

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7391

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTOS Y DERRUMBES EN EL SECTOR RETAMACHAYOC DE LA COMUNIDAD DE CUCUCHIRAY

Departamento Cusco
Provincia Paruro
Distrito Paruro



JUNIO
2023

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTOS Y DERRUMBES EN EL SECTOR RETAMACHAYOC DE LA COMUNIDAD DE CUCUCHIRAY

Distrito Paruro, provincia Paruro, departamento Cusco

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

Equipo de investigación:

David Prudencio Mendoza

Gael Araujo Huamán

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). Evaluación de peligros geológicos por deslizamientos y derrumbes en el sector Retamachayoc de la comunidad de Cucuchiray. Distrito Paruro, provincia Paruro, departamento Cusco. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7391, 24 p.

INDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Objetivos del estudio	2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	2
1.3. Aspectos generales	3
1.3.1. Ubicación.....	3
1.3.2. Accesibilidad	4
1.3.3. Clima	4
2. DEFINICIONES	5
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	6
3.1. Unidades litoestratigráficas	6
3.1.1. Formación Soncco.....	6
3.1.2. Formación Paruro	6
3.1.3. Depósitos coluvio-deluvial	7
3.1.4. Depósitos coluviales.....	7
3.1.5. Depósitos fluviales.....	8
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	9
4.1. Pendientes del terreno	9
4.2. Unidades geomorfológicas	9
4.2.1. Unidad de montañas	9
4.2.2. Unidad de piedemonte.....	9
5. PELIGROS GEOLÓGICOS Y/O GEOHIDROLÓGICOS	10
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa del sector Retamayoc	11
5.1.1. Factores condicionantes.....	14
5.1.2. Factores detonantes o desencadenantes.....	15
6. CONCLUSIONES	16
7. RECOMENDACIONES	17
8. BIBLIOGRAFÍA	18
ANEXO 1: MAPAS	19

ANEXO 2: DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES 23

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por deslizamientos y derrumbes, realizado en el sector Retamachayoc de la comunidad de Cucuchiray, del distrito y provincia Paruro, departamento Cusco. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos en los tres niveles de gobierno.

En el sector afloran conglomerados, areniscas, lutitas y limos, los cuales se presentan muy fracturados y altamente meteorizados (Formación Paruro-Miembro I) y sobre estas se encuentran depósitos coluviales y coluvio-deluvial no consolidados.

Los depósitos que se encuentran en el sector de Retamachayoc corresponden a coluvio deluviales, conformados por bloques (10%) y gravas (30%) heterométricos en matriz areno limosa (60%), con formas sub angulosas a angulosas.

Las unidades geomorfológicas pertenecen a montañas estructurales en rocas sedimentaria, además de una vertiente coluvio deluvial.

Los procesos identificados en el sector Retamachayoc corresponden a deslizamientos y derrumbes activos ubicados en la margen izquierda del riachuelo Perahuayco, y que afectan zonas agrícolas.

El factor principal condicionante para la generación de los deslizamientos, son laderas con pendientes fuertes (15°- 25°) y para los derrumbes las laderas escarpadas (25° - 45°); aunados al intenso fracturamiento de las rocas.

Los eventos mencionados anteriormente podrían represar el riachuelo Perahuayco, de generarse una rotura violenta del dique, ocasionaría un flujo de detritos que afectaría las viviendas que se encuentran en la parte baja.

A menos de 1 km, se tiene la falla Rondocan (neotectónica) como parte del Sistema de fallas Casacunca-Acomayo-Langui-Layo, con dirección promedio N130°E, movimiento de tipo normal y recurrencia de sismos con profundidades menores a 30 km (en los últimos años), que de activarse podría detonar los deslizamientos y derrumbes que se encuentran en el sector de Retamachayoc.

Se concluye que el área de estudio, es de **peligro alto** a la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes, sujeto a desencadenarse ante lluvias intensas y prolongadas, como las que ocurren entre los meses de diciembre a marzo o con sismos.

Finalmente, se brinda recomendaciones que se consideran importantes, las cuales deben ser tomadas en cuenta por las autoridades competentes; tales como realizar zanjas de coronación y en forma de espina de pescado impermeabilizados, forestación y limpieza del cauce del riachuelo Perahuayco, entre otros.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (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 Provincial de Paruro, según Oficios N° 144-2022-MPP/A, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en el sector Retamachayoc de la comunidad de Cucuchiray por encontrarse en peligro ante “deslizamientos y derrumbes”, con última ocurrencia el 4 de febrero del presente año, que afectó áreas de crianza de abejas para miel y agrícolas de trigo y avena.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los ingenieros David Prudencio Mendoza y Gael Araujo Huamán, realizar la evaluación de peligros geológicos.

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

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Provincial de Paruro y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la evaluación y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que se presenta en el sector Retamachayoc.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación necesarias a fin de prevenir o reducir los riesgos presentes o la generación de nuevos

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional en el distrito de Paruro, se tienen:

- A) Según el boletín N° 74, serie C, Geodinámica E Ingeniería Geológica: “Peligro geológico en la región Cusco” (Vílchez et al., 2020); el estudio realiza un análisis de susceptibilidad a movimientos en masa como flujos de detritos, deslizamientos, caídas y erosión fluvial, donde el sector Retamachayoc presenta susceptibilidad muy alta. Entendiéndose, la susceptibilidad a movimientos en masa como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

- B) En la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Cusco (28-s)”, escala 1: 50 000 (Carlotto et al., 2011); describe la información relacionada a los cambios más resaltantes sobre estratigrafía (Formación Paruro - Miembro 1) y la geología estructural del área de dichos cuadrángulos.
- C) Según el boletín “Neotectónica y peligro sísmico en la región Cusco” (Benavente et al., 2013) describe y ubica la falla Rondocan, como parte del Sistema de fallas Casacunca-Acomayo-Langui-Layo de edad Pleistocena, presenta una dirección promedio N130°E, un movimiento de tipo Normal y recurrencia de sismos con profundidades menores a 30 km en los últimos años.

Esta falla limita al Grupo San Jerónimo de la Formación Paruro y se encuentra muy próxima al sector Retamachayoc.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El sector Retamachayoc se ubica en comunidad de Cucuchiray, al noroeste del centro poblado de Paruro (capital de la provincia) y a 3 km de distancia por la carretera Paruro - Masca - Cusco. Además, las aguas de escorrentía del sector se vierten por sus márgenes izquierdas a la quebrada Perahuayco y a su vez al río Paruro. Políticamente se encuentra dentro del distrito y provincia de Paruro, departamento de Cusco. (figura 1), cuyas coordenadas centrales UTM (WGS84 – Zona 19S) son (Tabla 1):

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio

N°	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	192209	8478015	-13.750805°	-71.846073°
2	192650	8478015	-13.750852°	-71.841999°
3	192650	8477420	-13.756225°	-71.842064°
4	192209	8477420	-13.756178°	-71.846138°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA				
C	192454	8477779	-13.752962°	-71.843835°

