

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7544

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA YAURILLA

Departamento y provincia: Ica
Distrito: Los Aquijes



OCTUBRE
2024

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA YAURILLA

Distrito Los Aquijes, provincia y departamento Ica



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

Equipo Técnico:

*Angel Gonzalo Luna Guillen
Segundo Núñez Juárez*

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2024). *Evaluación de peligros geológicos por flujo de detritos en la quebrada Yaurilla, Distrito Los Aquijes, provincia y departamento Ica*. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7544, 55 p.

ÍNDICE

RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. Objetivos del estudio	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	5
1.4. Aspectos generales.....	9
1.4.1. Ubicación	9
1.4.2. Accesibilidad	9
1.4.3. Población	9
1.4.4. Clima	10
2. DEFINICIONES	14
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	16
3.1. Unidades Litoestratigráficas	16
3.1.1. Formación Río Grande (Js-rg).....	16
3.1.2. Formación Quilmana	17
3.1.3. Batolito de la Costa (Ki-di/Ks-gd).....	20
3.2. Depósitos superficiales	21
3.2.1. Depósito Aluvio-torrencial o proluvial	21
3.2.2. Depósito Eólico	23
3.1.1. Depósito Aluvial	24
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	26
4.1. Pendientes del terreno	26
4.2. Unidades geomorfológicas	29
4.2.1. Unidad de Montaña	29
4.2.2. Unidad de planicie	29
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	32
5.1. Peligros por movimientos en masa.....	32
5.2. Factores condicionantes	44
5.3. Factores desencadenantes	45
6. CONCLUSIONES.....	46
7. RECOMENDACIONES.....	47
BIBLIOGRAFÍA:	48
ANEXO 1	49

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos, por flujos de detritos canalizados en la quebrada Yaurilla, en el distrito de “Los Aquijes”, provincia Ica, departamento Ica. 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.

De acuerdo a las observaciones y trabajos de campo se evidencia que el basamento rocoso en esta área lo constituyen rocas intrusivas, sedimentarias y volcánicas con fuerte fracturamiento y notorio grado de meteorización (muy alta), factores que han contribuido a la acumulación de materiales coluviales y residuales constituyendo los depósitos inconsolidados y sin protección vegetal en el cauce de la quebrada, además de ello, el cauce principal es la combinación de canales rectos y sinuosos desde la parte alta (cabecera de la quebrada) y casi recto en la parte baja, con obstrucciones tipo diques que desvían los flujos hacia el suroeste de la quebrada con pendientes moderadas a suaves. Sus flancos son empinados y con amplio desarrollo de torrenteras y cárcavas que se han formado por la incisión de depósitos de taludes inconsolidados y en roca. Estas condiciones morfológicas son propicias para la generación de huaicos cada temporada de lluvias, las cuales arrastran gran volumen de sólidos de material granular, lodo y bloques de roca de diferentes tamaños, constituyendo una amenaza frecuente para la seguridad del sector “Los Aquijes”, sus habitantes, la carretera y terrenos de cultivo.

Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa, se determina que la quebrada Yaurilla, en especial aquellos con antecedentes de impactos anteriores como son los sectores de Viña 1, Viña 2, Las Piedras de Buena Vista, urbanización Llaxta y Yaurilla, se encuentran sujetos a **Peligro Alto** por flujo de detritos.

Por todo lo expuesto anteriormente, se recomienda construir nuevos diques y reforzar los ya existentes, los mismos que deben ser situados a lo largo de la quebrada para contener y dirigir probables flujos de detritos, a fin de disipar su velocidad, energía y poder destructivo. Así mismo, implementar sistemas de monitoreo y alerta temprana para detectar cambios en las precipitaciones en la parte alta de la quebrada y anticipar la ocurrencia de flujos. Estos sistemas pueden incluir estaciones meteorológicas y sistemas de comunicación para informar a la población aguas abajo.

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 municipalidad distrital de “Los Aquijes” según Oficio N°033-2024-MDLA/SGRD, en el marco de nuestras competencias se realizó una evaluación de peligros geológicos por flujo de detritos en la quebrada Yaurilla

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Gonzalo Luna Guillen y Segundo Núñez Juárez, realizar la evaluación de peligros geológicos, el día 19 de abril del 2024.

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

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad distrital de “Los Aquijes” y entidades encargadas en la Gestión del Riesgo de Desastres, donde se proporcionan resultados de la evaluación y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por flujo de detritos en la quebrada Yaurilla.
- b) Determinar los factores condicionantes que influyen en la ocurrencia de dichos peligros geológicos por flujo de detritos y otros peligros que resulten relevantes.
- c) Proponer medidas de mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados en los alrededores del área de evaluación, se tiene la siguiente información:

- A. Mapa hidrogeológico de la cuenca Ica – XIII Congreso Peruano de Geología Resúmenes Extendidos Sociedad Geológica del Perú (Fluquer et al.,2019). Describe la Hidrogeología de la Cuenca Ica indicando que la circulación del agua superficial y subterránea está influenciada por la tectónica. En la cuenca baja, donde se localiza el valle productor de Ica, se delimita por dos fallas principales: una de orientación NE-SW entre Cerro Prieto y el curso andino del río Ica, y otra que sigue una dirección N-S, desde Cerro Prieto hasta su desembocadura en el mar. Los depósitos aluviales y fluviales son los materiales predominantes que componen los acuíferos más importantes, siendo porosos y no consolidados. En la parte alta de la cuenca, las rocas sedimentarias, volcano-sedimentarias, volcánicas e intrusivas, se hallan afectadas por

la actividad tectónica generando pliegues, fallas y fracturas que forman acuíferos fisurados (figura 1).

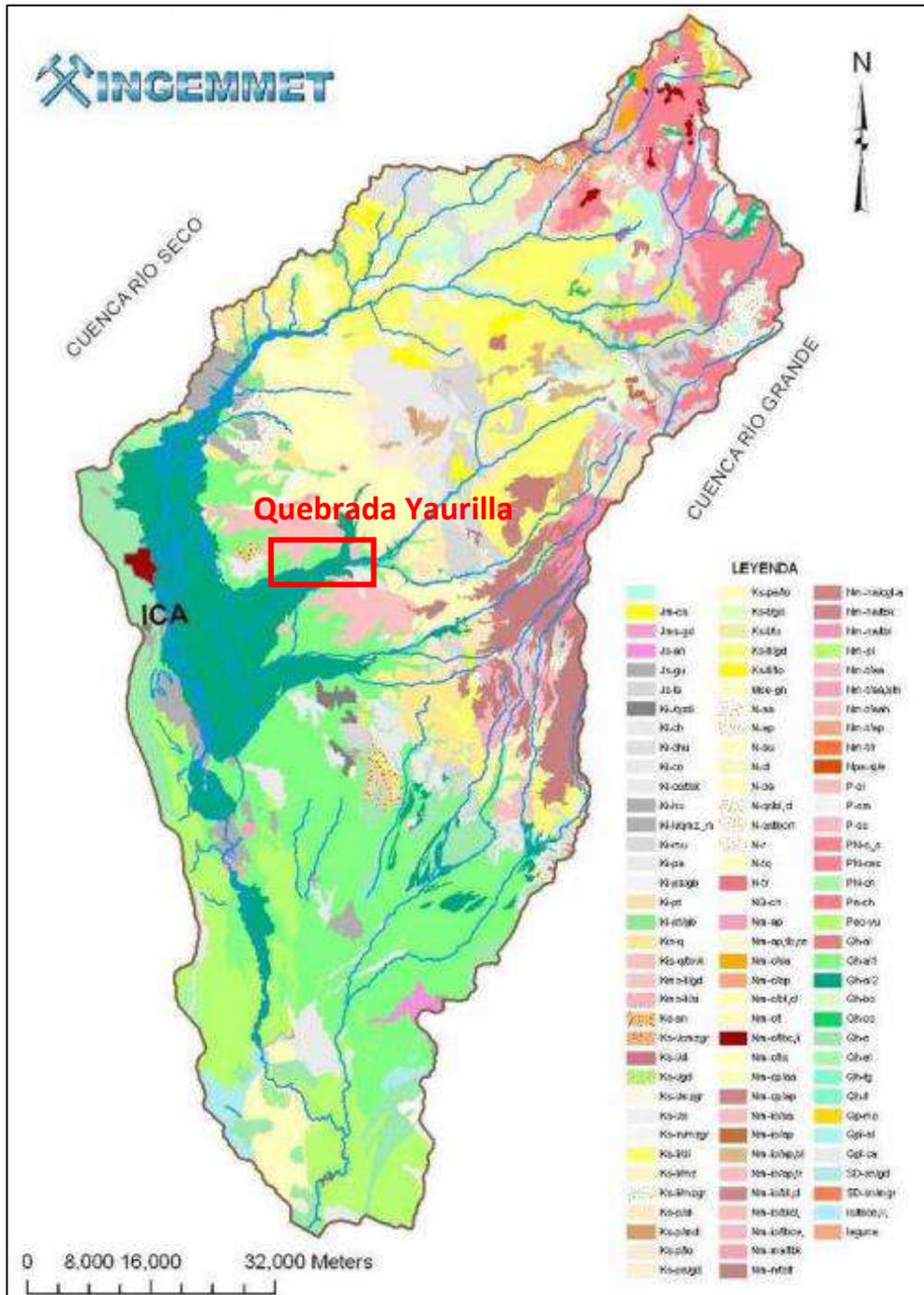


Figura 1. Mapa geológico de la Cuenca Ica presentado en el trabajo: Mapa hidrogeológico de la cuenca Ica – XIII Congreso Peruano de Geología Resúmenes Extendidos Sociedad Geológica del Perú (Fluquer et al., 2019).

- B. Geología del pisco, valle de Ica – INGEMMET (Cereceda et al., 2019) El trabajo presenta las características del valle de Ica, con énfasis en el medio físico; donde se rescata y valora la existencia de una combinación exacta entre geología, clima, relieve y suelos, que dan lugar a un terreno propicio y perfecto para el nacimiento del pisco, Asimismo, se evalúan las características y sus implicancias entre geología, relieve,

suelo, mineralogía y química, que en conjunto le otorgan especificidad y tipificación de calidad y sabor al pisco del valle de Ica. De este trabajo se utiliza parte de la descripción litológica.

- C. En el Boletín "Geología de los cuadrángulos de Pisco, Guadalupe, Punta Grande, Ica y Córdova – Boletín A - Ingemmet " (León & Torres 2003) Describe las unidades geológicas de manera actualizada y las representan en un mapa a escala 1:50 000 que sirvió como base referencial para el presente informe.
- D. En el Boletín "Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Ica (29-I) a escala 1: 100 000" (Dávila 1993) Describe las unidades geológicas presente en el área de estudio, dentro de ellas destaca "El Grupo Quilmaná" compuesto por la intercalación de rocas volcánicas porfíricas de color gris verdoso y rocas afaníticos gris oscuro a casi negro, además de rocas sedimentarias calcáreas lenticulares.
- E. En el Boletín "Peligro Geológico en la Región Ica " (Vílchez et al.,2019) Se describe los peligros geológicos en la región Ica (tabla 1 y figura 3), así mismo realiza el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, donde se observa que la quebrada Yaurilla presenta Alta susceptibilidad (figura 2).

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.

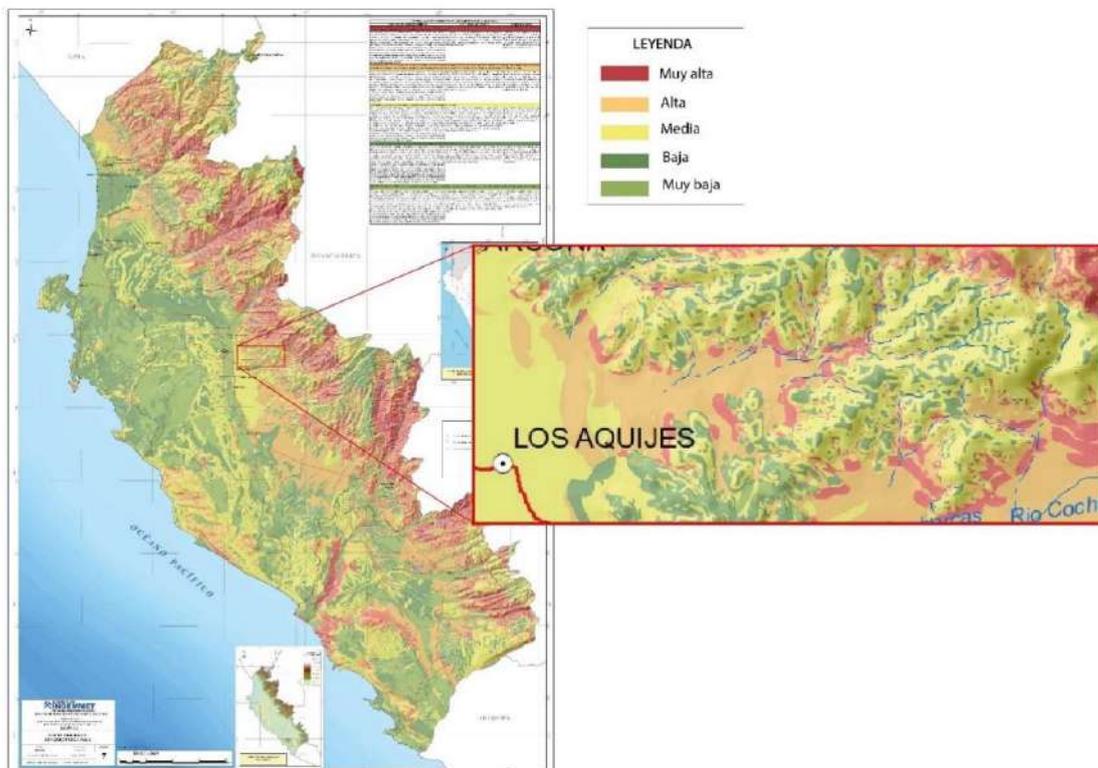


Figura 2. Mapa de susceptibilidad a peligros geológicos en el departamento de Ica.(Fuente: Vílchez et al.,2019).

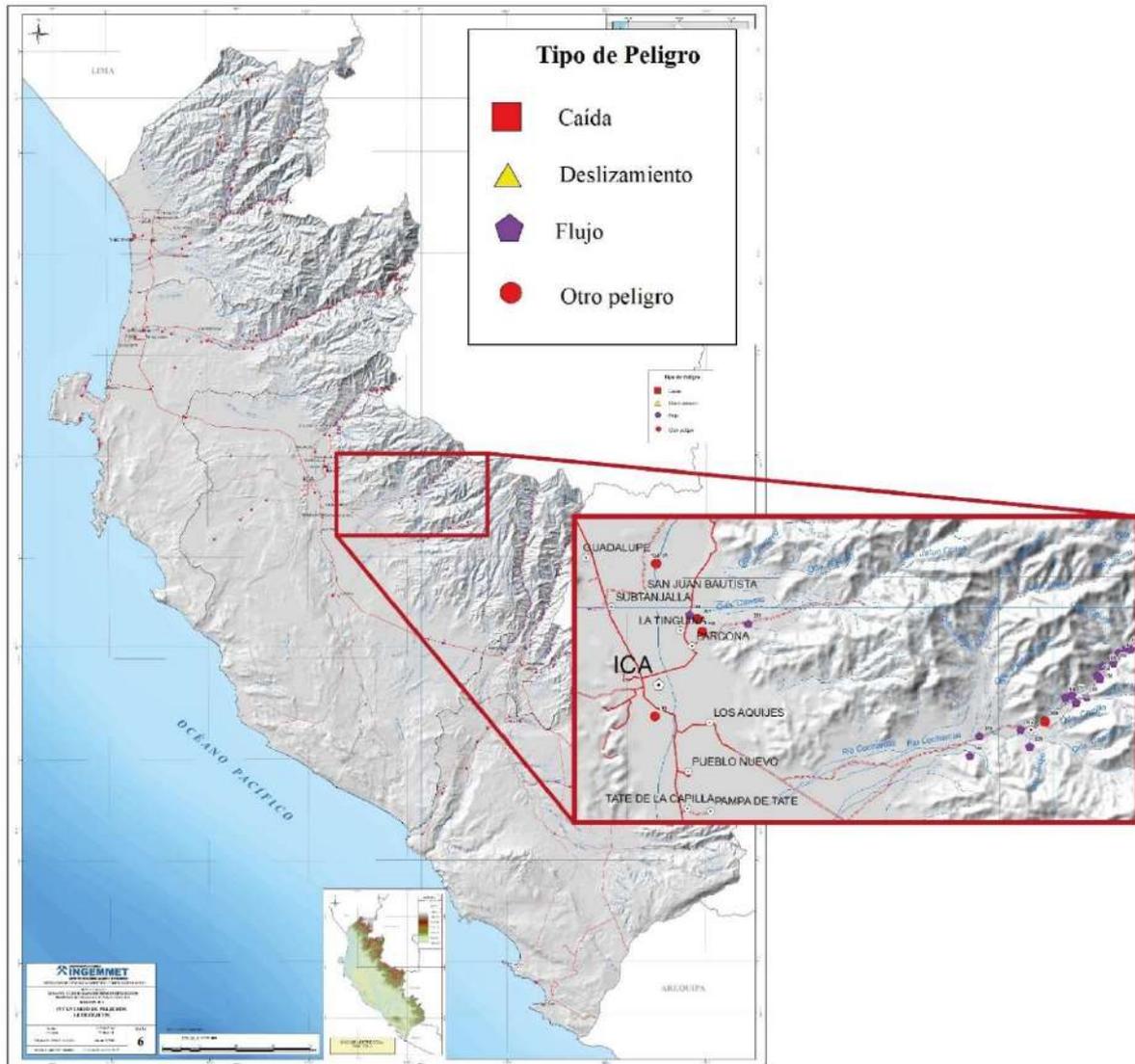


Figura 3. Mapa de peligros identificados en Ica, muestra la ausencia de puntos en la quebrada Yaurilla. (Fuente: Vélchez et al., 2019).

