metros de profundidad.

FACTOR CONDICIONANTE: Se refiere al factor natural o antrópico que condiciona o contribuye a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituye el evento detonante del movimiento.

FACTOR DETONANTE: Acción o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavación del pie de una ladera, la sobrecarga de una ladera, entre otros.

FLUJO DE DETRITOS (HUAICO): Flujo con predominancia mayor de 50% de material grueso (bloques, gravas), sobre los finos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada.

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.

PELIGRO O AMENAZA GEOLÓGICA: 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.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

Los aspectos geológicos que caracterizan la zona se desarrollaron en base a la información obtenida en campo y la carta Geológica del cuadrángulo de Chosica – hoja 24-j (Caldas et al., 1998), a escala 1/100 000. Aflora predominantemente rocas intrusivas del Cretácico y depósitos Cuaternarios, estos materiales a través de la cartografía y en base a la interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas se completa en el mapa geológico, presentado en el mapa 1: Anexo 1.

3.1. Unidades Litoestratigráficas

Corresponden rocas intrusivas del Batolito de la Costa – Unidad Patap. También se tienen depósitos coluviales, proluvial y aluvial, que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad (figura 4).

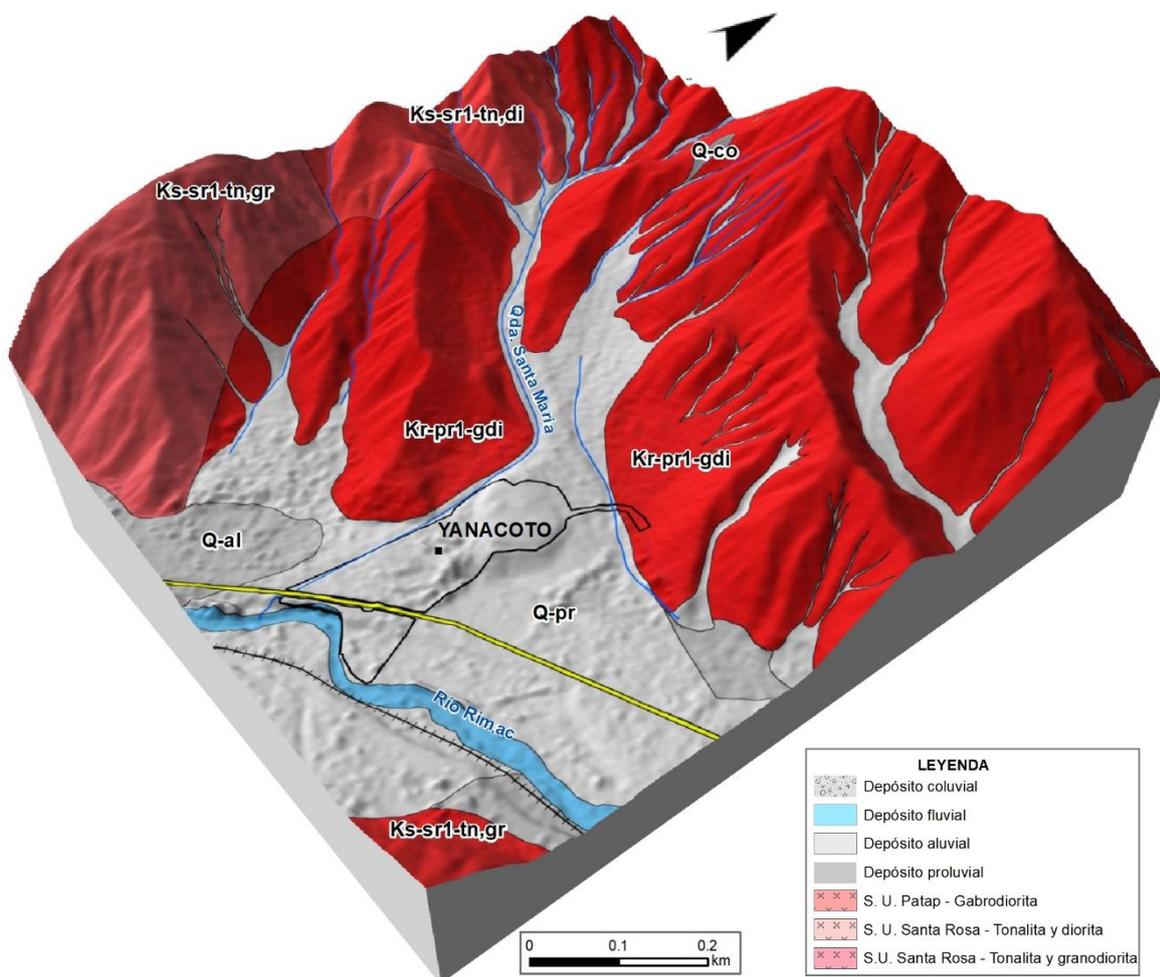


Figura 4. Unidades geológicas y depósitos Cuaternarios que conforman Yanacoto y la quebrada Santa María.

3.1.1. Batolito de la costa – Unidad Patap (Ki-pt1-gdi)

Aflora ampliamente al NE-NW de Yanacoto, conformada principalmente, por rocas del tipo granodiorita y tonalita. Desde el punto de vista geomecánico, estas rocas son duras y

resistentes excepto cuando están fracturadas, alteradas o meteorizadas, lo que produce caídas de rocas o derrumbes (Villacorta, 2015). Estos procesos también se asocian a los cortes de talud producidos en las laderas (antropización para asentamientos de viviendas) en forma inadecuada (fotografía 1). Considerando las características físico-mecánicas de estas rocas, por lo general, son de buena calidad; su capacidad portante para cimentar obras de ingeniería es alta; donde es necesario eliminar, para estos fines, la capa superior alterada o cimentar a mayor profundidad (Guzmán et al., 1998).



Fotografía 1. Areniscas cuarzosas de grano medio a fino, se presentan poco fracturadas y ligeramente meteorizadas.

3.2. Depósitos superficiales

3.2.1. Depósito coluvial

Así también, las laderas que limitan la quebrada Santa María, se encuentran cubierta por depósitos coluviales, los cuales se han originado por meteorización y destrucción mecánica de rocas preexistentes; su transporte y deposición gravitacional (originada por caídas de rocas y derrumbes), han producido acumulaciones en la base de las laderas de los cerros y en el cauce de la quebrada Santa María (fotografía 2), produciendo material de aporte ante un eventual flujo de detritos. Están constituidos por gravas y cantos angulosos pobremente gradados, con bloques de hasta 1 m de diámetro en algunos sectores; en su mayoría con poca matriz o con ausencia de esta (la matriz suele ser arenosa, algo arcillosa), generalmente suelta a medianamente densa.

Los depósitos observados son de estructura masiva y poroso, heterogenias en su composición, muy variable de sus propiedades mecánicas y espesores. Se presentan poco consolidados por reacomodo de sus constituyentes.

3.2.2. Depósito proluvial

Litológicamente, Yanacoto I y II, se encuentran localizados sobre depósitos proluviales, es decir, material transportado por flujos antiguos proveniente de la parte alta. El material que las constituye es heterométrico y mal clasificado (fotografía 3); de formas angulosas a subangulosas, en matriz areno – limosa. Por presentarse medianamente consolidados, son permeables, susceptibles a erosión pluvial (lluvias). Están compuestos, por bloques de hasta 2 m dispuestos en el cauce actual, gravas, arenas, limos y arcillas

En estos depósitos, se puede presentar asentamientos con problemas de capacidad de carga por asentamientos diferenciales debido a la presencia de grandes bloques. Para su excavación es apropiado el uso de medios mecánicos (Villacorta, 2015).

3.2.3. Depósito aluvial

En la margen derecha del río Rímac, se tienen depósitos aluviales, formando grandes terrazas, compuestas por una mezcla heterogénea de cantos y gravas en una matriz areno-limosa (fotografía 4). El comportamiento geotécnico de estos depósitos puede variar y depende mucho de la compactación de estos materiales.



Fotografía 2. Depósitos coluviales dispuestos en las laderas que limitan la quebrada Santa María. Sirven como material de aporte al cauce, ante un eventual flujo de detritos.



Fotografía 3. Depósito proluvial, conformado por bloques angulosos a subangulosos de hasta 1 m, dispuestos en el cauce de la quebrada Santa María; su origen se asocia a huaicos o flujos de detritos.



Fotografía 4. Depósito aluvial, dispuesto en la margen derecha del río Rímac, se observa erosión al pie del mismo. Los fragmentos son redondeados a subredondeados por tener un mayor arrastre y transporte desde su fuente de origen.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

La pendiente del terreno es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa; ya que actúa como uno de los factores condicionantes y dinámicos en la generación de movimientos en masa.

Para analizar las pendientes, se consideraron seis rangos que van de 0°-1° considerados terrenos llanos; 1° a 5° terrenos inclinados con pendiente suave; 5° a 15° pendiente moderada; 15° a 25° pendiente fuerte; 25° a 45° pendiente muy fuerte a escarpado; finalmente, mayor a 45° terreno muy escarpado.

En la figura 4A, de forma local, se muestra el mapa de pendientes del actual relieve de Yanacoto, elaborado en base al modelo de elevación digital de 4 m de resolución. Las terrazas formadas por el aporte de material el río Rímac tienen pendiente baja (1°-5°) a media (5°-15°), observándose que la infraestructura de Yanacoto I, se encuentra ubicada sobre estos depósitos. En la desembocadura de la quebrada Santa María se ha formado un abanico aluvial - proluvial, con pendiente media (5°-15°), con un cambio a pendiente fuerte (15°-25°) a muy fuerte (25°-45°) en las paredes de la protuberancia de depósito consolidado. La infraestructura de Yanacoto II, se encuentra asentada sobre este rango de pendientes.

La quebrada Santa María se formó a partir de la confluencia de cinco quebradas secundarias, aguas debajo de este punto, se tiene pendiente media (5°-15°), mientras que, hacia la parte alta, se tienen pendientes que varían de 15°-25°. Esta quebrada esta circundada por laderas de pendiente muy fuerte (25°-45°), lo que favorece la ocurrencia de derrumbes, este depósito se desplaza al cauce de la quebrada Santa María generando mayor material de aporte ante la ocurrencia de un eventual flujo de detritos.