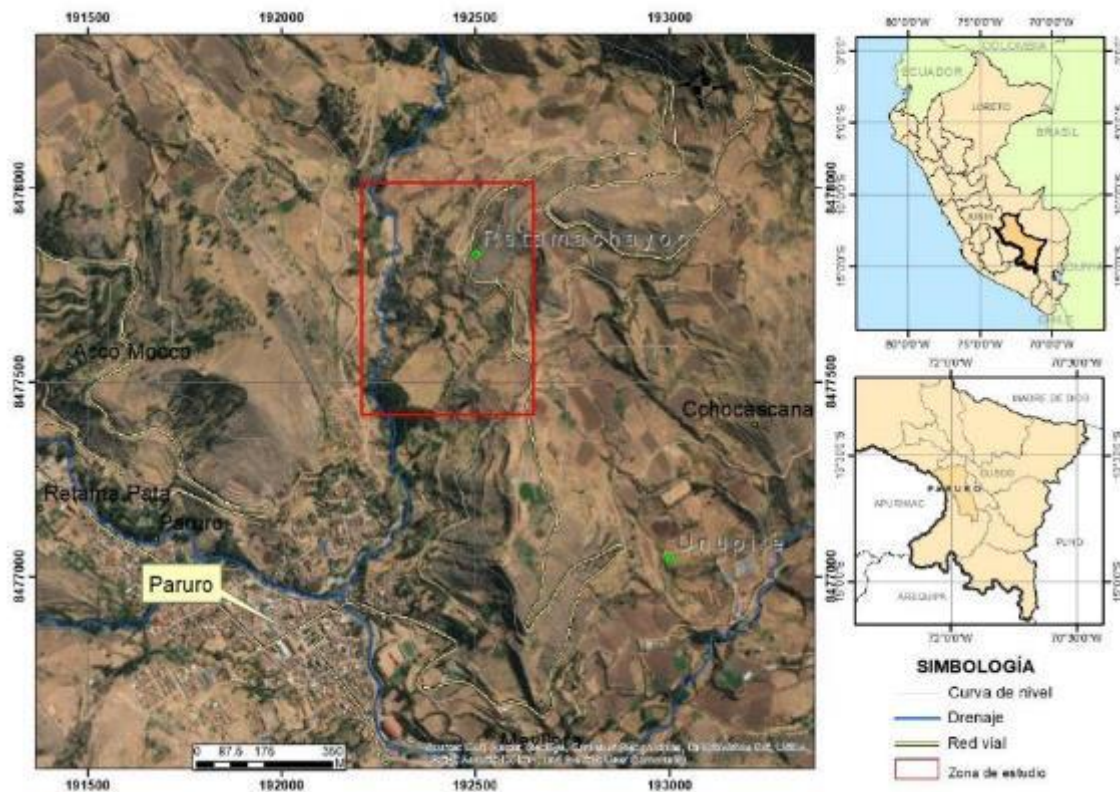


Figura 1. Ubicación del sector Retamachayoc en la comunidad de Cucuchiray

1.3.2. Accesibilidad

Se accede a la zona de estudio por vía terrestre, desplazándose desde la ciudad del Cusco (Ingemmet - OD Cusco), mediante la siguiente ruta (cuadro 1):

Cuadro 1. Rutas y accesos a la zona evaluada.

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Cusco – Paruro	Asfaltada	64	1 h 37 min
Paruro – sector Retamachayoc, comunidad Cucuchiray	Carretera afirmada	3	10 min

1.3.3. Clima

De acuerdo al mapa climático del SENAMHI (2020), y detallando la información local, se puede observar que, el sector Retamachayoc presenta un clima semiseco, templado y con invierno seco.

Presenta una frecuencia de precipitación entre los meses de diciembre a marzo, cuyas lluvias acumuladas anuales son de 300 mm a 700 mm, además, en los meses de junio a setiembre presenta temperaturas máximas que oscilan entre 15°C a 21°C y mínimas entre 7°C y 11°C, con humedad atmosférica relativa de inviernos secos.

Esta clasificación climática es sustentada con información meteorológica recolectada de aproximadamente 20 años a partir de la cual se formulan “Índices Climáticos” de acuerdo a la clasificación climática por el método de Thornthwaite.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico tiene como objetivo ser comprensible para entidades gubernamentales de los tres niveles de gobierno y para el personal no especializado, sin necesidad de ser geólogos. En este informe se presentan diversas terminologías y definiciones relacionadas con la identificación, clasificación y descripción de los peligros geológicos.

Para lograr una mayor comprensión, nos basamos en el libro "Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas" del Proyecto Multinacional *Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007)* y presentamos algunas definiciones importantes en términos sencillos

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

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

Derrumbe Movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera. El material se desplaza por el aire, golpeando, rebotando o rodando. Se le conoce también como desprendimiento de rocas, suelos y/o derrumbes.

Deslizamientos: Movimiento ladera debajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla. 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).

Escarpa: 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.

Flujos: Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea deslizamiento o una caída. Los flujos pueden ser canalizados (huaicos) y no canalizados (avalanchas).

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

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

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

Movimientos en masa: Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. En el territorio

peruano, los tipos más frecuentes corresponden a caídas, deslizamientos, flujos, reptación de suelos, entre otros.

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

Susceptibilidad: 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.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base a la carta geológica nacional “Geología del cuadrángulo de Cusco” hoja: 28-s, a escala 1:50 000 (Carlotto *et al.*, 2011), donde se aprecian principalmente unidades litoestratigráficas de naturaleza sedimentaria, cubiertos por depósitos cuaternarios. La geología se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas y observaciones de campo.

3.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona inspeccionada y alrededores corresponden a afloramientos de rocas sedimentarias de las formaciones Paruro y Soncco del Grupo San Jerónimo, además localmente se han identificado depósitos fluviales, deluvio-coluviales y coluviales que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad (Anexo 1 - Mapa 1).

3.1.1. Formación Soncco

Aflora ampliamente al norte de la zona de estudio, en la parte alta de los cerros se puede apreciar el Miembro II, compuesto por areniscas de clastos blandos y conglomerados con clastos volcánicos, de edad Eoceno superior. Se presentan mediana a muy fracturadas y altamente meteorizado.

3.1.2. Formación Paruro

Esta formación se divide en dos miembros:

El Miembro I aflora mayormente en la margen izquierda del río Paruro y al norte del centro poblado del mismo nombre. Tiene un espesor de 365 a 700 m y está compuesto por lutitas y limolitas lacustres, areniscas fluviales y algunos conglomerados fluviales; en la zona de estudio se aprecian las areniscas y conglomerados los cuales se presentan muy fracturados y altamente meteorizados.

El Miembro II aflora mayormente en la margen derecha del río Paruro y al sur del centro poblado del mismo nombre. Tiene un espesor de 800 a 1000 m, compuesto casi exclusivamente por conglomerados de conos aluviales que constituyen una secuencia grano-estrato creciente (Jaimes *et al.*, 1996).

Los sedimentos de esta unidad se han depositado en la cuenca Paruro, que se encuentra controlada por fallas NO-SE y NNO-SSE de Colcha-Coyabamba-Acomayo y Yaurisque-Papres-Acomayo (Carlotto *et al.*, 2011).

