

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7545

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA LADERA OESTE DEL CENTRO POBLADO DE TICRAPO

Departamento: Huancavelica
Provincia: Castrovirreyna
Distrito: Ticrapo



OCTUBRE
2024

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA LADERA OESTE DEL CENTRO POBLADO DE TICRAPO

Distrito Ticrapo, Provincia Castrovirreyna, Departamento Huancavelica.



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

Equipo Técnico:

Angel Gonzalo Luna Guillen

Segundo Alfonso Núñez Juárez

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (2024). "Evaluación de peligros geológicos en la ladera oeste del centro poblado Ticrapo Distrito Ticrapo, Provincia Castrovirreyna, Departamento Huancavelica: Ingemmet, Informe Técnico N°A7545, 69 p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Objetivos del estudio	3
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	3
1.3. Aspectos generales.....	7
1.3.1. Ubicación	7
1.3.2. Población	7
1.3.3. Accesibilidad	7
1.3.4. Clima	8
2. DEFINICIONES	11
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	13
3.1. Unidades litoestratigráficas.....	13
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	21
4.1. Pendientes del terreno	21
4.2. Unidades geomorfológicas.....	21
4.2.1. Subunidad de Montaña en roca volcano-sedimentaria (RM-rvs):	21
4.2.2. Subunidad de Montaña en roca sedimentaria (RM-rs):.....	22
4.2.3. Subunidad de vertiente coluvial (V-c):.....	22
4.2.4. Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd):	22
4.2.5. Subunidad de vertiente aluvio-torrencial (V-at):.....	22
4.2.6. Abanico proluvial (Ab-pl)	23
4.2.7. Planicie inundable (P-i)	23
4.2.8. Terraza aluvial (T-al).....	23
4.2.9. Cárcavas (Ca).....	23
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	25
5.1. Deslizamientos	25
5.1.1. Deslizamiento Inactivo relicto (Dr-re):.....	26
5.1.2. Deslizamiento Inactivo latente (Dr-l-la):	27
5.1.3. Deslizamiento suspendido (Dr-s):	28
5.1.4. Deslizamiento activo (Da):	29
5.2. Derrumbes.....	45
5.3. Flujo de detritos.....	47
6. OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS	48
6.1. Cárcavas	48
7. Factores condicionantes y desencadenantes	52

7.1.	Factores condicionantes.....	52
7.2.	Factores detonantes desencadenantes	53
8.	CONCLUSIONES.....	56
9.	RECOMENDACIONES.....	58
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	61
	ANEXO 1: MAPAS.....	62

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por deslizamientos, derrumbes, flujo de detritos y erosión en cárcavas en ladera oeste del centro poblado Ticrapo, distrito de Ticrapo, provincia Castrovirreyna y departamento Huancavelica. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualización, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

En el área de estudio afloran rocas sedimentarias y volcánicas: areniscas cuarzosas de la Formación Labra, lutitas negras deleznable y andesitas porfíricas con fuerte grado de fracturamiento y meteorización media a alta de la Formación Tantará. Geotécnicamente, los afloramientos de andesita se consideran rocas duras (resistencia de 50 – 100 Mpa, mediante el método de golpe con martillo), pero debido a la meteorización y grado de fracturamiento esta resistencia se ve disminuida. Las lutitas se considera rocas muy blandas (deleznable bajo el golpe de martillo, con una resistencia de 1 a 5 Mpa).

El principal depósito Cuaternario es el coluvio-deluvial, conformado por una mezcla heterogénea de materiales sueltos, como bloques angulosos, gravas, arenas y suelos finos (matriz areno-limosa) medianamente saturados.

La principal subunidad geomorfológica relacionada a los movimientos en masa es la vertiente con depósito de deslizamientos, adosada a la ladera oeste de las montañas en roca sedimentaria, volcánica y volcano-sedimentaria (pendientes entre 45° y 60°). Esta vertiente presenta un relieve irregular, con pendientes mayoritariamente fuertes de 25° y escarpadas de hasta 35°, junto con saltos verticales (escarpes) de movimientos en masa recientes que alcanzan los 65°. Otras geoformas reconocidas en la ladera corresponden a vertientes coluviales y cárcavas.

Geodinámicamente, la ladera oeste de Ticrapo presenta registro de movimientos en masa y procesos de erosión de laderas, así se tienen registros bibliográficos de la ocurrencia de 06 deslizamientos rotacionales, 03 derrumbes, 02 flujo de detritos y 03 procesos de erosión de laderas. Estos son indicadores de la geodinámica activa en el área evaluada.

A la fecha, realizando trabajos de campo y levantamiento aerofotogramétrico se han identificado 29 deslizamientos rotacionales (06 activos, 03 suspendidos, 15 inactivos latentes y 05 inactivos relictos), 13 derrumbes activos, 12 evidencias de flujos de detritos pasados y 03 quebradas con evidencias recientes de flujos de detritos, además de procesos de erosión (15 cárcavas).

Se considera que los principales factores condicionantes para la ocurrencia de movimientos en masa son las características litológicas: rocas de mala calidad con altos grados de fracturamiento y meteorización, la presencia de depósitos inconsolidados de tipo coluvio-deluvial, con baja cohesión y grado medio de saturación; las pendientes del terreno que permiten que el material suelto disponible se erosione y remueva fácilmente y factores antrópicos como la actividad agrícola, la presencia de canales de riego revestido con falta de mantenimiento y canales no revestidos que favorecen la infiltración de agua al terreno, aumentando la presión de poros y disminuyendo la resistencia de los depósitos.

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el área de inspección, se encuentran en **Peligro Alto** ante la ocurrencia de movimientos en masa; los cuales pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas y/o por sismos.

Finalmente, se brinda algunas recomendaciones correctivas generales a fin de que las autoridades competentes lo pongan en práctica como son: mantenimiento y revestimiento completo del canal de riego principal para evitar filtraciones que saturan el suelo, entre otras.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) el “Servicio de asistencia técnica en 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 (movimientos en masa) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de Ticrapo, según Oficio N° 205-2024-MDT/A; es en el marco de nuestras competencias que se realiza la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en la ladera oeste del centro poblado Ticrapo.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los ingenieros geólogos Angel Gonzalo Luna Guillen y Segundo Alfonso Núñez Juárez, para realizar la evaluación de peligros geológicos, los días 25 y 26 de agosto del año en curso. Los trabajos de campo se realizaron en coordinación con los representantes de la Municipalidad Distrital de Ticrapo y la Subgerencia de Riesgo de Desastres de dicha municipalidad y autoridades locales del Centro Poblado Ticrapo

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: etapa de pre-campo con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET; etapa de campo a través de la observación, toma de datos (sobrevuelos drone, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de población local afectada; 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 de la Municipalidad Distrital de Ticrapo 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. A fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa en ladera oeste del sector de Ticrapo.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes de la ocurrencia de peligros geológicos.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados.

1.2. 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), así como reportes que señalan la existencia de movimiento en masa en el sector de estudio, de los cuales destacan los siguientes:

- A) Informe técnico N° A6585 – Ingemmet – Deslizamientos en el tramo de carretera Ticrapo – Chacolla – Castrovirreyna progresivas 39+450 al 44 +200 (Vílchez & Ochoa et al., 2011) Este informe detalla la ocurrencia de un deslizamiento traslacional ubicado a aproximadamente 250 metros de la ladera inspeccionada. Se proporciona un resumen de las unidades litoestratigráficas circundantes, que incluyen lutitas lacustres diagenizadas, así como depósitos coluvio-deluviales. También se examinan las características geodinámicas históricas y procesos erosionales previos, que han contribuido a la formación y dinámica del terreno actual. Estas condiciones pasadas, incluyendo la influencia de la vegetación y meteorización y grado de fracturamiento de las rocas, que están directamente relacionadas con la configuración geomorfológica actual y los deslizamientos observados (figura 1).
- B) Boletín N°98, Serie A, Carta Geológica: “Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Guadalupe (28-l), Huancapi (28-ñ), Chincheros (28-o),Castrovirreyna (27-m), San Miguel (27-o), Tupe (26-l), Conaica (26-m), Huarochirí (25-k),Yauyos (25-l) y Huancayo (25-m)” (Quispesivana *et al.*, 2003). Donde se describen las subunidades de la Formación Tantarà tanto miembros volcánicos como volcánico- sedimentarios.
- C) Boletín N°70, Serie A, Carta Geológica: Geología de los cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conayca, Chíncha, Tantarà y Castrovirreyna. Hojas: 26-j, 26-k, 26-l, 26-m, 27-k, 27-l, 27-m - [Boletín A 44 ” (Salazar *et al.*, 1983). Describe que la Formación Tantarà está compuesta por derrames andesíticos, riódacíticos y dacíticos de color gris y pardo violáceo; con textura porfírica y a veces afaníticas. En forma subordinada y esporádica presentan intercalaciones de brechas andesíticas a dacíticas y tobas andesíticas a riolíticas; también se encuentran delgados horizontes de limolita, arenisca con material volcánico y aglomerados volcánicos con fragmentos pequeños de andesitas y dacitas En conjunto la secuencia muestra pseudo estratificación en capas medianas a gruesas con cierta lenticularidad.

D) Consulta en la página web del Geocatmin 2024, <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/main>. La base de datos de GEOCATMIN revela evidencia histórica de peligros geológicos y otros peligros en la ladera oeste del Ticrapo (Tabla 1). Se observa el registro de 06 deslizamientos rotacionales, con un grado de peligro que varía de medio a alto y una vulnerabilidad que oscila entre alta y muy alta. Además, se han documentado 03 derrumbes, clasificados con un peligro medio y una vulnerabilidad alta. También se han registrado 02 flujos de detritos, que presentan un peligro alto y una vulnerabilidad alta. Finalmente, se identifican 03 procesos de erosión de laderas, conocidos como carcavamientos, con un grado de peligro medio y una vulnerabilidad alta. Esta información subraya la elevada susceptibilidad de la ladera Este del Ticrapo a diversos tipos de eventos geológicos y destaca la necesidad de medidas adecuadas de gestión y mitigación de riesgos.

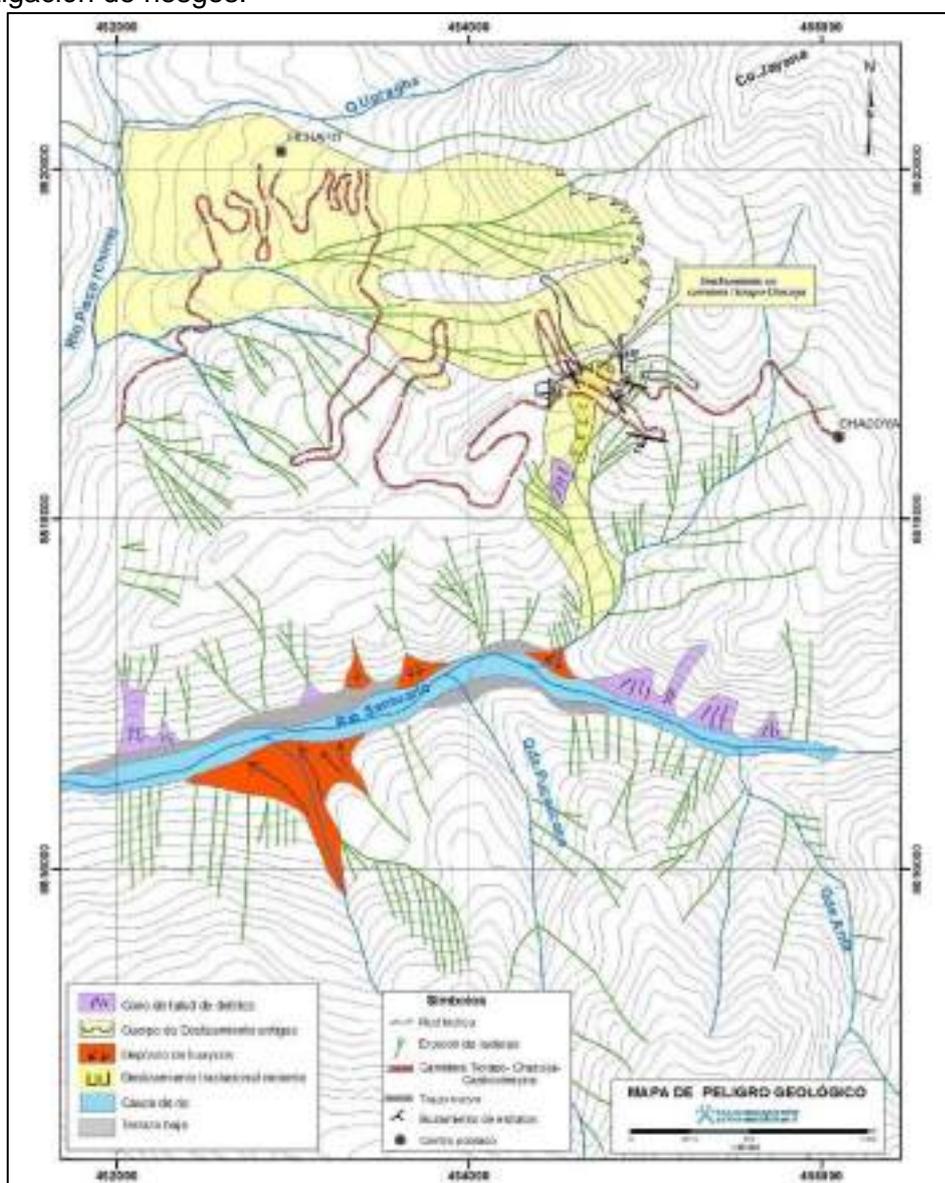


Figura 1: Mapa de movimientos en masa elaborado el 2011. Muestra de manera general la cartografía de 02 deslizamientos antiguos en el sector Ticrapo (Vílchez et al., 2011).

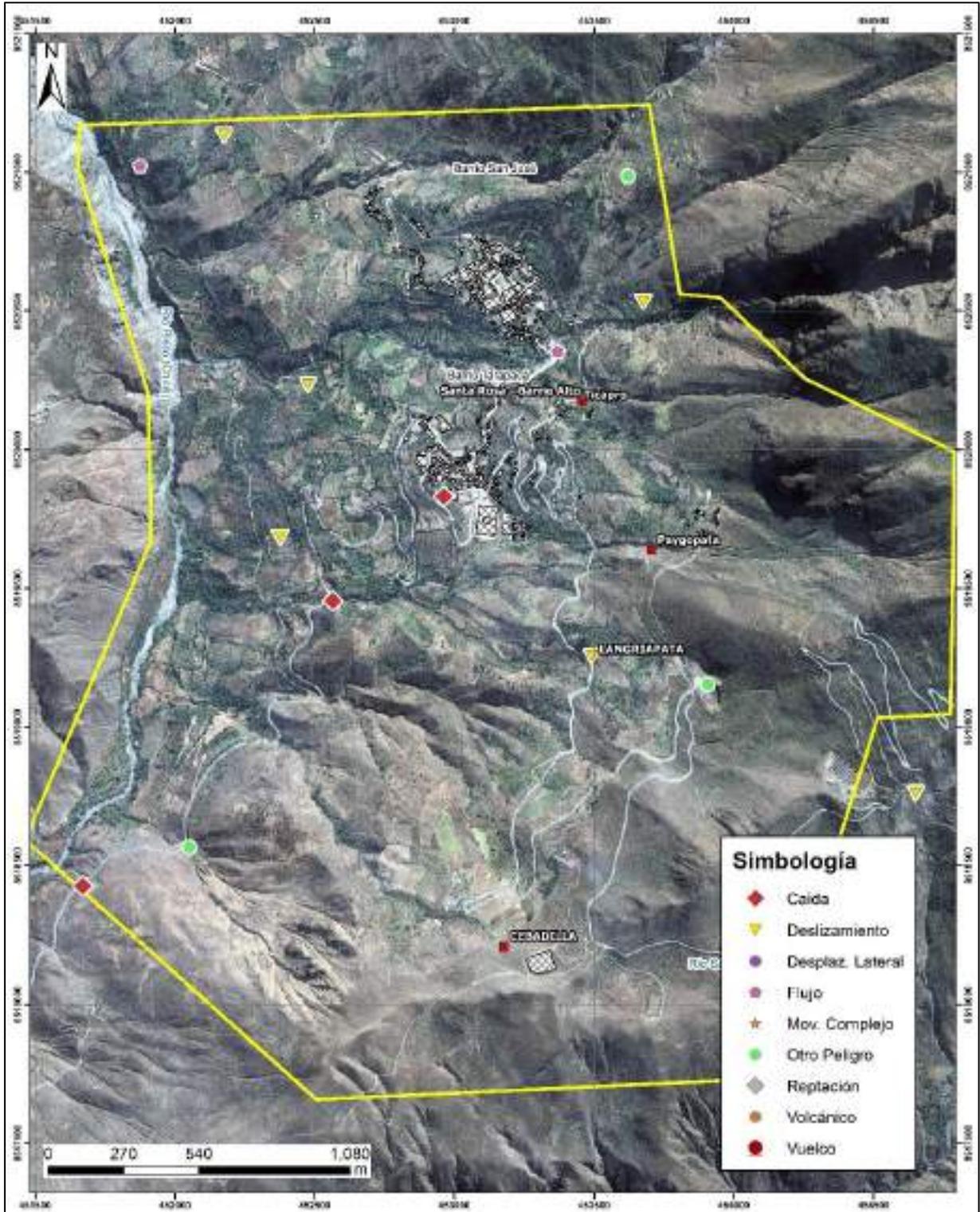


Figura 2: Mapa de movimientos en masa y otros peligros geológicos (erosión de laderas) registrados en la ladera oeste de Ticrapo (Fuente :<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/main>)