En el cuadro 2 se detalla únicamente los rangos de pendientes existentes en el área de estudio.

Cuadro 2. Rangos de pendiente identificados en el área evaluada.

RANGO	DESCRIPCIÓN	SECTOR	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
1°-5°	Pendiente baja	Parte del terreno de Yanacoto I, se encuentra asentada sobre este depósito.	Terraza aluvial formada por la acumulación de material del río Rímac.
5°-15°	Pendiente moderada	Se presenta a lo largo del cauce de la quebrada Santa María. Los locales de Yanacoto I y II se encuentran construidos sobre este rango de pendiente.	Vertiente aluvial – proluvial y aluvial
15°-25°	Pendiente fuerte	Se presenta en la ladera media que circundan la quebrada Santa María.	Ladera de montaña intrusiva
25°-45°	Pendiente muy fuerte o escarpada	Cubre gran parte de las laderas que delimitan la quebrada Santa María. Este rango de pendientes ha condicionado la formación de derrumbes.	Laderas de montaña intrusiva Vertiente coluvial
>45°	Terreno muy escarpado	Se observa en la parte alta de montañas modeladas en rocas intrusivas.	Laderas de montaña intrusiva Vertiente coluvial

4.2. Modelo digital de elevaciones (MDE)

En la figura 5B, se presenta el mapa de alturas de la zona de estudio, clasificados en tres niveles altitudinales, con la finalidad de visualizar la extensión con respecto a la diferencia de elevaciones. El local de Yanacoto I se encuentra a 750 m s.n.m. mientras que, el área de Yanacoto II, culmina a 850 m s.n.m.

Las quebradas secundarias confluyen a la quebrada Santa María a una altura de 990 m, para luego descender hasta el río Rímac, por la margen derecha (figura 6).

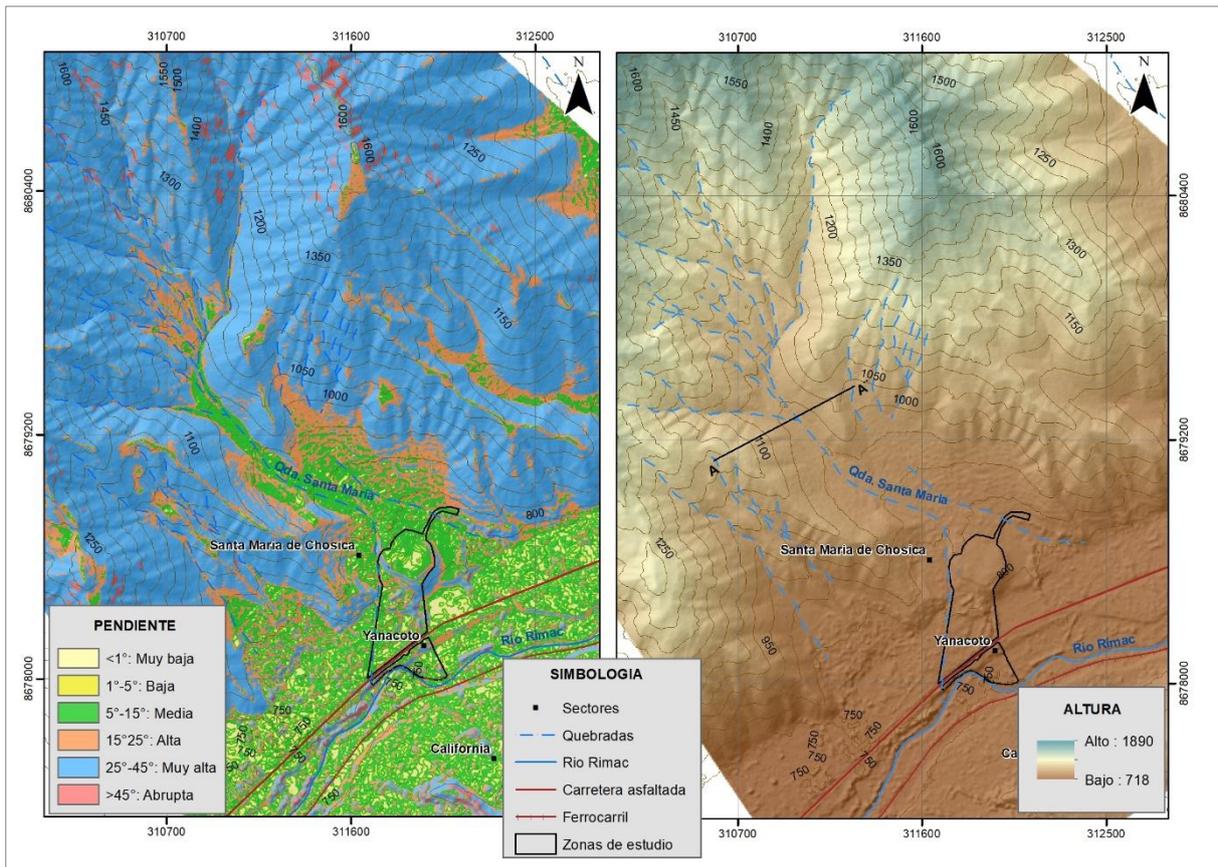


Figura 5 A) Pendientes de Yanacoto I y II. B) Mapa de elevaciones de Yanacoto I y II.

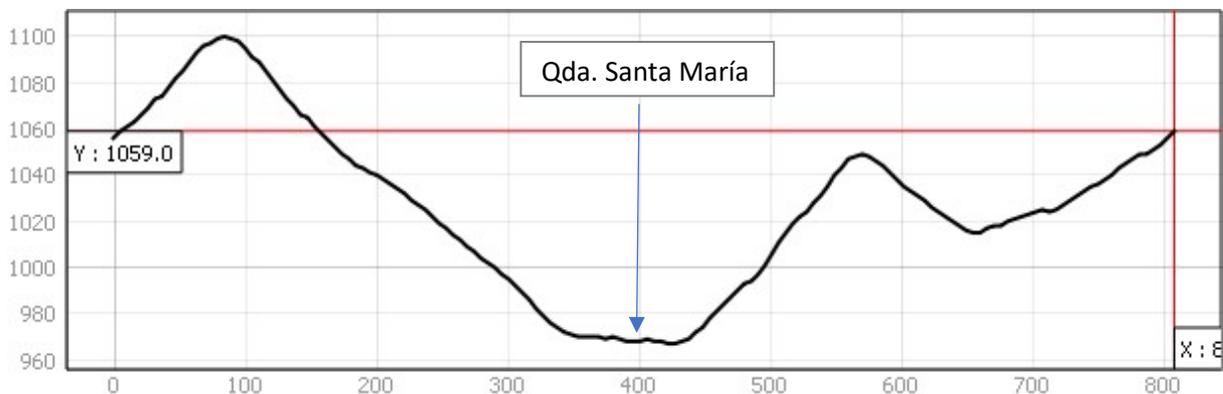


Figura 6. Perfil transversal al cauce de la quebrada Santa María, muestra en un ancho de aproximadamente 80 m. Así mismo se observa las pendientes fuertes de las laderas que delimitan dicha quebrada.

4.3. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades y subunidades geomorfológicas en el área de estudio se utilizó el criterio principal de homogeneidad relativa y la caracterización de aspectos de origen del relieve. Asimismo, para la delimitación de las subunidades, se consideró los límites de las unidades litoestratigráficas (afloramiento y substrato rocoso, así como depósitos superficiales).

En el Mapa 3 (Anexo 1) se presentan las subunidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio. Del mismo modo, en la figura 7, muestra de forma local y detallada, las cuatro subunidades identificadas en campo, las cuales se detallan a continuación.

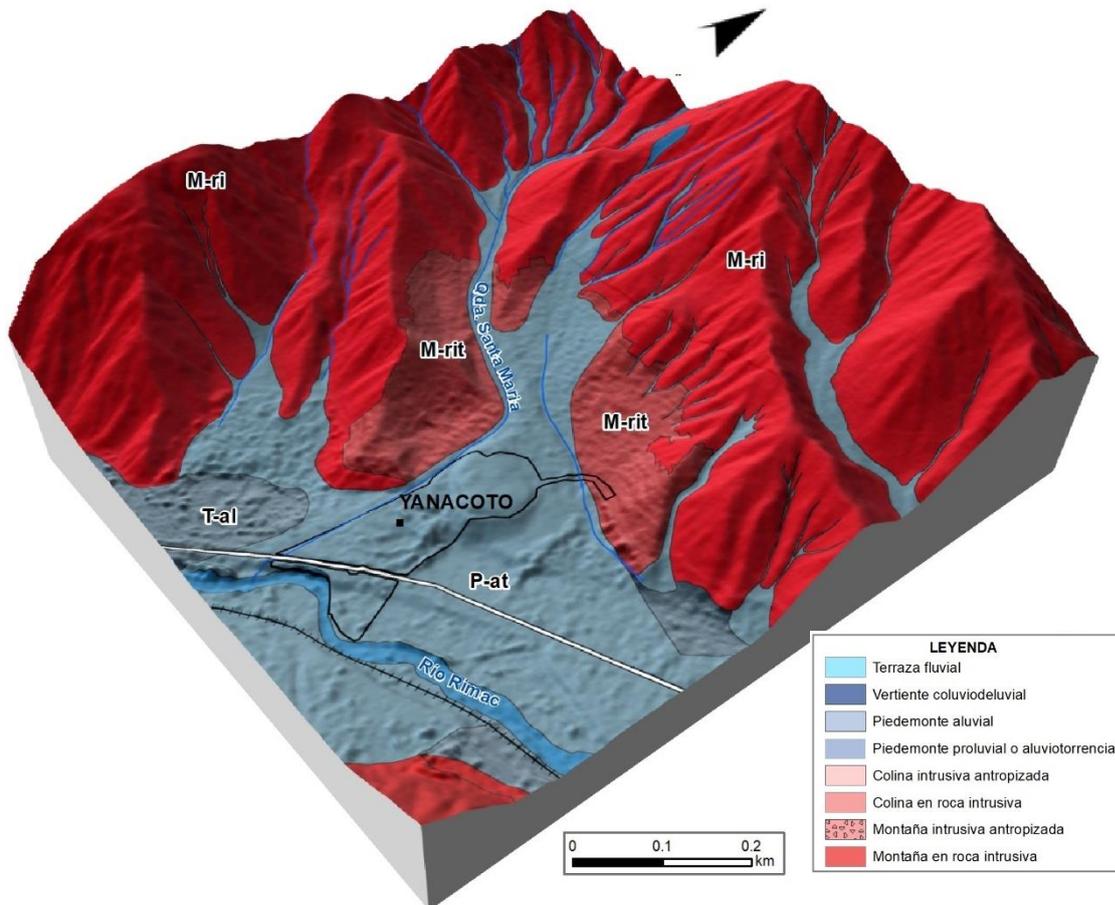


Figura 7. Sub unidades geomorfológicas identificadas en Yanacoto-quebrada Santa María. RM-ri: Montaña modelada en roca intrusiva, RM-rit: Montaña modelada en rocas intrusiva antropizada, V-co: Vertiente coluvial, P-at: Piedemonte aluvio-proluvial, T-al: Terraza aluvial.