3.1.3. Depósitos coluvio-deluvial

Son depósitos poco consolidados que se encuentran adosados en las laderas de la quebrada Perahuayco y riachuelos afluentes. Compuestas por bloques (10%) y gravas (30%) heterométricos y homogéneos de formas angulosos a sub angulosos en matriz de areno-limo-arcillosa (60%); Originadas por acción de las aguas de escorrentía sobre materiales coluviales, trasladándolos pendiente abajo, dejando laderas de pendientes suaves (fotografía 1) (Anexo 2 – descripción de formaciones superficiales 1).



Fotografía 1: Se aprecian el depósito coluvio-deluvial y los afloramientos de rocas en la zona de derrumbes junto al riachuelo Perahuayco.

3.1.4. Depósitos coluviales

Son depósitos de materiales deslizados que se encuentran adosados en las laderas de la quebrada Perahuayco, se aprecian ampliamente en aguas debajo de la zona evaluada, están compuestos por bloques (20%) y gravas (30%) angulosas a sub angulosas con escasa matriz areno-limosa (50%), son depósitos no compactos y susceptibles a generar nuevos movimientos en masa (figura 2).



Figura 2: se aprecian los depósitos coluviales y los afloramientos de rocas en la zona de derrumbes junto al riachuelo Perahuayco.

3.1.5. Depósitos fluviales

Se ubican en ambas márgenes del río Paruro, formando as terrazas, constituidas por bloques y gravas redondeadas a sub redondeadas en matriz limo arenosa, estos materiales son susceptibles a sufrir erosión y socavamiento, ante crecidas del río (figura 3).



Figura 3: Depósitos fluviales en la confluencia del riachuelo Perahuayco al río Paruro.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

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

Se presenta el mapa de pendientes (Anexo 1 - Mapa 2), el cual se realizó con ayuda de un modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución; tomada del satélite Alos Palsar (USGS).

En la zona evaluada, las laderas con afloramientos rocosos, presentan mayormente terrenos con pendientes muy fuertes (25°- 45°), que favorecen a la generación de derrumbes. También, se tienen terreno sobre depósitos recientes con pendientes de suaves (1°- 5°) a fuertes (15°- 25°). En el sector donde se produce los deslizamientos se presentan pendientes con promedio de 20°.

4.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio, se realizó la complementación y actualización del mapa geomorfológico regional a escala 1:100 000 elaborado por Vílchez (2020). Además, se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual, en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación, diferenciándose montañas y piedemonte (Anexo 1 - Mapa 3).

4.2.1. Unidad de montañas

Son geoformas de carácter degradacional y erosional. Se consideran dentro de esta unidad a elevaciones del terreno con alturas mayores a 300 m con respecto al nivel de base local, diferenciándose la siguiente subunidad según el tipo de roca que la conforma y los procesos que han originado su forma actual.

Subunidad de montañas estructural en rocas sedimentaria (RME-rs): representado por un relieve modelado en afloramientos rocosos del Formación Soncco y Paruro, conformada por conglomerados, areniscas, lutitas y limos; con alineamientos NO - SE producto de las secuencias estratigráficas y fallas geológicas.

Se aprecia en las zonas altas de los cerros y en la zona de estudio, con laderas que presentan pendientes del terreno de fuertes a muy fuertes.

4.2.2. Unidad de piedemonte

Son geoformas de carácter depositacional y agradacional. Se consideran como formas de terrenos que constituyen la transición entre los relieves montañosos accidentados y las zonas planas, predominan los terrenos generados por fuerzas de desplazamiento como depósitos coluviales antiguos y recientes y depósitos de tipo glaciar – fluvial.

Subunidad de vertiente coluvio-deluvial (V-cd): Están formadas por acumulaciones al pie de laderas o acantilados de valles, conformado por materiales de origen coluvial y deluvial, donde no es posible distinguirlo como unidades individuales, su composición litológica es de bloques heterométricos de naturaleza

homogénea con arcillas, limos y arenas, proviene de procesos de movimientos en masa de tipo deslizamiento o derrumbes, trasladados por acción de las aguas de escorrentía.

El sector Retamachayoc se encuentra sobre laderas con pendientes suaves a moderadas; siendo susceptible a movimientos en masa por la poca compactación que presenta estos depósitos (figura 4).



Figura 4: Vertiente Coluvio-deluvial con pendientes de suaves a moderadas.

Subunidad de vertiente con depósitos de deslizamientos (V-dd): son zonas de acumulaciones en ladera de materiales inconsolidados, su composición litológica es homogénea y proviene de procesos de movimientos en masa de tipo deslizamiento, derrumbes de rocas y sus reactivaciones. Presenta morfología convexa y disposición circular a elongada de las zonas de arranque.

En la quebrada Perahuayco se muestran deslizamientos y derrumbes antiguos a lo largo de su recorrido, donde presentan terreno con pendientes fuertes.

Subunidad de terrazas indiferenciadas (T-i): Dentro de esta subunidad se considera los fondos de quebradas y valles, junto a la zona de estudio se aprecia el río Paruro, donde se pueden distinguir las terrazas y llanuras de inundación.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS Y/O GEOHIDROLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, corresponden a movimientos en masa de tipo reactivación de deslizamientos y caídas (derrumbes) (PMA: GCA, 2007). Estos procesos son resultado del modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de agua en la Cordillera de los Andes, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y

movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos.

Los movimientos en masa, tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como son geometría y pendiente del terreno, tipo de roca, tipo de suelos, drenaje superficial-subterráneo y cobertura vegetal. Se tiene como “detonantes” las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la zona, así como la sismicidad.

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa del sector Retamayoc

Se realizó la identificación en campo de los movimientos en masa, para ello se contó con el acompañamiento de la jefa de Defensa Civil de la Municipalidad Provincial de Paruro, Ing. Nohelia Zaire, quien comentó los hechos ocurridos en la zona de estudios.

Se identificó dos deslizamientos rotacionales reactivados, el más antiguo ocurrió el año 2007, el último ocurrió el 4 de febrero del presente año; además, dos derrumbes al pie del riachuelo Perahuayco que se activaron el mismo día de los deslizamientos (figura 5 y 6) (Anexo 1 - Mapa 4).



Figura 5: Se aprecia los derrumbes y la escarpa de deslizamiento en el sector Retamachayoc.