Tabla 1. Movimientos en masa y otros peligros geológicos (erosión de laderas) registrados en la ladera oeste de Ticrapo (Fuente :<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/main>)

PROYECTO	NORTE	ESTE	TIPO DE PELIGRO	PELIGRO ESPECIFICO	GRADO DE PELIGRO	GRADO DE VULNERABILIDAD	AUTOR	PARAJE
Estudio Riesgos Geológicos - Franjas 1,2,3,4	8520234	452477	Deslizamiento	Deslizamiento Rotacional	Medio	Alto	INGEMMET. Dirección de Geotecnia	Ticrapo
Estudio Riesgos Geológicos - Franjas 1,2,3,4	8519256	453493	Deslizamiento	Deslizamiento Rotacional	Alto	Muy Alto	INGEMMET. Nuñez, S. / Villacorta, S./Martinez, E; 2002	Jecapuquio
Estudio Riesgos Geológicos - Franjas 1,2,3,4	8520534	453677	Deslizamiento	Deslizamiento Rotacional	Medio	Alto	INGEMMET. Dirección de Geotecnia	Ticrapo
Estudio Riesgos Geológicos - Franjas 1,2,3,4	8521134	452177	Deslizamiento	Deslizamiento Rotacional	Alto	Muy Alto	INGEMMET - 1980-	Pueblo de Ticrapo
Estudio Riesgos Geológicos - Franjas 1,2,3,4	8519454	452565	Caída	Derrumbe	Medio	Alto	INGEMMET. Nuñez, S. /Martinez, E./ Villacorta, S. 2002	Margen izquierda del Río Pisco.
Estudio Riesgos Geológicos - Franjas 1,2,3,4	8521022	451877	Flujo	Flujo de Detrito	Medio	Alto	INGEMMET. Nuñez, S. / Villacorta, S./Martinez, E; 2002	Quebrada CuchiHUAYCO
Estudio Riesgos Geológicos - Franjas 1,2,3,4	8520354	453370	Flujo	Flujo de Detrito	Medio	Alto	INGEMMET. Nuñez, S. / Villacorta, S./Martinez, E; 2002	Quebrada Upragna
Estudio Riesgos Geológicos - Franjas 1,2,3,4	8519684	452377	Deslizamiento	Deslizamiento Rotacional	Medio	Alto	INGEMMET. Nuñez, S. / Villacorta, S./Martinez, E; 2003	Ticrapo
Estudio Riesgos Geológicos - Franjas 1,2,3,4	8519832	452963	Caída	Derrumbe	Medio	Alto	INGEMMET. Nuñez, S. / Villacorta, S./Martinez, E; 2002	Ticrapo
Estudio Riesgos Geológicos - Franjas 1,2,3,4	8518566	452052	Otro Peligro	Erosión de Ladera	Medio	Alto	INGEMMET. Nuñez, S. /Martinez, E./ Villacorta, S. 2002	
Estudio Riesgos Geológicos - Franjas 1,2,3,4	8518427	451672	Caída	Derrumbe	Medio	Alto	INGEMMET. Nuñez, S. /Martinez, E./ Villacorta, S. 2002	Río Pisco
Estudio Riesgos Geológicos - Franjas 1,2,3,4	8519154	453907	Otro Peligro	Erosión de Ladera	Bajo	Medio	INGEMMET. Nuñez, S. / Villacorta, S./Martinez, E; 2002	Buena Vista
Estudio Riesgos Geológicos - Franjas 1,2,3,4	8520985	453622	Otro Peligro	Erosión de Ladera	Bajo	Medio	Ingemmet, 1980	
Mapas de Riesgo Geológico: Regiones Huancavelica, Ayacucho e Ica	8518762	454651	Deslizamiento	Deslizamiento Rotacional	Alto	Alto	Vílchez y Ochoa et al., 2011	Carretera Castrovirreyña-Huaytara/Co. Jayana

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

Políticamente, la zona inspeccionada se ubica en el distrito de Ticrapo, provincia Castrovirreyna, región Huancavelica (Figura 3), cuyas coordenadas UTM (WGS-84) que delimitan el área de trabajo se señala en la tabla 2.

Tabla 2. Coordenadas del área de estudio delimitada por 14 vértices.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Sur	Latitud	Longitud
A	451480.656	8518589.22	-13.399963°	-75.448149°
B	452507.204	8517657.33	-13.408406°	-75.438683°
C	454207.155	8517736.71	-13.407715°	-75.422980°
D	454207.155	8518054.21	-13.404844°	-75.422975°
..E	454507.591	8519010.44	-13.396202°	-75.420185°
..F	454776.010	8519046.40	-13.395881°	-75.417705°
..G	454789.239	8519992.29	-13.387329°	-75.417568°
..H	453961.554	8520539.15	-13.382371°	-75.425204°
..I	453806.972	8520561.14	-13.382170°	-75.426631°
..J	453697.831	8521242.44	-13.376008°	-75.427628°
..K	451657.228	8521169.68	-13.376633°	-75.446475°
..L	451653.921	8521010.93	-13.378068°	-75.446508°
..M	451905.275	8520203.95	-13.385369°	-75.444200°
..N	451915.197	8519671.48	-13.390184°	-75.444118°

1.3.2. Población

Según el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, el centro poblado de Ticrapo entre sus barrios Santa Rosa, San José y Tarapacá, identificada con código de ubigeo: 0904130001 presenta una población censada de 280 habitantes, distribuidos en un total de 300 viviendas particulares. (Fuente: <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>)

Tabla 3: Distribución poblacional en el distrito Mi Perú

DISTRITO	POBLADO	POBLACIÓN	VIVIENDAS
Ticrapo	Ticrapo	280	300

1.3.3. Accesibilidad

El acceso se realizó por vía terrestre desde la sede central de Ingemmet, mediante la siguiente ruta (tabla 4):

Tabla 4. Ruta de acceso

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – San Clemente – Ticrapo.	Asfaltada/Trocha carrozable	401	6.5 horas

1.3.4. Clima

Según el mapa de clasificación climática del Perú (SENAMHI, 1988), entre los 2000 y 4000 m s.n.m. (altitudes entre las que se encuentra la zona de estudio), se tienen los siguientes climas:

- E(d) B'1H3: Zona desértica semicálida, con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año, con humedad relativa, comprendida entre los 0 y 2000 m s.n.m.
- C(o,i,p)B'2H3: Zona semidesértica, templada, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa considerada como húmeda; comprendida entre los 2000 y 3000 m s.n.m. En esta zona se ubica puntualmente la zona de estudio.
- C(o,i,p)C'H3: Zona de clima frío, semiseco, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como húmeda, comprendida entre los 3000 y 4000 m s.n.m.
- B(i)D'H3: Zona de clima semifrío, lluvioso, con deficiencia de lluvia en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda. Se localiza sobre los 4000 m s.n.m.

La vegetación presente en la zona es de tipo matorral desértico montano bajo subtropical; vegetación escasa y de tipo xerofítico. Durante la época de lluvias se desarrolla una cubierta temporal de hierbas efímeras, las especies cactáceas son escasas, y en las laderas pronunciadas de los cerros se tienen achupallas y la pacpa. En los cursos de agua, el monte ribereño está conformado por el sauce, aliso, chilcas y pájaro bobo (INRENA, 1995).

En cuanto a la cantidad de lluvia, según datos meteorológicos y pronóstico del tiempo del servicio de aWhere (que analiza los datos de 2 millones de estaciones meteorológicas virtuales en todo el mundo, combinándolos con datos raster y de satélite), la precipitación máxima registrada en el periodo enero 2020 – enero 2024 fue de 3.24 mm (figura 4).

La temperatura anual oscila entre un máximo de 30.0°C en verano y un mínimo de 5.0°C en invierno (figura 4). Así mismo, presenta una humedad promedio de 63.7% durante casi todo el año, (Servicio aWhere).

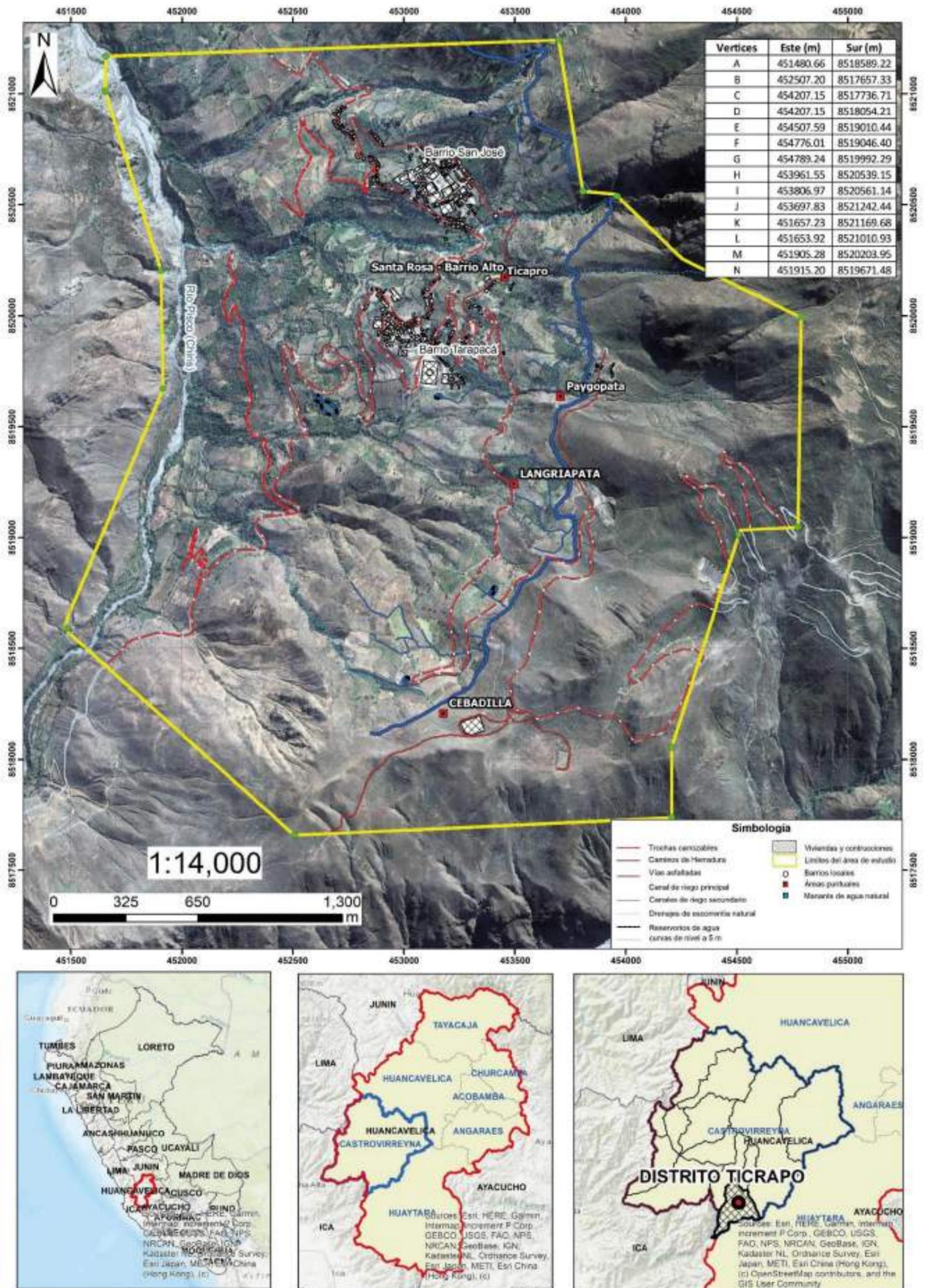


Figura 3: Ubicación del área de estudio.

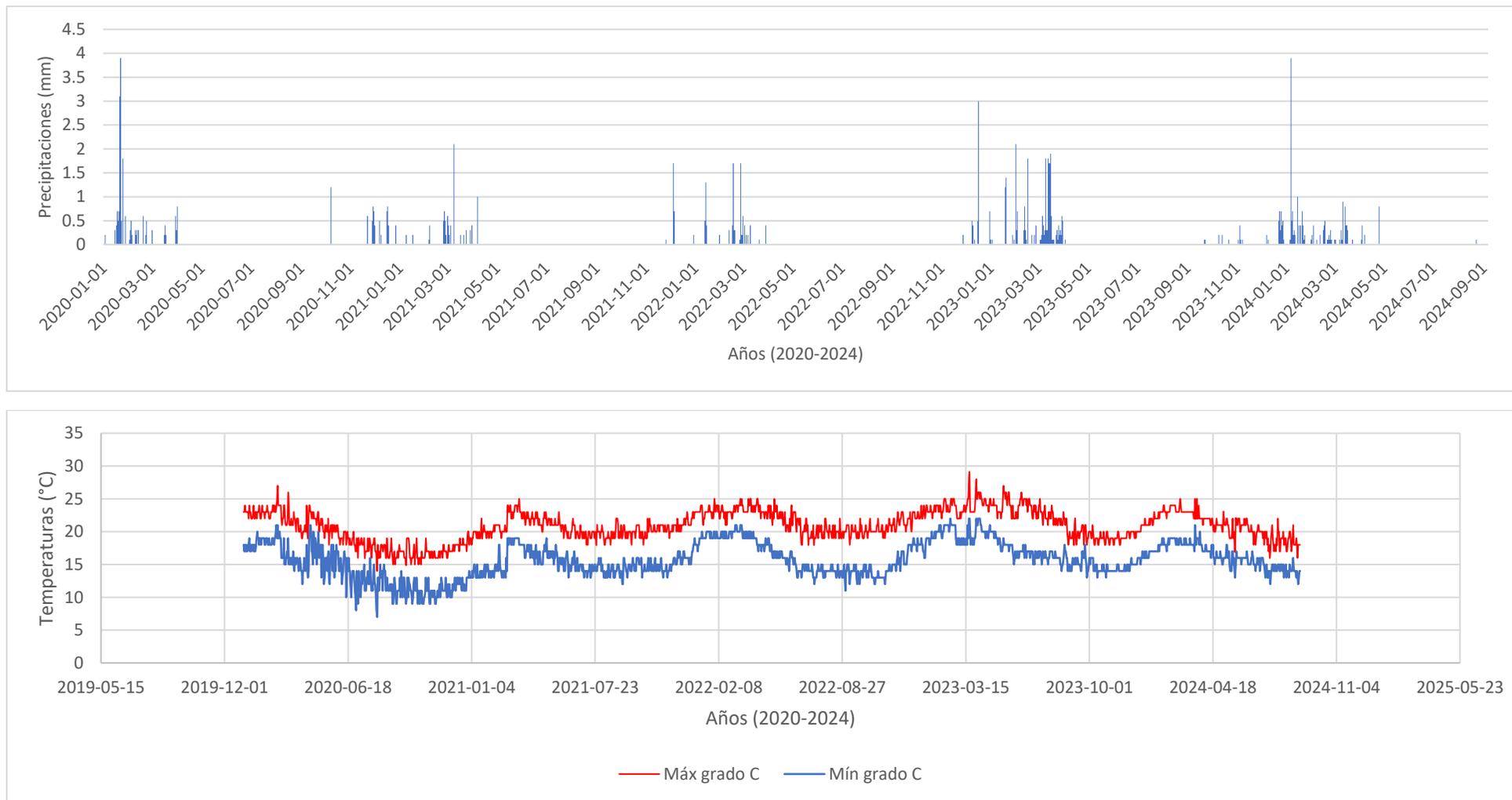


Figura 4. Precipitaciones máximas diarias en mm, distribuidas a lo largo del periodo 2020-2024. La figura permite analizar la frecuencia de las anomalías en las precipitaciones pluviales que inducen al desarrollo de la erosión del suelo y las temperaturas mínimas y máximas. Fuente: Landviewer, disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/10036911>.

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; es por ese motivo, considerando como base el libro de “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), se desarrolla algunas definiciones:

ACTIVIDAD: La actividad de un movimiento en masa se refiere a tres aspectos generales del desplazamiento en el tiempo de la masa de material involucrado: el estado, la distribución y el estilo de la actividad. El primero describe la regularidad o irregularidad temporal del desplazamiento; el segundo describe las partes o sectores de la masa que se encuentran en movimiento; y el tercero indica la manera como los diferentes movimientos dentro de la masa contribuyen al movimiento total. El estado de actividad de un movimiento en masa puede ser: activo, reactivado, suspendido, inactivo latente, inactivo abandonado, inactivo estabilizado e inactivo relicto (WP/WLI, 1993).

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

AGRIETAMIENTO: Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

ALUVIAL: Génesis de la forma de un terreno o depósito de material debida a la acción de las corrientes naturales de agua.

COLUVIAL: Forma de terreno o material originado por la acción de la gravedad.