4.3.1. Unidad de montaña

Montaña en roca intrusiva (ME-ri): Las estribaciones andinas, corresponden a las laderas y crestas marginales de plutones y stock del Batolito de la Costa, de emplazamiento NO-SE, el mismo que es disectado por el río Rímac y sus quebradas tributarias. Los cerros modelados en rocas intrusivas se caracterizan por su topografía abrupta, con pendientes entre 20° y 80°. Estos afloramientos presentan en su mayoría moderado a alto grado de meteorización (Villacorta, 2015).

Gran parte de estas laderas están siendo urbanizadas, ocupando incluso, cauces de pequeñas erosiones (erosión en cárcavas) que se han producido en las laderas empinadas.

4.3.2. Unidad de piedemonte

Corresponde a la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afecta las unidades de montaña, generalmente se encuentran en las laderas y piedemonte, aquí se tienen:

Vertiente coluvial (V-co): Corresponde a relieves originados por procesos gravitacionales, varían de pequeños a grandes dimensiones, probablemente detonados por lluvias excepcionales y/o prolongadas o actividad sísmica. Estos depósitos se observan en las laderas medias a bajas que delimitan la quebrada Santa María, en forma de derrumbe y caída de rocas, compuesto por fragmentos angulosos, gravas, arenas, limos ya arcillas.

Vertiente aluvio proluvial (V-at): La quebrada Santa María está emplazada, sobre un piedemonte aluvio torrencial, en la margen derecha del río Rímac, a 4 km aguas debajo de la quebrada Quirio. Se origina a la altura de 1855 m, y tiene un recorrido aproximado de 2.3 km, desde donde confluyen las quebradas secundarias, hasta la desembocadura en el río Rímac; ocupa un área aproximada de 30 ha, y presenta una pendiente 15°. En su cauce se halla gran cantidad de material suelto, producto de la actividad erosiva de las aguas de precipitación pluvial y escorrentías sobre el intrusivo, fracturado y meteorizado (figura 8).



Figura 8. Vista de las principales unidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio. RM-ri: Montañas modeladas en rocas intrusivas. P-at: Piedemonte aluvio torrencial; V-co: Vertiente coluvial.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

En el área de estudio se han identificado movimientos en masa tipo derrumbes, caída de rocas y flujo de detritos (huaicos) antiguos y recientes, así como peligros geohidrológicos tipo erosión fluvial e inundación (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007). Estos peligros son resultado del proceso de modelamiento del terreno, coadyuvado por las condiciones del macizo rocoso (macizo rocoso meteorizado y fracturado) y depósitos de eventos antiguos. Así también, el factor antrópico contribuye en la ocurrencia de estos procesos (Anexo 1: Mapa 4).

A continuación, se describen los procesos de movimientos en masa que ponen en peligro a la zona evaluada, haciendo referencia a eventos pasados y antecedentes que representan los peligros geológicos identificados.

Los huaicos en la zona de estudio son de carácter excepcional, pero en tiempo de lluvias extraordinarias se reactivan y son muy destructoras.

5.1. Movimientos en masa

5.1.1. Flujo de detritos del 2017

Las precipitaciones pluviales en marzo de 2017, desencadenaron flujos de detritos (huaicos) recientes que afectaron las viviendas asentadas cerca o en el cauce de dicha quebrada (figura 9), de los sectores A.H. 1^{ro} de Octubre y 1^{ra} Zona de Yanacoto (fotografía 5), donde se inundaron casas, el flujo erosionó parte de la vía de acceso, llegando muy cerca a los postes de alumbrado público (figura 10), de presentarse otro flujo podría afectar nuevamente a la vía de acceso e incluso a los postes de tendido eléctrico y viviendas aledañas al cauce de la quebrada. Por ello, estas viviendas deberían ser reubicadas, ya que se encuentran expuestas a este tipo de peligro recurrente.

En la parte baja de la quebrada, el flujo de detritos afectó el Club Adertel, destruyendo un puente peatonal que a su vez obstruye el paso del flujo (figura 11).

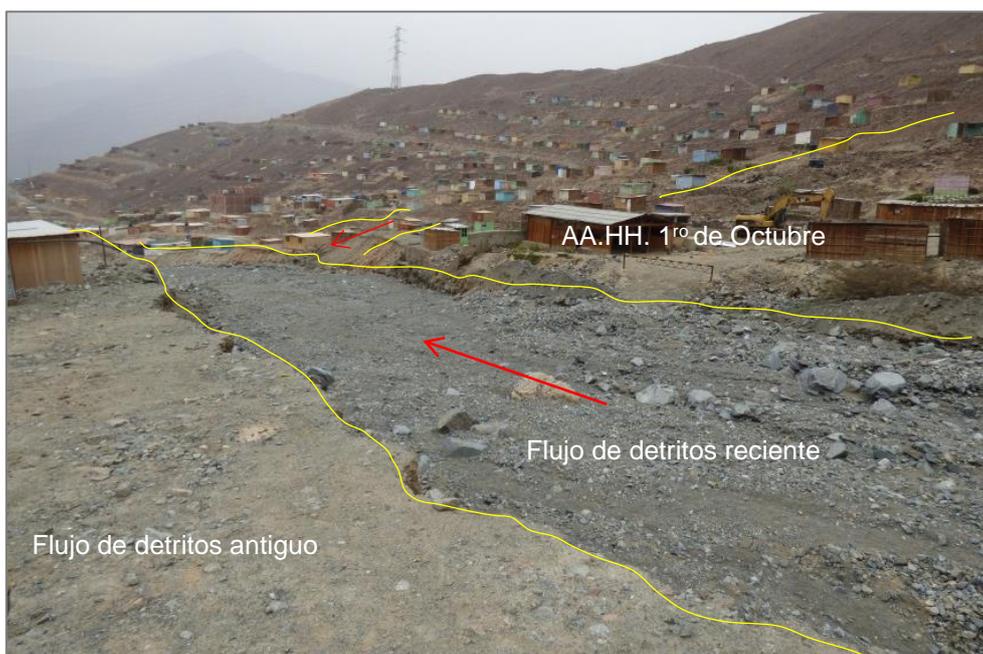


Figura 9. Flujo de detritos (huaico) en marzo de 2017. La flecha roja indica la dirección del flujo.



Fotografía 5. Vivienda del sector 1^{ra} Zona de Yanacoto afectada por el flujo de detritos



Figura 10. Poste de alumbrado público que podría ser afectado por un próximo flujo. La flecha indica la erosión del flujo de detritos

El material que trajo el flujo de detritos, estuvo conformado por fragmentos de roca de formas subangulosas, con tamaño predominante de 10 a 20 cm.



Figura 11. Club Adertel afectado por el flujo de detritos. La flecha indica la dirección del flujo.

5.1.2. Flujo de detritos en la quebrada Santa María

La quebrada Santa María, nace a partir de la confluencia de cinco quebradas secundarias, formando en ese punto, un ancho de cauce aproximado de 45 m. (figura 12A). Las quebradas se caracterizan por presentar abundante material (cauce colmatado de material detrítico) suelto acumulado, que ante una eventual lluvia de moderada intensidad puede producir un flujo de detritos. Así también, en sus márgenes se observa depósitos de flujos antiguos, lo que evidencia un ancho del cauce antiguo de hasta 65 m.

Hacia la parte media, el cauce de la quebrada se estrechó formando un ancho aproximado de 12 m, debido a la antropización (construcción de viviendas y vías de acceso), generando un mayor peligro para las viviendas asentadas en medio del cauce antiguo (figura 12B). En esta zona se ha realizado trabajos de descolmatación del cauce, colocando todo el material en ambas márgenes de la quebrada (arrimado de rocas), lo que serviría como material de aporte ante la ocurrencia de un flujo de detritos (fotografía 6) en presencia de lluvias excepcionales.

En la parte baja, justo donde inicia el área de Yanacoto II, el cauce de la quebrada se encuentra canalizado (figura 12C), formando un ancho aproximado de 3 a 4 m. Sin embargo, se observó que flujos antiguos han transportado y almacenado material en el cauce, observándose en la margen derecha alturas de hasta 3 m, que posteriormente han sido erosionados, dejando expuesto el muro que delimita Yanacoto II (fotografía 7).

Es importante mencionar que, a la altura de este tramo se tiene una protuberancia de depósito (Denominado Geoglifos), compuesto por bloques, angulosos, gravas, arenas y limos; medianamente compacta, que sirve como barrera ante la ocurrencia de un flujo de detritos y posible afectación al terreno de Yanacoto II (figura 13).

Los factores que condicionan la susceptibilidad a la ocurrencia de flujo de detritos corresponden principalmente a la presencia de un macizo muy fracturado y con alto grado de meteorización, así como de material de movimientos en masa antiguos, que se exponen por el corte de ladera y se suman al arrimado tipo construcción de pircas precarias para nivelar el

terreno, y que han ido generando morfologías escalonadas antrópicas de relleno para la construcción de viviendas y accesos. El factor detonante para la ocurrencia de flujos sería las precipitaciones pluviales abundantes (de corta duración) o prolongadas (persistentes), ambas de carácter excepcional.