Tabla 1. Principales sectores afectados por inundaciones en el distrito de Los Aquijes.

Paraje	Fechas	Comentario geodinámico	Daños ocasionados probables
Los Aquijes	1/29/1998	Inundación fluvial	El evento dejó 1099 personas damnificadas y 233 viviendas destruidas.

1.4. Aspectos generales

1.4.1. Ubicación

Geográficamente, la quebrada Yaurilla, se localiza en el valle de Ica, en la margen izquierda del río del mismo nombre. Políticamente pertenece al distrito Los Aquijes, provincia y departamento Ica.

El área de inspección se delimita por 4 vértices (tabla 2)

Tabla 2. Coordenadas del área evaluada

Vértice	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Sur	Latitud	Longitud
1	421710.00 m E	8437966.00 m S	-14.128276°	-75.725356°
2	438691.00 m E	8438109.00 m S	-14.127406°	-75.568030°
3	438716.00 m E	8448415.00 m S	-14.034225°	-75.567569°
4	421712.00 m E	8448403.00 m S	-14.033913°	-75.725040°
Coordenada central				
CC	430064.00 m E	8443589.00 m S	-14.077657°	-75.647817°

1.4.2. Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio se realizó por vía terrestre desde la oficina central de Ingemmet (Lima), hasta la el distrito Los Aquijes mediante la siguiente ruta (cuadro 1):

Cuadro 1. Rutas y accesos al área evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Ingemmet – Ica	Asfaltada/Trocha carrozable	315	4 hrs
Ica – Los Aquijes – Qda Yaurilla	Asfaltada/Trocha carrozable/Camino a pie	50	0.5 hrs

1.4.3. Población

El distrito Los Aquijes con código de ubigeo: 1101030001 (<http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>), cuenta con 800 viviendas y una población de 1200 personas entre hombres y mujeres, la información más actualizada del centro poblado se detalla en el cuadro 2.

Cuadro 2. Características censales 2017, fuente: INEI

Descripción	Total
DEPARTAMENTO	ICA
PROVINCIA	ICA
DISTRITO	LOS AQUIJES
POBLACIÓN	1200
VIVIENDAS	800

AGUA POR RED PUBLICA	SI
ENERGÍA EN VIVIENDA	SI
DESAGÜE POR RED PUBLICA	SI
IDIOMA DE MAYOR HABLA	CASTELLANO

1.4.4. Clima

La temperatura en el valle de Ica alcanza sus valores más altos, en los meses de febrero-mayo, con una máxima media que fluctúa entre 28.4 °C y 33.4 °C; luego disminuye lentamente hasta alcanzar su valor más bajo en junio-julio con una mínima media que oscila entre 8.1 °C y 10.5 °C (Ministerio de Agricultura, 1974). La amplitud térmica es otra de las variables que en promedio registra 15.4 °C, llega a un máximo en el invierno hasta los 22 °C (Arias, 2017). Por otro lado, la humedad relativa máxima promedio es de 77 % y la mínima de 67 %, lo que determina una amplitud del 10 %.

En el valle de Ica las precipitaciones son insignificantes, se registran aproximadamente 10 mm anuales (Perú. Ministerio de Agricultura, 1974). Esta tasa permanece en la actualidad, tal como se observa en el mapa de isoyetas de la región de Ica (Figura 5).

Los registros de precipitación en el año 2024 (<https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/7337354>) señalan precipitaciones máximas diarias de 2.9 mm, en el mes de enero, y registros más antiguos del año 2017 registran que las precipitaciones máximas llegaron a 27.9 mm entre los meses de enero y febrero, relacionado posiblemente a eventos climáticos extremos (ver gráficos 1 y 2).

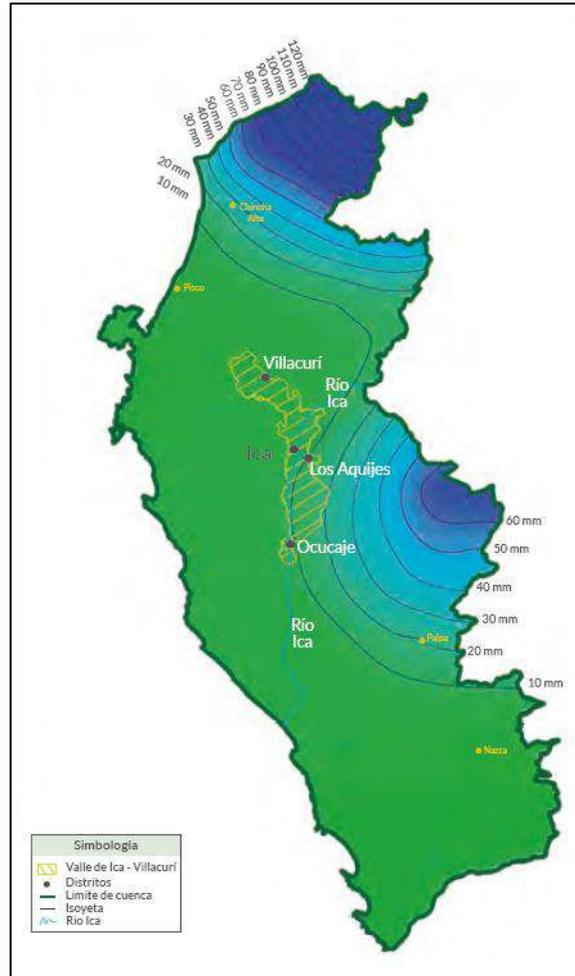


Figura 5. Mapa de isoyetas para la región Ica (precipitación acumulada anual). La isoyeta es una isolínea que une los puntos que presentan la misma precipitación en una unidad de tiempo considerada. En el valle de Ica-Villacurí la precipitación anual es de 10 mm. Fuente: (Autoridad Nacional del Agua, 2012).

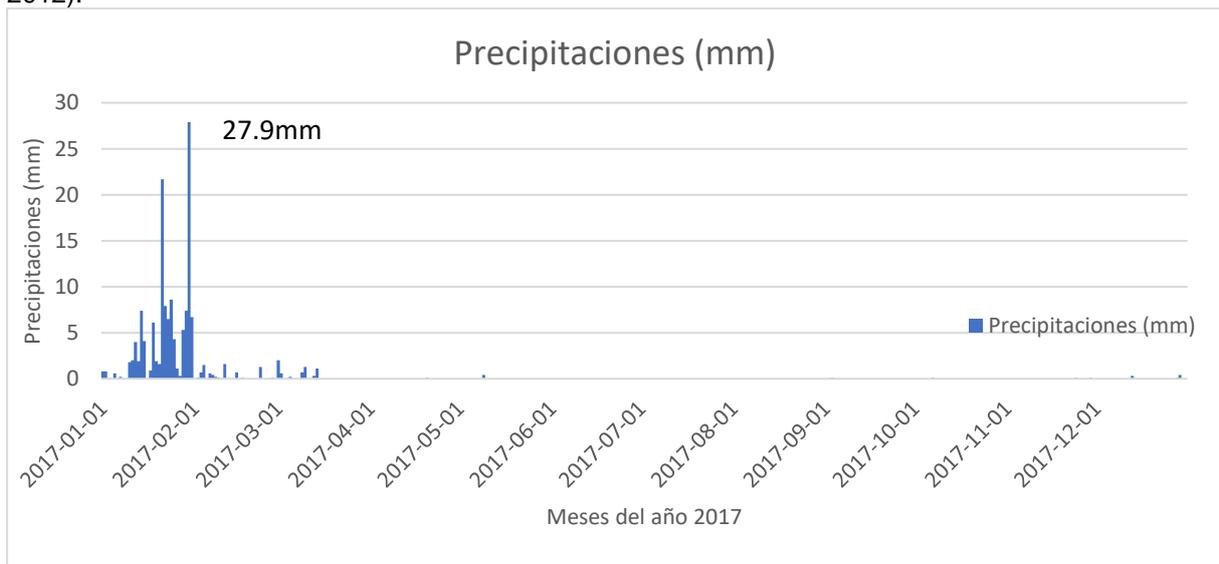


Gráfico 1. Este gráfico muestra la cantidad media de precipitaciones por mes para año 2017 en la quebrada Yaurilla (Fuente: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/7337354>).

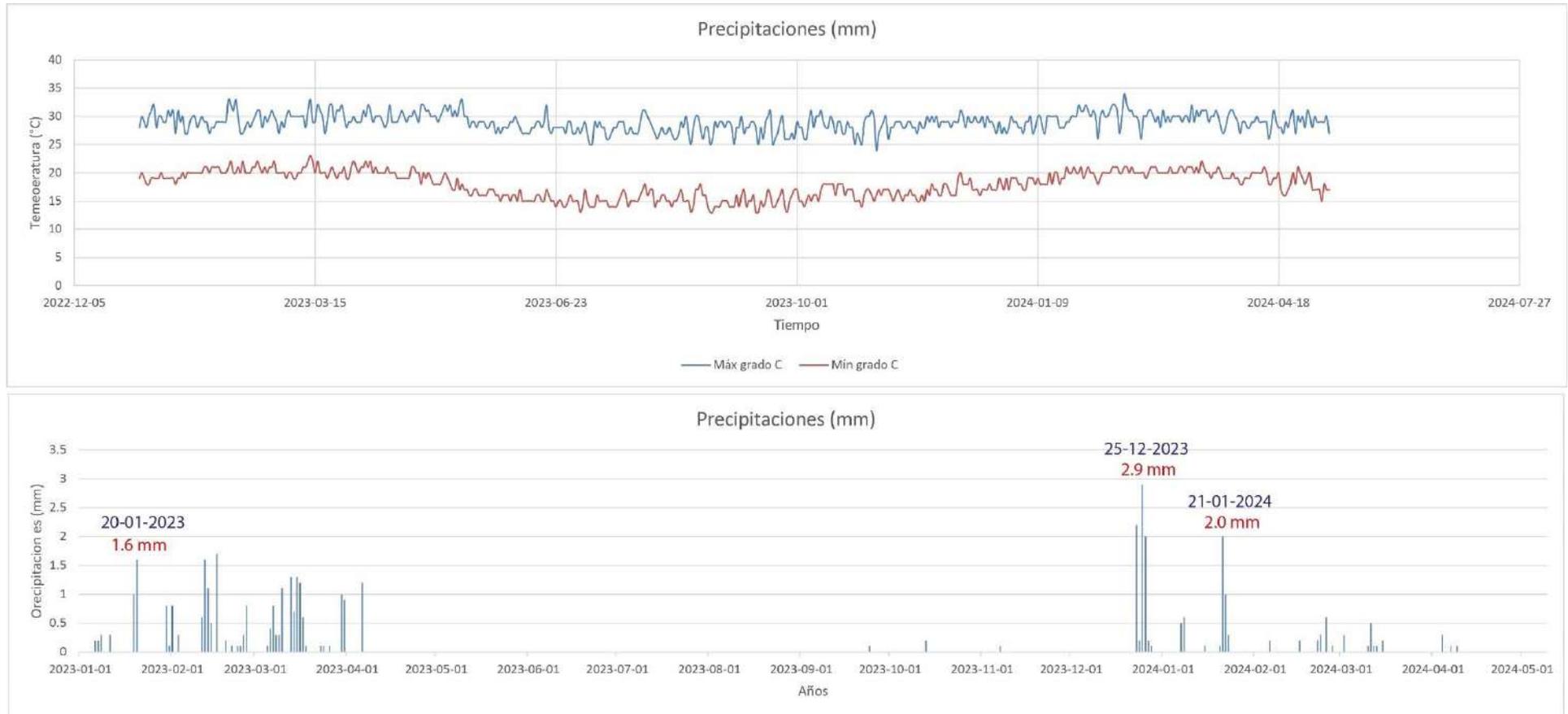


Gráfico 2. Este gráfico muestra la cantidad media de precipitaciones por mes entre el 2023 y 2024 en la quebrada Yaurilla y los rangos de temperatura.

(Fuente: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/7337354>).

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 cual se desarrollan diversas 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. Todas estas denominaciones tienen 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:

Activo: Movimiento en masa que actualmente se está moviendo, bien sea de manera continua o intermitente.

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: Movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Existen tipos de flujos como flujos de lodo, flujos de detritos (huaicos), avalanchas de rocas y detritos, crecida de detritos, flujos secos y lahares (por actividad volcánica).

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.

Flujo de lodo: Tipo de flujo con predominancia de materiales de fracción fina (limos, arcillas y arena fina), con al menos un 50%, y el cual se presenta muy saturado.

Formación geológica: Unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por presentar propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

Fractura: Estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan. Los rangos de fracturamiento rocoso, dependiendo del espaciamiento entre las fracturas, pueden ser: maciza, poco fracturada, medianamente fracturada, muy fracturada y fragmentada.

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. Los rangos de meteorización se clasifican en: roca fresca, ligeramente meteorizada, moderadamente meteorizada, altamente meteorizada, completamente meteorizada y suelo residual.

Movimiento en masa: Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991). Estos procesos corresponden a caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, entre otros. Sin.: Remoción en masa y movimientos de ladera.

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.

subcuenca exorreica: Una subcuenca exorreica es una subdivisión de una cuenca hidrográfica en la que el agua fluye hacia afuera de la cuenca, generalmente hacia un cuerpo de agua como un río, lago o mar. Estas subcuencas están caracterizadas por tener un sistema de drenaje que transporta el agua de lluvia y los ríos hacia un punto de salida que desemboca fuera de la cuenca principal. Este tipo de subcuencas se encuentran en regiones donde la topografía y la geología permiten que el agua escape hacia el exterior, manteniendo un flujo constante que contribuye a la formación de sistemas fluviales mayores.

Velocidad: Para cada tipo de movimiento en masa se describe el rango de velocidades, parámetro importante ya que ésta se relaciona con la intensidad del evento y la amenaza que puede significar. De acuerdo con Cruden y Varnes (1996), las escalas de velocidades corresponden a: extremadamente lenta, muy lenta, lenta, moderada, rápida, muy rápida y extremadamente rápida.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

De manera regional el valle de Ica se ubica en una depresión estructural entre la Llanura Costera y los abanicos aluviales de las estribaciones andinas de la Cordillera de los Andes (Macharé, 1987). Dicha depresión se encuentra rellena por sedimentos gruesos de edad Pliopleistocena, que alcanzan los 850 m de grosor (Teves, 1975).