CORONA Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento ladero abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

DERRUMBE: son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, que involucra desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros. se presentan en laderas de montañas de fuerte pendiente y paredes verticales a subverticales en acantilados de valles encañonados. También se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de diferentes tipos de rocas; así como en depósitos poco consolidados.

DESLIZAMIENTO: Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla (Cruden y Varnes, 1996). Según la forma de la superficie de falla se clasifican en traslacionales (superficie de falla plana u ondulada) y rotacionales (superficie de falla curva y cóncava).

ESCARPE Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa,

socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

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.

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: 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.

MOVIMIENTO EN MASA: Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. Los tipos más frecuentes son: caídas, deslizamientos, flujos, vuelcos, expansiones laterales, reptación de suelos, entre otros. Existen movimientos extremadamente rápidos (más de 5 m por segundo) como avalanchas y/o deslizamientos, hasta extremadamente lentos (menos de 16 mm por año) a imperceptibles como la reptación de suelos.

PELIGROS GEOLÓGICOS: Son procesos o fenómenos geológicos que podrían ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud. Daños a la propiedad, pérdida de medios de sustento y servicios, trastornos sociales y económicos o daños materiales. Pueden originarse al interior (endógenos) o en la superficie de la tierra (exógenos). Al grupo de endógenos pertenecen los terremotos, tsunamis, actividad y emisiones volcánicas; en los exógenos se agrupan los movimientos en masa (deslizamientos, aludes, desprendimientos de rocas, derrumbes, avalanchas, aluviones, huaicos, flujos de lodo, hundimientos, entre otros), erosión e inundaciones.

RETROGRESIVO: Tipo de actividad de un movimiento en masa, en el cual la superficie de falla se extiende en la dirección opuesta al movimiento del material desplazado (Cruden y Varnes, 1996).

SUSCEPTIBILIDAD: Está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un proceso de movimientos en masa determinado.

TALUD: Superficie artificial inclinada de un terreno que se forma al cortar una ladera, o al construir obras como por ejemplo un terraplén.

ZONA CRÍTICA: Lugar con un alto potencial de ocurrencia (periódica o excepcional) de uno o más peligros geológicos que pueden ser desencadenados principalmente por lluvias o sismos; y generar daños en los elementos expuestos.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La geología local está basada en el mapa geológico del Boletín N°98, Serie A, Carta Geológica: “Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Guadalupe(28-l), Huancapi (28-ñ), Chincheros (28-o),Castrovirreyna (27-m), San Miguel (27-o), Tupe (26-l), Conaica (26-m), Huarochirí (25-k),Yauyos (25-l) y Huancayo (25-m)” (Quispesivana et al., 2003). Y el boletín N°70, Serie A, Carta Geológica: Geología de los cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conayca, Chíncha, Tantarà y Castrovirreyna. Hojas: 26-j, 26-k, 26-l, 26-m, 27-k, 27-l, 27-m - [Boletín A 44 ” (Salazar et al., 1983).

Esta información se complementó con trabajos de interpretación de imágenes de satélite, vuelos de dron y observaciones de campo (figura 5).

3.1. Unidades litoestratigráficas

La unidad litológica que aflora en el área de estudio está conformada principalmente por la Formación Tantarà. Esta unidad se encuentra cubierta por depósitos recientes coluviales, y coluvio-deluviales, que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad (anexo 1: Mapa 01), estas se describen de manera cronológica en la tabla 5:

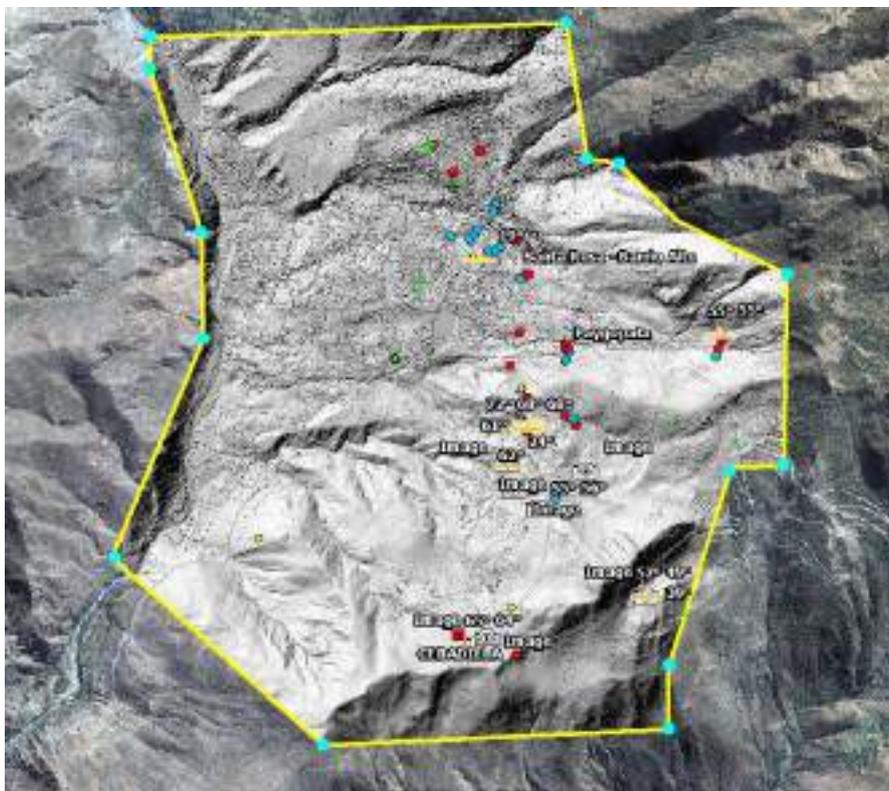


Figura 5: Muestra el área de inspección en la ladera oeste de Ticrapo y los puntos de observación.

Tabla 5. Descripción de las unidades litoestratigráficas en el área de estudio

EDAD			UNIDAD ESTRATIGRÁFICA		
ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN LOCAL
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósito coluvio-deluvial	Qh-cd	El depósito coluvio-deluvial en la ladera oeste de Ticrapo, está conformado principalmente por depósitos de deslizamientos antiguos, compuestos por una mezcla heterogénea de materiales sueltos, como bloques angulosos, gravas, arenas y suelos finos (matriz arenolimoso) medianamente saturado. Estos sedimentos se movilizaron por efecto combinado de la gravedad y el arrastre superficial, provocado por el agua, en respuesta a eventos de precipitaciones intensas y/o saturación del terreno, generando depósitos caóticos, con acumulaciones de material desplazado desde la parte superior de la ladera (menor espesor de depósito) hacia zonas de menor pendiente en la parte media y baja (mayor espesor de depósitos). Ver fotografías 5-7.
			Depósito coluvial	Qh-co	El depósito coluvial en la ladera oeste de Ticrapo, está presente principalmente en las paredes de las quebradas y parte intermedia de la ladera, donde se observan bloques de roca andesítica caídos, con diámetros de hasta 3 m (fotografía 8) y derrumbes, compuesto por material suelto y heterogéneo, como bloques angulosos, gravas y suelos finos, que se desplazaron por efecto de la gravedad. Estos depósitos se formaron como resultado de la meteorización y fragmentación de las rocas in situ y desestabilización de los depósitos coluvio-deluviales, acompañados por procesos de deslizamientos lentos, acumulándose de manera irregular en las pendientes moderadas y fuertes.
			Depósito aluvial	Qh-al	El depósito aluvial en las márgenes del río Pisco está compuesto por sedimentos transportados y depositados por la corriente fluvial, con una granulometría que varía desde arenas finas hasta gravas y cantos subredondeados. La disposición estratificada y bien seleccionada de los materiales refleja la acción del río en su curso, donde la energía de la corriente disminuye, permitiendo que los sedimentos se depositen en los márgenes. Estos depósitos están asociados a la formación de terrazas.
			Depósito proluvial	Qh-pl	El depósito proluvial en la ladera oeste de Ticrapo está compuesto por bloques angulosos y gravas, característicos de procesos de transporte rápido asociados a corrientes de agua cargadas de

	PALEÓGENO			sedimentos. La mezcla de material grueso, como bloques y gravas (de andesitas, areniscas y lutitas), sugiere eventos de alta energía, típico de flujos proluviales provenientes desde la ladera oeste. Estos depósitos forman abanicos en las zonas bajas de la ladera, donde la corriente pierde velocidad, permitiendo la acumulación de los sedimentos más pesados.
		Formación Tantar 1	P-t1	Conformado por flujos andesíticos a dacíticos porfíricos, grises a violáceos (fotografía 3). Litológicamente, las andesitas en el área se caracterizan por su composición intermedia, con feldespato y plagioclasa predominantes (fotografía 4), y minerales como hornblenda y piroxeno. Estas rocas presentan un fuerte fracturamiento y una meteorización media a alta, lo que resulta en una estructura quebradiza y parcialmente inestable. Afloran en la parte alta de la ladera, por encima del centro poblado Ticrapo. Teniendo en cuenta la resistencia de la roca esta se considera “roca dura” (se necesita más de un golpe de martillo de geólogo para romper la roca 50- 100 Mpa).
		Formación Tantar 2	P-t2	Conformado por lutitas negras deleznales. Estas rocas presentan una dirección de buzamiento de 160° y un buzamiento de 50°, inclinación significativa en la dirección del plano de estratificación. Están altamente fracturadas a deleznales y altamente meteorizadas, lo que las hace susceptibles a la inestabilidad. La combinación de su estructura fracturada y su estado meteorizado, incrementa la propensión de estas rocas a la erosión y los deslizamientos, contribuyendo a la fragilidad y peligro en la zona (fotografía 1). Estas rocas afloran al sur del área de inspección, en la parte media y alta de la ladera. Geotécnicamente se considera roca muy blanda (deleznable bajo golpes de martillo 1 -5 Mpa).
MESOZOICO	JURÁSICO SUPERIOR Y MEDIO	Formación Labra	Js-la	Conformado por areniscas cuarzosas gris blanquecinas, intercaladas con areniscas calcáreas, se observan al extremo sur del área de estudio. Se presentan medianamente fracturadas con un espaciamiento regular entre fracturas de 0.5 -1 m, y moderadamente meteorizadas con menos de la mitad del material rocoso desintegrado. (figura 6). La dirección de los estratos es: N163°, buzamiento de: 44°.
Formación Cachios		Js.ca	Conformado por lutitas muy deleznales y areniscas con nódulos calcáreos. Se presenta en la margen derecha del río Pisco, no tiene incidencia en los movimientos en masa del presente estudio, su mención es bibliográfica, por abarcar parte del área de estudio.	



Figura 6: Areniscas cuarzosas gris blanquecinas, intercalados con areniscas calcáreas.
Coordenas WGS 84, 18s, X:452571; Y: 8517961



Fotografía 1: Lutitas negras deleznales de la Formación Tantará
Coordenas WGS 84, 18s, X: 453336; Y: 8518639



Fotografía 2: Lutitas negras deleznales de la Formación Tantará. Coordenas WGS 84, 18S, X: 453336; Y: 8518639



Fotografía 3: Lavas andesíticas, con grado de fracturamiento medio y meteorización media. Coordenas WGS 84, 18s, X: 454610, Y: 8519592.



Fotografía 4: Depósitos coluvio-deluviales en la ladera oeste de Ticrapo. Coordenas WGS 84, 18s, X: 453419, Y: 8519736.



Fotografía 5: Depósitos coluvio-deluviales en la ladera oeste de Ticrapo. Coordenas WGS 84, 18s, X: 453225, Y: 8519879.



Fotografía 6: Depósitos coluvio-deluviales en la ladera oeste de Ticrapo. Coordenas WGS 84, 18s, X: 453230, Y: 8520069.



Fotografía 7: Depósitos coluvio-deluviales, con bloques de roca caídos en la ladera oeste de Ticrapo. Coordenas WGS 84, 18s, X: 453515, Y: 8520132



Figura 7: Depósitos proluviales en la ladera oeste de Ticrapo (enmarcado en líneas rojas), Coordenas WGS 84, 18s, X: 453379, Y: 8520395.

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, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

En el anexo 1: Mapa 02, se presenta el mapa de pendientes elaborado en base a información del modelo de elevación digital (DEM) de 0.15 m de resolución, obtenido de sobrevuelos de dron.

De acuerdo a este mapa, en el área de inspección, se observa una variabilidad notable en las pendientes del terreno, que evidencia una diferenciación clara entre diversas zonas geomorfológicas. Los depósitos cuaternarios presentan pendientes mayoritariamente llano, suave y moderada, que van de 1° a 15°. Sin embargo, estas zonas se intercalan con áreas de pendientes fuertes (15°-25°) y escarpadas (25° a 45°), que corresponden a antiguos escarpes de deslizamientos y afloramientos de rocas.

La parte media y alta de la ladera conformada por afloramientos de roca, exhiben pendientes que varían desde escarpadas (25°-45°) hasta muy escarpadas (más de 45°). En la sección baja de esta misma ladera, las pendientes alcanzan máximos de 35°, mientras que, en la parte alta, las inclinaciones se elevan hasta 85°, creando un relieve extremadamente abrupto. Estas pendientes pronunciadas son también evidentes en las paredes de zonas de escarpes antiguos y paredes de quebradas y áreas de carcavamientos, donde se han registrado derrumbes incididos por la pendiente. La configuración del terreno en estas áreas escarpadas, junto con la exposición a procesos de erosión, contribuyen a una alta inestabilidad del suelo y roca, aumentando el peligro a la ocurrencia de deslizamientos y otros movimientos en masa (figura 8).

4.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio (Anexo 1: Mapa 03), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación con la erosión, denudación y sedimentación; además se usó como referencia el mapa geomorfológico regional a escala 1:250 000 elaborado por Ingemmet.

En la zona evaluada y alrededores se han diferenciado las siguientes geoformas (figura 8):

4.2.1. Subunidad de Montaña en roca volcano-sedimentaria (RM-rvs):

Estas montañas, que se elevan a 1200 metros sobre el nivel del río Pisco, se distinguen por su topografía extremadamente abrupta y compleja. Conformadas por la intercalación de rocas volcánicas y sedimentarias (andesitas y lutitas) de la Formación Tantará. Presentan pendientes que varían de escarpadas a muy escarpadas, con ángulos que oscilan entre 25° y más de 45°, alcanzando máximos medidos de hasta 85° en algunos puntos.

Esta montaña presenta laderas verticales y paredes casi perpendiculares que definen un relieve extremadamente irregular. Este terreno escarpado genera un paisaje áspero, con secciones de roca expuesta que dominan el entorno superior de la ladera. Además, la montaña está disectada por cárcavas.

4.2.2. Subunidad de Montaña en roca sedimentaria (RM-rs):

Estas montañas, que se elevan a 900 metros sobre el nivel del río Pisco, presentan una morfología contrastante en la parte sur del área de estudio, en comparación con las montañas volcano-sedimentarias en el área de estudio. En esta sección, las cimas son relativamente suaves, con pendientes máximas que alcanzan hasta 45°, aunque se observan excepciones en las paredes de las cárcavas inferiores, donde las pendientes pueden llegar hasta 60°.

La topografía en esta área se caracteriza por una transición de pendientes moderadas a escarpadas, creando un relieve más gradual en las cimas y más abrupto en las zonas disectadas por las cárcavas. La composición principal de estas montañas son lutitas y areniscas pertenecientes a las Formaciones Tantará y Labra.

4.2.3. Subunidad de vertiente coluvial (V-c):

La vertiente coluvial se presenta en las paredes de cárcavas y quebradas que disectan las montañas volcano-sedimentarias y sedimentarias. Se caracterizan por presentar pendientes de hasta 40°, con un relieve altamente fragmentado y dinámico. Esta área está formada por una mezcla de bloques rocosos caídos y detritos que se acumulan en capas irregulares y caóticas a lo largo de la ladera. Las características geomorfológicas incluyen una superficie desordenada, erosión intensa y acumulación de escombros, con formas del terreno irregulares y pequeñas terrazas. La vegetación es escasa debido a la inestabilidad del suelo, y el flujo de agua superficial intensifica la erosión de estas vertientes.

4.2.4. Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd):

La vertiente con depósitos de deslizamiento, fue generada por movimientos en masa antiguos relacionados con la geodinámica externa de la ladera de estudio, se encuentra adosado a la ladera oeste de la montaña volcano-sedimentaria y sedimentaria. Este terreno presenta un relieve irregular, con pendientes mayoritariamente fuertes de 25° y escarpadas de hasta 35°, junto escarpes de movimientos recientes que alcanzan los 65°. La morfología del cuerpo del deslizamiento principal es irregular y cóncava, con evidencias de procesos de erosión reciente. Estas características son típicas de un deslizamiento rotacional, donde se observa que el terreno se hunde hacia el interior del movimiento de masa, creando un perfil en forma de cuenco que refleja el colapso y la acumulación de material en la base del mismo.

4.2.5. Subunidad de vertiente aluvio-torrencial (V-at):

La vertiente aluvio-torrencial se observa en las quebradas, representa la superficie formada por la acumulación de material detrítico proveniente de flujos de detritos pasados. Su relieve está caracterizado por una disposición desordenada de escombros y sedimentos arrastrados, que reflejan la inclinación de la ladera y muestran una superficie irregular adaptada al perfil de la pendiente original.