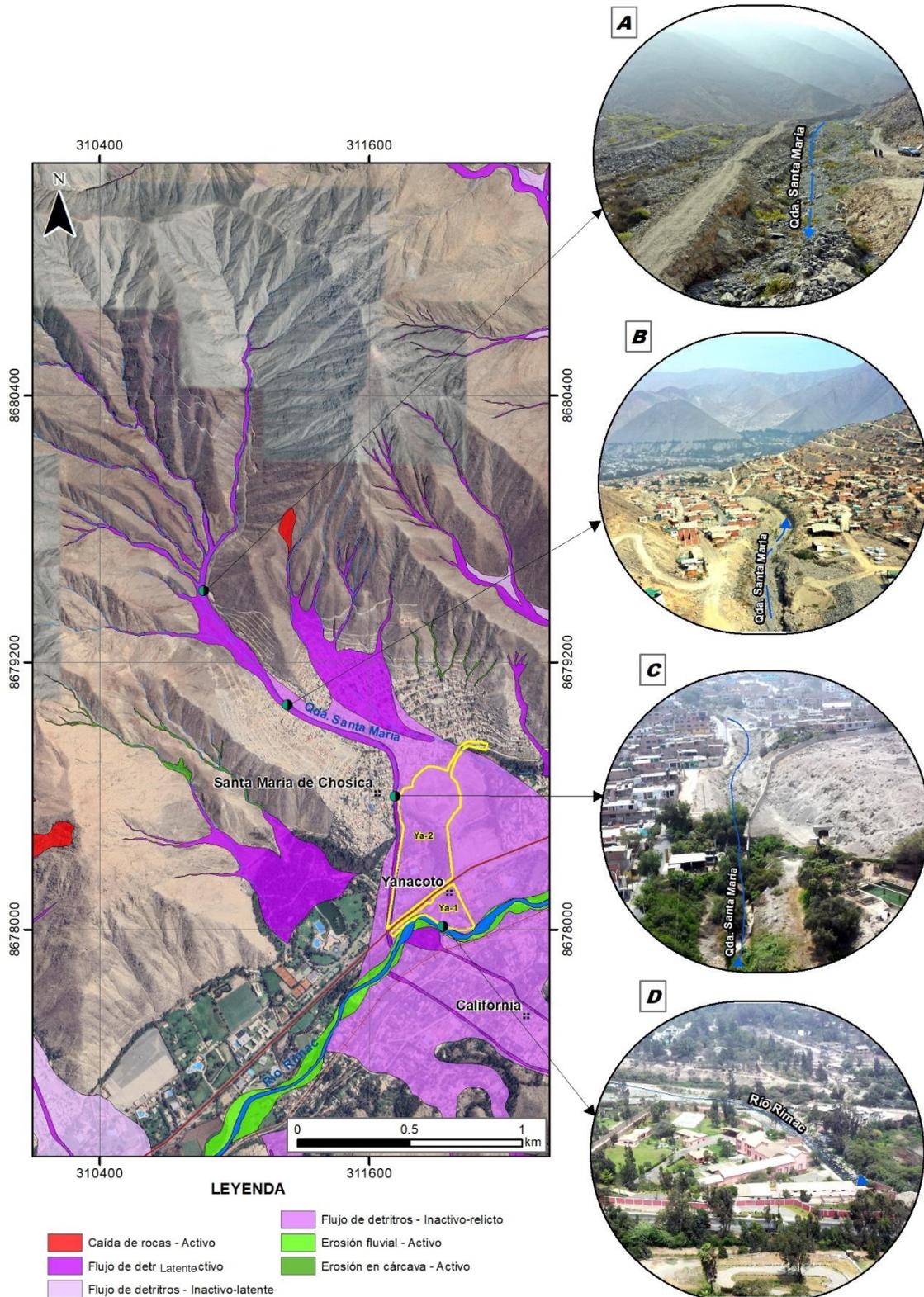


Figura 12. Geodinámica externa por flujo de detritos en la quebrada Santa María-Yanacoto.



Fotografía 6. Parte media de la quebrada Santa María, en ambas márgenes se observa material disponible, fácilmente erosionable ante la ocurrencia de un flujo de detritos.



Fotografía 7. Vista de material transportado por flujos antiguos, alcanzo una altura aproximada de 3 m, que posteriormente fue erosionado, dejando expuesto el muro que delimita Yanacoto II.

Se conoce que los años 2015 y 2017 la quebrada se activó, transportando material hasta la parte baja, el cual afectó parte del terreno de Yanacoto II. Las ocurrencias de flujos podrían comprometer la seguridad física de las viviendas y las vías de acceso en la zona. Así mismo, las lluvias registradas en los años referidos, originaron inundación pluvial en Yanacoto I, discurriendo principalmente por el pasaje S/N, que limita el lado este del terreno (figura 14).



Figura 13. Protuberancia de depósito consolidado, dispuesto a la margen izquierda de la quebrada Santa María, sirve como barrera ante una posible afectación por flujo de detritos al terreno de Yanacoto II.



Figura 14. Vista del Pasaje S/N, por el cual discurrió un flujo a partir de las lluvias registradas en la zona de estudio, así mimos, se observa que el muro que delimita Yanacoto, tiene aproximada 50 cm de altura, por donde fácilmente puede ingresar flujos posteriores.

Cabe mencionar que, hacia el noroeste de los terrenos de Yanacoto, se presentan laderas con depósitos de flujo y torrenteras secas, donde se han asentados viviendas, procesos de expansión que siguen en la actualidad. Según Luque (2023), estas zonas no son aptas para la construcción de viviendas y se debe restringir su ocupación; e indica algunas medidas a considerar: i) reubicar las viviendas construidas en cauces de quebradas y torrenteras secas ubicadas en el pie de la montaña; ii) No permitir la expansión urbana en las laderas y en los cauces de las quebradas y torrenteras; iii) Apertura de canales en las torrenteras hasta el cauce principal para el pase de flujos (canalizar las quebradas).

5.2. Peligros geohidrológicos

5.2.1. Erosión fluvial

La erosión fluvial, es un proceso que se presenta a lo largo del recorrido del río Rímac, debido a las crecientes de este, en épocas de lluvias con aumento considerable de su caudal. A la altura de Yanacoto I, genera erosión, principalmente en la margen izquierda (fotografía 8), y un recodo de la margen derecha (fotografía 9), precisamente donde finaliza el muro de concreto empleado a lo largo 270 m para proteger el local en mención.

Es importante mencionar que, cierto tramo del muro de concreto construido en las siguientes coordenadas (312073, 8678009), se encuentra en malas condiciones (fotografía 10). En la mayoría de casos, la erosión afecta a las riberas formadas por rellenos artificiales que sirven como plataforma de tramos de la carretera central.



Fotografía 8. Vista de la margen izquierda del río Rímac, afectado por erosión fluvial. Requiere urgente una defensa ribereña en un tramo aproximado de 170 m.



Fotografía 9. Vista de la margen derecha del río Rímac, se observa muro de concreto para proteger el terreno de Yanacoto I. Donde finaliza la defensa ribereña, la dinámica del río Rímac está generando erosión fluvial al pie del depósito, que podría desestabilizar el talud y generar derrumbes.



Fotografía 10. Vista del muro de concreto, que protege la margen derecha del río Rímac, en malas condiciones.

5.3. Factores condicionantes

Se detalla los principales factores que podrían condicionar la ocurrencia de peligros geológicos y otros peligros, así como, las manifestaciones de estos eventos a través de las paredes agrietadas en las viviendas.

Cuadro 3. Factores condicionantes de los procesos por movimientos en masa.

Procesos o causas naturales	Características	Peligros geológicos inducidos
Factores geológicos - geotécnicos inherentes (factores de sitio)		
Litología del substrato-estructural	Los afloramientos de granodiorita, tonalita, dioritas y gabros de esta unidad están distribuidos en dirección NE-SO, intruyen, generalmente, a lavas y volcanosedimentarios. Está condicionando una moderada meteorización y mediano fracturamiento; con algunas zonas donde el macizo se presenta muy fracturado.	Procesos de erosión de laderas, caída de rocas y derrumbes.
Tipo de suelo (naturaleza del suelo)	Presencia de diferentes depósitos de suelos, tipo coluvial dispuesto al pie de las laderas, compuesto por fragmentos de origen intrusivo, de formas angulosas a subangulosas, además de arenas, limos y arcillas producto de la meteorización de las rocas. Son materiales de fácil remoción ante la presencia de lluvias intensas y/o actividad sísmica. En la desembocadura de la quebrada Santa María y margen derecha del río Rímac, se tienen depósitos proluviales y aluviales, se presentan medianamente consolidado, y pueden ser fácilmente erosionados por acción dinámica del río Rímac.	Erosión de laderas en cárcavas, caídas y derrumbes.
Material de remoción antiguos	Presencia de depósitos de flujos (detritos y lodo) antiguos, sobre el cual se han construido los locales de Yanacoto I y II.	Flujo de detritos
Características geotécnicas	El afloramiento rocoso se presenta duro y resistentes excepto cuando están fracturadas, alteradas o meteorizadas, lo que produce caídas de rocas o derrumbes (Villacorta, 2015). Considerando las características físico-mecánicas de estas rocas, por lo general, son de buena calidad; su capacidad portante para cimentar obras de ingeniería es alta; donde es necesario eliminar, para estos fines, la capa superior alterada o cimentar a mayor profundidad.	Caída de rocas, deslizamientos planares y en cuñas.

Pendiente del terreno	La quebrada Santa María tiene pendiente media (5°-15°), mientras que, hacia la parte alta, se tienen pendientes que varían de 15°-25°. Esta quebrada esta circundada por laderas de pendiente muy fuerte (25°-45°), lo que favorece la ocurrencia de derrumbes, este último se desplaza al cauce de la quebrada Santa María generando mayor materia de aporte ante un eventual flujo de detritos.	Derrumbes y caídas de rocas
------------------------------	---	-----------------------------

5.4. Factores desencadenantes

Cuadro 4. Factores desencadenantes de los procesos por movimientos en masa.