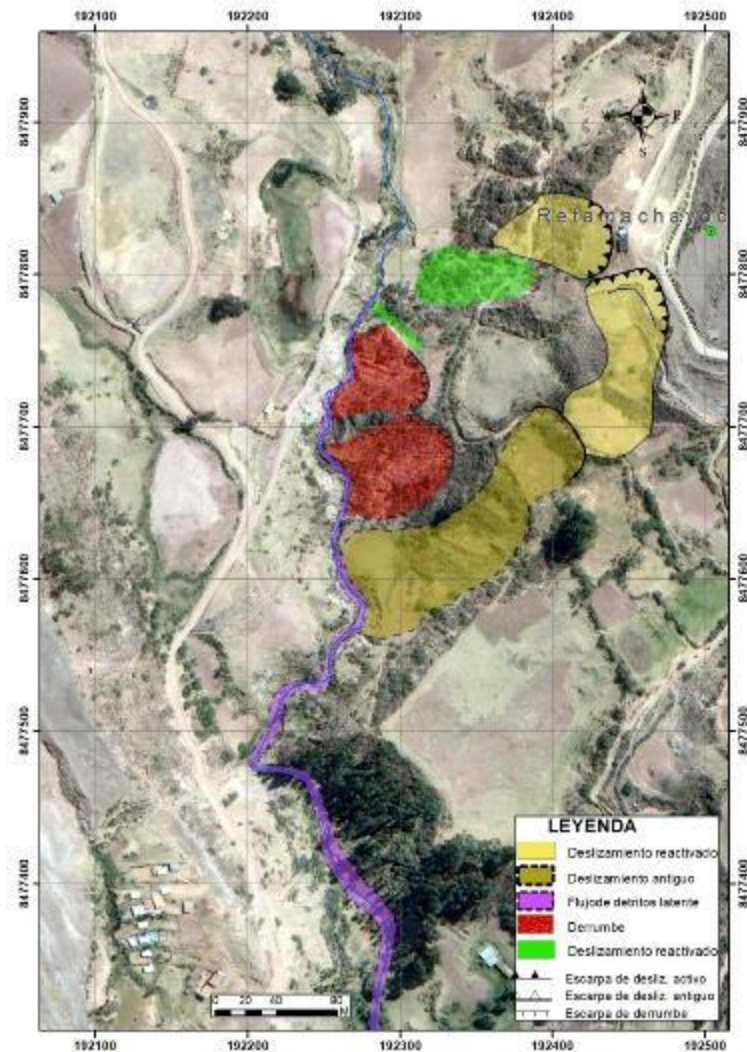


Figura 6: Se aprecia los deslizamientos y los derrumbes en la zona de estudio, además de erosión superficial, un deslizamiento antiguo y un flujo latente.

El deslizamiento que se originó el 4 de febrero, fue detonado por lluvias intensas y prolongadas que se dieron días antes de lo ocurrido, un día antes se registró lluvias que alcanzaron 58 mm/día. El material removido está compuesto por bloques y grabas en matriz areno limosa (figura 7), sus características son las siguientes:

- Longitud de la escarpa: 51 m
- Altura de la escarpa principal: 6 m
- Distancia de la cabeza al pie del deslizamiento: 123 m
- Forma de la superficie de rotura: circular
- Área del deslizamiento: 5400 m²
- Efectos: Daños en cultivo de trigo y avena, además de áreas de crianza de abejas. De continuar el movimiento podría afectar la carretera Paruro - Masca - Cusco.



Figura 7: Se aprecia la escarpa principal del deslizamiento de Retamachayoc.

Además, el mismo día 4 de febrero, en la ladera de la quebrada Perahuayco, a 170 m hacia el suroeste del deslizamiento principal se aprecia el riachuelo del mismo nombre, donde en su margen izquierda, se generaron dos derrumbes.

Los materiales removidos y trasladados al canal de la quebrada pueden generar un desembalse violento, originando un flujo que llegaría al centro poblado de Paruro. Por los materiales de flujos antiguos encontrados en el C.P., se puede decir que esta quebrada es muy dinámica y ha generado flujos de grandes dimensiones.

El derrumbe principal presenta una zona de arranque con longitud de 50 m, la altura (línea de escarpe al pie) es 60 m; los materiales acumulados en la base del evento presentan un ancho de 40 m. El segundo derrumbe presenta una zona de arranque con longitud de 65 m, con altura de 73 m de y los materiales depositados en la base de la quebrada alcanzan una distancia de 53 m. Los materiales caídos están compuestos por bloques (20%), gravas (30%) en matriz reno-limosa (50%); los bloques llegan a mediar diámetros hasta 1 m (figura 8). Los bloques provienen de las areniscas, los limos y arcillas de las lutitas.



Figura 8: Derrumbes en el sector Retamachayoc, los materiales alimentan al riachuelo Perahuayco.

En la confluencia del riachuelo Perahuayco y río Paruro (figura 9) se aprecian materiales provenientes de flujos antiguos, se presume que estos materiales han provenido de desembalses antiguos del riachuelo Perahuayco, de ocurrir algo similar afectaría al C.P. Paruro y al puente carrozable Cucuchiray, como también podría represar al río Paruro.



Figura 9: Confluencia del riachuelo Perahuayco al río Paruro, en la orilla izquierda del río Perahuayco se aprecia una vivienda que ya fue afectada anteriormente con crecidas de este río.

5.1.1. Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

- Substrato rocoso compuesto por conglomerados, areniscas, lutitas y limonitas, los que se encuentran muy fracturados y altamente meteorizados, originando inestabilidad en las laderas.
- Los depósitos coluvio-deluviales que se presentan adosados a las laderas, se encuentran no consolidados, compuestos por gravas angulosas a sub angulosas en matriz de areno-limosa; son de fácil erosión y remoción ante precipitaciones intensas.
- Cercano a la zona de estudio, se tiene el sistema de fallas Colcha-Coyabamba-Acomayo y Yaurisque-Papres-Acomayo, que han dado lugar a la formación de pliegues, donde las rocas se encuentran fracturadas, dando lugar a la formación de caída de rocas.

Factor geomorfológico

- La zona evaluada se encuentra circundada por montañas modeladas en rocas estructural sedimentaria, cuyas laderas presentan pendientes muy fuertes (25°-45°), esto contribuye a la movilización cuesta abajo del material disponible en la superficie, dando lugar a la generación de derrumbes.
- El sector donde se producen los deslizamientos, presenta laderas con pendiente fuerte (15°- 25°), en promedio de 20°, lo que facilita la infiltración de las aguas de escorrentía.

Factor hidrológico - hidrogeológico

- Los depósitos coluvio-deluviales y de deslizamientos, permite la infiltración y retención del agua, esto contribuye con el aumento de peso de la masa inestables. Este proceso a lo largo de los años (depende de las lluvias y de absorción del agua), va a inestabilizar la ladera y con ello a la reactivación del deslizamiento o generación de derrumbes).

5.1.2. Factores detonantes o desencadenantes

- Las lluvias intensas y/o prolongadas que se dieron días antes del evento, como apreciamos en la (figura 10), donde de acuerdo a la estación meteorológica de Paruro el 3 de febrero se dieron lluvias con intensidades que alcanzó los 58 mm/día, las que saturaron y sobrecargaron los taludes al punto de desestabilizarlos, además de generar erosión aumentando el peligro en la zona evaluada.

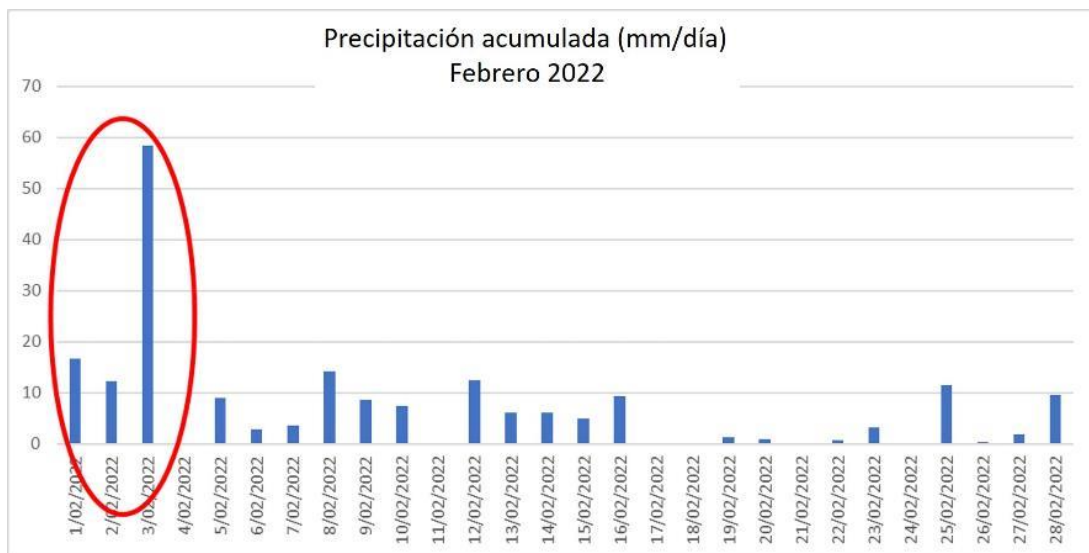


Figura 10. Precipitaciones diarias tomada de en la estación Paruro días antes que ocurran los eventos.