4.2.6. Abanico proluvial (Ab-pl)

Los abanicos proluviales fueron generados por flujo de detritos antiguos en la parte baja y media de la ladera, margen izquierda del río Pisco. Presentan un relieve en forma de abanico, con pendientes suaves entre 1° y 10°. Estas resultaron de la acumulación de sedimentos arrastrados por flujos torrenciales, que, al disipar su energía en la base de la ladera, depositan una mezcla de gravas, arenas y limos en un patrón radial. La superficie muestra una estratificación que revela eventos de deposición pasados, con capas más gruesas en el centro y más finas hacia los bordes. La textura heterogénea y la presencia de canales de escorrentía indican la continua dinámica sobre estos abanicos, con signos de erosión en los bordes. Un abanico de estos se depositó en la parte media de la ladera donde se asentó parte de Ticrapo – Barrio San José.

4.2.7. Planicie inundable (P-i)

La planicie o llanura de inundación en ambas márgenes del río Pisco está compuesta predominantemente por arenas y gravas. Esta llanura presenta pendientes suaves, generalmente de menos de 2°, que facilitan la acumulación y redistribución de sedimentos durante la dinámica del río.

4.2.8. Terraza aluvial (T-al)

La terraza aluvial en ambas márgenes del río Pisco presenta alturas de hasta 3 m sobre el nivel del río y exhibe pendientes suaves que oscilan entre 1° y 5°. Esta topografía plana y ligeramente inclinada facilita la acumulación de sedimentos como arenas y gravas, resultado de la deposición fluvial durante eventos de inundación. La superficie de la terraza aluvial es uniforme y estable, caracterizada por una elevación moderada y un relieve que refleja la dinámica sedimentaria del río.

4.2.9. Cárcavas (Ca)

Las cárcavas se presentan en la ladera oeste de Ticrapo, cortando las montañas en rocas volcano-sedimentaria, sedimentaria, y vertiente con depósito de deslizamiento, generan surcos profundos de entre 3 y 5 m, que se extienden hasta la parte superior de la ladera. Estas cárcavas tienen paredes con pendientes de hasta 60°, creando una topografía abrupta y altamente irregular. La presencia de estas cárcavas contribuye a la inestabilidad de la ladera.

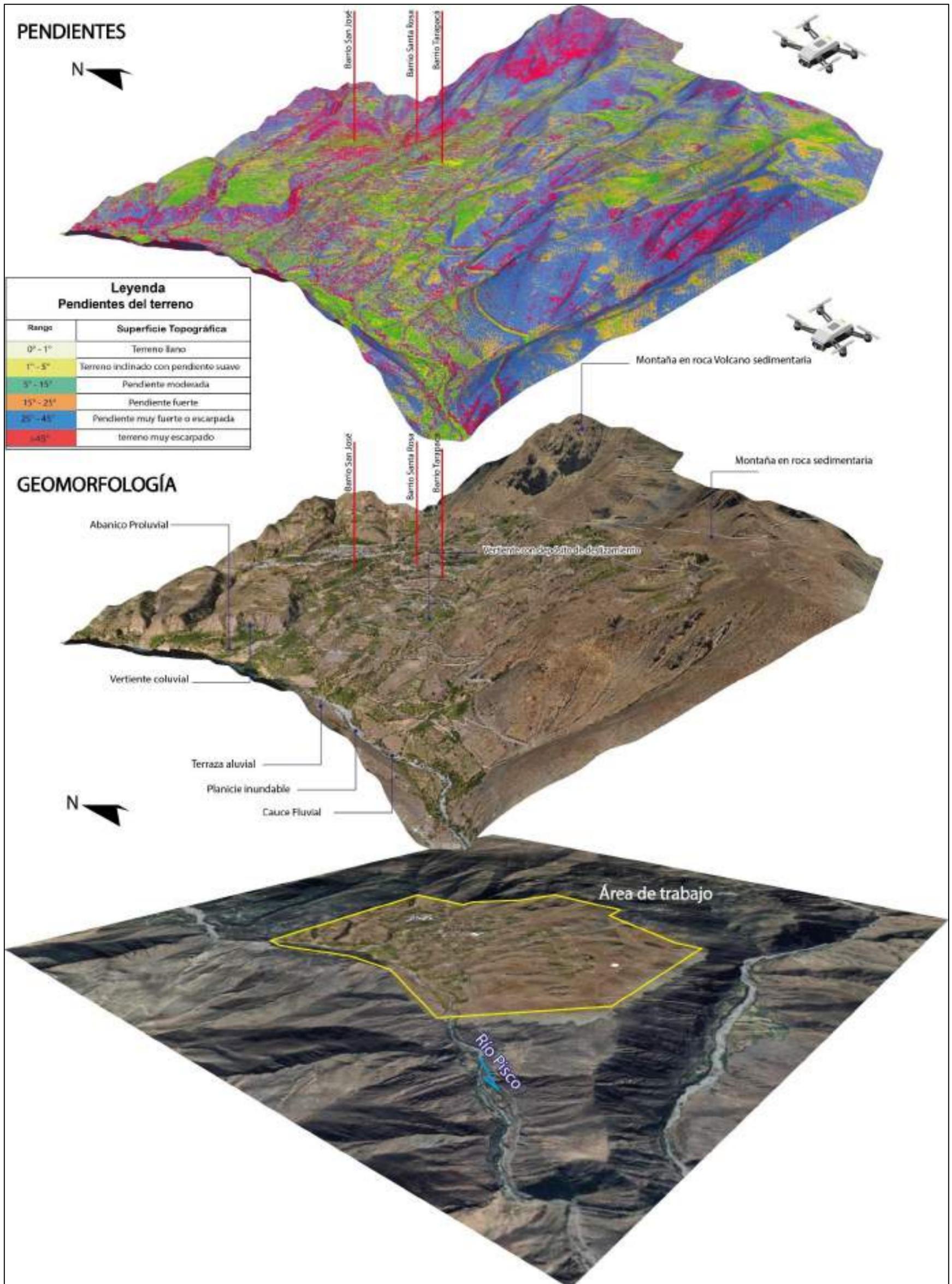


Figura 8: Esquema grafico de las pendientes y subunidades geomorfológicas en el área de estudio.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en el área de estudio, corresponden al tipo: deslizamiento, derrumbes y flujo de detritos, y otros peligros geológicos como erosión de laderas (anexo 1: Mapa 4).

La caracterización de estos eventos, se realizó en base a la información obtenida durante los trabajos de campo, donde se identificaron los tipos de movimientos en masa a través de la cartografía geológica y geodinámica, basado en la observación y descripción morfométrica in situ. De igual modo, se tomó datos con GPS, fotografías a nivel de terreno y levantamiento fotogramétrico con dron, a partir del cual se obtuvo un modelo digital de terreno y un ortomosaico con una resolución de 0.15 y 0.05 cm/pixel respectivamente, complementada con el análisis de imágenes satelitales.

La distribución de los peligros geológicos y otros peligros (cárcavas) hallados en el área de inspección se resume en la figura 9 y cuadro 6.



Figura 9. Distribución porcentual de peligros en el área de estudio

A continuación, se describen los peligros geológicos por movimientos en masa:

5.1. Deslizamientos

Los deslizamientos identificados en campo son de tipo rotacional (29 en total entre activos, suspendidos, inactivo latentes e inactivos relictos, descritos en la tabla 6), un tipo de movimiento en masa en el que el material se desplaza sobre una superficie de ruptura curva, provocando una rotación en bloque. Se caracteriza por un hundimiento en la parte superior y un levantamiento en la base, generando basculamientos, con una superficie de deslizamiento cóncava. Este tipo de deslizamientos ocurrieron en el área de estudio en rocas y en materiales de suelos no consolidados o poco consolidados (Qh-cd y Qh-co), por las características de los mismos y la versión de los pobladores estos se consideran “Muy lentos” (en caso de los deslizamientos activos a la fecha) con velocidades entre 1.6 mm a 1.6 m por año (Cruden & Varnes, 1996).

La distribución de la actividad de estos deslizamientos en el área de inspección se muestra en la figura 10.

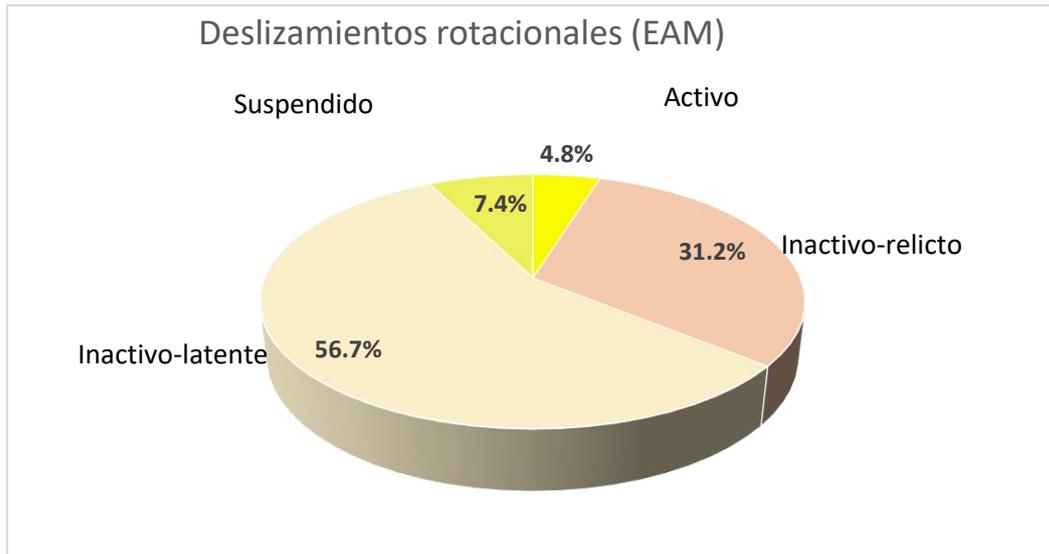


Figura 10. Distribución del Estado de Actividad del Movimiento (EAM) en masa referido a deslizamientos en el área de inspección.

A continuación, se describe cada deslizamiento identificado según su actividad:

5.1.1. Deslizamiento Inactivo relicto (Dr-re):

Los deslizamientos inactivos relictos son movimientos de masa que ocurrieron en el pasado geológico y que, debido a factores como cambios en el clima, estabilidad del terreno o modificaciones geomorfológicas, han cesado su actividad actual. Estos deslizamientos muestran evidencias de deformación pasiva, como escarpes residuales, superficies de ruptura suavizadas, y acumulaciones de material desplazado, con evidencias de deslizamientos posteriores en los cuerpos de deslizamientos principales. Estos rasgos se identifican en la ladera oeste de Ticrapo por su marcada geomorfología.

Se han identificado 05 deslizamientos rotacionales inactivo relictos, estos presentan características típicas, como: escarpes y coronas erosionados, superficies de deslizamiento antiguos cubiertas por vegetación, morfología ondulada y degradada (ver figura 11, mapa 4, anexo 1).



Figura 11. Muestra las coronas de deslizamientos antiguos relictos en la ladera oeste de Ticrapo

5.1.2. Deslizamiento Inactivo latente (Dr-I-la):

Los deslizamientos inactivos latentes son movimientos de masa que ocurrieron en el pasado y, aunque no muestran actividad reciente, mantienen condiciones favorables para reactivarse en el futuro ante la presencia de factores desencadenantes como lluvias intensas, actividad sísmica o modificaciones en la estructura del terreno. A diferencia de los deslizamientos relictos, los latentes presentan una mayor posibilidad de remoción de masa, ya que sus estructuras internas todavía guardan tensión acumulada.

En la ladera oeste de Ticrapo, se han registrado 15 deslizamientos inactivos latentes con las siguientes características (mapa 4.anexo 1) escarpes visibles bien conservados, grietas o fracturas que sugieren inestabilidad latente, material desplazado que aún muestra signos de deformación reciente (periodos mayores a 20 años según versión de los pobladores). Área de acumulación de agua en algunas depresiones que podría actuar como agente desencadenante en el futuro y manantes de agua natural (figura 12).

5.1.3. Deslizamiento suspendido (Dr-s):

Los deslizamientos suspendidos son aquellos que han cesado temporalmente su actividad, pero están en un estado de equilibrio inestable. La suspensión de su movimiento puede ser causada por la ausencia de factores desencadenantes inmediatos, como precipitaciones o sismos, pero aún presentan un peligro significativo de reactivarse en cualquier momento, ya que las tensiones internas y las condiciones geomorfológicas que los originaron persisten.

En la ladera oeste de Ticrapo, se han identificado 03 deslizamientos suspendidos siendo el principal el ubicado por debajo del centro poblado Ticrapo (figura 13, mapa 4 – anexo 1). Estos deslizamientos presentan las siguientes características: escarpes activos con signos de erosión reciente. grietas superficiales que indican inestabilidad continua, acumulación de materiales sueltos en la base del escarpe. zonas de acumulación de agua que podrían aumentar la presión intersticial en el terreno.



Figura 12. Deslizamiento inactivo latente más representativo en el sector Ticrapo.



Figura 13. Deslizamiento suspendido más representativo en el sector Ticrapo.

5.1.4. Deslizamiento activo (Da):

Los deslizamientos activos son movimientos de masa que están ocurriendo en el presente y que han mostrado signos recientes de actividad (según los pobladores desde marzo del 2024). Se caracterizan por la movilización continua de material, que incluye el depósito coluvio-deluvial que conforma la vertiente de deslizamiento, rocas y vegetación. Estos deslizamientos son impulsados por factores como precipitaciones intensas. Infiltración de aguas de un canal de riego maltrecho, actividad sísmica, erosión y cambios en el uso del suelo (agricultura), y representan un peligro inmediato para la estabilidad de la ladera y las construcciones cercanas.

En la ladera oeste de Ticrapo, se han registrado 06 deslizamientos activos cuyas características se describen en la tabla 6 y en los párrafos posteriores (mapa 4 del anexo 1, tabla 5).

Deslizamiento rotacional activo 1 (Dr-a1)

El deslizamiento Dr-a1 tiene una longitud de 150 m y una escarpa de 2 m de altura, con una inclinación de la masa deslizante superficial de 27° (figura 14, mapa 4 del anexo 1). No presenta saltos secundarios, pero sí grietas tensionales en la masa inestable. La altura desde el pie de la corona hasta el pie del deslizamiento es de 107 m, con una longitud total de 316 m y una dirección de movimiento hacia el N153°, cubriendo un área de 0.056 km². Este deslizamiento afecta la carretera asfaltada en un tramo de 25 m, a la altura del puente entre los barrios de San José y Tarapacá, causando la ruptura del pavimento. Además, una trocha carrozable superior a la carretera que se ve afectada en 70 m, donde también se observan grietas tensionales (fotografías 8-11).



Figura 14. Muestra el deslizamiento Dr-a1, en base a la información fotogramétrica en la ladera oeste de Ticrapo.



Fotografía 8. Muestra el muro de contención posterior al puente, con evidencias de presión sobre este por el deslizamiento activo (Dr-a1).



Fotografía 9. Agrietamientos en las coordenadas UTM, WGS 84, 18s, X45335 e Y:8520322.



Fotografía 10. Muestra como el pavimento se levantó durante deslizamiento debido a la presión ascendente del suelo desplazado, la acumulación de material en la base del deslizamiento, deformaciones diferenciales del terreno y el aumento de la presión del agua subterránea. Estas

tensiones deformaron el pavimento, que no puede adaptarse a los cambios en el terreno, provocando su levantamiento.



Fotografía 11. Muestra las grietas en el pavimento durante el deslizamiento, se forman debido a las tensiones generadas por el movimiento irregular del suelo subyacente. A medida que el terreno se desplaza de manera desigual, se crean fracturas en la base que se trasladan a la superficie, provocando grietas en el pavimento. Estas son indicio de inestabilidad en el terreno y del avance del deslizamiento.

Deslizamiento rotacional activo 2 (Dr-a2)

El deslizamiento Dr-a2 tiene una corona de 174 m de longitud, una altura de escarpe de 3 m y un ángulo de inclinación superficial de 30° (figura 15, mapa 4 del anexo 1). Presenta saltos secundarios a 2 m debajo de la escarpa principal, con alturas menores de 1 m. La diferencia de elevación entre la corona y el pie del deslizamiento es de 170 m, con una longitud total de 573 m y una cobertura de 0.022 km². Afecta 178 m de la carretera principal y ha provocado el agrietamiento de vías asfaltadas. En la parte superior se observan grietas tensionales de aproximadamente 2 m de longitud, con un espaciado de 3 cm y una profundidad visible de 15 cm, este deslizamiento afecta potencialmente a 06 viviendas en la zona. Además, se encuentran rocas de 3 metros de diámetro sobre el depósito, posiblemente provenientes de la caída de rocas desde la escarpa antigua de deslizamiento relicto. Los cortes de talud, al no considerar estos bloques, han llevado a su caída y destrucción de muros (01 registrado) fotografías 12 al 17.



Figura 15. Muestra el deslizamiento Dr-a2, activo, rotacional.



Fotografía 12. Muestra ondulaciones en el terreno producto de la dinámica del mismo.

Tabla 6. Características de los deslizamientos activos.