Factores naturales del entorno geográfico		
Climáticos e Hidrológicos		
Precipitaciones pluviales	Índices altos de pluviosidad en regímenes excepcionales (El Niño). Saturan los suelos y/o rocas, aumentan las presiones del terreno al infiltrarse por discontinuidades, grietas y la sobrecarga debido a su propio peso. Absorción de agua por minerales arcillosos en suelos adhesivos, produciendo saturación de los mismos.	Flujo de detritos, derrumbes y caídas de rocas, erosión de laderas en cárcavas.
Dinámica fluvial	Socavamiento constante del río Rímac, sobre las áreas no protegidas por defensa ribereña (muro de concreto).	Erosión fluvial e inundación.

5.5. Factores Antrópicos

Cuadro 5. Factores desencadenantes de los procesos por movimientos en masa.

Factores Antrópicos (humanos)		
Excavaciones	La modificación de laderas naturales, influye en su estabilidad y variación de su estado de equilibrio, producto de los cortes artificiales, como ejemplo se observa en las laderas que delimitan la quebrada Santa María. Donde el material extraído de los cortes de talud, son vertido al cauce de la quebrada.	Caídas de rocas y derrumbes
Ocupación inadecuada del suelo por el hombre	Asentamiento en zonas susceptibles a movimientos en masa, alteran el estado natural del suelo.	Derrumbes y flujo de detritos.

5.6. Modelamiento por flujo de detritos: Debris flow

El modelo bidimensional de diferencias finitas FLO-2D (O'Brien et al., 1988) simula flujo de fluidos no-newtonianos, en topografías complejas, tales como áreas urbanizadas, terrazas y conos de deyección; así como el intercambio de fluido entre los canales y el cono de deyección. Puede modelarse flujo de agua y flujos hiperconcentrados (avenida de lodo,

flujo de lodo y flujo de detritos). El modelo considera el fluido homogéneo (una sola fase) de concentración variable; esto significa que internamente no se hace distinción de los tamaños de sedimento (Castillo, L).

Como datos de entrada se requiere la topografía digital del terreno, la geometría del canal, valores estimados de la rugosidad del canal y de la planicie de inundación, hidrogramas de entrada (líquidos y sólidos), precipitación y propiedades reológicas de la mezcla agua-sedimento. El hidrograma líquido calculado por procedimientos hidrológicos normales, es utilizado en la modelación de flujos hiperconcentrados. Finalmente, los parámetros reológicos (viscosidad y esfuerzo de cedencia) son estimados de manera indirecta, comparando muestras de la quebrada con muestras tipo.

5.6.1. Parámetros de entrada

Para la zona de estudio se consideraron los siguientes parámetros de entrada:

- Se utilizó registros de precipitación pluviométrica (máxima de 24h) para un periodo de 11 años (2009-2019) (tabla 2).

Tabla 2. Precipitación máxima en 24 h.

N°	Año	Orden	P24	log(P24)
1	2009	4	11.2	1.0492
2	2010	9	4.5	0.6532
3	2011	8	5.5	0.7404
4	2012	3	12.5	1.0969
5	2013	5	8.5	0.9294
6	2014	10	3.5	0.5441
7	2015	2	17.2	1.2355
8	2016	11	2.8	0.4472
9	2017	1	20.9	1.3201
10	2018	6	8.3	0.9191
11	2019	7	5.8	0.7634

Fuente. Santuyo, 2019.

- La información topografía se generó a partir de un modelo de elevación digital de 2 m m/px de resolución.
- A la opción de número de curva, se le asignaron valores entre 70 y 98 (suelos urbanos y construidos) y 40 a 45 para lugares de baja vegetación en la quebrada Santa María y alrededores.
- El hidrograma utilizado para simular flujo de detritos en la quebrada Santa María presenta los siguientes caudales (tabla 3):

Tabla 3. Caudales líquidos y de flujo de detritos, para un periodo de retorno de 50 años.

Variable	Periodo de retorno (50 años)
Caudal pico del hidrograma de agua (m ³ /s)	20.35
Caudal de huaico (m ³ /s)	49.53

- Se creó la malla computacional con celdas de 2 m x 2 m cada una.
- El hidrograma de caudal líquido se colocó como condición de entrada ubicada aguas arriba de la quebrada.
- Se asignó celdas de salida ubicadas al final del dominio computacional, con el fin que el flujo simulado no se represe donde la información topográfica bordee el límite de la

zona de simulación, así el programa interpretará que no existe un impedimento para que el flujo se acumule y continúe fluyendo.

- Se asignó un coeficiente de rugosidad de Manning (valor que se utiliza en la fórmula de Manning para calcular la velocidad del flujo en canales abiertos, como ríos y arroyos) fue determinado según las características de la quebrada hasta su desembocadura
- de 0.025 para el cauce principal, 0.05 para zonas urbanas y 0.15 para zonas aledañas.
- Se consideró una concentración de sólidos (Cv) máxima de 0.45 y 0.55.

5.6.2. Resultados

El modelo se ha realizado bajo un escenario de 50 años de retorno y de acuerdo al contexto geodinámico de la quebrada Santa María, así mismo, teniendo en cuenta la concentración volumétrica de sedimentos y un caudal máximo de 20.35 m³ /s.

A continuación, se presenta los resultados de tirante (m), velocidad (m/s) y nivel de peligros obtenidos durante la simulación (figura 15):

- El modelo muestra un área de inundación de ~1.5 Km², parte del flujo de detritos desborda por la margen izquierda de la quebrada Santa María, justamente donde termina el muro de mampostería de aproximadamente 2 m de altura, ingresando al terreno de Yanacoto II. Cabe mencionar, que la morfología ondulada del terreno de Yanacoto II, contribuye que el flujo de detritos discurra en dirección suroeste, llegando hasta la carretera Central, con tirante mínimo de 0.3 m y velocidad que fluctúa de 1.m/s a 3 m/s.
- El modelo muestra tirantes máximos de 3 m (altura de flujo de detritos) en la parte baja de la quebrada Santa María y parte del río Rímac. En la parte media, muestra un intervalo de 0.3 a 1.9 m de altura, mientras que, hacia la parte alta se tiene mayormente alturas de 2 m (canalizadas por el cauce de la quebrada), con velocidad que fluctúan de 3 m/s a 6 m /s.

4.1.1. Calibración

Primera calibración: En la parte alta de la quebrada Santa María se tiene depósitos de flujo de detritos antiguos, de hasta 2 m de altura, dispuesto en su cauce, lo cual, valida el modelo cuyo resultado muestra tirante de 2 m de altura (figura 16 A).

Segunda calibración: En la margen izquierda de la parte media – baja de la quebrada Santa María, se tiene depósitos de flujo de detritos antiguos, con alturas de 1.2 m, los cuales han sido erosionados durante los eventos registrados por fenómeno El Niño (2015 y 2017). El modelo muestra tirante de 1.1 m, la cual es validada con las alturas de depósitos antiguos (figura 16 B).

Tercera calibración: En la figura 16 C se observa la longitud del muro de mampostería de aproximadamente 2 m de altura, que protege de flujo de detritos al terreno Yanacoto II.

Cuarta calibración: El flujo de detritos ingresa al terreno de Yanacoto II, a la altura donde culmina el muro de mampostería, en este punto el cauce Santa María se encuentra canalizada, presentando una altura aproximada de 1 m (figura 16 D).

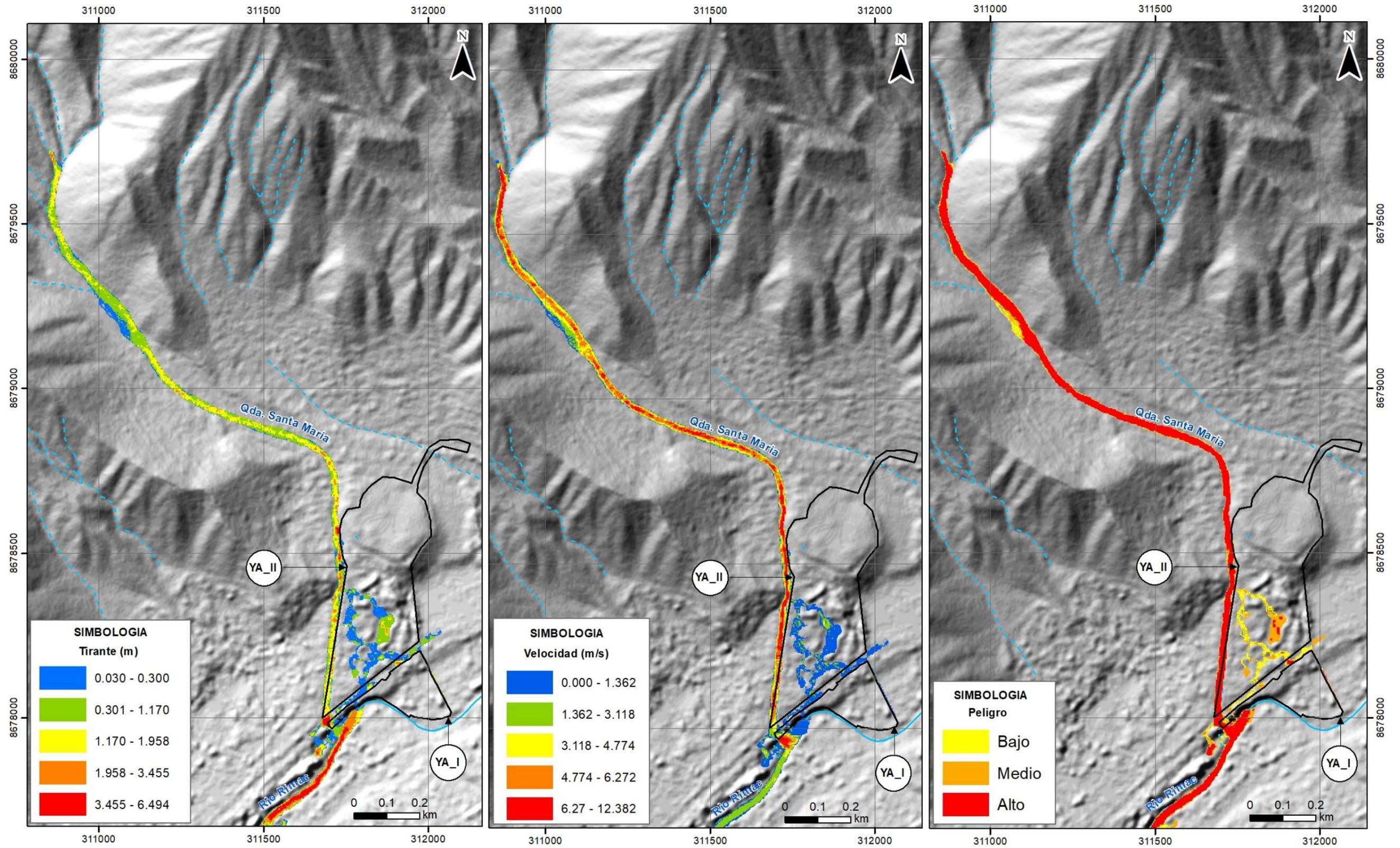


Figura 15. Mapa de modelamiento por flujo de detritos (huaico) en la quebrada Santa María, que muestran la altura de tirante, velocidad y peligro.