Las unidades litoestratigráficas en este contexto, en el área de estudio se describen a continuación:

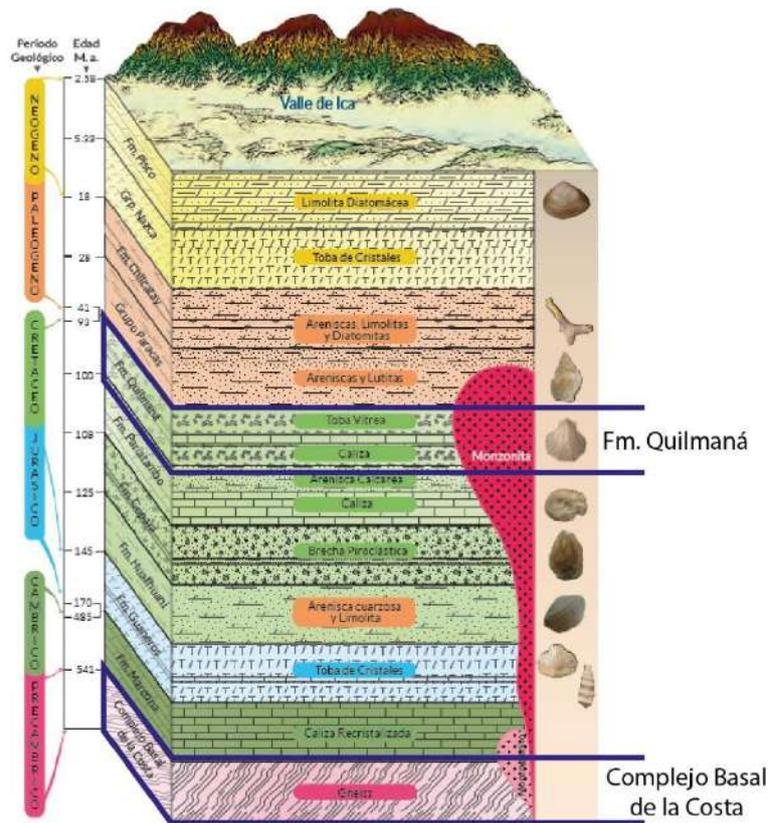


Figura 6. Columna estratigráfica esquemática que representa las principales unidades rocosas en el valle de Ica, el tiempo de formación está dado en millones de años (Ma) y fueron determinada mediante los fósiles asociados a las rocas. Estas rocas toman diferentes denominaciones según la zona tipo con la finalidad de realizar correlaciones estratigráficas con otras regiones (Cereceda et al., 2019).

3.1. Unidades Litoestratigráficas

3.1.1. Formación Río Grande (Js-rg)

Intercalación de rocas volcánicas con algunas capas de lutitas y calizas, en un espesor de 180 m, (Dávila et al., 1993). En campo éstas se observan en el extremo noreste de la quebrada Yaurilla, su grado de meteorización es moderado y el substrato está “muy fracturado” (Fotografía 1 y figura 7).



Fotografía 1. Se observan los afloramientos de la Formación Río Grande en las coordenadas UTM, WGS 84, 18s, X:428360; Y: 8441514.

3.1.2. Formación Quilmana

Esta Formación posee un vasto desarrollo en el cuadrángulo de Ica, su exposición es mayormente volcánica con escasas intercalaciones lenticulares principalmente de calizas. En el cuadrángulo de Ica a escala 1:50 000 (Fuente: Geocatmin) se divide a esta en tres unidades: sedimentaria (Ki-Qs), volcánica-sedimentaria (Ki-Qvs) y volcánica (Ki-Qv). Las cuales se describen a continuación y muestran en la figura 7:

Unidad sedimentaria (Ki-Qs)

Corresponde a intercalaciones calcáreas lenticulares, alcanzan hasta 6 m. de espesor; son masivas, grises y violáceas; con algunos horizontes finos que se intercalan en la secuencia, confundándose entre las rocas volcánicas estratificadas (Dávila et al.,1993).

Estos afloramientos se observan en el extremo noroeste del área de estudio, los afloramientos se observan con un grado moderado de meteorización y muy fracturadas (fotografía 2 y figura 7).

Unidad volcánica sedimentaria (Ki-Qvs)

Corresponde a una intercalación de rocas volcánicas y sedimentarias. Donde los volcánicos porfiríticos tienen color gris verdoso, y los afaníticos colores gris oscuro a casi negro. Presentan parcialmente buena estratificación, que ocasionalmente puede ser delgada. Los pequeños fenocristales, menores de 2 mm, son de plagioclasa; la matriz es afanítica, muchas veces recristalizada por acción de los intrusivos posteriores (Dávila et al.,1993). En resumen, corresponde a la intercalación de areniscas y depósitos de flujos piroclásticos de cenizas en la base de lavas de composición andesítica. Estos afloramientos se observan en el extremo noroeste del área de estudio, los afloramientos se observan con un grado moderado de meteorización y muy fracturadas (fotografía 3 y figura 6)

Unidad volcánica (Ki-Qv)

En el área de estudio corresponden a intercalaciones de lavas con depósitos de flujos piroclásticos (Fotografía 5).



Fotografía 2. Se observan los afloramientos de la Formación Quilmana – unidad sedimentaria afectada por procesos de erosiones de ladera. Coordenadas UTM, WGS 84, 18s, X:428201; Y: 8447375.



Fotografía 3. Se observan los afloramientos de la Formación Quilmana – unidad volcánica sedimentaria en las coordenadas UTM, WGS 84, 18s, X:433085; Y: 8443430.



Fotografía 4. Se observan los afloramientos de la Formación Quilmana – unidad volcánica sedimentaria (Andesitas) en las coordenadas UTM, WGS 84, 18s, X:433085; Y: 8443430.



Fotografía 5. Se observan los afloramientos de la Formación Quilmana – unidad volcánica en las coordenadas UTM, WGS 84, 18s, X:433085; Y: 8443430.

3.1.3. Batolito de la Costa (Ki-di/Ks-gd)

Corresponden a rocas plutónicas que afloran en la parte alta de la quebrada Yaurilla, estos afloramientos incluyen intrusiones de dioritas (Ki-di) y granodioritas (Ks-gd). ver fotografía 6.



Fotografía 6. Se observan los afloramientos del batolito de la Costa. Coordenadas UTM, WGS 84, 18s, X:433085; Y:8443430.

Tabla 3. Clasificación de la meteorización de las formaciones identificadas en el área de estudio (Grado de meteorización de rocas ISRM, 1981)

GRADO DE METEORIZACIÓN				
NOMBRE	DESCRIPCIÓN			CLASIFICACIÓN
A1	Roca fresca	No hay signos visibles de meteorización, ligera decoración	-	
A2	Ligeramente meteorizado	Decoloración en la roca y en superficie de discontinuidades (fracturas).	<10%	
A3	Moderadamente meteorizada	Menos de la mitad del material rocoso esta descompuesto o desintegrado a suelo.	10-50%	X
A4	Altamente meteorizado	Más del 50% esta descompuesto y/o desintegrado a suelo, roca fresca o descolorida esta presente como testigos descompuestos.	50-60%	
A5	Completamente meteorizado	Todo el material rocoso esta descompuesto y/o meteorizado. La estructura original del macizo rocoso esta aun en parte intacta.	>90%	
A6	Suelo residual	Todo el material rocoso esta convertido en suelo. La estructura	100%	

Tabla 4. Clasificación del fracturamiento de las formaciones identificadas en el área de estudio (Grado de fracturamiento de rocas ISRM,1981).

INTENSIDAD DE FRACTURAMIENTO				
NOMBRE	SEPARACIÓN	DESCRIPCIÓN		CLASIFICACIÓN
F1	>3 m	Maciza	Fracturas espaciadas entre si	
F2	3-1 m	Poco fracturada	Fracturadas espaciadas a veces no distinguibles	
F3	1-0.3 m	Medianamente fracturado	Espaciamiento regular entre fracturas	
F4	0.3-0.05 m	Muy fracturado	Fracturas muy proximas entre si, se separan en bloques tabulares	X
F5	< 0.05 m	fragmentado	La roca se muestra astillosa y se separan en lajas con facilidad	

3.2. Depósitos superficiales

3.2.1. Depósito Aluvio-torrencial o proluvial .

Son depósitos inconsolidados que han sido acumulados por la combinación de procesos aluvionales y fluviales (durante la activación de la quebrada), se ubican en el cauce de quebrada Yaurilla formando terrazas de diferentes niveles. (fotografía 7, 8 y 9).

Estos depósitos están constituidos por capas de gravas gruesas y finas mal clasificadas, con elementos redondeados a subredondeados, envueltos en una matriz de arenas, limos y combinaciones areno-arcillosas (fotografía 8) en proporciones variables. A lo largo de la quebrada, los clastos son subredondeados a subangulosos.



Fotografía 7 . Se observan el depósito proluvial en la quebrada Yaurilla.



Fotografía 8. Depósitos proluviales, conformado por gravas y bloques de hasta 0.5 m de longitud, envueltos en una matriz limo-arenosa, formando terrazas de hasta 1 m de altura.



Fotografía 9. Depósitos proluviales, conformado por gravas heterométricas de hasta 10 cm, envueltos en una matriz arcillosa.

3.2.2. Depósito Eólico

Este se formó por la deposición de sedimentos transportados por el viento. En primer lugar, el viento transportó partículas de diferentes tamaños, principalmente arena y material fino, desde áreas desérticas o costeras hacia el interior. Cuando el viento encontró obstáculos como laderas de la quebrada Yaurilla, la velocidad del viento disminuyó depositando los sedimentos transportados.

La acumulación de estos sedimentos ha dado lugar a dunas o montículos de arena en las laderas de la quebrada Yaurilla. La composición de estos depósitos es predominantemente de arena.

A lo largo del tiempo geológico, estos depósitos eólicos pueden experimentar procesos de compactación y cementación, lo que eventualmente puede conducir a la formación de rocas sedimentarias como areniscas eólicas (fotografía 10).



Fotografía 10. Depósitos eólicos, en las laderas de la quebrada Yaurilla,

3.1.1. Depósito Aluvial

El depósito aluvial se observa en la desembocadura de la quebrada Yaurilla, donde ha conformado un valle en zona costera (Valle Ica) que se forma debido a la acción de transporte y deposición de sedimentos por la dinámica del río Ica.

Los sedimentos depositados en esta área son principalmente gravas, arenas y limos, con una mezcla variable de tamaños de partículas.



Fotografía 10. Depósitos aluviales que conformaron el valle Ica.

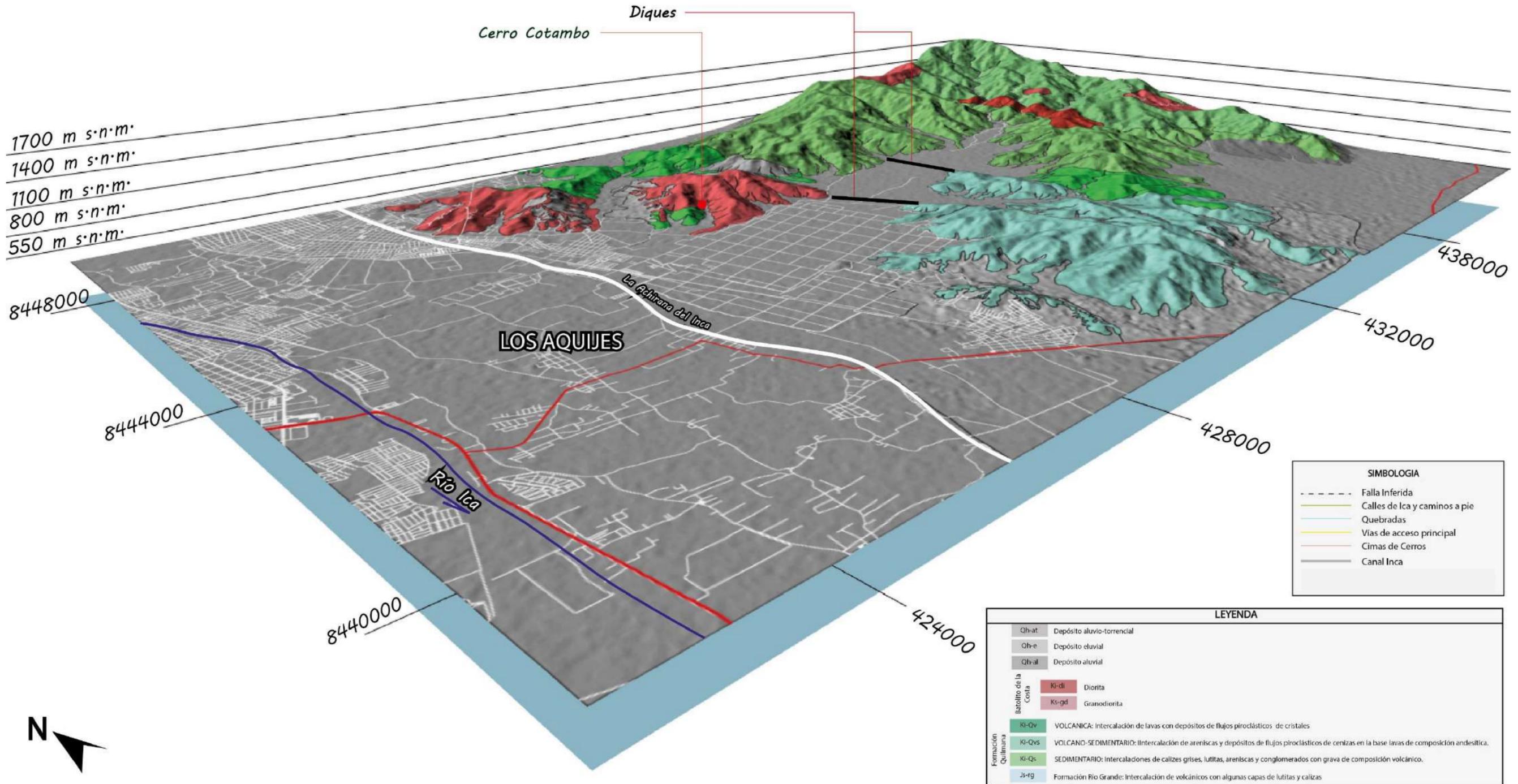


Figura 7. Mapa de unidades litoestratigráficas en el área de estudio.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Por sus características hidro geomorfológicas, la quebrada Yaurilla se considera una subcuenca exorreica que drena sus aguas de escorrentía hacia el río Ica, cuya red hidrográfica se encuentra conectada al océano Pacífico. En cuanto a algunos parámetros geomorfológicos de la cuenca, se puede mencionar que:

- Posee un área de 102.7 km², por su área es considerada entre una microcuenca, (10 – 100 km²) y una subcuenca (100 – 700 km²).
- Su perímetro es de 55 km, circundado por montañas modeladas en roca intrusiva, volcánica y sedimentaria.
- La longitud de su cauce principal, alcanza los 15 km, hasta su desembocadura en el río Ica.
- El ancho de su cauce (desde una ladera a otra) es de 6 km.
- El desnivel altitudinal es de 300 m, siendo la cota culminante de 1700 m s.n.m. y la cota inferior de 400 m s.n.m
- Según los parámetros de compacidad de la cuenca que relacionan los valores de perímetro y área con la fórmula de Gravelius, la quebrada Yaurilla pertenece a una unidad hidrográfica “Oval Oblonda a rectangular” (cuadro 3).

Cuadro 3. Clasificación de compacidad de cuencas (Índice de Gravelius)

Coeficiente de compacidad	Clasificación
1 a 1.25	Casi redonda a oval redonda
1.25 a 1.5	Oval redonda a oval oblonga
1.5 a 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
>1.75	Rectangular

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.