<u>Deslizamiento</u>	<u>Longitud de corona</u>	<u>Salto de escarpa</u>	<u>Angulo de inclinación de la masa deslizante</u>	<u>Salto secundarios</u>	<u>Diferencia de altura de la corona al pie de deslizamiento</u>	<u>Longitud horizontal de la corona al pie</u>	<u>Dirección (Azimut)</u>	<u>Área total (km²)</u>	<u>Afectación principal</u>
Dr-a1	150 m	2 m	27°	No se observan	107 m	316 m	N153	56495.0	Afecta parte del puente de paso entre el barrio Tarapacá y San José en Ticrapo. En un tramo aproximado de 25 m. y 70 m de la trocha carrozable superior a la vía principal
Dr-a2	174 m	4 m	30°	Menores a 1 m	170 m	573 m	N145	21973.8	Afecta 06 viviendas en el barrio Santa Rosa y 178 m de la carretera principal.
Dr-a3	61 m	1.5 m	25°	Menores a 0.8 m	81 m	175 m	N108	12855.9	Afecta 88 m de la carretera principal.
Dr-a4	166 m	1 m	28°	Menores a 1 m	152 m	290 m	N110	22077.7	Afecta 104 m de la carretera principal.
Dr-a5	230 m	2 m	22°	Menores a 1 m	83 m	109 m	N220	13318.8	Afecta 117 m de la carretera principal.
Dr-a6	280 m	1.5 m	25°	No se observan	52 m	377 m	N160	52592.6	Afecta 200 de la carretera principal y la infraestructura del cementerio de Cebadilla.



Fotografía 13. Grietas tensionales en el cuerpo del deslizamiento Dr-a2.



Fotografía 14. Grietas tensionales en el cuerpo del deslizamiento Dr-a2.



Fotografía 15. Bloques de roca en el cuerpo de la masa deslizada.



Fotografía 16. Bloques de roca en el cuerpo de la masa deslizada, caídos debido a cortes en el talud y la subsecuente destrucción de un muro.



Fotografía 17. Grietas en el asfalto de la carretera afectada por el deslizamiento Dr-a2.

Deslizamiento rotacional activo 3 (Dr-a3)

El deslizamiento Dr-a3 presenta una longitud de corona de 61 m y un salto de escarpe de 1.5 m, con un ángulo de inclinación de la masa deslizada de 25°. (figura 16, mapa 4 anexo 1) A continuación de la escarpa principal, se observan saltos secundarios menores de 0.8 m. La diferencia de altura entre la corona y el pie del deslizamiento es de 81 m, con una longitud total de 175 m y una dirección de movimiento hacia el N108°, cubriendo un área de 0.012 km². Este deslizamiento afecta 88 m de la carretera. En la parte alta del deslizamiento, se encuentra un canal de riego que, durante lluvias extremas y debido a la falta de mantenimiento, rebalsa y satura el terreno. Además, se observan canales secundarios de riego no impermeabilizados que facilitan la infiltración de agua y aumentan la saturación del suelo, incrementando la inestabilidad de la ladera. También se notan árboles inclinados hasta 7° en dirección del movimiento, lo que indica la actividad continua del deslizamiento (fotografías 18-20).



Figura 16. Muestra el deslizamiento Dr-a3, activo, rotacional cercano al barrio Tarapacá.



Figura 17. Escarpe principal de deslizamiento Dr-a3 cuál es el escarpe, muestra canales de riego can falta de mantenimiento en la parte superior.



Fotografía 18. Canales de riego secundarios sin impermeabilizar derivados del canal principal.



Fotografía 19. Árboles inclinados por encima del deslizamiento Dr-a3.



Fotografía 20. Muestra inclinación de árboles de hasta 7°, por encima del deslizamiento Dra-a3.

Deslizamiento rotacional activo 4 (Dr-a4)

El deslizamiento rotacional Dr-a4 tiene una longitud de corona de 166 m y una altura de escarpe de 4 m, con una inclinación promedio de 28° (figura 18, mapa 4 del anexo 1). Presenta escarpes secundarios de menos de 1 m y una diferencia de altura de 152 m entre la corona y el pie del deslizamiento. La longitud total es de 290 m y se desplaza en dirección N110°, afectando un área de 0.022 km². Este deslizamiento impacta 117 m de la carretera, donde se observan agrietamientos que requieren constante relleno. En la parte superior, se evidencian procesos de erosión tipo surcos (fotografía 21 – 23).



Figura 18. Muestra el deslizamiento Dr-a4, activo, entre los deslizamientos Dr-a3, Dra5.



Fotografía 21. Escarpes secundarios en el cuerpo del deslizamiento Dr-a4.



Fotografía 22. Muestra dalos en la carretera agrietamientos con aperturas en dirección al movimiento, rellenos con brea.



Fotografía 23. Erosión en la parte superior del deslizamiento, muestra surcos en el cuerpo de deslizado.

Deslizamiento rotacional activo 5 (Dr-a5)

El deslizamiento Dr-a5 presenta una longitud de corona de 230 m, una altura de escarpa de 1 m y un ángulo de inclinación superficial promedio de 22° (figura 19, mapa 4 del anexo 1). Se observan saltos secundarios en la parte media-baja de la masa deslizada con alturas menores de 1 m. La diferencia de altura entre la corona y el pie de avance es de 83 m, con una longitud total de 109 m y una dirección de movimiento de N220°. Ocupa un área de 0.013 km² y afecta 117 m de la carretera. Además, se observan surcos en los saltos secundarios y postes inclinados (hasta 10°) en la masa deslizada (figura 20, fotografías 24 y 25).



Figura 19. Muestra el deslizamiento Dr-a5, activo.



Figura 20. Muestra el escarpe degradado del deslizamiento Dr-a5, activo.



Fotografía 24. Muestra inclinación en postes, en dirección del movimiento del deslizamiento Dr-a5, activo.



Fotografía 25. Evidencias de la dinámica del deslizamiento Dr-a5 (escapamientos menores a 1m).

Deslizamiento rotacional activo 6 (Dr-6)

El deslizamiento Dr-a6 tiene una longitud de corona de 208 m, un salto de escarpe de 1.5 m y una pendiente de 25° en la masa deslizada. La diferencia de altura entre la corona y el pie de avance es de 52 m, con una dirección de movimiento de N160° (figura 21, mapa 4 del anexo 1. Ocupa un área de 0.052 km² y afecta 200 m de la carretera y la infraestructura del cementerio) de Cebadilla donde se generaron grietas en muros con una apertura de hasta 0.5 m, orientadas en la dirección del movimiento, Es importante destacar que el deslizamiento se ubica en la parte inferior del cementerio y afecta a esta área debido a la tracción. Esto ocurre porque, al desplazarse la masa inestable en la parte inferior, se generan movimientos de reacomodo en la sección superior del terreno. Estos movimientos se deben al esfuerzo de tracción inducido por el desplazamiento inicial, lo que provoca la desestabilización de la masa superior y contribuye a la evolución del deslizamiento en todo el conjunto. (fotografía 26-27).



Figura 21. Muestra el cuerpo del deslizamiento Dr-a6 activo.



Fotografía 26. Zona superior al deslizamiento Dr-a6, muestra el cementerio de Cebadilla uno de los principales lugares afectados.



Fotografía 27. Aperturas en muros del cementerio en dirección del movimiento del deslizamiento Dr-a6

5.2. Derrumbes

En la ladera oeste de Ticrapo, se identificaron 13 derrumbes, particularmente en las zonas que limitan las cárcavas y en las partes altas de la ladera de montaña (mapa 4 del anexo 1). Estos derrumbes están relacionados con procesos avanzados de meteorización y un elevado grado de fracturamiento en las rocas volcánicas y sedimentarias, que crearon condiciones favorables para el desprendimiento y posterior colapso de las mismas, lo que ha contribuido significativamente a la ocurrencia de los derrumbes.

Adicionalmente, se tienen derrumbes en la parte media de la ladera asociado a depósitos coluvio-deluviales, como consecuencia de la incisión de cárcavas que, con el tiempo, desestabilizan las caras de las mismas, provocando su colapso gradual (fotografías 28, figura 22).



Fotografía 28. Derrumbes en la parte alta de la ladera (afloramiento rocoso volcánico), condicionado por el grado de fracturamiento y meteorización de la roca.

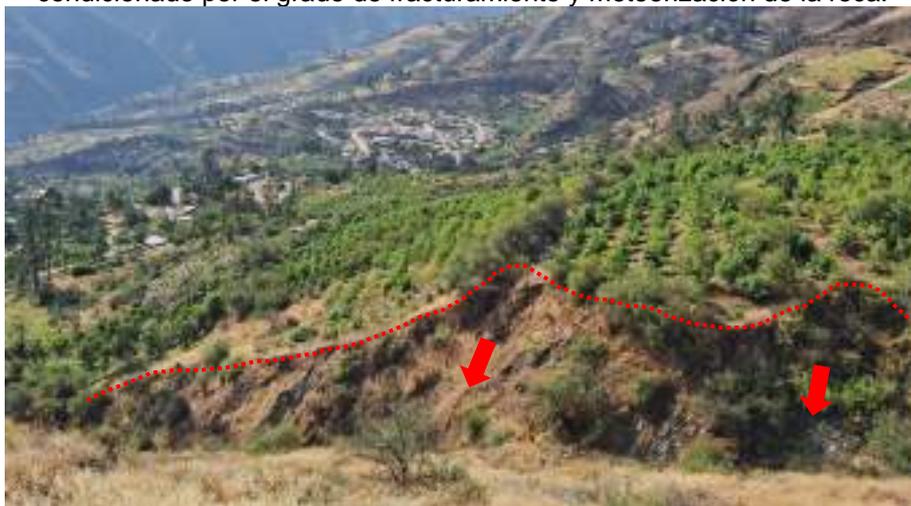


Figura 22. Derrumbes en la parte media de la ladera (depósitos coluvio-deluviales y afloramiento rocoso de lutitas), condicionado por la existencia de procesos de erosión tipo cárcavas.

5.3. Flujo de detritos

En la ladera oeste de Ticrapo se han identificado quebradas de más de 30 km de longitud y un ancho promedio de 40 m, que se extienden desde la parte superior de la ladera hasta su desembocadura en el río Pisco. Estas han evolucionado desde incisiones y cárcavas

Estas quebradas presentan en sus cauces depósitos de bloques de roca, principalmente areniscas y andesitas, acompañados de gravas y arenas de tamaños heterométricos. Los diámetros de estos bloques alcanzan hasta 1.5 m, con formas subangulosas, lo que indica la ocurrencia de antiguos flujos de detritos.

Los depósitos, que evidencian eventos de flujos de detritos pasados, son más visibles en la formación de abanicos proluviales, tanto en la parte media de la ladera (a la altura del barrio Tarapacá) como en la base de las laderas, donde se han formado terrazas de abanicos proluviales.

Actualmente, estas quebradas siguen activándose, generando flujos canalizados que erosionan las laderas a su paso. En algunos casos, estos flujos han causado desbordes y acumulación de lodo, según el testimonio de los pobladores, afectando áreas como la cancha deportiva de Ticrapo (figura 23 y 24).



Figura 23. Muestra cauce de la cárcava que desciende desde la parte alta de la ladera oeste de Ticrapo, evidencia material detrítico en el cauce, y su conexión con el área de ubicación del estadio municipal.



Figura 24. Cauce de la quebrada principal que divide los barrios de San José y Santa Rosa de Tarapacá, con evidencias de material detrítico, por flujo de detritos.

6. OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS

6.1. Cárcavas

Las cárcavas se presentan en la ladera oeste de Ticrapo, corresponden a profundas incisiones lineales que se forman por la erosión del agua en suelos (coluvio-deluviales) y rocas blandas (lutitas y volcánicas meteorizadas). Estas estructuras alcanzan profundidades de hasta 10 metros y anchos superiores a 30 metros. Parecen evolucionar con rapidez, especialmente durante eventos de lluvias intensas, contribuyendo a la degradación del terreno y a la inestabilidad de la ladera. En promedio las cárcavas en el área de estudio tienen las siguientes características:

- Profundidad: de 4 a 10 metros.
- Ancho: varía entre 5 y 40 metros, siendo las más grandes aquellas que han evolucionado a quebradas, canalizando flujos de agua y detritos de manera constante.
- Longitud: Cárcavas de hasta 3 km de longitud se han observado en la zona, desde la parte superior de la ladera hasta su desembocadura en el río Pisco. Este tipo de cárcavas tienen un desarrollo longitudinal acelerado, especialmente en pendientes pronunciadas.

En algunos casos, la incisión continua de cárcavas ha generado flujos de detritos con bloques de hasta 1.5 metros de diámetro, transportados durante lluvias intensas. Estas cárcavas, al evolucionar, forman quebradas activas que pueden erosionar más la ladera y generar colapsos estructurales (fotografías 19 y 30, figura 25).



Fotografía 29. Erosión en cárcavas en la parte alta de la ladera oeste de Ticrapo.

Tabla 7. Cuadro resumen de los peligros geológicos identificados en el área de estudio

PELIGROS	Tipo de peligro	Subtipo de peligro	Grado de actividad	Símbolo	Área (m ²)	X (m)	Y (m)	Grado de Peligro
Movimientos en masa	Deslizamiento	Deslizamiento rotacional	Activo	Dr-a1	56495.0	453315.5	8520145.6	ALTO
		Deslizamiento rotacional	Activo	Dr-a2	21973.8	453410.1	8520265.3	ALTO
		Deslizamiento rotacional	Activo	Dr-a3	12855.9	453542.1	8519217.5	ALTO
		Deslizamiento rotacional	Activo	Dr-a4	22077.7	453422.6	8519518.3	ALTO
		Deslizamiento rotacional	Activo	Dr-a5	13318.8	453462.0	8519707.2	ALTO
		Deslizamiento rotacional	Activo	Dr-a6	52592.6	453157.4	8518362.1	ALTO
		Deslizamiento rotacional	Suspendido	Dr-s	119158.2	453397.0	8519276.2	MEDIO
		Deslizamiento rotacional	Suspendido	Dr-s	106763.5	452944.7	8520445.9	MEDIO
		Deslizamiento rotacional	Suspendido	Dr-s	52345.1	453178.4	8518338.2	MEDIO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-latente	Dr-l-la	183238.8	453162.2	8520639.4	MEDIO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-latente	Dr-l-la	89260.9	452548.1	8520176.6	MEDIO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-latente	Dr-l-la	115654.1	453302.7	8520124.2	MEDIO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-latente	Dr-l-la	317740.2	452530.4	8519648.5	MEDIO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-latente	Dr-l-la	419166.8	453491.9	8519253.8	MEDIO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-latente	Dr-l-la	109681.5	452277.0	8519298.6	MEDIO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-latente	Dr-l-la	58847.9	452777.3	8520303.6	MEDIO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-latente	Dr-l-la	43063.1	453530.3	8519533.0	MEDIO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-latente	Dr-l-la	60561.6	452990.2	8519986.5	MEDIO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-latente	Dr-l-la	134613.7	453418.2	8519882.4	MEDIO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-latente	Dr-l-la	271702.9	452952.7	8519879.2	MEDIO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-latente	Dr-l-la	38432.8	453652.4	8520522.6	MEDIO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-latente	Dr-l-la	76963.7	453299.0	8518514.2	MEDIO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-latente	Dr-l-la	158771.1	453344.8	8518822.2	MEDIO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-latente	Dr-l-la	52815.3	453453.9	8518983.5	MEDIO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-relicto	Dr-Re	74745.5	453152.0	8520707.8	BAJO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-relicto	Dr-Re	326683.0	454405.8	8519107.6	BAJO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-relicto	Dr-Re	62228.9	453801.1	8518828.8	BAJO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-relicto	Dr-Re	615148.3	454230.6	8519731.4	BAJO
		Deslizamiento rotacional	Inactivo-relicto	Dr-Re	92849.3	453673.1	8518521.6	BAJO
		Caídas	Derrumbe	Activo	D-a	5536.0	452975.2	8520303.1
	Derrumbe		Activo	D-a	7330.8	452471.4	8520341.3	ALTO
	Derrumbe		Activo	D-a	27537.4	452257.7	8520446.4	ALTO
	Derrumbe		Activo	D-a	8269.5	453652.8	8519637.0	ALTO
	Derrumbe		Activo	D-a	10298.9	453699.6	8520420.8	ALTO
	Derrumbe		Activo	D-a	4471.8	452861.0	8519237.8	ALTO
	Derrumbe		Activo	D-a	16097.3	452524.3	8518845.1	ALTO
	Derrumbe		Activo	D-a	3930.8	452701.7	8518560.0	ALTO
	Derrumbe		Activo	D-a	1361.4	452749.9	8518440.6	ALTO
	Derrumbe		Activo	D-a	1566.7	452259.7	8518261.1	ALTO
	Derrumbe		Activo	D-a	786.5	452695.8	8518963.5	ALTO
	Derrumbe		Activo	D-a	2450.4	453209.4	8519097.4	ALTO
	Flujos	Flujo de detritos	Antiguo 1	Fl-1	98335.4	452127.6	8520079.0	MEDIO
Flujo de detritos		Antiguo 1	Fl-1	29192.2	452074.9	8520412.9	MEDIO	
Flujo de detritos		Antiguo 1	Fl-1	49346.6	453107.0	8519579.8	MEDIO	
Flujo de detritos		Antiguo 1	Fl-1	14429.8	451915.1	8518975.7	MEDIO	
Flujo de detritos		Antiguo 1	Fl-1	30240.1	451928.6	8519183.5	MEDIO	
Flujo de detritos		Antiguo 1	Fl-1	21056.7	452057.5	8519371.6	MEDIO	
Flujo de detritos		Antiguo 1	Fl-1	34482.3	453124.3	8519741.3	MEDIO	
Flujo de detritos		Antiguo 1	Fl-1	14768.0	451763.2	8518691.3	MEDIO	
Flujo de detritos		Antiguo 2	Fl-2	46105.3	452090.7	8520522.4	MEDIO	
Flujo de detritos		Antiguo 2	Fl-2	34177.9	452291.6	8520089.6	MEDIO	
Flujo de detritos	Antiguo 2	Fl-2	56194.2	451998.0	8518911.0	MEDIO		
Flujo de detritos	Antiguo 2	Fl-2	11148.5	452078.8	8519117.4	MEDIO		
Flujo de detritos	Temporal-activo	Fl-d	41578.1	452775.3	8520349.6	ALTO		
Flujo de detritos	Temporal-activo	Fl-d	37631.6	452275.3	8519490.5	ALTO		