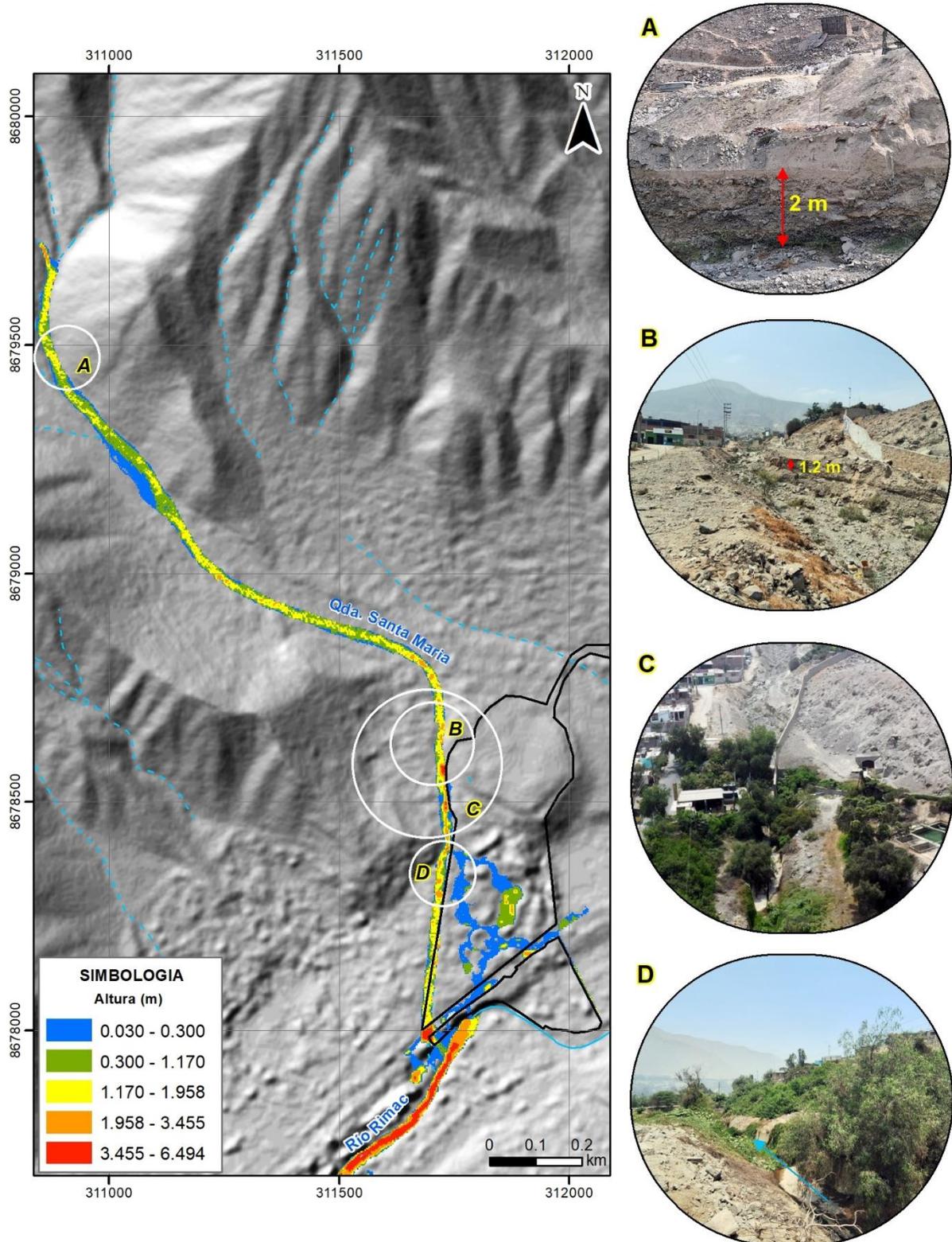


Figura 16. Validación del modelamiento por flujo de detritos realizado en la quebrada Santa María.

6. CONCLUSIONES

En base al análisis de información geológica de la zona de estudio, así como a los trabajos de campo, el modelamiento de flujo de detritos y la evaluación de peligros geológicos, emitimos las siguientes conclusiones:

- 1) En el contexto litológico, los locales de Yanacoto I y II, se encuentran sobre depósitos de flujos de detritos transportados por la quebrada Santa María, además, en el terreno de Yanacoto I se ha identificado depósitos aluviales emplazado por el río Rímac. Estos materiales están constituidos por bloques, gravas, arenas, limos y arcillas, mal clasificados, permeables y medianamente a poco consolidados; cuyas características de los suelos los hace muy susceptibles a erosión pluvial (lluvias), fácilmente removible y erosionable.
- 2) Geomorfológicamente, se encuentran sobre un piedemonte aluvio torrencial, con pendientes medias (5°-15°), circundadas por montañas modeladas en rocas intrusivas, de configuración abrupta, cuyas laderas presentan pendientes fuertes (25°-45), lo que facilita la ocurrencia de derrumbes y caída de rocas.
- 3) En la quebrada Santa María se han identificado depósitos de flujos de detritos, que evidencian la ocurrencia de huaicos antiguos de carácter excepcional en el pasado reciente, asociados a lluvias extraordinarias, donde se reactivan y son muy destructoras. Se caracteriza por presentar abundante material detrítico, que ante una eventual lluvia puede producir un flujo de detritos que podría afectar principalmente el terreno de Yanacoto II.
- 4) A la altura de Yanacoto I, el río Rímac viene generando erosión fluvial, principalmente en el recodo de la margen derecha, donde finaliza el muro de concreto de aproximadamente 270 m de largo, construido para proteger el local en mención.
- 5) Se considera que los factores condicionantes como la litología (abundante material detrítico dispuesto en el cauce de la quebrada Santa María y río Rímac), geomorfología (relieve que facilita el transporte de flujo de detrito) y la variación de pendiente, tanto en la quebrada Santa María (5°-45°), como en el río Rímac (1° - 5°) contribuyen la ocurrencia de flujo de detritos y erosión fluvial.
- 6) El modelamiento numérico realizado para un tiempo de retorno de 50 años, muestra, que parte del flujo de detritos se desborda por la margen izquierda de la quebrada Santa María, precisamente unos metros abajo donde finaliza el muro de mampostería, ingresando al terreno de Yanacoto II. Posteriormente el flujo discurre en dirección suroeste, inunda un área de ~1.5 km², llegando hasta la carretera Central, con altura mínima de 0.3 m y velocidad que fluctúa de 1.m/s a 3 m/s.
- 7) Durante lluvias excepcionales, la morfología del terreno de Yanacoto I, permite que el agua discurra por el pasaje que limita el terreno por el lado este. Parte de estas aguas, años pasados han ingresado al local de Yanacoto I, sin generar daños mayores.
- 8) Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa, se determina que, el local de **Yanacoto I** es considerado como **Zona Crítica** y de **peligro Alto** a erosión fluvial; mientras que, el local de **Yanacoto II** es considerado como **Zona Crítica** y de **peligro Alto** a flujo de detritos.

7. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que a continuación se brindan tienen por finalidad mitigar el impacto de peligros asociados a erosión fluvial y flujos de detritos en Yanacoto I y II, respectivamente. Así mismo, la implementación de dichas recomendaciones permitirá darle mayor seguridad a la infraestructura expuesta a los peligros antes mencionados.

a) Recomendaciones para el Ministerio de Energía y Minas

1. Dar mantenimiento e incrementar la altura del muro de concreto construido en la margen derecha del río Rímac para proteger el terreno de Yanacoto I. Además, se recomienda ampliar dicha defensa ribereña hasta cubrir todo el terreno de Yanacoto I (ver anexo 1: Mapa de Intervención).
2. Implementar sistemas de drenaje en el pasaje que limita el terreno de Yanacoto I por el lado este, ya que, en temporada de lluvias excepcionales, el agua discurre por dicho pasaje. Se tiene antecedentes que años pasados parte de estas aguas han ingresado al local de Yanacoto I.
3. Reemplazar el muro de mampostería que se construyó en la margen izquierda de la quebrada Santa María, para proteger Yanacoto II, por un muro de concreto armado con buena cimentación, y mínimamente de 2 m de altura con la finalidad de proteger el terreno de Yanacoto II. Para la construcción de dicho muro, se debe considerar el modelamiento realizado en la quebrada, a fin de que los flujos de detritos generados en temporada de lluvias se canalicen por la quebrada en mención (sin desbordarse).

b) Recomendaciones para la Municipalidad de Lurigancho-Chosica/ Municipalidad Lima Metropolitana

1. Realizar la descolmatación periódica del cauce del río Rímac.
2. Implementar un Sistema de Alerta Temprana - SAT en la subcuenca de la quebrada Santa María. Dicho SAT debe ser integral y contemplar el monitoreo de los flujos de detritos, la emisión de alertas y la preparación de la población para responder a las alertas.
3. Implementar medidas de mitigación estructural en la quebrada Santa María, para atenuar y disipar la energía de los flujos de detritos. Estas medidas pueden contemplar la construcción de barreras dinámicas y/o diques transversales, así como canalizar el cauce de la quebrada Santa María y estabilizar las laderas a través de mallas.
4. Profundizar el cauce actual de la quebrada Santa María, mínimamente entre 0.80 m y 1 m. Según el modelamiento realizado por flujo de detritos para un periodo de retorno de 50 años, para una profundidad como el mencionado el flujo discurriría por el cauce sin desbordarse, hasta la confluencia con el río Rímac (ver anexo 1: Mapa de simulación).