- Los sismos pueden inducir o desencadenar derrumbes o deslizamientos, ya que generan energía en los taludes y sobre las rocas sueltas. Hay que mencionar que en cercanías del área de estudio tenemos la falla reciente Rondocan que es una principal fuente sísmica (Benavente, et al, 2013)

6. CONCLUSIONES

- a) Se evaluaron dos deslizamientos y dos derrumbes activos, como también un flujo de detritos. El último evento podría afectar las viviendas que se encuentran cercanas al riachuelo Perahuayco, como también al libre tránsito de las personas que se trasladan por la zona en época de lluvias.
- b) Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el sector Retamachayoc de la Comunidad de Cucuchiray se considerada de **peligro alto** a la ocurrencia de deslizamientos, derrumbes y flujos, los que pueden ser desencadenados en presencia de lluvias intensas y/o prolongadas y en eventos sísmicos.
- c) Los factores condicionantes de los movimientos en masa son:
 - El substrato rocoso compuesto por conglomerados arenisca lutitas y limolitas, muy fracturados y altamente meteorizados.
 - Depósitos coluvio-deluviales y coluviales poco consolidados de fácil erosión; además, por el tipo de material que lo componen permite la infiltración y retención del agua proveniente de la lluvia. Estos depósitos se encuentran adosados a las laderas de las quebradas.
 - Las laderas con pendientes escarpadas (25° - 45°) y fuertes (15°- 25°), lo que permite la masa inestable de la ladera, se desplace cuesta abajo, dando lugar a la generación de derrumbes, deslizamientos y erosión de laderas.
 - El factor hidrológico genera infiltración, lo que conlleva a la sobrecarga y desestabiliza los taludes, además de erosionar las laderas.
- d) El factor desencadenante de los flujos son las lluvias intensas y/o prolongadas que se presentan en los meses de diciembre a marzo, y los sismos que se pueden dar por activación de fallas neotectónicas.

7. RECOMENDACIONES

- a) En los deslizamientos, realizar zanjas de coronación y drenaje tipo espina de pescado impermeabilizados, para evitar la infiltración de agua y sobrecarga de peso en el talud.
- b) En los derrumbes realizar zanjas de coronación impermeabilizadas, para evitar la infiltración y erosión en el talud.
- c) Forestar el cuerpo de los deslizamientos y donde se produzcan erosión de laderas con el fin de reducir la infiltración de los suelos y evitar sobrecargas del talud.
- d) Realizar estudios de estabilidad de taludes, con la finalidad de estabilizar los derrumbes que se encuentran en las márgenes del riachuelo Perahuayco.
- e) Descolmatar y limpiar el cauce del riachuelo Perahuayco para evitar posibles embalses.
- f) Limitar la faja marginal de la quebrada, para definir y respetar el ámbito del riachuelo Perahuayco, esta deberá realizarse conjuntamente con la entidad competente.
- g) Para las viviendas que se ubican cerca del canal de la quebrada Perahuayco y al río Paruro, se debe realizar una evaluación de riesgos de las viviendas definiendo su reubicación.
- h) Implementar un sistema de alerta temprana (SAT), con el fin de dar en tiempo real información ante la ocurrencia de represamientos, flujos de detritos y deslizamiento, para la evacuación de las personas que se encuentren en el ámbito de estos sectores.



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



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

8. BIBLIOGRAFÍA

Benavente, C; Delgado, F; Taípe, E.; Audin, L. & Pari, W.; (2013) – Neotectónica y peligros sísmicos en la región Cusco, INGEMMET. Boletín, serie C: Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 55, 245 p., 1 Mapa.

Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportation researchs board Special Report 247, p. 36-75.

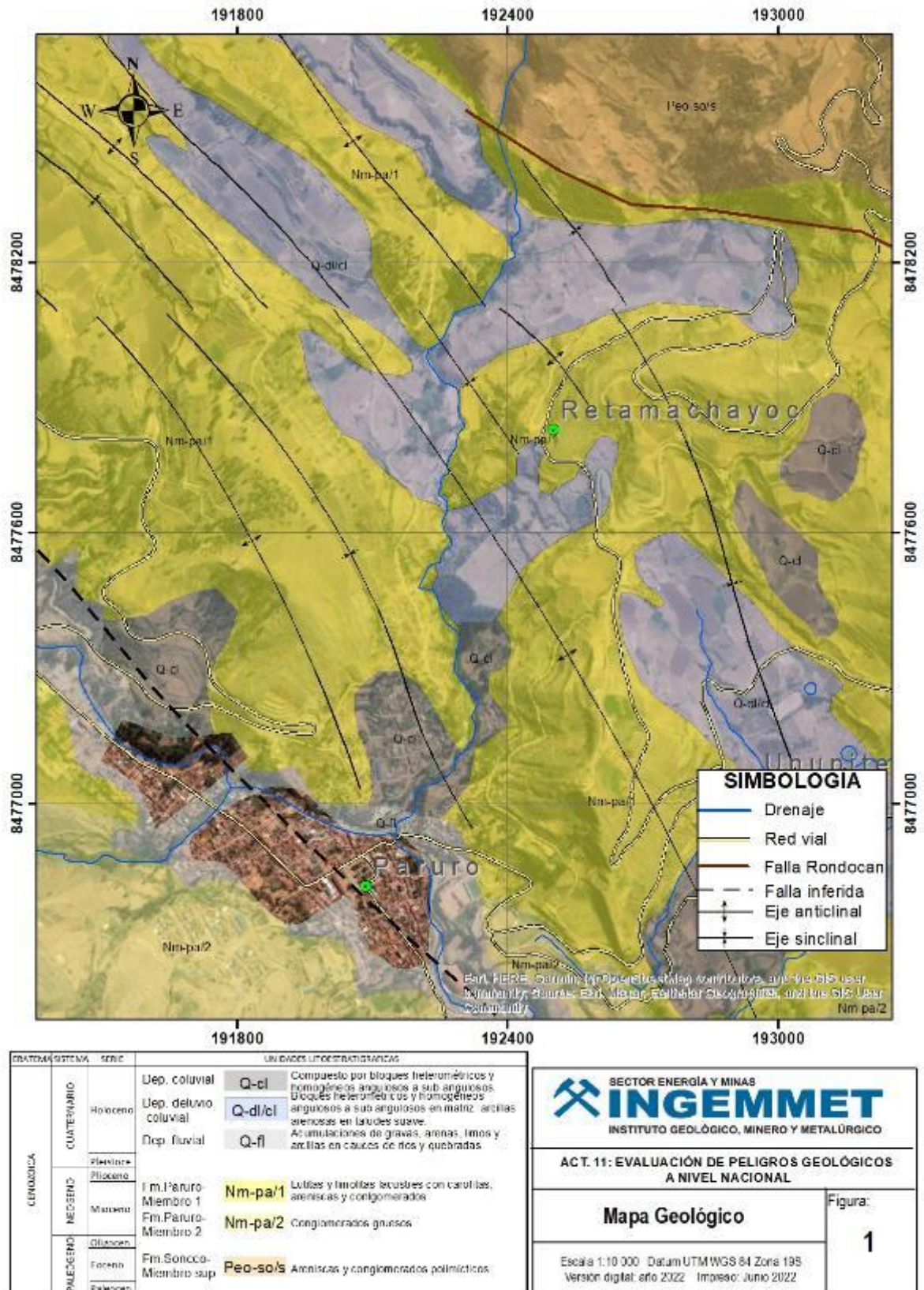
Carlotto, V., Cárdenas, J. y Carlier, G. (2011) – Geología del cuadrángulo de Cusco 28-S – 1:50 000 INGEMMET, Boletín, Serie A: 138, 258 p., 6 mapas.