Se analiza 5 rangos de pendientes que van de 0°-1° considerados terrenos de pendiente muy baja; 1°a 5° terrenos de pendiente baja; 5°a 15° pendiente moderada; 15°a 25° pendiente fuerte; 25°a 45° pendiente muy fuerte a escarpado; finalmente, mayor a 45° terreno con pendiente muy escarpado o abrupto.

En la figura 8 se muestra el mapa de pendientes del área de estudio elaborado en base al modelo de elevación digital de 0.30 m de resolución, obtenido a través de fotogrametría (Dron, proporcionado por los solicitantes) en combinación con un modelo Alos Palsar de 12.5 m/px.

La zona que rodea la quebrada Yaurilla exhibe una variada topografía. En general, las laderas que la circundan presentan pendientes pronunciadas en las partes superiores, con ángulos que oscilan entre los 25° y 45°, las cuales gradualmente disminuyen hasta alcanzar alrededor de 15° en la parte baja de la ladera. A medida que nos acercamos al cauce de la quebrada, estas pendientes se suavizan considerablemente, llegando a unos 5°, dando lugar a cauces o acanaladuras con formas sinuosas.

Por otro lado, en la urbe Los Aquijes, las pendientes son notablemente más suaves. Aquí, los terrenos pueden ser completamente llanos, con pendientes de hasta 1°, o presentar suaves inclinaciones de hasta 5°. Este contraste en las pendientes sugiere una marcada diferencia topográfica entre las áreas montañosas circundantes y el entorno urbano (figura 8).

En el cuadro 2 se presenta de forma detallada, solo los rangos de pendientes que figuran en el mapa 02 del anexo 1,

Tabla 5. Rangos de pendiente identificados en el área evaluada.

RANGO	DESCRIPCIÓN	SECTOR	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
0°-1°	Pendiente muy baja	Este rango de pendientes se halla en la terraza aluvial (parte central de Ica y Los Aquijes), corresponden a terrenos mayoritariamente modificados por la actividad antrópica para construcciones y el aprovechamiento agrícola.	Terraza aluvial
1°-5°	Pendiente baja	Este rango de pendientes es el predominante en el área de estudio se encuentra en el valle de Ica, corresponde a terrazas aluviales del río Ica.	Terraza aluvial
5°-15°	Pendiente moderada	Este rango de pendientes se encuentra en la transición entre los depósitos cuaternarios y el inicio de montañas, conforman vertientes aluvio-torrenciales.	Piedemonte aluvio torrencial
15°-25°	Pendiente fuerte	Se encuentran en la parte baja de las laderas de las montañas en roca sedimentaria, volcánica e intrusivas.	Piedemonte aluvio torrencial
25°-45°	Pendiente muy fuerte o escarpada	Representa el mayor porcentaje de pendientes en las laderas de montañas en roca sedimentaria, volcánica e intrusivas.	Montañas en roca sedimentaria, volcánica e intrusivas.
>45°	Pendiente muy abrupta	Este rango de pendientes es el menos representativo en el área de estudio se presentan en algunas partes altas de ladera de montañas en roca intrusiva.	Montaña en roca intrusiva

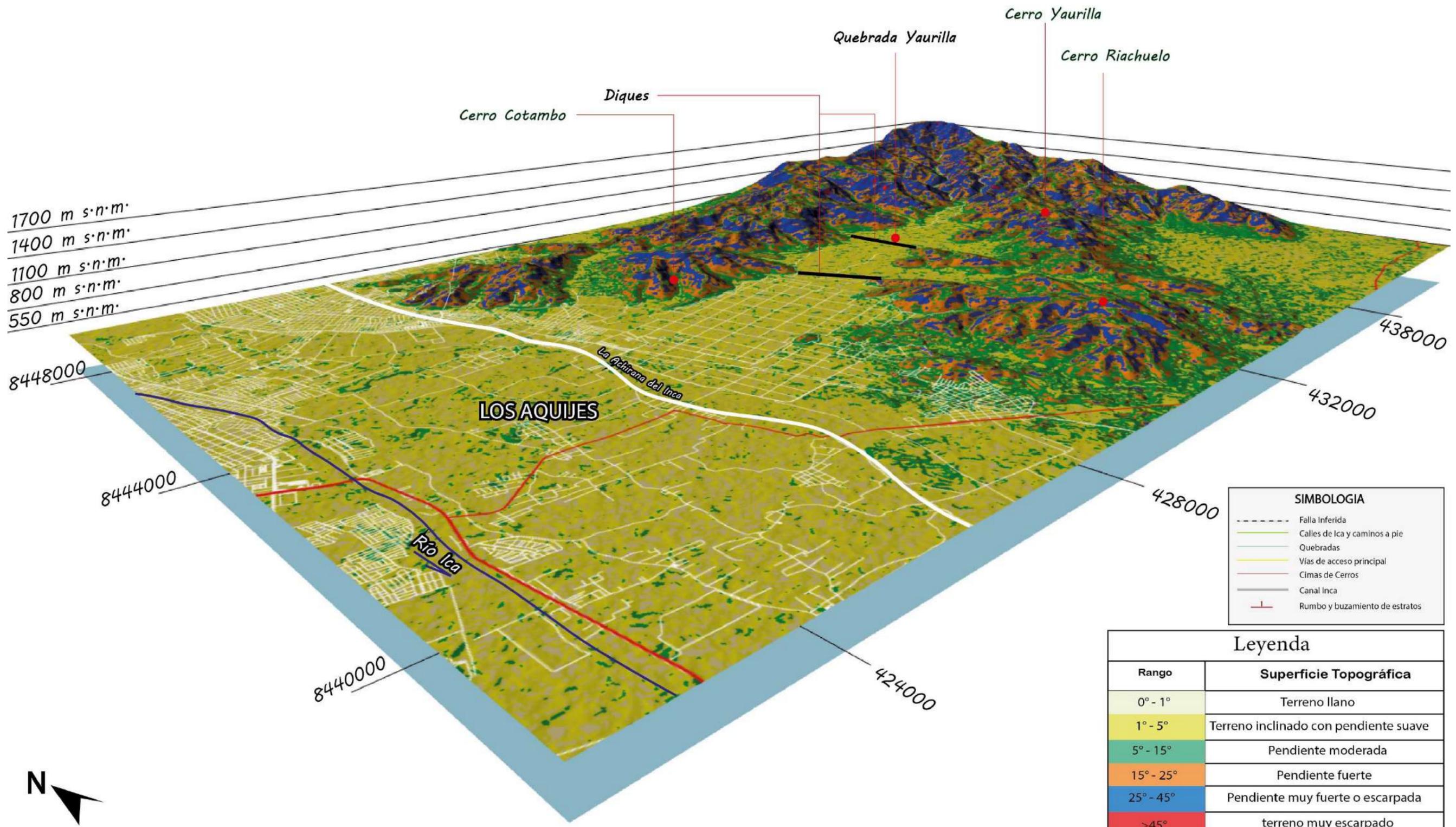


Figura 8. Mapa de pendientes en el área de estudio versión 3D.

4.2. 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 9, se muestra la morfología que alberga al centro poblado de los alrededores de la quebrada Yaurilla.

4.2.1. Unidad de Montaña

Se considera dentro de esta unidad a las geoformas con alturas mayores a los 300 m, respecto al nivel de base local (río Ica), se tiene las siguientes subunidades:

Montaña en roca sedimentaria (RM-rs): Están compuestas por rocas sedimentarias exhiben una estructura estratificada, donde los distintos estratos horizontales reflejan la deposición gradual de sedimentos a lo largo del tiempo. Se observan algunos plegamientos, revelando deformaciones causadas por fuerzas tectónicas, mientras que las fallas (inferidas) generan discontinuidades y escalones en la estructura. Además, la erosión, a través del agua y el viento, ha esculpido surcos y estrías en la superficie de esta montaña, favoreciendo el desprendimiento de bloques

Montaña en roca volcánica -sedimentaria (RM-rvs): Compuesta por rocas volcánico-sedimentarias presentan una variedad de pendientes influenciado por la naturaleza de las rocas (meteorización diferenciada) y los procesos geológicos que las formaron. Las pendientes de sus laderas varían desde pronunciadas, en áreas de flancos volcánicos hasta suaves en áreas donde los sedimentos se han depositado y erosionado gradualmente. En las laderas volcánicas, las pendientes oscilan entre 25° y 45°, reflejando la inclinación típica de ambientes volcánicos. En áreas sedimentarias, las pendientes tienden a ser más suaves, con ángulos de inclinación de alrededor de 5° a 15°.

Montaña en roca volcánica (RM-rv): Presentan topografía marcada por pendientes pronunciadas y escarpadas. Estas pendientes varían ampliamente en inclinación, desde moderadas hasta muy escarpadas, con ángulos que pueden superar los 45°. Crean una topografía rugosa y accidentada. Además, las rocas volcánicas tienden a ser porosas y menos resistentes a la erosión que las rocas intrusivas, lo que resulta en una mayor susceptibilidad a la formación de surcos y desprendimientos de bloques.

Montaña en roca intrusiva (RM-ri): Las montañas formadas por rocas intrusivas, como granito o diorita, exhiben características topográficas diferentes en comparación con aquellas formadas por rocas volcánico-sedimentarias. Las pendientes en estas laderas son más uniformes y menos abruptas que en las montañas volcánicas, con ángulos de inclinación generalmente más suaves. Las pendientes varían desde moderadas hasta suaves, que van desde 5° hasta 20°. Tienen apariencia más redondeada y menos escarpada que las montañas volcánicas, con cimas un poco más planas y amplias.

4.2.2. Unidad de planicie

Corresponde a la acumulación de materiales provenientes de los procesos mayoritariamente erosionales y deposicionales de origen fluvial, aquí se tienen:

Mantos de arenas (M-a): Son geoformas que consisten en extensas capas o depósitos de arena. Estos mantos son el resultado de procesos de erosión, transporte y deposición de sedimentos a lo largo del tiempo. Geomorfológicamente, cubren las laderas de las montañas que circunscriben la quebrada Yaurilla. Estas geoformas se presentan modeladas por la acción del viento, el agua y otros procesos, dando lugar a características como dunas y médanos.

Vertiente aluvio-torrencial (V-at): Corresponde a geoforma donde la topografía del terreno ha sido esculpida por eventos pasados de huaicos, también conocidos como flujos de detritos. Estos huaicos antiguos, detonados por lluvias intensas, han generado canales profundos debido al transporte y deposición de sedimentos. Las vertientes aluvio-torrenciales tienen una pendiente suave a moderada y están marcadas por un patrón entrecruzado de canales y surcos.

Vertiente aluvial (V-al): Se presenta en las márgenes del río Ica, donde se ubica la ciudad del mismo nombre. Estas áreas están caracterizadas por depósitos de sedimentos aluviales, que son materiales transportados y depositados por el río. La vertiente aluvial en el área de estudio es bastante extensa y plana.

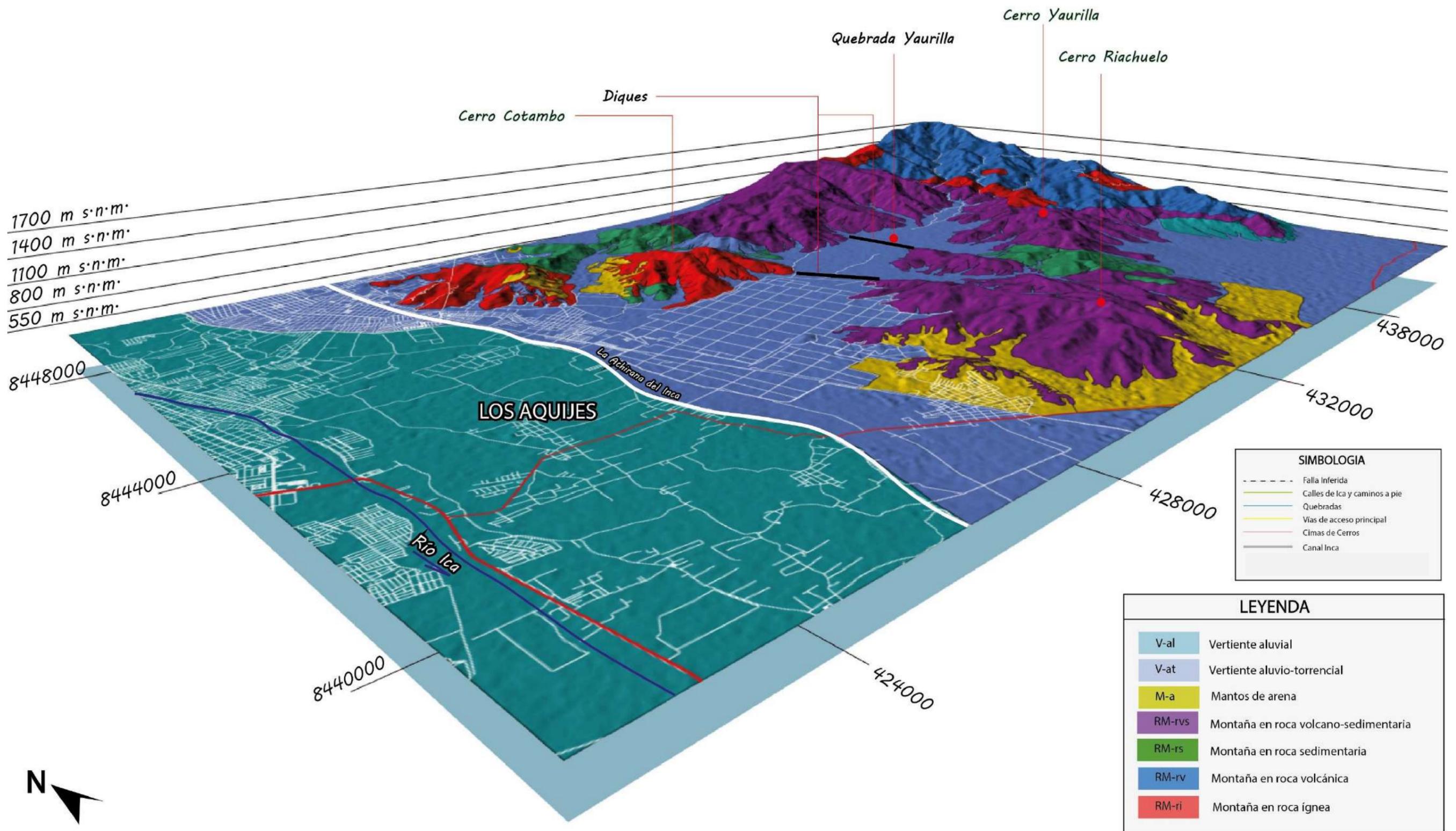


Figura 9. Mapa de unidades geomorfológicas en el área de estudio versión 3D.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la quebrada Yaurilla, corresponden a movimientos en masa de tipo flujos.

La caracterización de los peligros geológicos en los sectores de inspección, se realizó en base a la información obtenida de trabajos en campo; donde se clasificaron los tipos de movimientos en masa, basados en la observación, descripción litológica y morfométrica in situ de los mismos. Posteriormente esta información se corrigió en gabinete con datos de campo como puntos GPS, medidas con distanciómetro láser, fotografías a nivel de terreno y fotografías aéreas con dron.

5.1. Peligros por movimientos en masa

De acuerdo a las observaciones y trabajos de campo se evidencia que el basamento rocoso en esta área lo constituyen rocas intrusivas, sedimentarias y volcánicas con fuerte fracturamiento y notorio grado de meteorización (muy alta), factores que han contribuido a la acumulación de materiales coluviales y residuales constituyendo los depósitos no consolidados y sin protección vegetal en el cauce de la quebrada.

El cauce principal es la combinación de canales rectos y sinuosos desde la parte alta (cabecera de la quebrada) y casi recto en la parte baja, con obstrucciones tipo diques que desvían los flujos hacia el suroeste de la quebrada, con pendientes moderadas a suaves.

Sus flancos, las laderas, son empinados, se desarrollan torrenteras y cárcavas formando incisiones en los depósitos de taludes (no consolidados) y roca.

Las condiciones mencionadas son propicias para la generación de huaicos cada temporada de lluvias, las cuales arrastran gran volumen de sólidos de material granular, lodo y bloques de roca de diferentes tamaños, constituyendo una amenaza frecuente para la seguridad del sector “Los Aquijes”, sus habitantes, la carretera y terrenos de cultivo.