		Flujo de detritos	Temporal-activo	Fl-d	7455.5	453511.2	8519667.8	ALTO
Otros Peligros geológicos	Erosión de laderas	cárcava	Activo	C-a	6265.2	453250.3	8519237.6	ALTO
		cárcava	Activo	C-a	45793.7	452826.4	8519017.0	ALTO
		cárcava	Activo	C-a	2874.4	451903.9	8518655.3	ALTO
		cárcava	Activo	C-a	28707.6	452343.5	8518293.1	ALTO
		cárcava	Activo	C-a	37929.6	454405.6	8519777.8	ALTO
		cárcava	Activo	C-a	5122.2	454210.8	8519517.0	ALTO
		cárcava	Activo	C-a	8809.6	453971.1	8520195.2	ALTO
		cárcava	Activo	C-a	7324.2	453599.8	8520680.5	ALTO
		cárcava	Activo	C-a	4194.0	453740.8	8519820.5	ALTO
		cárcava	Activo	C-a	1726.5	454100.6	8519141.5	ALTO
		cárcava	Activo	C-a	2357.3	453945.9	8518929.8	ALTO
		cárcava	Activo	C-a	1408.8	454143.1	8518907.2	ALTO
		cárcava	Activo	C-a	4500.8	453859.6	8520090.2	ALTO
		cárcava	Activo	C-a	575.1	453999.0	8519453.3	ALTO
		cárcava	Activo	C-a	3312.9	453635.6	8519658.7	ALTO



Fotografía 30. Erosión en cárcavas en la parte media y alta de la ladera.

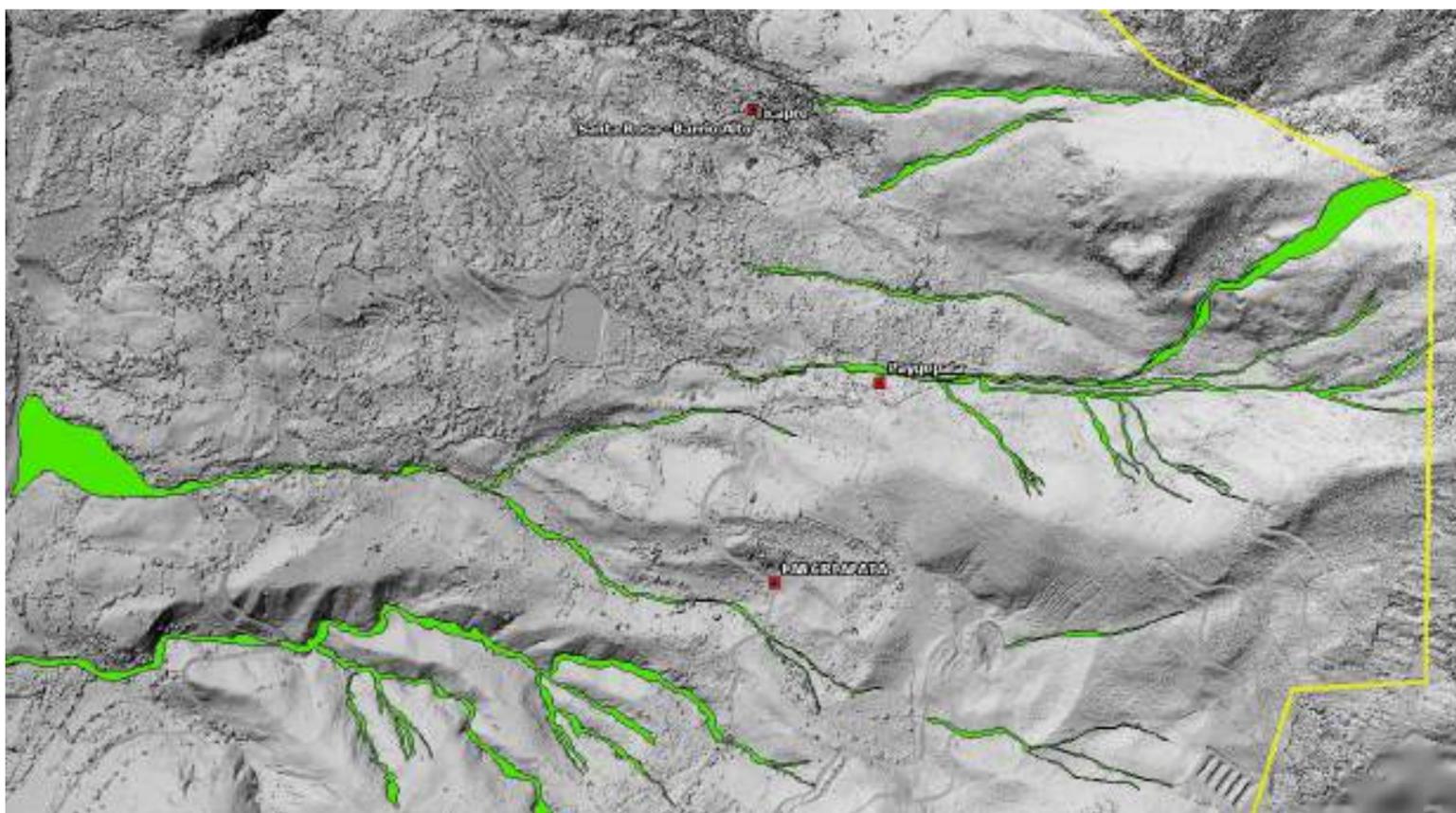


Figura 25. Erosión en cárcavas en la ladera oeste de Ticrao (polígono verde) parte baja, media y alta de la ladera.

7. Factores condicionantes y desencadenantes

7.1. Factores condicionantes

Factor litológico

Depósito coluvio-deluvial

- El depósito coluvio-deluvial en la ladera oeste de Ticrapo es propenso a generar deslizamientos debido a la composición heterogénea de materiales sueltos, como bloques angulosos, gravas, arenas y suelos finos (matriz areno-limoso). Estos materiales, movilizados por la gravedad y el arrastre superficial durante eventos de precipitaciones intensas o saturación del terreno, carecen de cohesión interna, lo que favorece su inestabilidad.
- El depósito coluvio-deluvial en la ladera oeste de Ticrapo favorece la formación de cárcavas debido a su composición suelta y heterogénea de bloques angulosos, gravas, arenas y suelos finos, que son altamente susceptibles a la erosión. Durante eventos de precipitaciones intensas, el agua de escorrentía superficial encuentra poca resistencia en estos materiales no consolidados, lo que permite que se inicie el proceso de incisión en la superficie del terreno.

Substrato rocoso

- Las rocas volcánicas, las lutitas negras deleznales y las areniscas cuarzosas, son propensas a deslizamientos debido a su fuerte fracturamiento y meteorización. Las lavas andesitas presentan una estructura quebradiza e inestable por la meteorización intermedia, mientras que las lutitas, altamente fracturadas y meteorizadas, son muy susceptibles a la erosión y desestabilización. Las areniscas, aunque más resistentes, tienen fracturas regulares y meteorización moderada, lo que también reduce su estabilidad. En conjunto, estos factores aumentan la fragilidad del terreno, facilitando deslizamientos.
- Las rocas volcánicas y lutitas negras deleznales, son propensas a la formación de cárcavas debido a su estructura fracturada y meteorización. Las andesitas, al ser quebradizas y estar en condiciones de meteorización media a alta, facilitan el escurrimiento del agua, lo que contribuye a la erosión de la ladera. Las lutitas, altamente fracturadas y meteorizadas, son especialmente vulnerables a la erosión por el agua, lo que agrava la inestabilidad del terreno.

Factor geomorfológico

Pendiente del terreno y subunidades geomorfológicas

- Las pendientes del terreno en el área de inspección son un factor determinante en la ocurrencia de movimientos en masa, mostrando una variabilidad que va desde suaves hasta muy escarpadas (más de 45°). Así, las zonas de depósitos cuaternarios predominan con pendientes moderadas, mientras que, en la parte media y alta de la ladera, las inclinaciones superan los 25°, favoreciendo la inestabilidad. Esta configuración, junto con la erosión en las paredes de escarpes y quebradas, incrementa la susceptibilidad de **deslizamientos**, **derrumbes**, formación de **cárcavas** y **flujos de detritos**, contribuyendo a una alta

peligrosidad en el área. Los deslizamientos activos en la ladera oeste de Ticrapo se presentan entre 25° - 45° (pendientes fuertes).

- La configuración geomorfológica del área, caracterizada por pendientes escarpadas que oscilan entre 25° y más de 45°, genera condiciones propicias para la ocurrencia de deslizamientos. Las laderas de inclinación pronunciada, especialmente en las subunidades de montaña en roca volcano-sedimentaria y sedimentaria, presentan un alto grado de inestabilidad, aumentando el peligro de que los materiales sueltos se deslicen hacia áreas de menor pendiente, especialmente tras eventos de precipitaciones intensas.
- La combinación de terrenos fragmentados, pendientes pronunciadas de hasta 40°, y flujos de agua superficial intensos, favorecen el desarrollo de flujos de detritos. Las vertientes coluviales, coluvio-deluviales, cárcavamientos y aluvio-torrenciales, que contienen acumulaciones caóticas de sedimentos, pueden movilizarse rápidamente durante lluvias intensas, generando flujos de detritos que arrastran material a lo largo de las quebradas y cárcavas, contribuyendo a la erosión y a la inestabilidad del terreno.
- Las pendientes abruptas, con inclinaciones de hasta 60° en algunas áreas, favorecen la formación de cárcavas, donde la erosión intensa en las laderas genera surcos profundos. Este proceso no solo crea nuevas cárcavas, sino que también aumenta la fragmentación del terreno, lo que agrava la inestabilidad del área y promueve la erosión continua, especialmente en las zonas donde el flujo de agua es más intenso.
- Las condiciones geomorfológicas, junto con pendientes escarpadas que alcanzan hasta 85°, generan un alto potencial para derrumbes. La presencia de rocas altamente fracturadas y meteorizadas en estas laderas aumenta la fragilidad del terreno, lo que puede resultar en el colapso de secciones de ladera. La saturación del suelo, especialmente en pendientes elevadas, reduce la cohesión del material, incrementando el riesgo de derrumbes.

7.2. Factores detonantes desencadenantes

d) **SISMOS:**

Tomando en cuenta el Boletín N°60 "Peligro geológico en la región Huancavelica" (Vílchez et al., 2019) la ladera de estudio se encuentra en una distribución de isoaceleraciones entre 250 y 300 gals para un 10% de excedencia en 20 años, lo que indica que, bajo condiciones sísmicas, la ladera oeste de Ticrapo puede experimentar aceleraciones significativas. Estas aceleraciones son suficientes para generar movimientos en masa, especialmente en áreas con substratos inestables y meteorizados, como las lutitas y andesitas descritas anteriormente.

El aumento de la aceleración puede desestabilizar materiales sueltos y fracturados, provocando deslizamientos de tierra y erosión. Además, las condiciones meteorológicas y la saturación del suelo pueden amplificar esta susceptibilidad, ya que el agua puede lubricar las capas de roca inestables. Así, la combinación de alta aceleración sísmica, tipos de rocas susceptibles y la topografía de la ladera incrementa

la probabilidad de movimientos en masa, constituyendo un peligro importante para la zona.

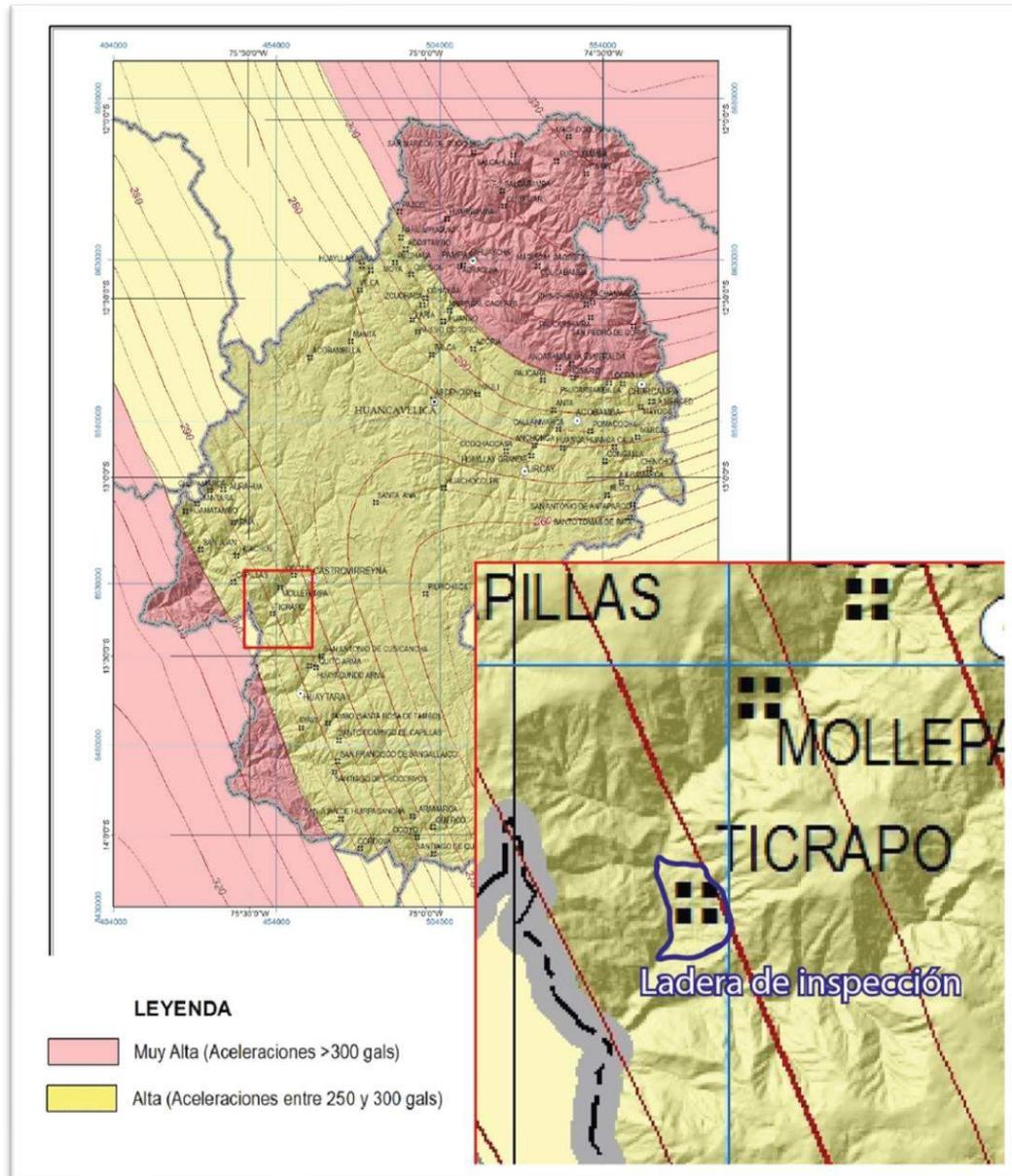


Figura 26. Distribución de isoaceleraciones (Gals) para un 10% de excedencia en 20 años (Vilches et al., 2019)

e) PRECIPITACIONES:

Las precipitaciones pluviales intensas y/o prolongadas generan condiciones que favorecen varios procesos de inestabilidad en la ladera este de Ticrao. La saturación del suelo reduce la cohesión de los sedimentos, facilitando el flujo de detritos que arrastra materiales sueltos por pendientes inclinadas. Además, el aumento de la presión de poros puede desencadenar deslizamientos al superar la resistencia del terreno, especialmente en áreas inestables. Las lluvias también intensifican la erosión, formando y ampliando cárcavas al concentrar el agua de escorrentía en zonas

específicas, mientras que la saturación en laderas escarpadas aumenta el riesgo de derrumbes, donde el material puede colapsar repentinamente. Cabe resaltar que el análisis espacial de las precipitaciones en la ladera oeste de Ticrapo muestran máximos de 4mm , mínimos 0.5 mm y promedios de 2.5 mm, entre el periodo 2020-2024. Pudiendo exacerbarse en por fenómenos climático como “El Niño”.