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.

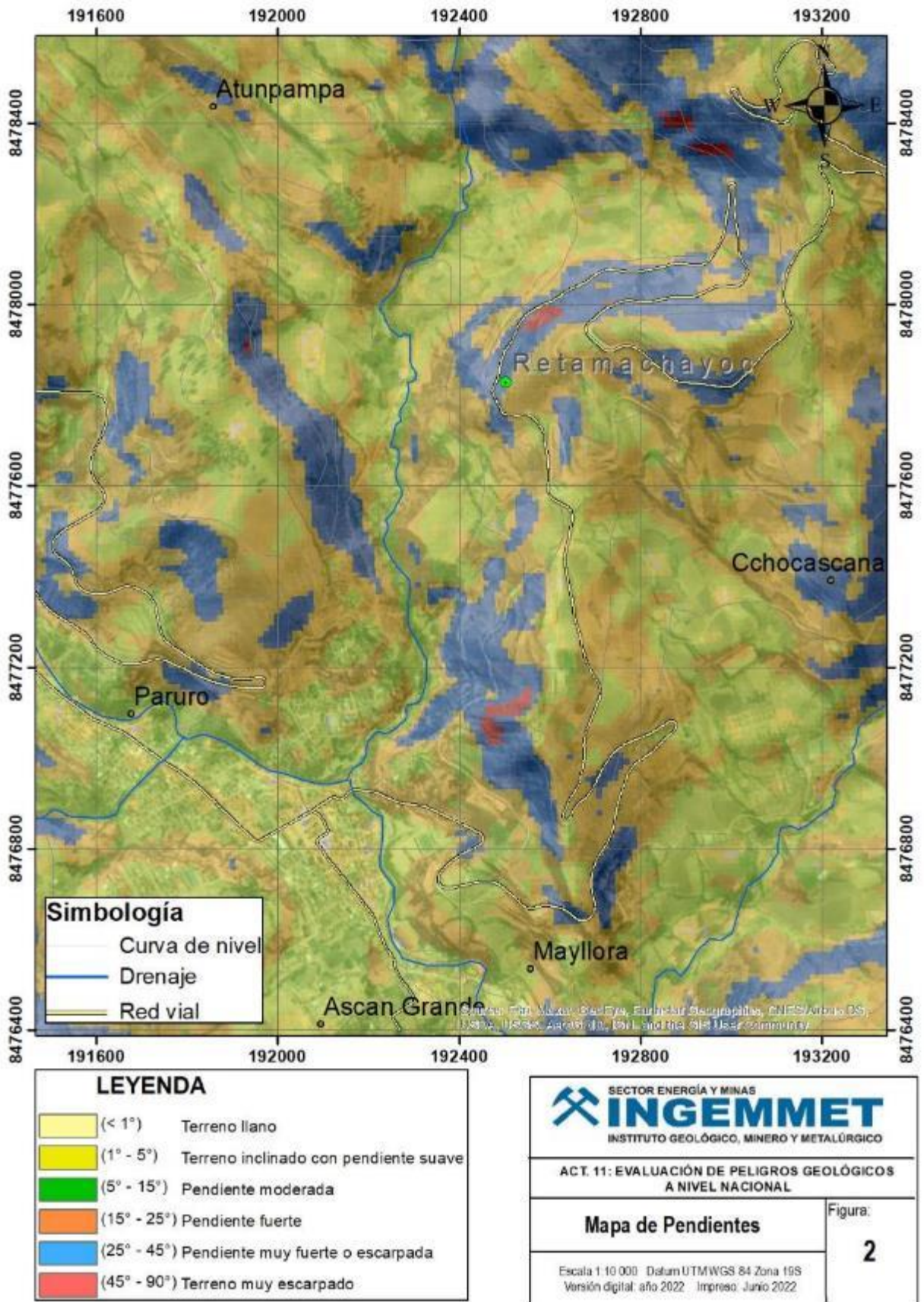
SENAMHI, 2020. Climas del Perú Mapa de Clasificación Climática Nacional. Resumen Ejecutivo. 7 p.

Vílchez, M.; Sosa, N.; Pari, W. & Peña, F. (2020) - Peligro geológico en la región Cusco. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 74, 155 p.