5.1.1. Flujo de detritos

Según las evidencias geológicas y geomorfológicas, sumadas al testimonio de los pobladores de Los Aquijes; se deduce, que en épocas de intensas precipitaciones pluviales (anómalas en la región) se activa el régimen de la quebrada Yaurilla, presentando un caudal irregular y torrencioso, que erosiona y transporta el material sólido inconsolidado (proluvial), presente en el cauce principal, elementos que conjuntamente con la fuerza hidráulica incrementan los componentes horizontal y vertical de la fuerza erosiva de la entonces corriente temporal.

La componente horizontal produce la erosión lateral por socavamiento y derrumbe de las márgenes del flujo, donde se ubican diferentes terrazas (evidencias de flujos antiguos) y laderas de montañas (rocas ígneas, volcánicas y sedimentarias altamente fracturadas y meteorizadas) de fácil erosión, la componente vertical del flujo erosiona el fondo del cauce compuesto por material no consolidado, también proluvial.

Todo el material detrítico incorporado al caudal genera un tipo de flujo denominado “No Newtoniano” (mezcla de sólido y líquido)” que dependiendo de la concentración de sus componentes se mueve a cierta velocidad y con determinados tirantes (alturas), aguas abajo hasta que pierde su capacidad de transporte, todo esto ocasiona el arrastre y depósito de detritos, bloques y lodo en el sector de “Los Aquijes”.

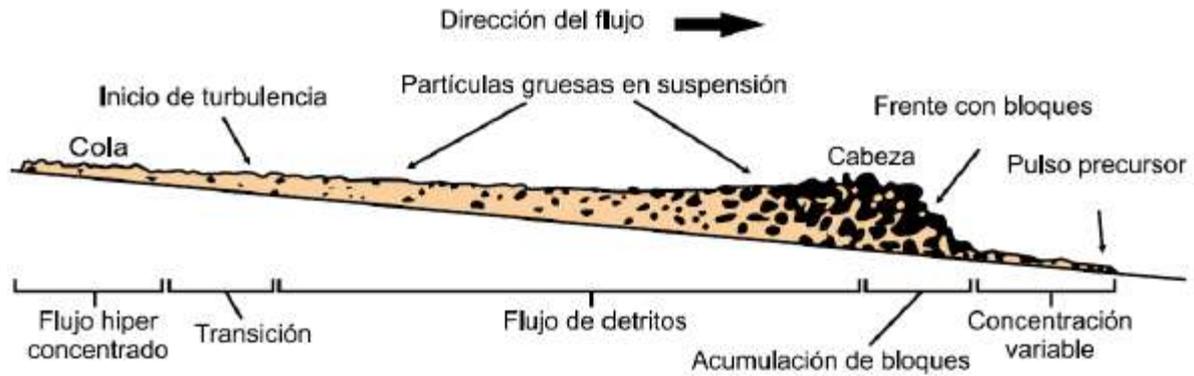


Figura 10. Esquema tipo de un flujo de detritos confinado a un cauce (Valderrama, 2011).

A grandes rangos se puede distinguir 5 eventos de flujos de detritos pasados, diferenciados por el porcentaje de bloques, gravas, arenas y material fino, que han conformado terrazas de diferentes tamaños, entendiéndose que el flujo 1 históricamente corresponde al más antiguo y el 5to al más reciente, quitando de esta clasificación a los flujos de detritos registrado en el 2017, 2023 y 2024 que cubrieron la mayoría de eventos anteriores, y erosionaron otros generando nuevos surcos y canales por donde discurrió la mezcla de líquido y sólido (figura 11).

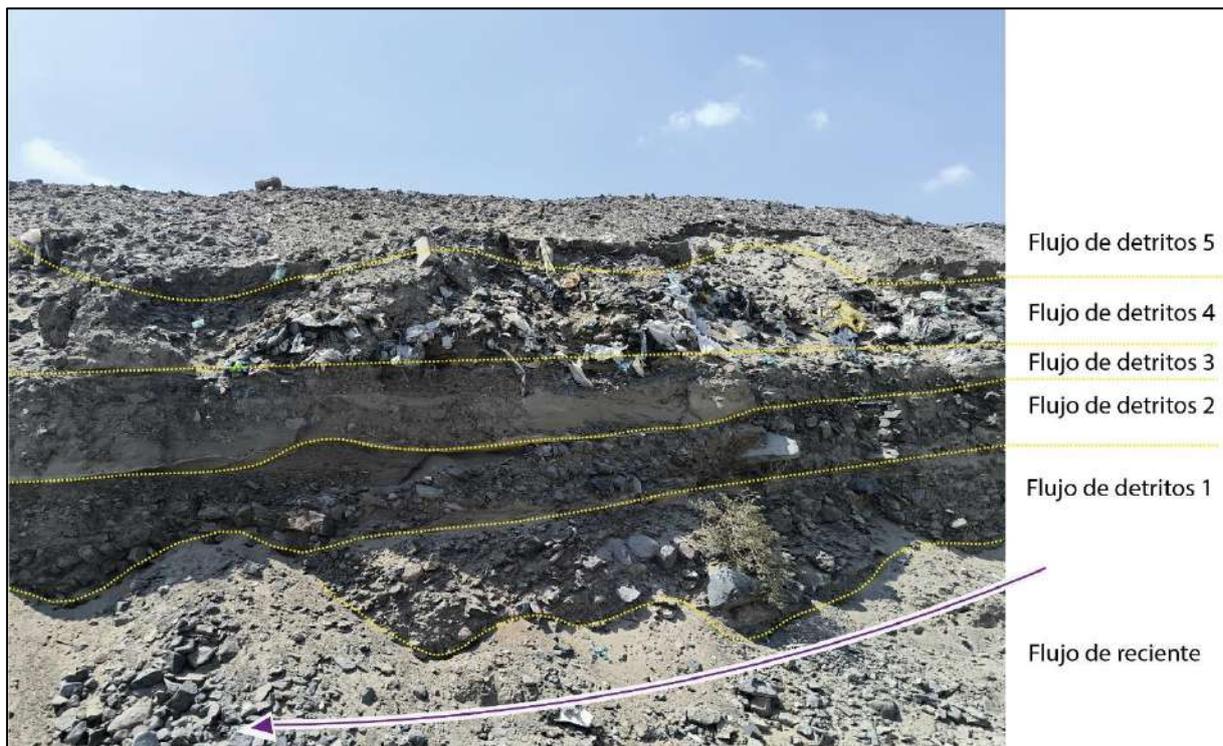


Figura 11. Niveles de flujo de detritos en la quebrada Yaurilla.

Flujo de detrito 2017

Las evidencias geomorfológicas y los relatos de los pobladores indican que alrededor del 24 de enero de 2017, debido a intensas precipitaciones asociadas al fenómeno de "El Niño", la quebrada Yaurilla se desbordó. En ese momento, no existía un dique de contención que cortara transversalmente la quebrada, por lo que el daño fue directo a la población. Este evento extraordinario causó graves daños y afectó directamente a la comunidad (figura 12).

Con la precipitación máxima diaria registrada de 27.9 mm registrado por servidores satelitales (grafico 1), cayendo sobre un área de 11.16 km² (área estimada de atrapamiento de agua en la quebrada Yaurilla), podemos valorar que la cantidad de agua registrada para dicha precipitación fue aproximadamente de 0.312 km³. Teniendo en cuenta una acumulación detrítica del 40%, el volumen total de flujo pudo haber alcanzado aproximadamente 0.780 km³. Este volumen de flujo provocó daños en los sectores de Llaxta y Las Piedras de Buena Vista, afectando alrededor de 500 familias (según reportes de COEN). Además, el desbordamiento del río Ica afectó significativamente gran parte del departamento de Ica.



Figura 12. Daños registrados por flujo de detritos provenientes de la quebrada Yaurilla el año 2017 (Fuente: @Senamhiperu).

Flujo de detrito 2023

Se registró la reactivación de la quebrada el 15 de marzo de 2023, según el informe preliminar N°068-2023-MOD de Operaciones del COER Ica. Este evento ocurrió alrededor de las 15:00 horas.

Con una precipitación máxima diaria registrada de 1.6 mm sobre un área de 11.16 km², la cantidad de agua registrada sería aproximadamente 0.018 km³. Considerando una acumulación detrítica del 40%, el volumen total de flujo, pudo haber llegado a alrededor de 0.045 km³. Debemos considerar que este registro de precipitación es un análisis satelital y no directo por lo que dichos valores son estimados (figura 13).

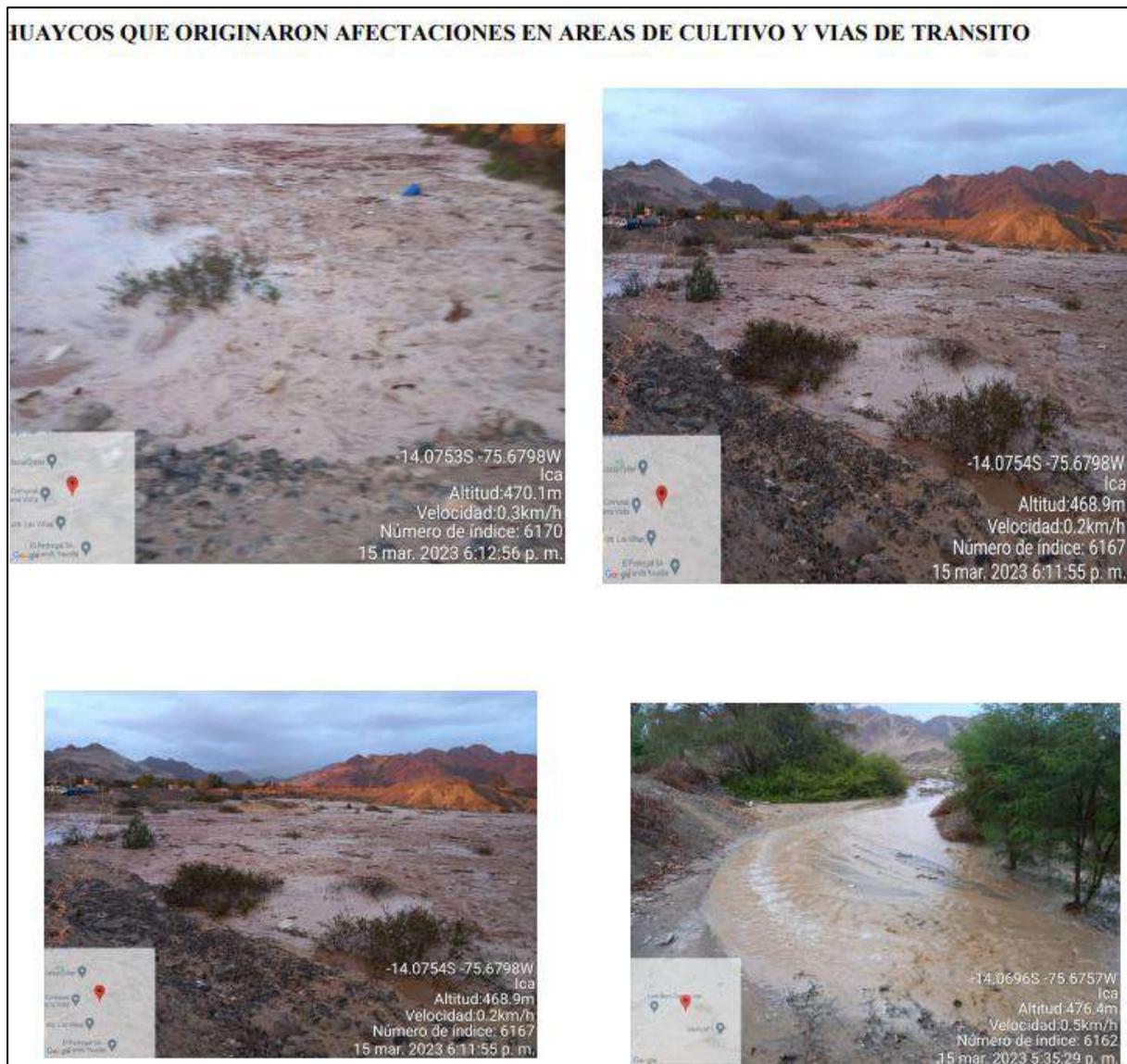


Figura 13. Daños registrados por flujo de detritos provenientes de la quebrada Yaurilla el 15 de marzo de 2023 (Fuente: http://coer.regionica.gob.pe/images/2023/REPORTE_PRELIMINAR/REPORTE_PRELIMINAR_068-2023-MOD_OPERACIONES.pdf)

Flujo de detrito 2024

Se registró la reactivación de la quebrada el 23 de febrero del 2024, según el informe de emergencias N°539-16/04/2024/COEN-INDECI/15:05 HORAS, según describe este informe

las lluvias intensas causaron daños materiales en viviendas y servicios públicos en el distrito de “Los Aquijes”, Los huaicos desde la quebrada Yaurilla afecto los sectores: Viña 1, Viña 2, Las Piedras de Buena Vista y Yaurilla en el mismo distrito, dejando 15 familias damnificadas, 1263 viviendas afectadas , 4 inhabitables, y 10 m de vía urbana vecinal afectada

Con una precipitación máxima diaria registrada de 2.9 mm sobre un área de 11.16 km², la cantidad de agua registrada sería aproximadamente 0.034 km³. Considerando una acumulación detrítica del 40%, el volumen total de flujo podría haber sido alrededor de 770.0 km³. Debemos considerar que este registro de precipitacion es un análisis satelital y no directo por lo que dichos valores son estimados (figura 14).



Figura 14. Registro del flujo de detritos del 23 de febrero del 2024 (Fuente: Representantes de la Municipalidad distrital de los Aquijes).

En conclusión la quebrada Yaurilla se interpreta hidrológicamente como capaz de retener aguas de escorrentía debido a su amplia capacidad. Al comparar las precipitaciones del 2017, 2023 y 2024, se observa una marcada diferencia, con valores que van desde los 27.9 mm hasta los 2 mm. En el 2017, las precipitaciones en enero fueron intensas pero de corta

duración, mientras que en el 2023 y 2024 no superaron los 3 mm, pero se extendieron en el tiempo. Aunque 3 mm es considerado un valor bajo, su persistencia fue significativa, especialmente considerando que es la cantidad de precipitación esperada en un tercio del año (4 meses). Esto facilitó que la quebrada recibiera el agua en todas sus ramificaciones, concentrándola en cauces, surcos y canales en el centro de la quebrada y generando flujos de agua que erosionaron y transportaron material detrítico (figuras 20 al 22).

Los flujos de detritos alcanzaron el dique de contención ubicado en la parte media de la quebrada, lo que resultó en un primer represamiento, cuya huella es evidente en el terreno (figura 15). La cantidad de agua generó la ruptura de este dique en tres secciones (figura 16), erosionando la estructura y permitiendo que el flujo continuara su recorrido quebrada abajo.



Figura 15. Evidencias de embalse en la quebrada Yaurilla, a la altura del dique de protección.