7.3. Factor antrópico

La existencia de un canal de riego sin un debido mantenimiento en la ladera oeste de Ticrapo (graficado en los mapas 1 al 4 del anexo 1) contribuye significativamente a la inestabilidad del terreno y a la ocurrencia de movimientos en masa, como deslizamientos. Las secciones del canal que no están revestidas (1.2 km aproximadamente) permiten la infiltración de agua en el suelo, aumentando la saturación y reduciendo la cohesión de los sedimentos Esta saturación, combinada con el flujo de agua superficial, puede desencadenar deslizamientos, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas. Además, el revestimiento deteriorado del canal puede provocar filtraciones y erosión en las laderas adyacentes, lo que debilita aún más la estructura del terreno.

Teniendo en cuenta las siguientes características del canal:

- Ancho del canal (B): 1.5 m
- Profundidad del agua (y): 0.75 m
- Pendiente del canal (S): 0.001 (0.1%)
- Coeficiente de rugosidad de Manning (n): 0.015 (canal de concreto)

El caudal se del canal se estima de 2.46 m³/s

8. CONCLUSIONES

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

- 1) El área evaluada correspondiente a la ladera oeste de Ticrapo presenta antecedentes de movimientos en masa relevantes. A la fecha se han registrado 06 deslizamientos rotacionales, 03 derrumbes, 02 flujo de detritos y 03 procesos de erosión en laderas, esto indica la geodinámica activa en el área evaluada.
- 2) El substrato rocoso en la ladera oeste de Ticrapo está constituido por lavas andesíticas con fuerte fracturamiento y meteorización media correspondiente a la Formación Tantará, además de lutitas negras deleznable y areniscas cuarzosas gris blanquecinas medianamente fracturadas y meteorizadas de la Formación Labra. Estas unidades litológicas son propensas a generar deslizamientos y derrumbes debido a su naturaleza quebradiza e inestable.
- 3) El principal depósito Cuaternario en la ladera corresponde a depósitos coluvio-deluviales, propensos a generar deslizamientos debido a la composición heterogénea de sus materiales sueltos, como bloques angulosos, gravas, arenas y suelos finos (matriz areno-limosa). Estos materiales, movilizados por la gravedad y el arrastre superficial durante eventos de precipitaciones intensas o saturación del terreno, carecen de cohesión interna, lo que favorece su inestabilidad.
- 4) La variabilidad de las pendientes en la ladera favorece la ocurrencia de movimientos en masa, así las paredes de montañas en la parte alta de la ladera y las paredes que delimitan las zonas de cárcavamientos (45° - 60°), son susceptibles a derrumbes, mientras que la vertiente de depósito con deslizamientos y material coluvio-deluvial (35° - 65°) es mayoritariamente susceptible a la ocurrencia de deslizamientos y procesos de erosión en cárcavas.
- 5) Actualmente, de acuerdo a los trabajos de campo en la ladera oeste de Ticrapo se han registrado 29 deslizamientos rotacionales (06 activo, 03 suspendidos, 15 inactivos latentes y 05 inactivos relictos), 13 derrumbes activos, 12 evidencias de flujos de detritos pasados y 03 quebradas con evidencias recientes de huaicos, además de procesos de erosión (15 cárcavas).
- 6) La ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa y otros peligros están condicionado por:
 - Características litológicas, rocas de mala calidad con altos grados de fracturamiento y meteorización.
 - Depósitos inconsolidados de tipo coluvio-deluvial, con baja cohesión y grado medio de saturación
 - Pendiente promedio de la ladera de la montaña entre los 25° a 65° , lo que permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía superficial.
 - Factores antrópicos, como actividades humanas agrícolas, la presencia de canales de riego revestido con falta de mantenimiento y canales no

revestidos que favorecen la infiltración de agua al terreno, aumentando la presión de poros y disminuyendo su resistencia.

- 7) El factor desencadenante para la ocurrencia a movimientos en masa en el sector evaluado, se les atribuye a sismos y precipitaciones pluviales excepcionales.
- 8) Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, la ladera oeste de Ticrapo, se considera de **Peligro Alto** ante la ocurrencia de movimientos en masa tipo deslizamientos, flujo de detritos, derrumbes y cárcavas; los cuales pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas y/o sismos, debiendo ejecutarse obras de control y mitigación especialmente en lo referido al manejo de agua superficial.

9. RECOMENDACIONES

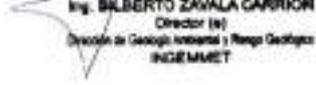
En base a la evaluación de peligros geológicos realizada en el presente informe, se brindan las siguientes recomendaciones:

1. Teniendo en cuenta que el agua es el principal factor de erosión y movimientos en masa como deslizamientos y otros peligros como “cárcavas”, se recomienda implementar las siguientes medidas de control en la ladera oeste de Ticrapo (figura 16):
 - Mantenimiento y revestimiento completo del canal de riego principal para evitar filtraciones que saturan el suelo.
 - Implementar redes de drenaje superficial transversales y longitudinales a la ladera que permitan una evacuación controlada del agua de lluvia y riego, evitando la acumulación en áreas susceptibles a movimientos en masa.
 - Utilizar técnicas de bioingeniería, como revegetación con especies nativas de raíces profundas, para estabilizar las pendientes más pronunciadas y reducir la erosión causada por el agua.
2. Realizar un monitoreo geodésico continuo en la ladera oeste de Ticrapo para observar la evolución de los vectores de movimiento en las zonas de deslizamiento. Este monitoreo permitirá detectar desplazamientos significativos a lo largo del tiempo, brindando una alerta temprana a la población ante posibles movimientos inminentes. Además, ayudará a evaluar la estabilidad de la ladera y a implementar medidas preventivas en caso de identificar cambios importantes. Se sugiere el uso de técnicas de alta precisión, como GPS diferencial y estaciones totales, distribuidas estratégicamente en las áreas críticas de la ladera.
3. Realizar la descolmatación de la quebrada principal que divide los barrios de Tarapacá y San José, con el objetivo de eliminar el material detrítico acumulado que, en caso de lluvias intensas, podría ser arrastrado y generar huaicos. Además, es aconsejable implementar defensas tipo rivereñas en puntos críticos de la quebrada, como muros de gaviones y enrocados, que ayudarán a estabilizar las márgenes y reducir el riesgo de erosión y desbordes, contribuyendo a la protección de la infraestructura y la seguridad de la población cercana.
4. Llevar a cabo actividades de sensibilización y concientización dirigidas a la población de Ticrapo, con el fin de informarles sobre los peligros a los que están expuestos debido a la inestabilidad de la ladera y los posibles movimientos en masa. Estas acciones deben incluir la difusión de información sobre las señales de alerta, medidas de prevención y planes de evacuación, así como la promoción de prácticas seguras que contribuyan a reducir el peligro y a fortalecer la preparación comunitaria ante posibles movimientos en masa.

Las presentes recomendaciones, en especial las estructurales, deben ser diseñadas y evaluadas por especialistas en la materia. Estos profesionales, a través de estudios especializados, determinarán la viabilidad y la disposición adecuada de las medidas propuestas, garantizando que las intervenciones sean efectivas y seguras para mitigar los riesgos de movimientos en masa y cárcavamientos en la ladera oeste de Ticrapo.



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

Ing. SILBERTO ZAVALA CARRIÓN
Director (e)
División de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

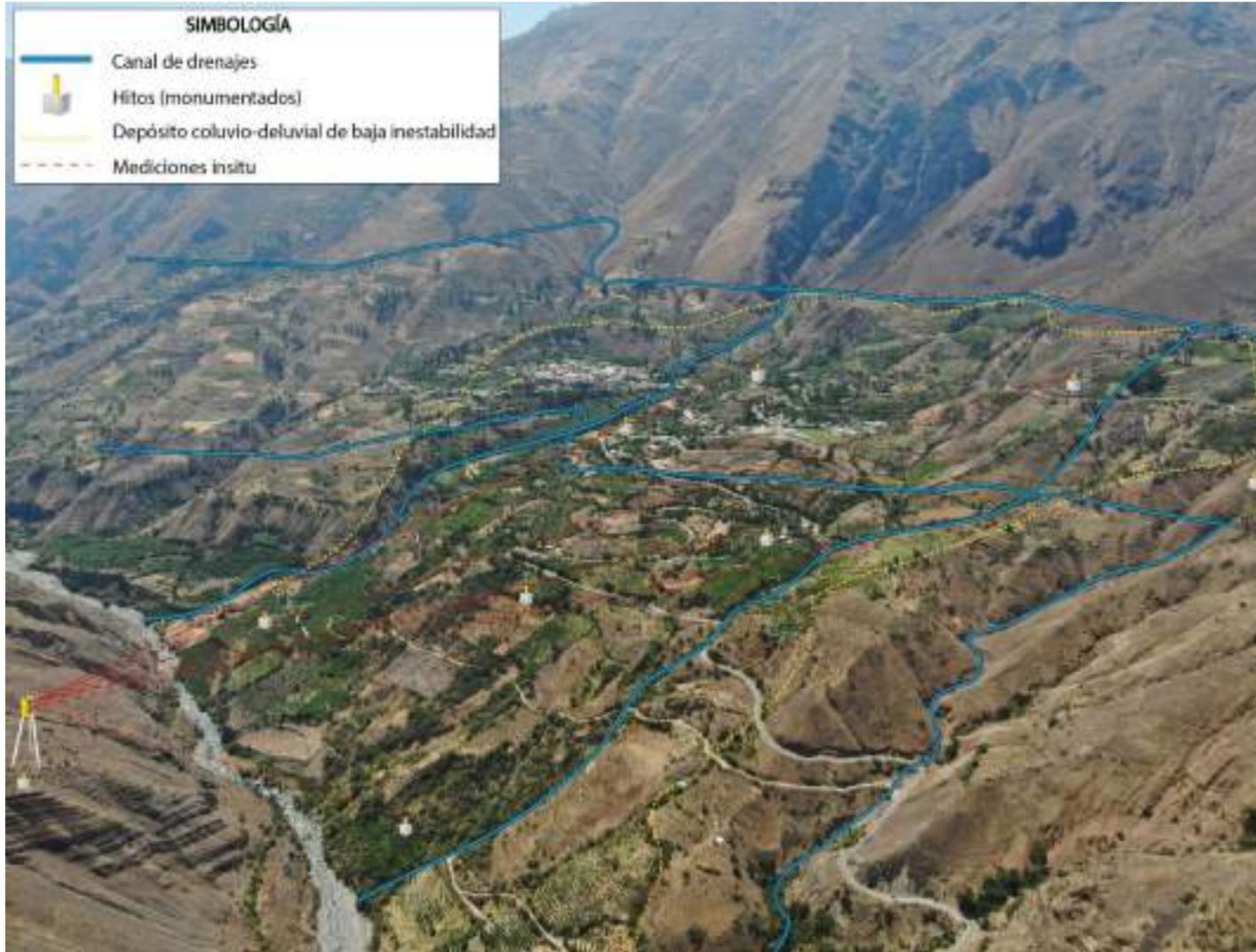
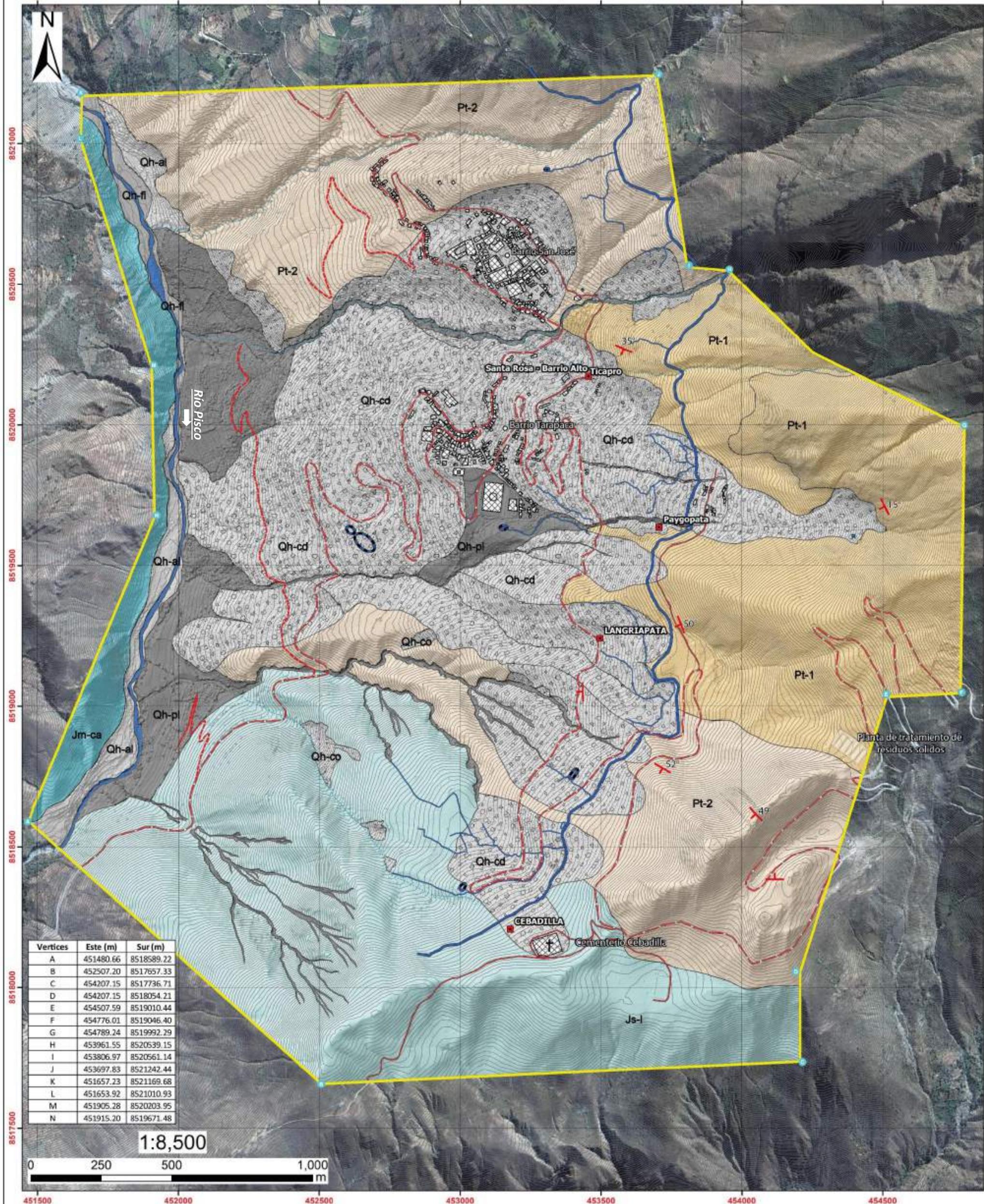


Figura 27. Diagrama gráfico de recomendaciones a implementar en la ladera oeste de Ticrapo, muestra en azul sistemas de drenajes que aprovechan las quebradas para derivar el exceso de agua hacia el río principal y puntos referenciales de monitoreo para evaluar el movimiento (m/año) de deslizamientos

10. BIBLIOGRAFÍA

- Cruden, D.M. (1991) – A simple definition of a landslide. Bulletin International Association for Engineering Geology, 43: 27-29
- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslide types and processes. En: Turner, A.K. & Schuster, R.L., eds. Landslides: investigation and mitigation. Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, p. 36-75.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geotecnia (1980) - Estudio geodinámico de la cuenca del río San Juan (Dptos. Ica-Huancavelica). INGEMMET, Boletín, Serie C: *Geodinámica e Ingeniería Geológica*,
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geotecnia (1981) - Estudio geodinámico de la cuenca del río Pisco (Dptos. Ica-Huancavelica). INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 7, 141 p.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geotecnia (1997) - Álbum de mapas de zonificación de riesgos fisiográficos y climatológicos del Perú, memoria descriptiva. INGEMMET, Boletín, Serie C *Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 17, 142 p.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2000) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 3. INGEMMET, Boletín, Serie C: *Geodinámica e Ingeniería Geológica* 23, 330 p.
- Morche, W. & Larico, W. (1996) - Geología del cuadrángulo de Huancavelica. INGEMMET, Boletín, Serie A: *Carta Geológica Nacional*, 73, 172 p.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4.
- Salazar, H. & Landa, C. (1993) - Geología de los cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conaica, Chinchá, Tantará y Castrovirreyna. INGEMMET, Boletín, Serie A: *Carta Geológica Nacional*, 44, 97 p.
- Varnes, D.J. (1978) - Slope movement types and processes. En: Schuster, R.L. & Krizek, R.J., eds., *Landslides: analysis and control*. Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council, p. 11-33, Special Report 176.
- Vílchez, M. & Ochoa, M. (2014) –*Zonas críticas por peligros geológicos en la Región Huancavelica, informe inédito* Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 58 p.