5. Prohibir la construcción de viviendas en el cauce de la quebrada Santa María, puesto que estas se activan en temporada de lluvias. Así mismo, prohibir la expansión urbana en las laderas que delimitan la quebrada Santa María, ya que, el material de desmonte es vertido al cauce de la quebrada, generando mayor aporte de material ante un eventual flujo de detritos.
6. Remover el material de desmonte colocado en ambas márgenes de la quebrada Santa María, principalmente en la zona media, producto de la limpieza y descolmatación impulsada por la Municipalidad de Lurigancho; ya que no se encuentra compactado y es muy susceptible a ser removido durante la activación de la quebrada.



Ing. Guisela Choquenaira Garate



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

BIBLIOGRAFÍA:

Evans, S.G. y Hungr, O. (1993). The analysis of rock fall hazard at the base of talus slopes: Canadian Geotechnical Journal., V.30, p. 620-636.

Luque, G; Calderón, J; Ochoa, M; Núñez, S & Sosa, N. (2023) Zonas críticas por peligros geológico en la zona centro del Perú. Lima. INGEMMET. Boletín serie C, 195 p.

O'brien, J.S. & Julien P.Y. (1988). Laboratory analysis of mudflow properties. J. of Hyd. Eng., ASCE, 114(8), pp. 887.

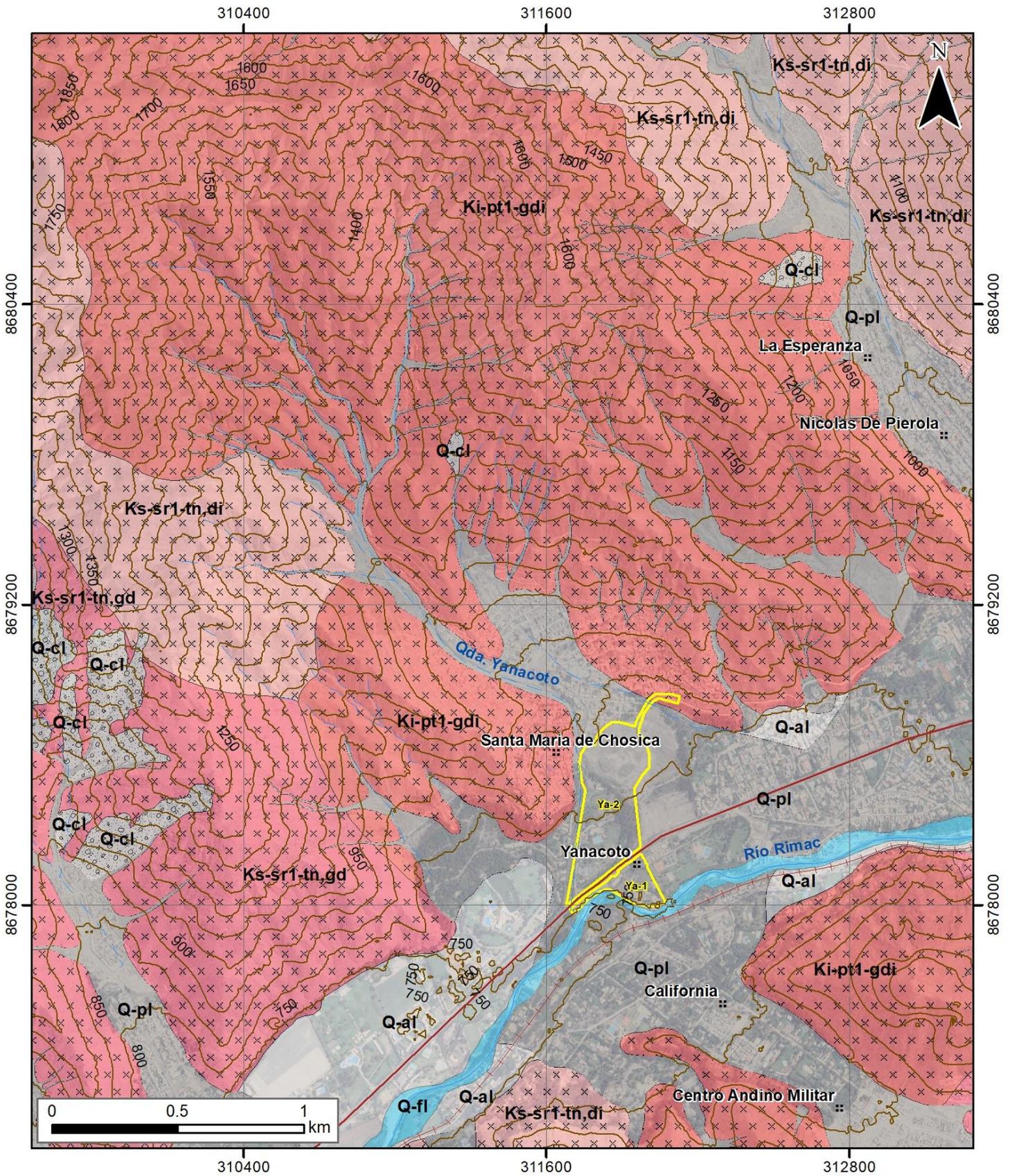
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

Santuyo, R. & Zambrano, C. (2019). Alternativas de mitigación para el flujo de detritos en la zona de descarga de la quebrada Quirio-Chosica-Peru-2019. Universidad Ricardo Palma. Facultad de Ingeniería. Programa de titulación de tesis, Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

Villacorta, S.; Núñez, S.; Pari, W.; Luque, G. & Vásquez, Y. (2015). Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la Región Callao. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica, 59, 163p.

Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazi.

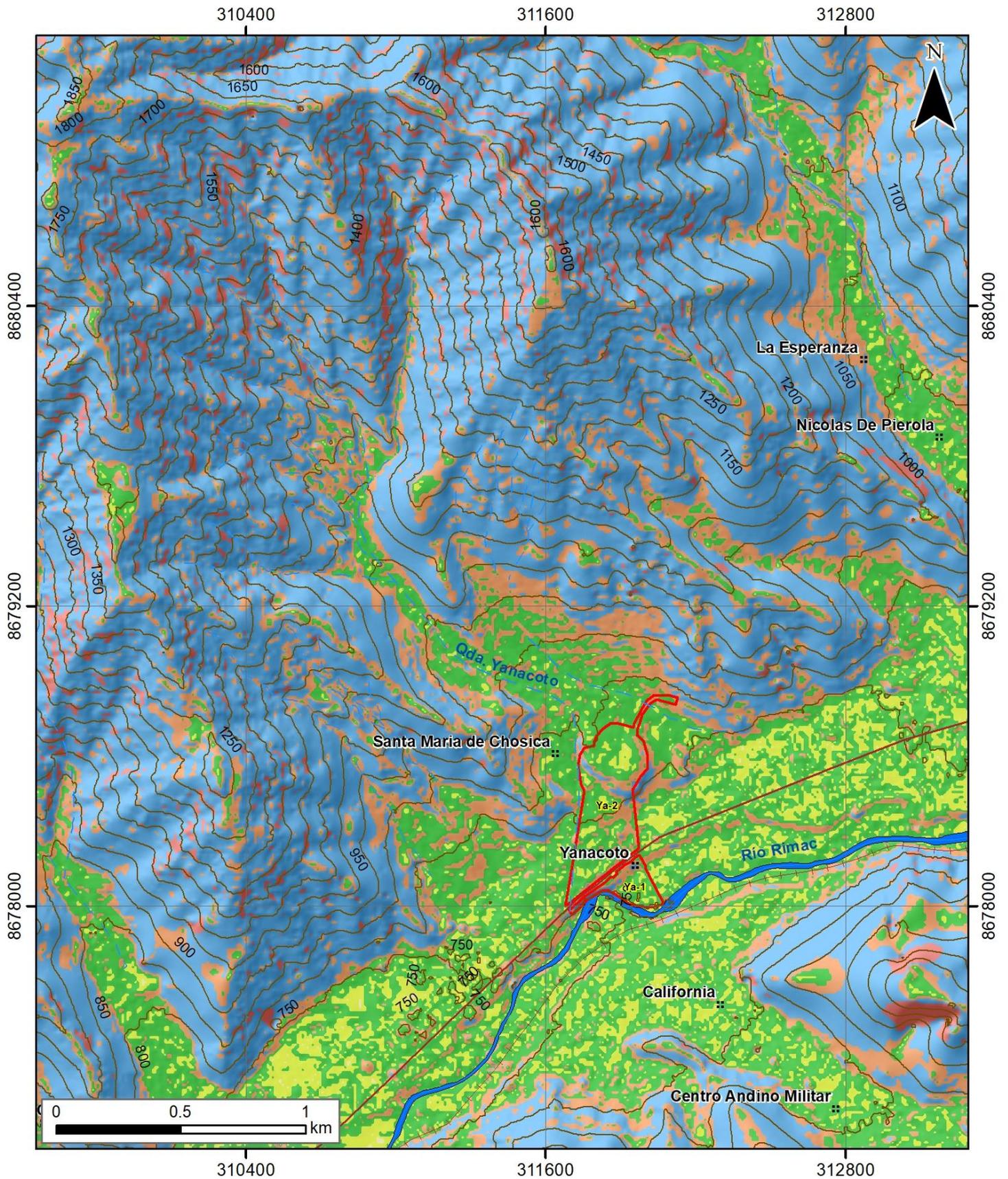
ANEXO 1: MAPAS



SIMBOLOGIA	
::	Sectores
—	Carretera asfaltada
—+—+—	Ferrocarril
— — —	Quebradas
—	Río Rimac
□	Zonas de estudio