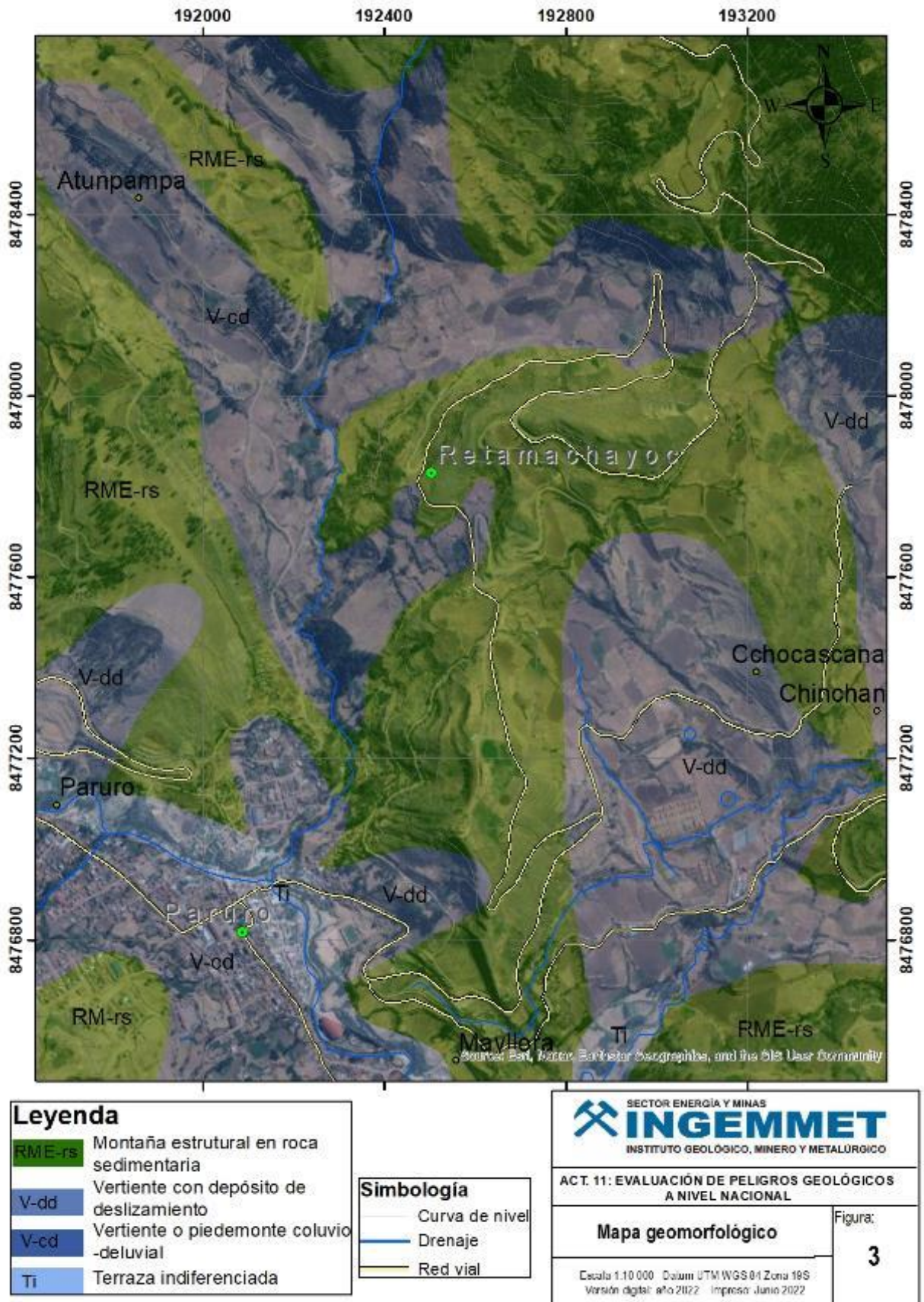
ANEXO 1: MAPAS



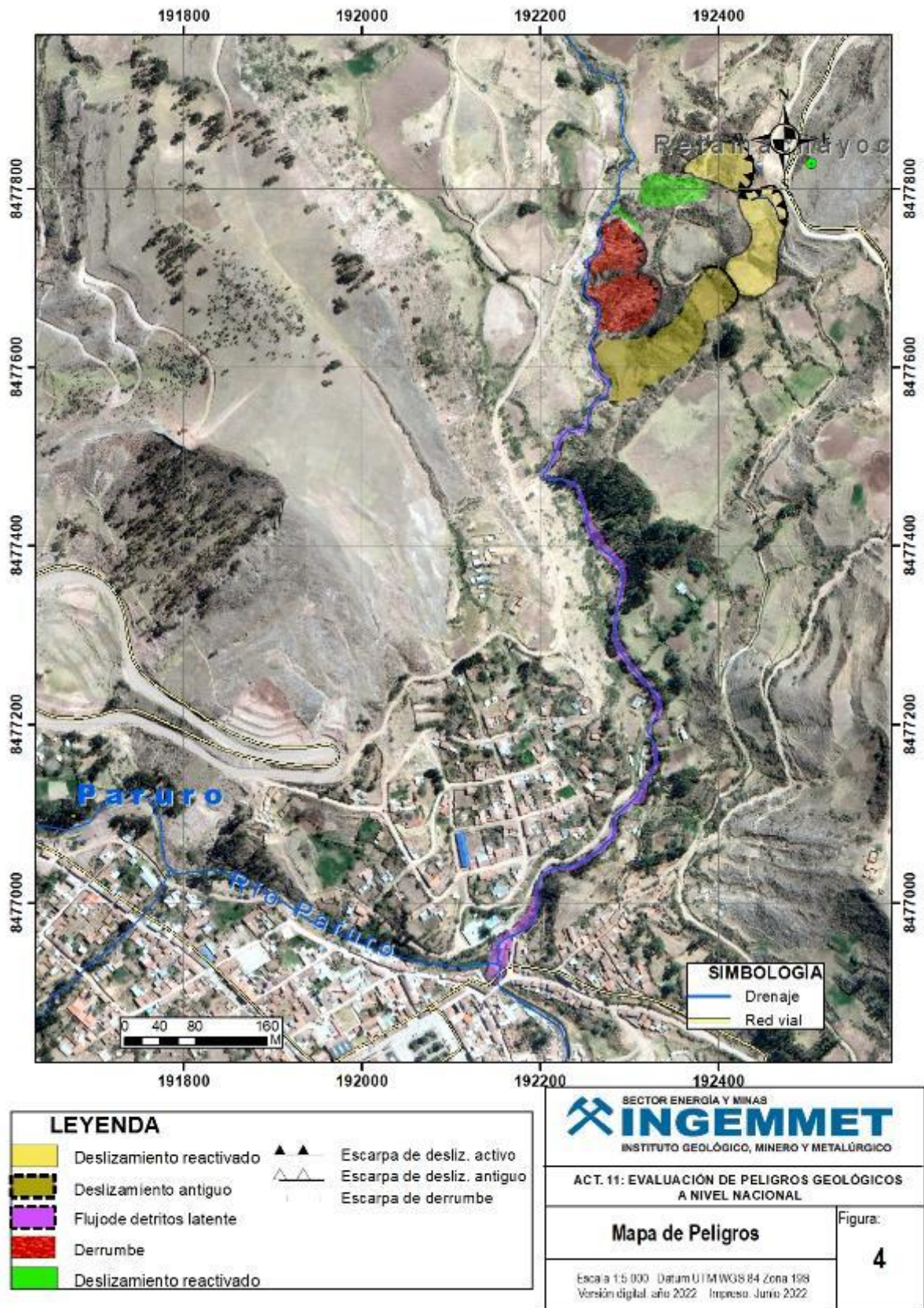
Mapa 1. Mapa geológico del sector Retamachayoc de la comunidad de Cucuchiray.



Mapa 2. Mapa de pendientes del sector Retamachayoc de la comunidad de Cucuchiray.



Mapa 3. Mapa geomorfológico del sector Retamachayoc de la comunidad de Cucuchiray.



Mapa 4. Mapa del cartografiado de peligros geológicos del sector Retamachayoc de la comunidad de Cucuchiray.

ANEXO 2: DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES

Depósito Coluvio- deluvial: Tomado en coordenadas UTM: 192587 E, 8477715 S en el sector Retamachayoc.

DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES 1							
		TIPO DE FORMACIÓN SUPERFICIAL	<input type="checkbox"/>	Eluvial	<input type="checkbox"/>	Lacustre	
			<input checked="" type="checkbox"/>	Deluvial	<input type="checkbox"/>	Marino	
			<input checked="" type="checkbox"/>	Coluvial	<input type="checkbox"/>	Eólico	
			<input type="checkbox"/>	Aluvial	<input type="checkbox"/>	Orgánico	
			<input type="checkbox"/>	Fluvial	<input type="checkbox"/>	Artificial	
			<input type="checkbox"/>	Proluvial	<input type="checkbox"/>	Litoral	
			<input type="checkbox"/>	Glaciar	<input type="checkbox"/>	Fluvio glaciar	
GRANULOMETRÍA			FORMA		REDONDES		
	%				PLASTICIDAD		
<input type="checkbox"/>	Bolos	<input type="checkbox"/>	Esférica	<input type="checkbox"/>	Redondeado	<input type="checkbox"/>	Alta plasticidad
<input type="checkbox"/>	10 Cantos	<input type="checkbox"/>	Discoidal	<input type="checkbox"/>	Subredondeado	<input type="checkbox"/>	Med. Plástico
<input type="checkbox"/>	20 Gravas	<input type="checkbox"/>	Laminar	<input checked="" type="checkbox"/>	Anguloso	<input type="checkbox"/>	Baja Plasticidad
<input type="checkbox"/>	10 Gránulos	<input checked="" type="checkbox"/>	Cilíndrica	<input checked="" type="checkbox"/>	Subanguloso	<input checked="" type="checkbox"/>	No plástico
<input type="checkbox"/>	30 Arenas						
<input type="checkbox"/>	20 Limos						
<input type="checkbox"/>	10 Arcillas						
		ESTRUCTURA	TEXTURA	CONTENIDO DE		%	LITOLOGÍA
<input checked="" type="checkbox"/>	Masiva	<input type="checkbox"/>	Harinoso	<input type="checkbox"/>	Materia Orgánica	80	Intrusivos
<input type="checkbox"/>	Estratificada	<input type="checkbox"/>	Arenoso	<input type="checkbox"/>	Carbonatos	<input type="checkbox"/>	Volcánicos
<input type="checkbox"/>	Lenticular	<input checked="" type="checkbox"/>	Aspero	<input type="checkbox"/>	Sulfatos	<input type="checkbox"/>	Matamórficos
						20	Sedimentarios
COMPACIDAD							
SUELOS FINOS				SUELOS GRUESOS			
Limos y Arcillas		Arenas		Gravas			
<input checked="" type="checkbox"/>	Blanda	<input checked="" type="checkbox"/>	Suelta	<input checked="" type="checkbox"/>	Suelta		
<input type="checkbox"/>	Compacta	<input type="checkbox"/>	Densa	<input type="checkbox"/>	Med. Consolidada		
<input type="checkbox"/>	Dura	<input type="checkbox"/>	Muy Densa	<input type="checkbox"/>	Consolidada		
				<input type="checkbox"/>	Muy Consolidada		
CLASIFICACIÓN TENTATIVA S.U.C.S.							
SUELOS GRUESOS				SUELOS FINOS			
<input type="checkbox"/>	GW	<input type="checkbox"/>	GC	<input type="checkbox"/>	ML	<input type="checkbox"/>	CH
<input type="checkbox"/>	GP	<input type="checkbox"/>	SW	<input type="checkbox"/>	CL	<input type="checkbox"/>	OH
<input type="checkbox"/>	GM	<input checked="" type="checkbox"/>	SP	<input type="checkbox"/>	OL	<input type="checkbox"/>	PT
<input type="checkbox"/>	SM	<input type="checkbox"/>	SC	<input type="checkbox"/>	MH		

Depósito Coluvial: Tomado en coordenadas UTM: 182318 E, 8477357 S en el sector quebrada Perahuayco.

DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES							
		TIPO DE FORMACIÓN SUPERFICIAL	<input type="checkbox"/>	Eluvial	<input type="checkbox"/>	Lacustre	
			<input type="checkbox"/>	Deluvial	<input type="checkbox"/>	Marino	
			<input checked="" type="checkbox"/>	Coluvial	<input type="checkbox"/>	Eólico	
			<input type="checkbox"/>	Aluvial	<input type="checkbox"/>	Orgánico	
			<input type="checkbox"/>	Fluvial	<input type="checkbox"/>	Artificial	
			<input type="checkbox"/>	Proluvial	<input type="checkbox"/>	Litoral	
			<input type="checkbox"/>	Glaciar	<input type="checkbox"/>	Fluvio glaciar	
GRANULOMETRÍA		FORMA		REDONDES		PLASTICIDAD	
	%						
<input type="checkbox"/>	Bolos	<input type="checkbox"/>	Esférica	<input type="checkbox"/>	Redondeado	<input type="checkbox"/>	Alta plasticidad
<input type="checkbox"/>	20 Cantos	<input type="checkbox"/>	Discoidal	<input type="checkbox"/>	Subredondeado	<input type="checkbox"/>	Med. Plástico
<input type="checkbox"/>	20 Gravas	<input type="checkbox"/>	Laminar	<input checked="" type="checkbox"/>	Anguloso	<input type="checkbox"/>	Baja Plasticidad
<input type="checkbox"/>	20 Gránulos	<input checked="" type="checkbox"/>	Cilíndrica	<input checked="" type="checkbox"/>	Subanguloso	<input checked="" type="checkbox"/>	No plástico
<input type="checkbox"/>	20 Arenas						
<input type="checkbox"/>	20 Limos						
<input type="checkbox"/>	Arcillas						
ESTRUCTURA		TEXTURA		CONTENIDO DE		% LITOLOGÍA	
<input type="checkbox"/>	Masiva	<input type="checkbox"/>	Harinoso	<input type="checkbox"/>	Materia Orgánica	<input type="checkbox"/>	80 Intrusivos
<input type="checkbox"/>	Estratificada	<input type="checkbox"/>	Arenoso	<input type="checkbox"/>	Carbonatos	<input type="checkbox"/>	Volcánicos
<input checked="" type="checkbox"/>	Lenticular	<input checked="" type="checkbox"/>	Aspero	<input type="checkbox"/>	Sulfatos	<input type="checkbox"/>	Matamórficos
						<input type="checkbox"/>	20 Sedimentarios
COMPACIDAD							
SUELOS FINOS				SUELOS GRUESOS			
Limos y Arcillas				Arenas		Gravas	
<input checked="" type="checkbox"/>	Blanda	<input checked="" type="checkbox"/>	Suelta	<input checked="" type="checkbox"/>	Suelta		
<input type="checkbox"/>	Compacta	<input type="checkbox"/>	Densa	<input type="checkbox"/>	Med. Consolidada		
<input type="checkbox"/>	Dura	<input type="checkbox"/>	Muy Densa	<input type="checkbox"/>	Consolidada		
				<input type="checkbox"/>	Muy Consolidada		
CLASIFICACIÓN TENTATIVA S.U.C.S.							
SUELOS GRUESOS				SUELOS FINOS			
<input type="checkbox"/>	GW	<input type="checkbox"/>	GC	<input type="checkbox"/>	ML	<input type="checkbox"/>	CH
<input type="checkbox"/>	GP	<input type="checkbox"/>	SW	<input type="checkbox"/>	CL	<input type="checkbox"/>	OH
<input checked="" type="checkbox"/>	GM	<input type="checkbox"/>	SP	<input type="checkbox"/>	OL	<input type="checkbox"/>	PT
<input type="checkbox"/>	SM	<input type="checkbox"/>	SC	<input type="checkbox"/>	MH		