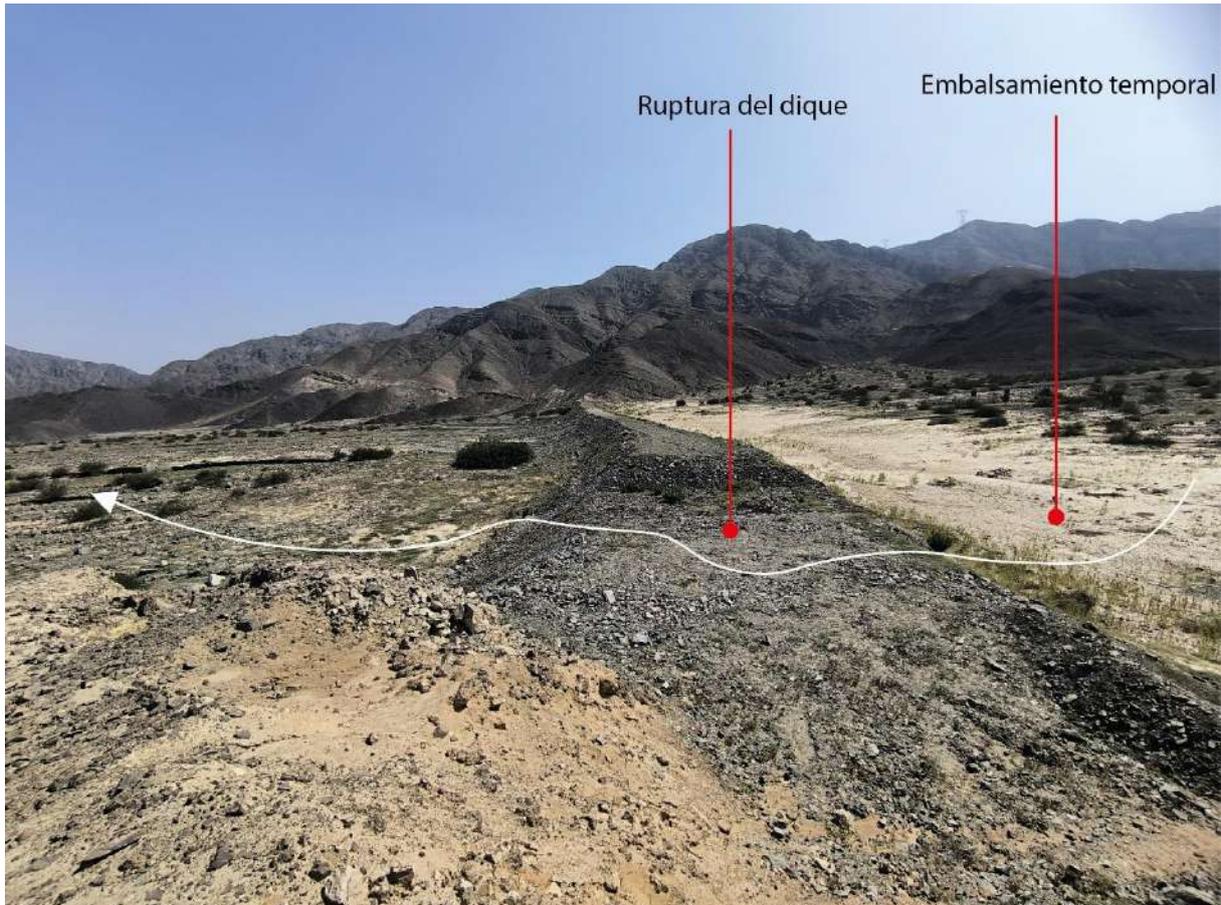


Figura 16. Evidencias de embalse en la quebrada Yaurilla y posterior desembalse, a la altura del dique de protección.

Es importante destacar que, desde la ramificación más alejada hasta el dique de contención, el flujo recorrió una distancia de 7 km, actuando este como un primer obstáculo. Posteriormente, el flujo continuó su curso por 2 km hasta llegar al dique de gabionera, el cual separa un fundo de “Vid” de la quebrada. Aquí, el flujo fue desviado al extremo derecho de la quebrada, hasta confluir con las aguas provenientes de la quebrada Cotambo.

Además, a lo largo de su trayecto, el flujo erosionó las terrazas proluviales, ensancho canales de agua previos y, finalmente, salió por el sector de acceso a las zonas de cantera presentes en la quebrada. Este punto se encuentra en las coordenadas UTM, WGS 84, 18S: X: 427457; Y: 8444282. (figuras 17, 18 y 19).



Figura 17. Muestra el recorrido del flujo de detrito pegado a la margen derecha de la quebrada Yaurilla.



Figura 18. Muestra erosión por el flujo de detritos del 2014 de las terrazas proluviales presentes en el cauce de la quebrada Yaurilla,



Figura 19. Muestra evidencias de la salida del flujo de detritos del cauce de la quebrada por el punto UTM, WGS 84, 18s: X:427457; Y: 8444282.

Así, parte del material detrítico ingresó a las depresiones generadas por las canteras en las coordenadas UTM, WGS 84, 18S: X: 427184; Y: 8444371, descendiendo en dirección suroeste hasta romper en el punto UTM, WGS 84, 18S: X: 426586; Y: 8443876. Desde allí, penetró en el área urbana de "Los Aquijes", afectando viviendas, carreteras, caminos vecinales y campos de cultivo, pasando por el canal denominado "La Achirana del Inca" y dejando material detrítico a su paso. Finalmente, se desfogó en el río Ica (figura 20).

Estas evidencias y antecedentes destacan la actividad y peligrosidad de la quebrada Yaurilla, subrayando la urgencia de implementar obras de contención y mitigación ante flujos de detritos. Es evidente la necesidad de tomar medidas preventivas para proteger las áreas urbanas y agrícolas cercanas, así como las infraestructuras viales e hidráulicas, ante el riesgo latente de eventos similares en el futuro. La implementación de sistemas de monitoreo y alerta temprana, junto con la ejecución de obras de ingeniería adecuadas, serán pasos fundamentales para reducir los riesgos y proteger la vida y los bienes de la comunidad del distrito de "Los Aquijes".

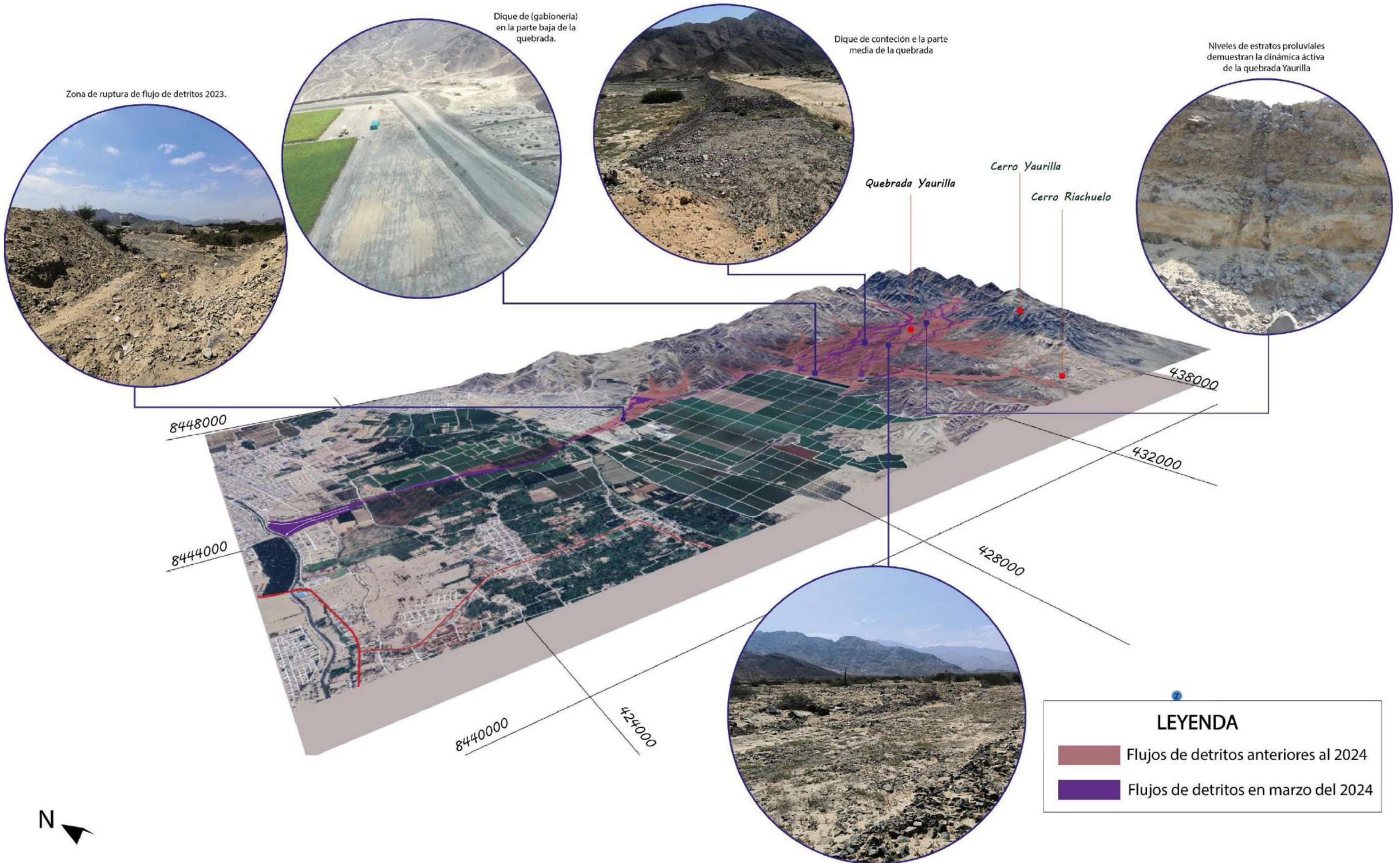


Figura 20. Peligros geológicos por flujo de detritos en la quebrada Yaurilla.

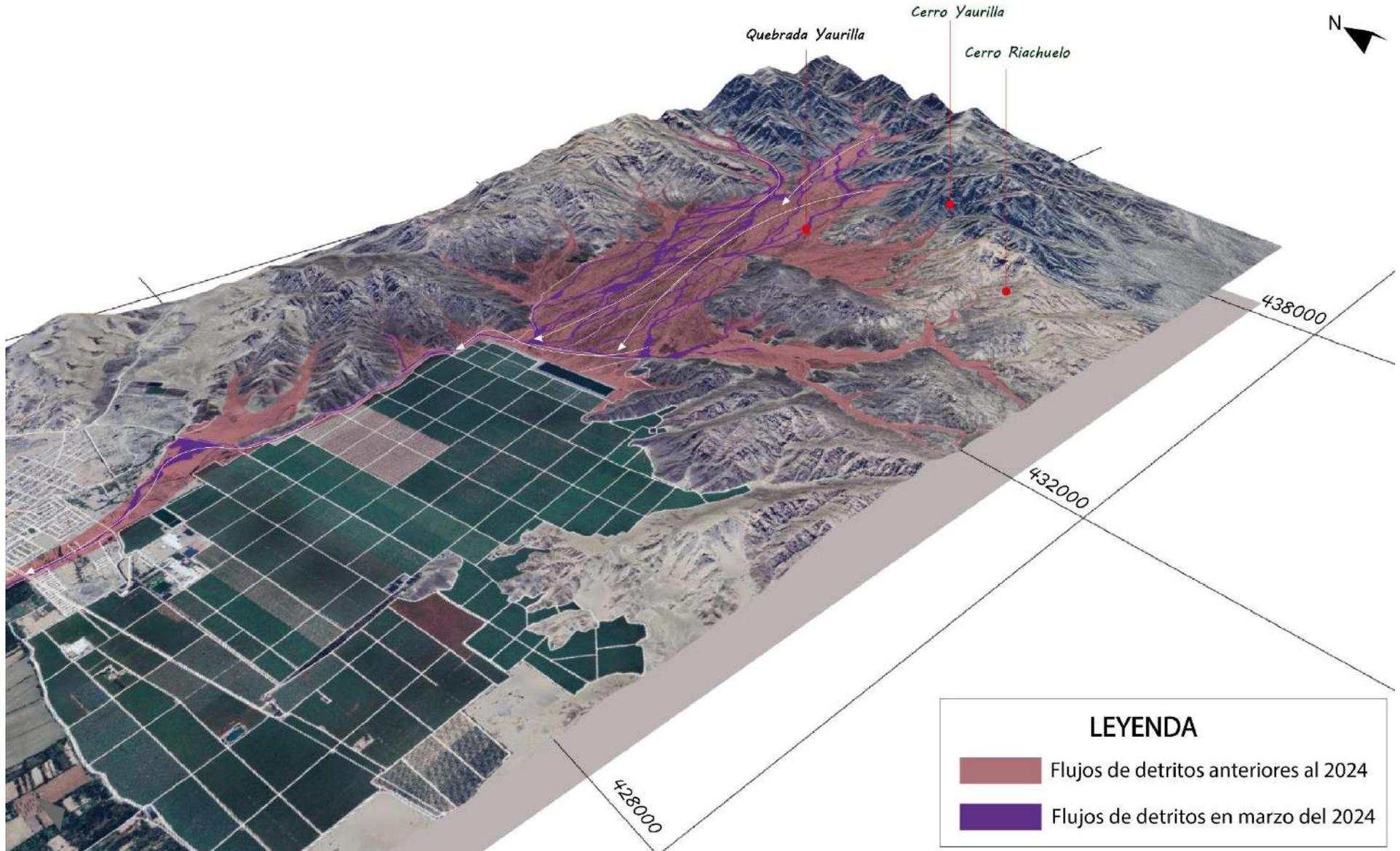


Figura 21. Peligros geológicos por flujo de detritos en la quebrada Yaurilla.

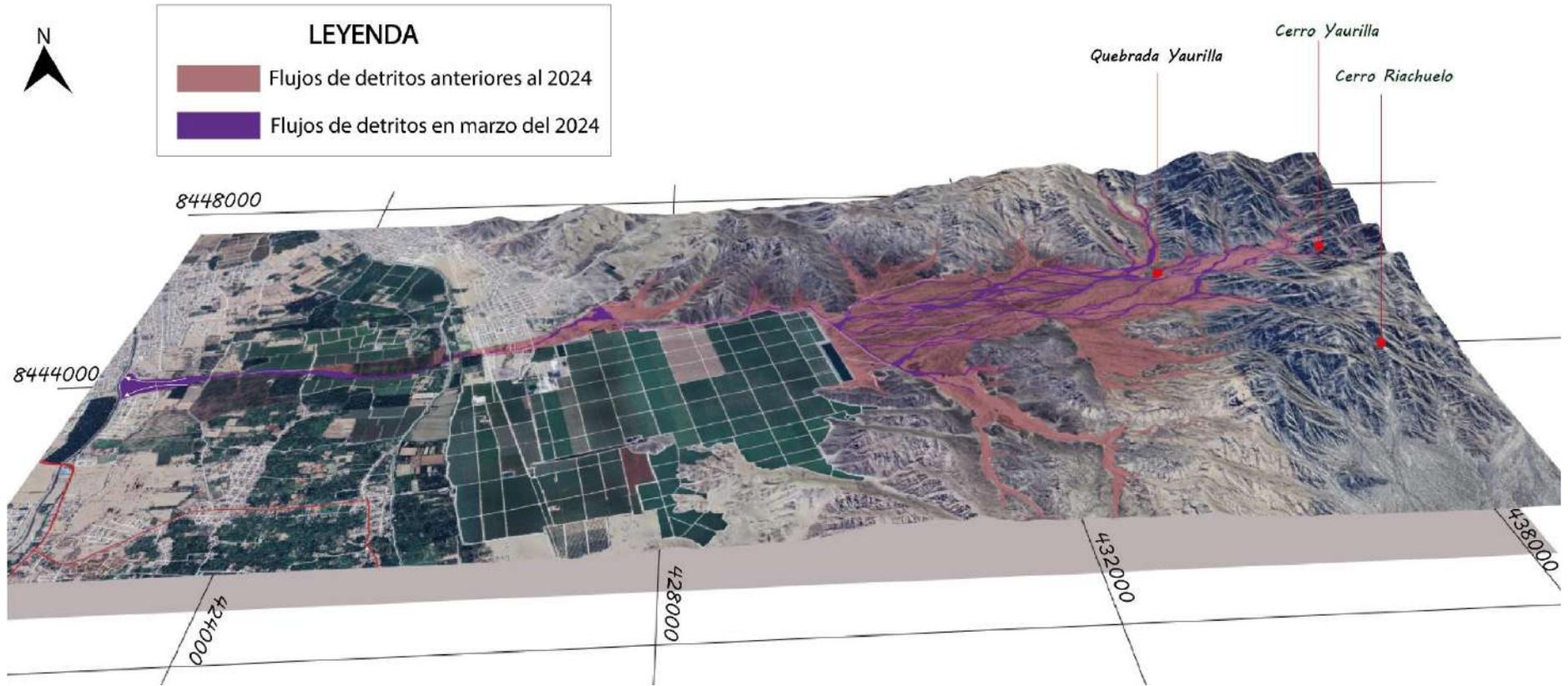


Figura 22. Peligros geológicos por flujo de detritos en la quebrada Yaurilla.