LEYENDA	
□	Depósito coluvial
□	Depósito fluvial
□	Depósito aluvial
□	Depósito proluvial
□	S. U. Patap - Gabrodiorita
□	S. U. Santa Rosa - Tonalita y diorita
□	S.U. Santa Rosa - Tonalita y granodiorita

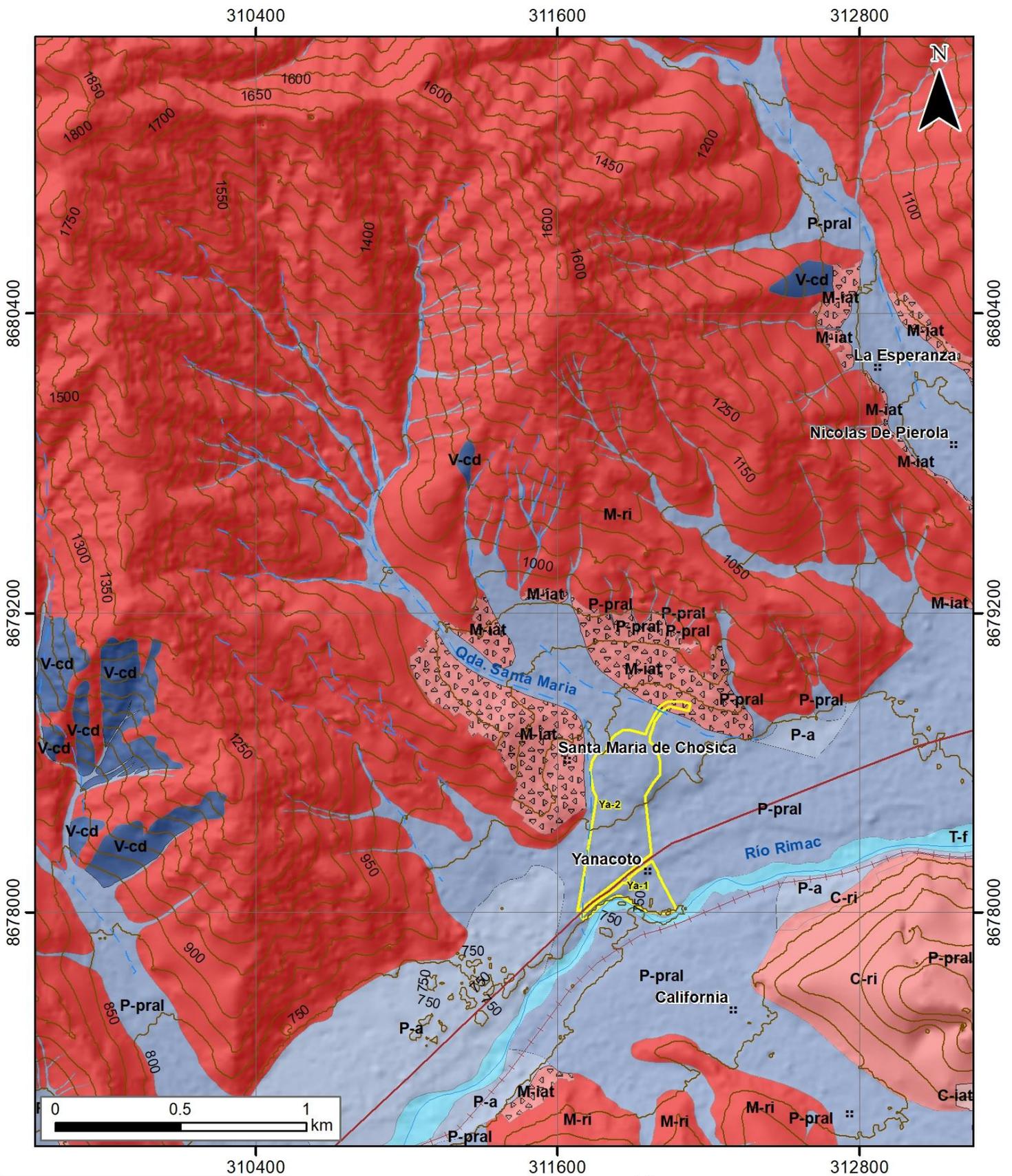
 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO	
ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL	
MAPA GEOLÓGICO DE YANACOTO	
Escala 1:20 000 Datum UTM WGS 84 Zona 18s Versión digital: año 2023 Impreso: octubre 2023	
<h1>1</h1>	



SIMBOLOGIA	
::	Sectores
—	Carretera asfaltada
++	Ferrocarril
- - -	Quebradas
—	Rio Rimac
□	Zonas de estudio

LEYENDA	
□	<1°: Muy baja
□	1°-5°: Baja
□	5°-15°: Media
□	15°-25°: Alta
□	25°-45°: Muy alta
□	>45°: Abrupta

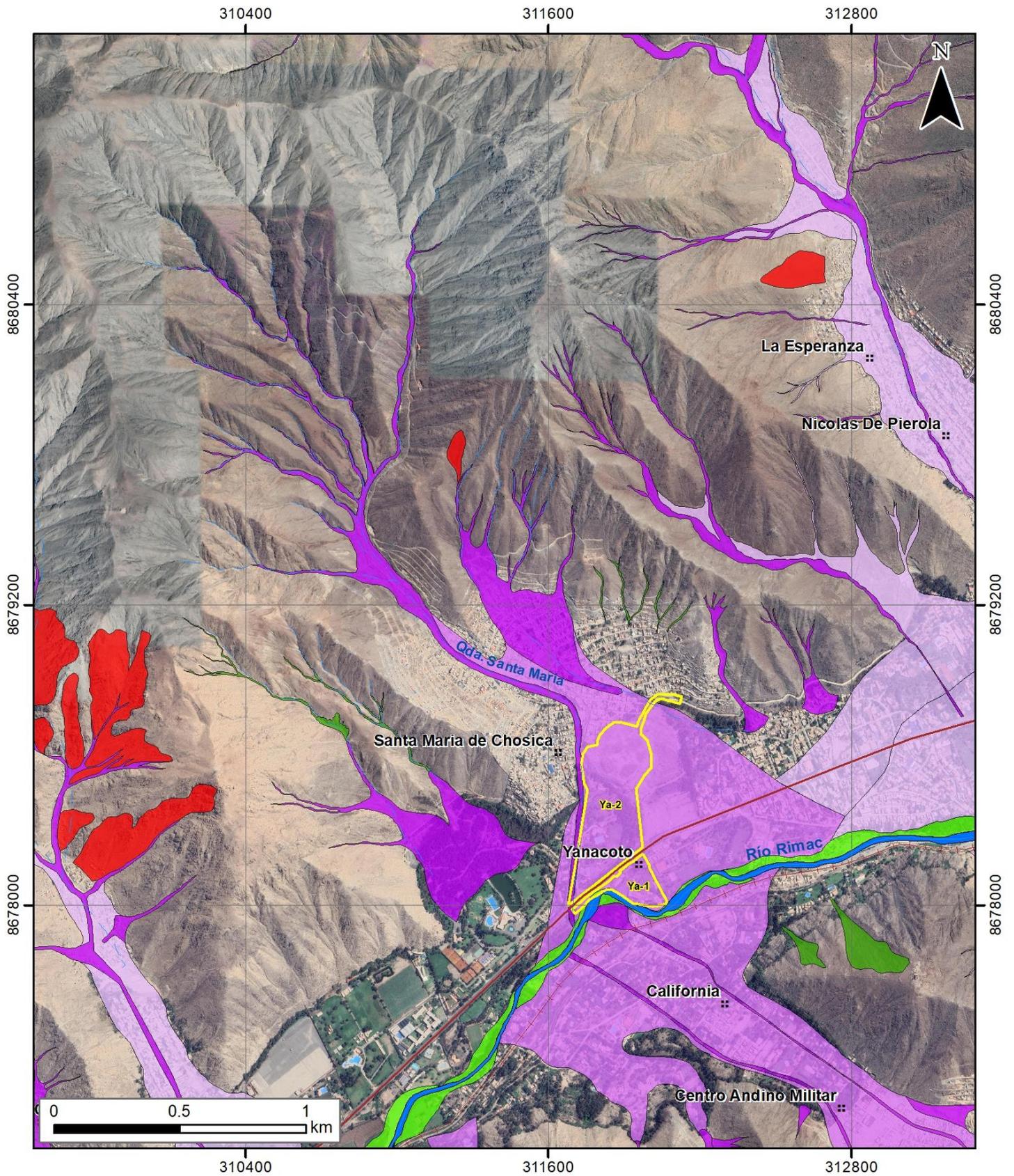
 <p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO</p>	
ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL	
MAPA DE PENDIENTES DE YANACOTO	2
Escala 1:20 000 Datum UTM WGS 84 Zona 18s Versión digital: año 2023 Impreso: octubre 2023	



SIMBOLOGIA	
::	Sectores
—	Carretera asfaltada
+++	Ferrocarril
- - -	Quebradas
—	Río Rimac
□	Zonas de estudio

LEYENDA	
□	Terraza fluvial
□	Vertiente coluviodeluvial
□	Piedemonte aluvial
□	Piedemonte proluvial o aluviotorrencial
□	Colina intrusiva antropizada
□	Colina en roca intrusiva
□	Montaña intrusiva antropizada
□	Montaña en roca intrusiva

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO	
ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL	
MAPA GEOMORFOLÓGICO DE YANACOTO	3
Escala 1:20 000 Datum UTM WGS 84 Zona 18s Versión digital: año 2023 Impreso: octubre 2023	



SIMBOLOGIA	
⦿	Sectores
—	Quebradas
—	Rio Rimac
—	Carretera asfaltada
—	Ferrocarril
□	Zonas de estudio

LEYENDA	
■	Caída de rocas - Activo
■	Flujo de detritos - Activo
■	Flujo de detritos - Inactivo-latente
■	Flujo de detritos - Inactivo-relicto
■	Erosión fluvial - Activo
■	Erosión en cárcava - Activo

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO	
ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL	
CARTOGRAFÍA DE PELIGROS GEOLÓGICOS DE YANACOTO	4
Escala 1:20 000 Datum UTM WGS 84 Zona 18s Versión digital: año 2023 Impreso: octubre 2023	