ANEXO 1: MAPAS



Vertices	Este (m)	Sur (m)
A	451480.66	8518589.22
B	452507.20	8517657.33
C	454207.15	8517736.71
D	454207.15	8518054.21
E	454507.59	8519010.44
F	454776.01	8519046.40
G	454789.24	8519992.29
H	453961.55	8520539.15
I	453806.97	8520561.14
J	453697.83	8521242.44
K	451657.23	8521169.68
L	451653.92	8521010.93
M	451905.28	8520203.95
N	451915.20	8519671.48

1:8,500



Leyenda	
Unidades litoestratigráficas	
	Cauce fluvial
	Depósito coluvio-deluvial
	Depósito coluvial
	Depósito fluvial
	Depósito aluvial
	Depósito proluvial
	Formación Tantarà 2
	Formación Tantarà 1
	Formación Cachios
	Formación Labra

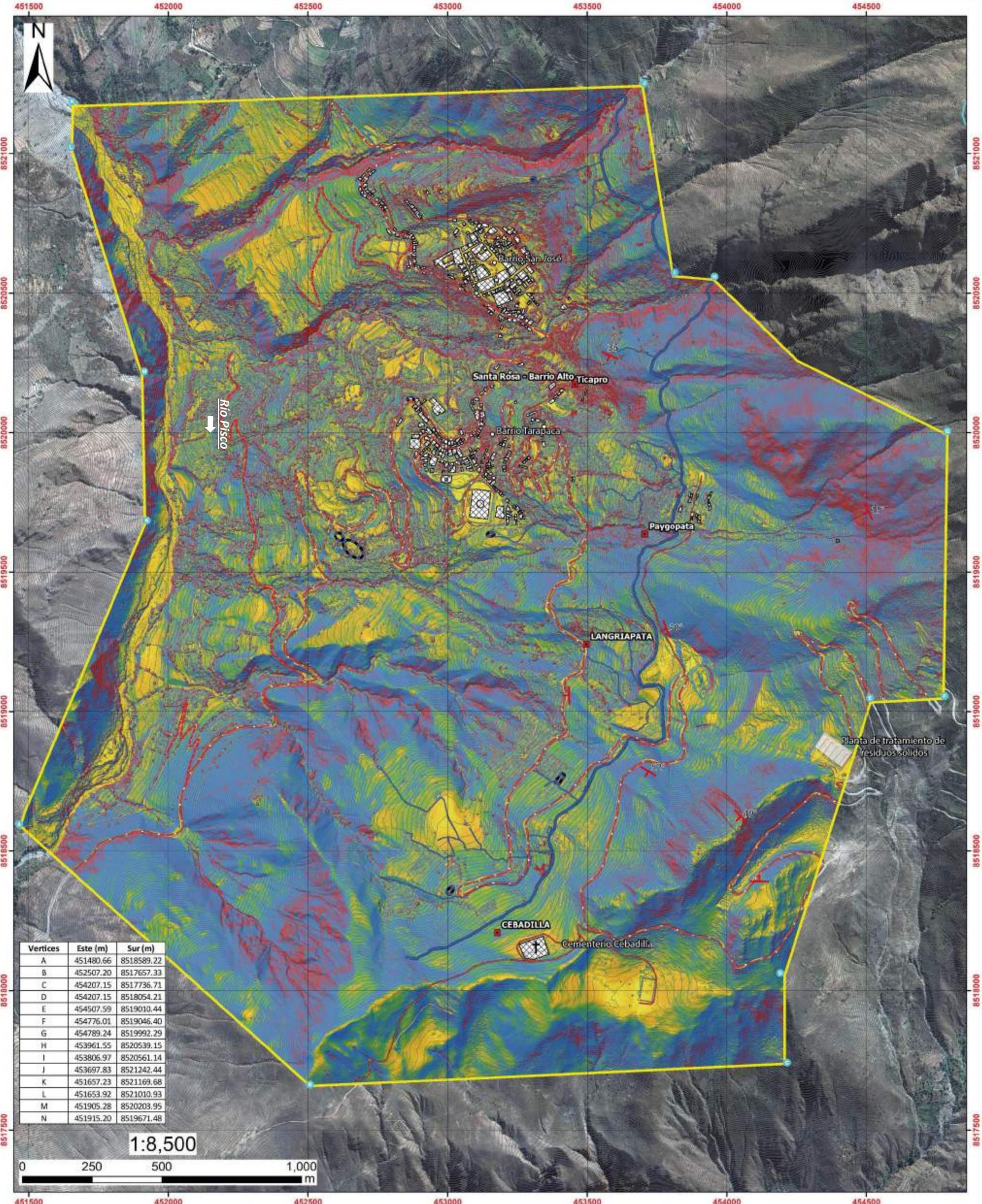
Simbología	
	Trochas carrozables
	Caminos de Herradura
	Vías asfaltadas
	Canal de riego principal
	Canales de riego secundario
	Drenajes de escorrentia natural
	Reservorios de agua curvas de nivel a 5 m
	Viviendas y construcciones
	Limites del área de estudio
	Barrios locales
	Áreas puntuales
	Manante de agua natural
	Rumbo y buzamiento de estratos

INGEMMET
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 ACT 11: ASISTENCIA DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL
 DEPARTAMENTO HUANCABALLA
 PROVINCIA CASTROVIRREYNA
 DISTRITO TICAPURO

Mapa de Unidades Litoestratigráficas
 la ladera oeste del centro poblado Ticapuro

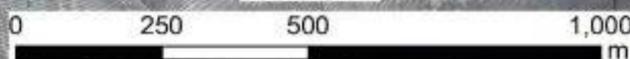
Escala: 1:8500 escala de impresión A2 Elaborado por: G. Luna
 Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84
 Versión digital: 2024 Impreso: 2024
 C:\Users\user\Desktop\Mapa de Unidades Litoestratigráficas

MAPA 01



Vertices	Este (m)	Sur (m)
A	451480.66	8518589.22
B	452507.20	8517657.33
C	454207.15	8517736.71
D	454207.15	8518054.21
E	454507.59	8519010.44
F	454776.01	8519046.40
G	454789.24	8519992.29
H	453961.55	8520539.15
I	453806.97	8520561.14
J	453697.83	8521242.44
K	451657.23	8521169.68
L	451653.92	8521010.93
M	451905.28	8520203.95
N	451915.20	8519671.48

1:8,500



Leyenda Pendientes del terreno

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

Simbología

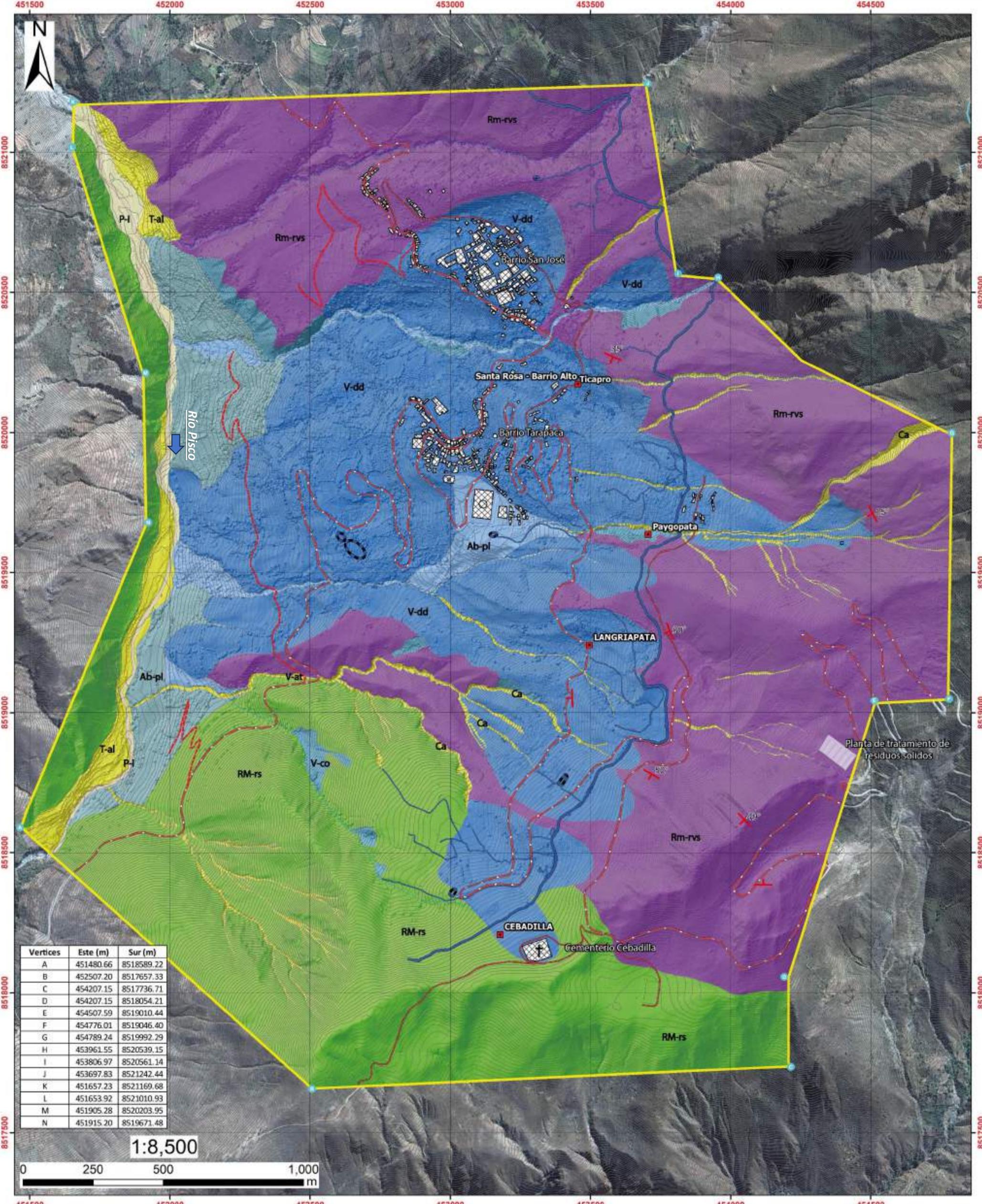
- Trochas carrozables
- Caminos de Herradura
- Vías asfaltadas
- Canal de riego principal
- Canales de riego secundario
- Drenajes de escorrentia natural
- Reservorios de agua
- curvas de nivel a 5 m
- Viviendas y construcciones
- Limites del área de estudio
- Barrios locales
- Áreas puntuales
- Manante de agua natural

INGEMMET
 INSTITUTO NACIONAL DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 ACT. 11: ASISTENCIA DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL
 DEPARTAMENTO PLINACAVELICA
 PROVINCIA CASTAÑO BUENA
 DISTRITO TICAPURO

Mapa de pendientes del terreno en la ladera oeste del centro poblado Ticapuro

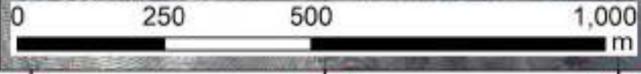
Escala: 1:8500 escala de impresión A2 Elaborado por: G. Linares
 Proyección UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84
 Versión digital 2024 Impreso: 2024

MAPA 02



Vertices	Este (m)	Sur (m)
A	451480.66	8518589.22
B	452507.20	8517657.33
C	454207.15	8517736.71
D	454207.15	8518054.21
E	454507.59	8519010.44
F	454776.01	8519046.40
G	454789.24	8519992.29
H	453961.55	8520539.15
I	453806.97	8520561.14
J	453697.83	8521242.44
K	451657.23	8521169.68
L	451653.92	8521010.93
M	451905.28	8520203.95
N	451915.20	8519671.48

1:8,500



Leyenda Subunidades Geomorfológicas

- RM-rs Montaña en roca sedimentaria
- V-dd Vertiente con depósito de deslizamiento
- V-co Vertiente coluvial
- V-at Vertiente aluvio-torrencial
- Ab-pl Abanico proluvial
- P-I Planicie inundable
- T-al Terraza aluvial
- Ca Cárcavas

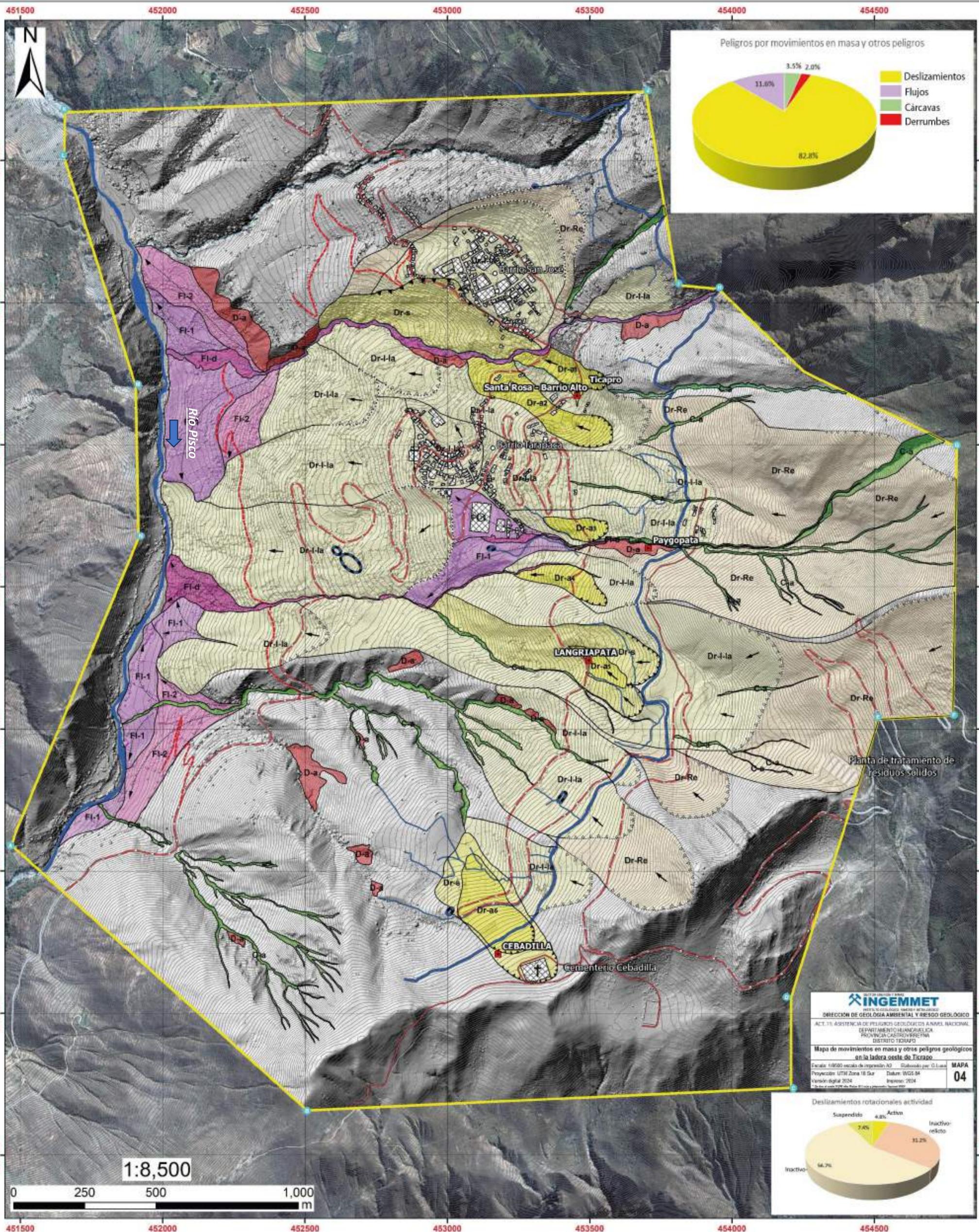
Simbología

- Trochas carrozables
- Caminos de Herradura
- Vías asfaltadas
- Canal de riego principal
- Canales de riego secundario
- Drenajes de escorrentia natural
- Reservorios de agua
- curvas de nivel a 5 m
- Viviendas y construcciones
- Limites del área de estudio
- Barrios locales
- Áreas puntuales
- Manante de agua natural

INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
DIRECCION DE GEOLOGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO
ACT. 11. ASISTENCIA DE PELIGROS GEOLOGICOS A NIVEL NACIONAL
DEPARTAMENTO HUANCAVELICA
PROVINCIA CASTILLO BRESCHN
DISTRITO TICAPRO

Mapa de subunidades geomorfológicas en la ladera oeste del centro poblado Ticapro

Escala: 1:8500 escala de impresión A2 Elaborado por: G.Lara MAPA 03
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84
Versión digital 2024 Impreso: 2024



Legenda Peligros geológicos Ticapo

D-a	Derrumbe, Activo	Fl-p2	Flujo, Antiguo 2
Dr-s	Deslizamiento rotacional, Suspendido	Fl-t	Flujo, Temporal
Dr-i-l	Deslizamiento rotacional, Inactivo-latente	Ca	Cárcava, Activo
Dr-i-r	Deslizamiento rotacional, Inactivo-relicto		
Dr-a	Deslizamiento rotacional, Activo		
Fl-p1	Flujo, antiguo 1		

Simbología

---	Trochas carrozables	▣	Viviendas y construcciones
---	Caminos de Herradura	▭	Limites del área de estudio
---	Vías asfaltadas	○	Barrios locales
---	Canal de riego principal	■	Áreas puntuales
---	Canales de riego secundario	■	Manante de agua natural
---	Drenajes de escorrentia natural		
---	Reservorios de agua		
---	curvas de nivel a 5 m		

Simbología de peligros geológicos

▲▲▲	Deslizamientos antiguos
▲▲▲	Deslizamientos áctivos
↔	Dirección de Movimientos
↔	Dirección de Flujos