5.2. Factores condicionantes

Se detalla los principales factores que podrían condicionar la ocurrencia de los peligros y otros peligros geológicos identificados en la quebrada Yaurilla.

Cuadro 4. 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 sustrato	Las rocas sedimentarias, ígneas y volcánico-sedimentarias meteorizadas y fracturadas presentes en la quebrada Yaurilla tienen el potencial de contribuir material detrítico a la quebrada por sus características porosas y propensas a la erosión, pueden liberar fácilmente bloques de roca y sedimentos que durante eventos de lluvia intensas se mesclarían con el agua generando huaicos.	Aporte de material detrítico al cauce de las quebradas y posterior flujo de detritos.
Tipo de suelo (naturaleza del depósito)	Los depósitos proluviales y aluviales son altamente susceptibles a la generación de flujos de detritos debido a su composición y características geomorfológicas. La saturación del suelo por el agua junto con la presión hidrostática del agua, puede hacer que los sedimentos aluviales se vuelvan inestables y se desplacen en forma de flujos de detritos.	Flujo de detritos.
Pendiente del terreno	Las pendientes de la quebrada, incluso las más suaves de entre 1° y 5°, pueden contribuir a la generación de flujos de detritos debido a varios factores, como la combinación de lluvias torrenciales y la presencia de sedimentos sueltos en las laderas puede desencadenar flujos de lodo y detritos, especialmente en áreas con vegetación escasa o suelos erosionados. Además, la convergencia de numerosos cauces que se unen al finalizar la quebrada puede aumentar la cantidad de agua y sedimentos transportados, creando condiciones propicias para la formación de flujos de detritos. Estos cauces, al confluir, pueden concentrar y canalizar el flujo de agua y detritos, aumentando así el potencial de erosión y transporte de material a lo largo de la quebrada.	Flujo de detritos
Hidrología	La quebrada funciona como una olla de almacenamiento de agua debido a varios factores, incluso si las precipitaciones son relativamente pequeñas y ocurren con mayor frecuencia en la parte alta de la cuenca. En primer lugar, la topografía de la quebrada, con sus paredes empinadas y estrechas,	Flujo de detritos

	<p>puede actuar como una especie de embudo que dirige el agua hacia el centro de la quebrada, donde se acumula. A medida que el agua fluye desde las zonas altas hacia el fondo de la quebrada, puede encontrar áreas de menor pendiente o depresiones naturales donde se estanca y se acumula, formando pequeñas represas naturales. Además, la presencia de rocas y sedimentos en el lecho de la quebrada puede contribuir a la retención temporal del agua, ya que estos materiales pueden actuar como obstáculos que ralentizan el flujo y permiten que el agua se acumule.</p>	
--	---	--

5.3. Factores desencadenantes

Dentro de estos se considera principalmente las precipitaciones.

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

Factores naturales del entorno geográfico		
Climáticos e Hidrológicos		
<p>Precipitaciones pluviales</p>	<p>Las precipitaciones juegan un papel fundamental en la generación de flujos de detritos. Las lluvias intensas pueden saturar rápidamente el suelo, aumentando la probabilidad de ocurrencia de flujos de lodo y detritos. Además, las precipitaciones pueden erosionar las laderas, desestabilizando los sedimentos y rocas, y facilitando su transporte hacia áreas más bajas. La frecuencia e intensidad de las precipitaciones son factores clave que determinan la susceptibilidad de flujos de detritos.</p> <p>En el 2024 se tienen registros de lluvias prolongadas entre 2 y 2,9 mm, mientras que en el 2017 se registraron precipitaciones intensas de 27.9 mm.</p>	<p>Flujo de detritos.</p>

6. CONCLUSIONES

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

1. Los afloramientos rocosos en la quebrada Yaurilla corresponden a rocas volcánicas, sedimentarias, volcánica sedimentaria e intrusivas con un grado de meteorización moderado a alto y muy fracturadas. Estas características generan la caída de bloques y sedimentos que se acumulan en el cauce de la quebrada aumentando su colmatación.
2. Los suelos proluviales están conformados por capas de gravas gruesas y finas mal clasificadas envueltos en matriz areno-limosa, son muy propensos a generar flujos de detritos debido a su inestabilidad y fácil erosión, desencadenados por la saturación del suelo durante lluvias intensas y/o prolongados.
3. Geomorfológicamente la quebrada Yaurilla, esta circunscrita por montañas en roca sedimentaria, volcánicas, volcánica sedimentaria e ígnea, con presencia de mantos de arenas. El cauce de la quebrada es considerado vertiente aluvio torrencial, con pendientes máximas de 5°, conformado por canales con depresiones entre 30 cm a 2 m, que confluyen y descienden hacia el río Ica.
4. Sobre la quebrada Yaurilla se generaron flujos de detritos. En un perfil de la quebrada se reconoció hasta 5 eventos antiguos y hasta tres registros de flujos más recientes, que pueden coincidir con los generados en los años 2017, 2023 y 2024. Estos últimos pueden estar relacionados a precipitaciones anómalas, como los señalados por datos satelitales donde se obtuvieron precipitaciones diarias de 27.9 mm en 2017 y de 2.9 mm en 2023 y 2024, valores considerados altos para el valle Ica.
5. El 23 de febrero de 2024, la quebrada Yaurilla se reactivó debido a lluvias prolongadas, causando daños en viviendas y servicios públicos en Los Aquijes. Estos Huaicos afectaron varios sectores, dejando 15 familias damnificadas, 1263 viviendas afectadas y 10 metros de vía urbana dañada. La precipitación máxima fue de 2.9 mm en un área de 11.16 km², generando un flujo de volumen estimado de 770.0 km³. Estos flujos erosionaron estructuras como diques de contención y fueron redirigidas hacia el suroeste de la quebrada por diques de gabioneras, embalsando y sobrepasando depresiones de canteras.
6. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa, se determina que la quebrada Yaurilla es de **Peligro Alto**, por flujo de detritos en especial los sectores con registro de daños previos como: "Viña 1, Viña 2, Las Piedras de Buena Vista, urbanización Llaxta y Yaurilla".

7. RECOMENDACIONES

1. Implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para monitorear los flujos de detritos que se puedan generar en la quebrada, mediante el uso de pluviómetros correlacionados con los reportes de emergencia generados por Senamhi y ENFEN. En la implementación se debe tener en cuenta la instalación de sensores, sistemas de comunicación, alarmas, entre otros, con el objetivo de tener avisos oportunos ante la ocurrencia de huaicos, para que la población pueda tomar las precauciones del caso y salvaguardar sus vidas.
2. Construir diques disipadores de energía a lo largo de la quebrada para contener y dirigir el flujo de detritos. También conocidas como trampas de sedimentos, son estructuras diseñadas para retener sedimentos y agua en caso de flujos de detritos. Estas presas pueden reducir la velocidad del flujo y permitir que los sedimentos se depositen antes de que el agua continúe su camino.
3. Canalizar el curso de flujos de detritos hasta el río Ica. Esto implica un análisis detallado de la topografía y la hidrología local, así como el diseño hidráulico para gestionar el flujo de agua y sedimentos. Estas medidas ayudarán a proteger a la población local de manera efectiva.

Todas las medidas estructurales deben ser realizadas por especialistas, teniendo en cuenta cálculos hidrológicos y geotécnicos, que determinen, las características ingenieriles de cada una.



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



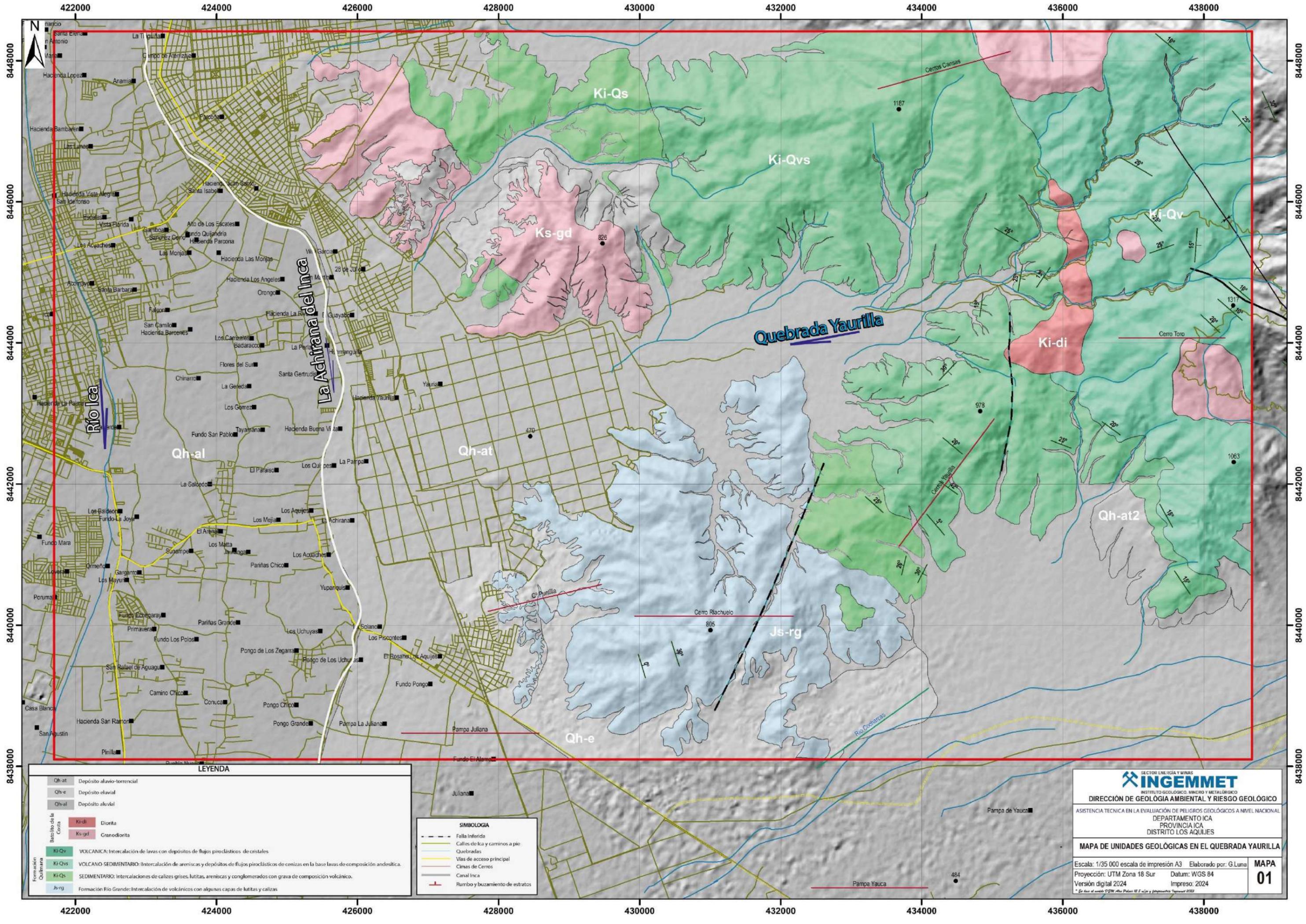
Ing. BILBERTO ZAVALA CARRIÓN
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

BIBLIOGRAFÍA:

- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- Cereceda, C.; García, A.; López, W.; Benavente, C.; Aguirre, E.; Guevara, D.; Roman, U. & Fernández, V. (2019) - Geología del pisco, valle de Ica. Lima: INGEMMET, 136 p
- Peña, F.; Sánchez, M. & Lu, S. (2006) - Mapa hidrogeológico de la cuenca del río Ica. En: Congreso Peruano de Geología, 13, Lima, Perú, 17-20 Octubre 2006, Resúmenes extendidos.Lima: Sociedad Geológica del Perú, 2006, pp. 463-466. Publicación Especial.
- Lopez, J. Cero3n F. Carpio, M & Morales, M. (1996) - Geología del cuadrángulo de Huanta. Hojas: 26-ñ. Ingemmet, Boletín N°72, Serie A: Carta Geológica Nacional, 54, 214 p.
- S & Z Consultores Asociados (1997) - Geología de los cuadrángulos de Bajo Pichanaqui y Puerto Bermúdez. Hojas: 22-n y 21-n. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 85, 180 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/41>
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/41>
- 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.
- Vílchez, M.; Ochoa, M., & Pari, W. (2019). Peligro geológico en la región Ica. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 67, 212 p., 9 mapas.

ANEXO 1

MAPAS



8448000
8446000
8444000
8442000
8440000
8438000

8448000
8446000
8444000
8442000
8440000
8438000

LEYENDA

Qh-at	Depósito aluvio-torrencial
Qh-e	Depósito eluvial
Qh-al	Depósito aluvial
Baculo de la Costa	
Ki-di	Diorita
Ks-gd	Granodiorita
Formación Quillmana	
Ki-Qv	VOLCANICA: Intercalación de lavas con depósitos de flujos piroclásticos de cristales
Ki-Qvs	VOLCANICO SEDIMENTARIO: Intercalación de areniscas y depósitos de flujos piroclásticos de cenizas en la base lavas de composición andesítica.
Ki-Qs	SEDIMENTARIO: Intercalaciones de calizas grises, lutitas, areniscas y conglomerados con grava de composición volcánico.
Js-rg	Formación Río Grande: Intercalación de volcánicos con algunas capas de lutitas y calizas

SIMBOLOGIA

---	Falla Inferida
---	Calles de Ica y caminos a pie
---	Quebradas
---	Vías de acceso principal
---	Cimas de Cerros
---	Canal Inca
---	Rumbo y buzamiento de estratos

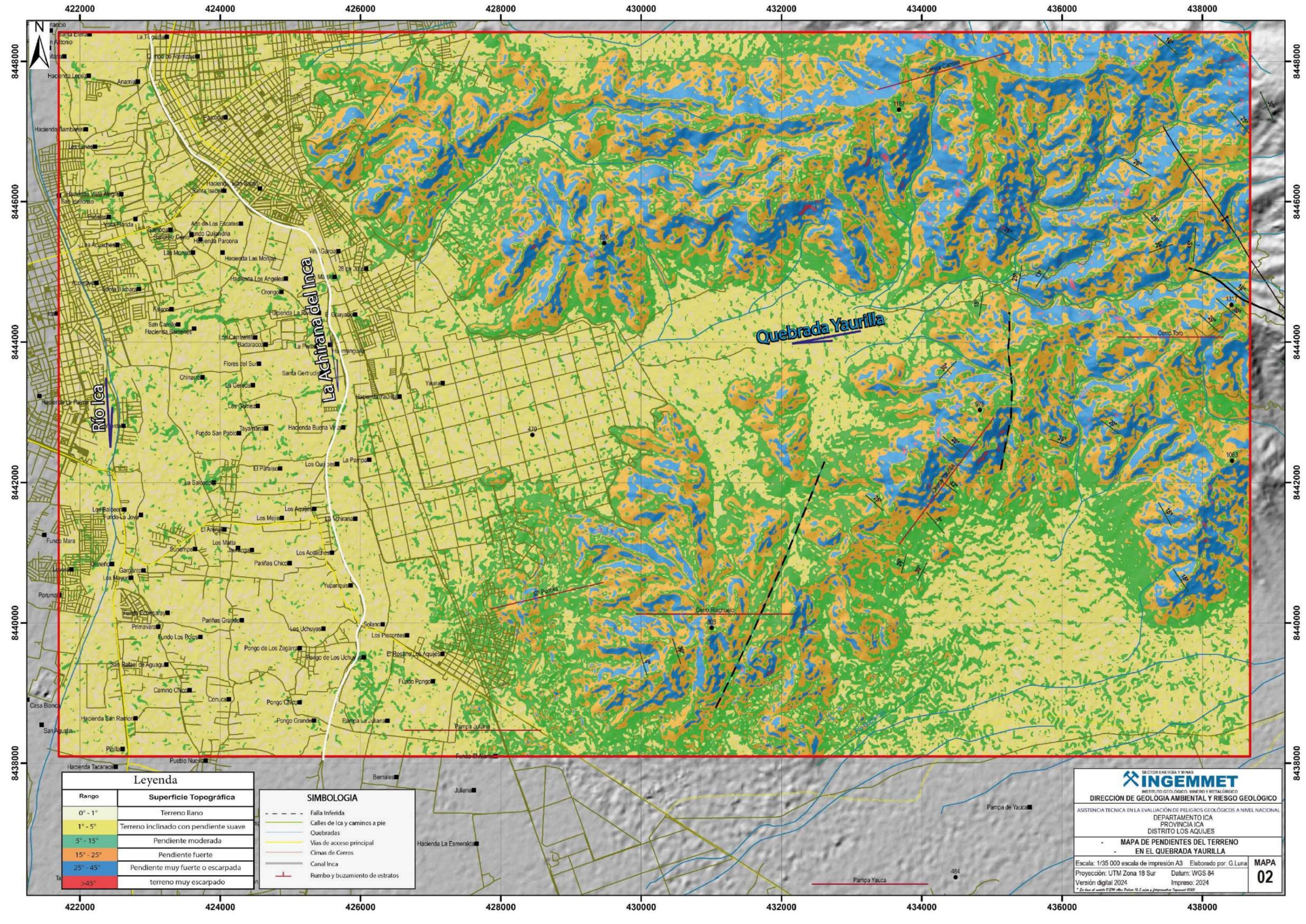
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 ASISTENCIA TÉCNICA EN LA EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL
 DEPARTAMENTO ICA
 PROVINCIA ICA
 DISTRITO LOS AQUIJES

MAPA DE UNIDADES GEOLÓGICAS EN EL QUEBRADA YAURILLA

Escala: 1/35 000 escala de impresión A3 Elaborado por: G. Luna
 Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84
 Versión digital 2024 Impreso: 2024

MAPA 01

422000 424000 426000 428000 430000 432000 434000 436000 438000



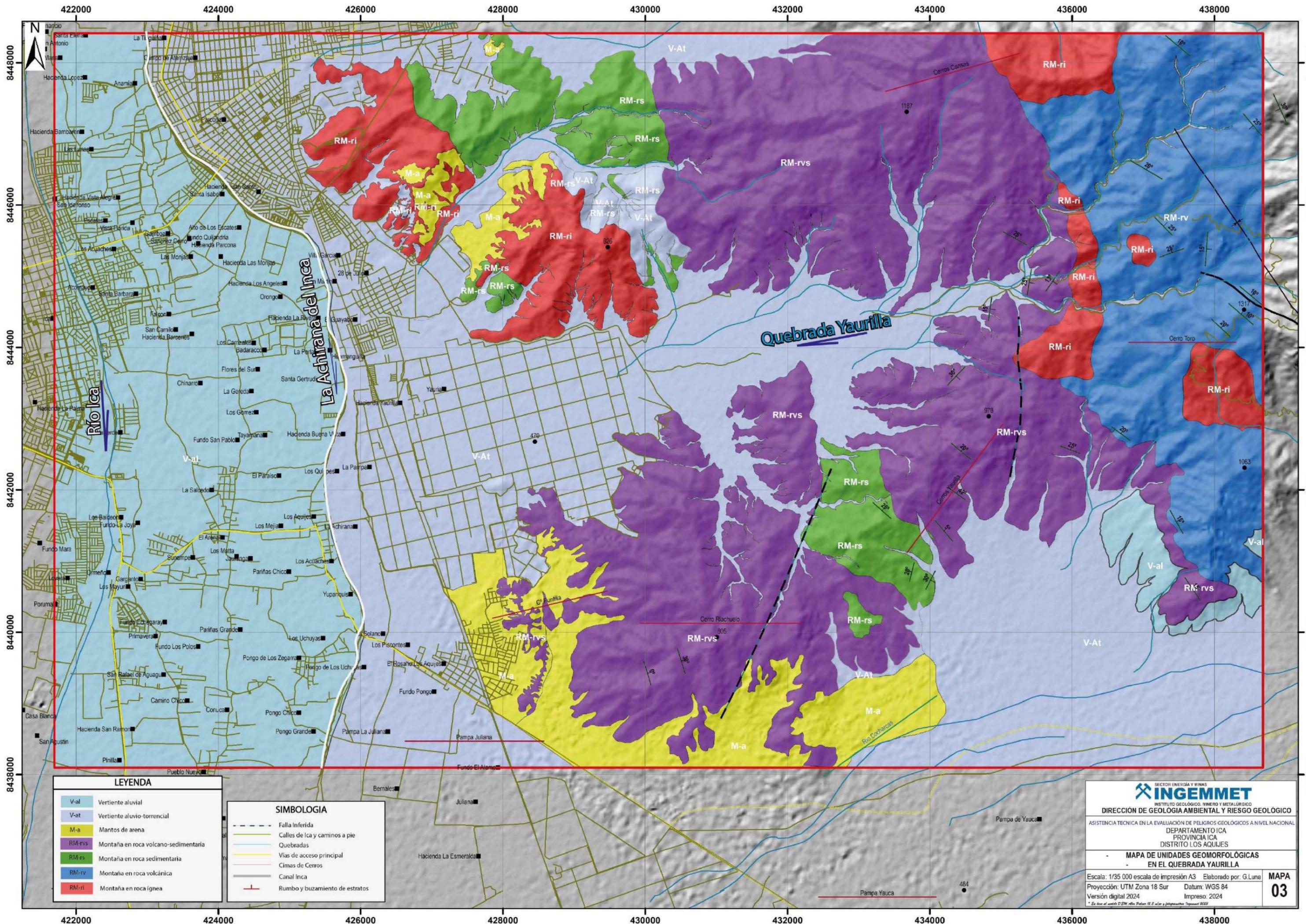
Leyenda	
Rango	Superficie Topográfica
0° - 1°	Terreno llano
1° - 5°	Terreno inclinado con pendiente suave
5° - 15°	Pendiente moderada
15° - 25°	Pendiente fuerte
25° - 45°	Pendiente muy fuerte o escarpada
>45°	terreno muy escarpado

SIMBOLOGIA	
	Falla Inferida
	Calles de Ica y caminos a pie
	Quebradas
	Vías de acceso principal
	Cimas de Cerros
	Canal Inca
	Rumbo y buzamiento de estratos


SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 ASISTENCIA TÉCNICA EN LA EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL
 DEPARTAMENTO ICA
 PROVINCIA ICA
 DISTRITO LOS AQUIJES

MAPA DE PENDIENTES DEL TERRENO EN EL QUEBRADA YAURILLA

Escala: 1/35 000 escala de impresión A3 Elaborado por: G. Luna **MAPA 02**
 Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84
 Versión digital 2024 Impreso: 2024



LEYENDA

V-al	Vertiente aluvial
V-at	Vertiente aluvio-torrencial
M-a	Mantos de arena
RM-rvs	Montaña en roca volcano-sedimentaria
RM-rs	Montaña en roca sedimentaria
RM-rv	Montaña en roca volcánica
RM-ri	Montaña en roca ígnea

SIMBOLOGIA

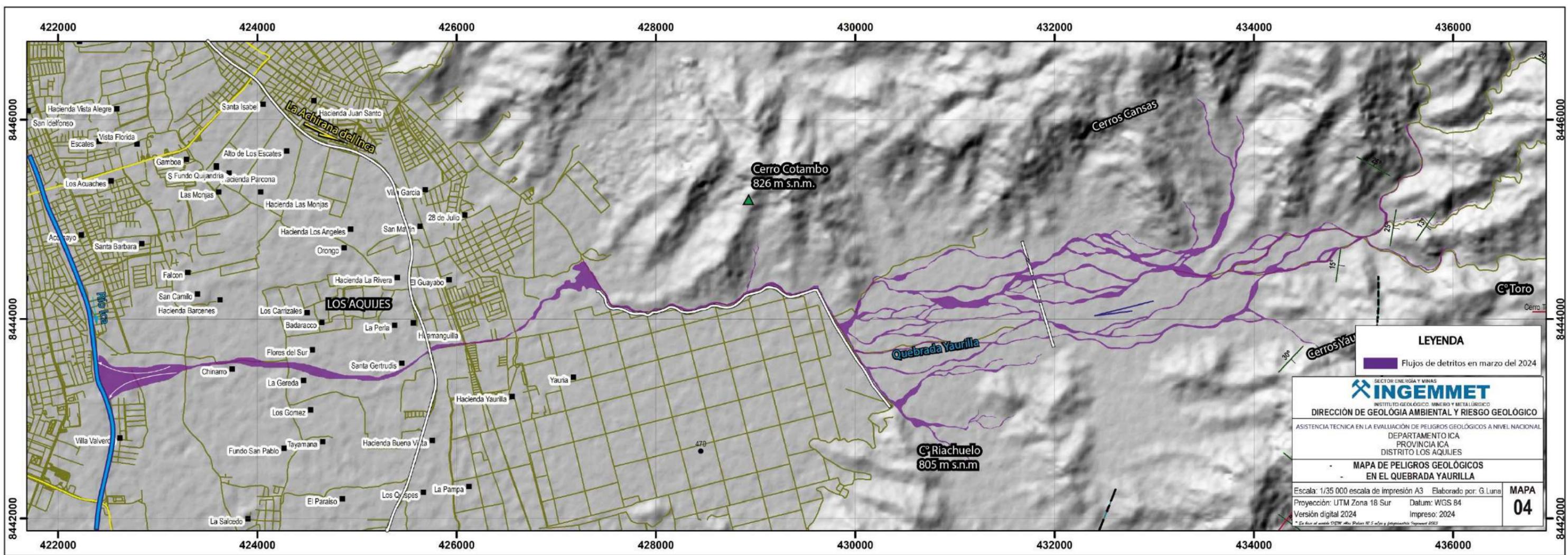
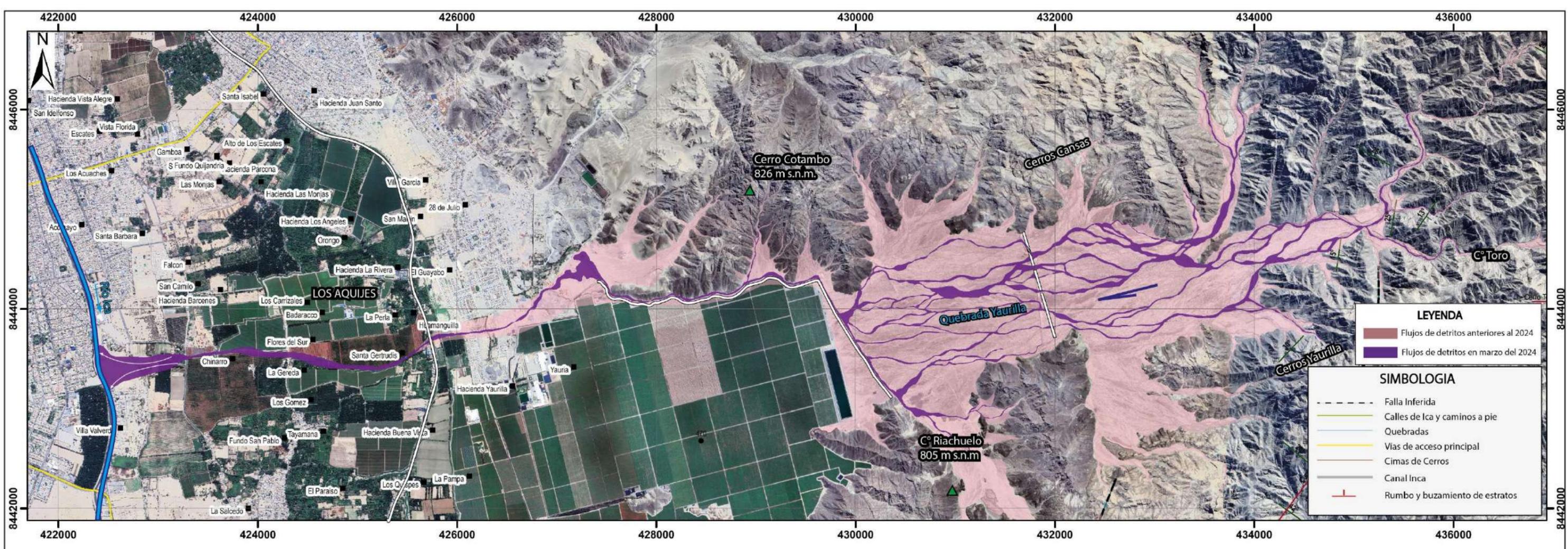
- - - -	Falla Inferida
—	Calles de Ica y caminos a pie
—	Quebradas
—	Vías de acceso principal
—	Cimas de Cerros
—	Canal Inca
—	Rumbo y buzamiento de estratos

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 ASISTENCIA TÉCNICA EN LA EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL
 DEPARTAMENTO ICA
 PROVINCIA ICA
 DISTRITO LOS AQUIJES

MAPA DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS EN EL QUEBRADA YAURILLA

Escala: 1/35 000 escala de impresión A3 Elaborado por: G. Luna
 Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84
 Versión digital 2024 Impreso: 2024

MAPA 03



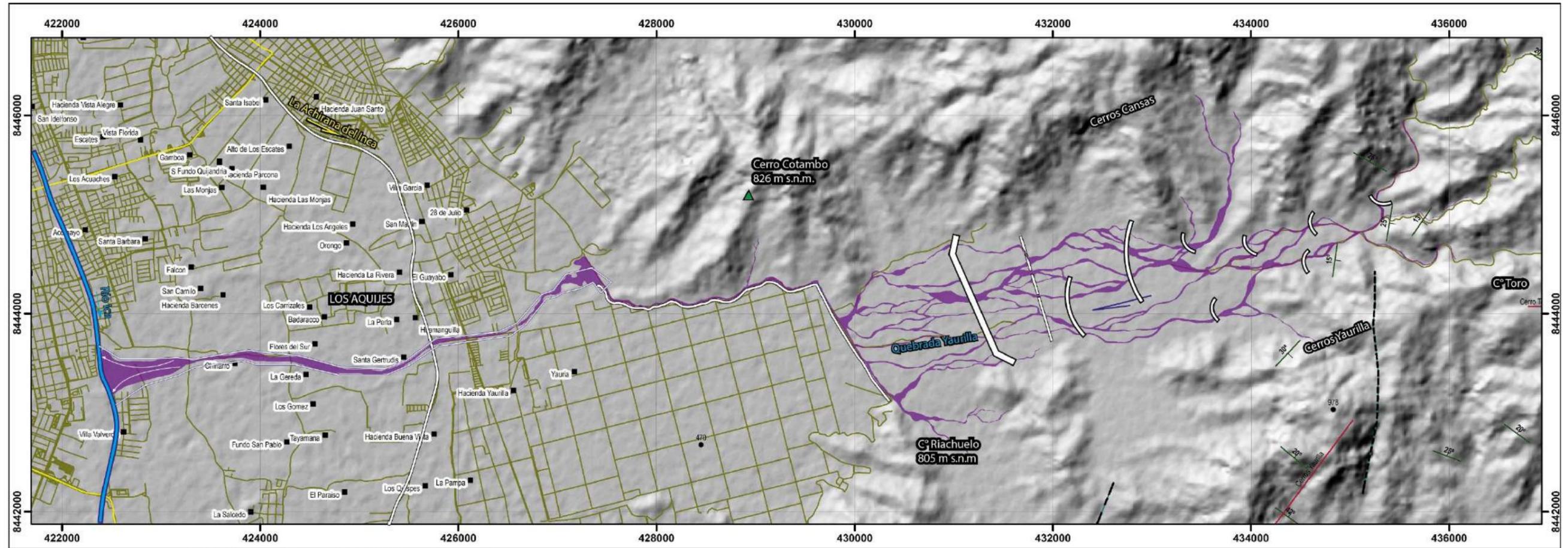


Figura 23. Obras de mitigación referenciales en la quebrada Yaurilla.

