

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7064

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES HUAMPUCHAKA Y SULCABAMBA

Región Ayacucho
Provincia Vilcas Huamán
Distrito Saurama



JUNIO
2020

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES HUAMPUCHAKA Y SULCABAMBA

DISTRITO SAURAMA, PROVINCIA VILCAS HUAMÁN, DEPARTAMENTO AYACUCHO

Contenido

RESUMEN	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Antecedentes y trabajos previos.....	3
1.2. Objetivos.....	4
2. ASPECTOS GENERALES	5
2.1. Ubicación y accesibilidad.....	5
2.2. Clima promedio.....	7
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	9
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	12
4.1. Pendiente del terreno.....	12
4.2. Clasificación de unidades geomorfológicas.....	13
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	17
5.1. Conceptos teóricos.....	17
5.1.1. Deslizamiento.....	17
5.1.2. Caída de rocas.....	18
5.1.3. Flujo de detritos (huaico).....	18
5.1.4. Erosión de Ladera.....	19
5.2. Procesos por movimientos en masa que afectan centros poblados Huampuchaka y Sulcabamba.....	19
5.2.1. Sectores Huampuchaka y Sulcabamba.....	20
6. PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS	27
CONCLUSIONES	30
RECOMENDACIONES	31
REFERENCIAS	32

RESUMEN

El distrito Saurama con una extensión territorial de 95.15 km², es uno de los ocho distritos que pertenecen a la provincia de Vilcas Huamán; en la sierra central del territorio peruano. Por su ubicación geográfica está expuesta a fuertes lluvias estacionales (diciembre a marzo), a esto se suma las condiciones geológicas y geomorfológicas que son susceptibles a la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa.

Ante esta problemática de riesgo, el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico a través de la Dirección de Geología Ambiental realizó la evaluación de peligros geológicos, en dos sectores afectados por procesos geodinámicos. El trabajo fue realizado por geólogos especialistas en peligros geológicos, durante un día de trabajo de campo y consistió en la cartografía de peligros geológicos que afectaron los poblados, carreteras, infraestructura entre otros.

Desde el punto de vista geológico, el sector Huampuchaka se asienta sobre depósitos de deslizamiento. Por otra parte, el sector Sulcabamba se asienta sobre depósitos proluviales, estos depósitos son susceptibles y favorecen la evolución de peligros geológicos por movimientos en masa.

La geomorfología en el área de estudio, es típico de la parte alta de la cordillera Occidental, formado por montañas en roca sedimentaria, con laderas de pendiente muy fuerte y escarpados, así como relieves que presentan disecciones que llegan a formar las quebradas, también se caracterizan por presentar una superficie ondulada, producto de eventos antiguos que fueron modelando el relieve.

Entre los factores condicionantes que originan la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa y peligros geohidrológicos, presenta pendiente del terreno fuertes (15° a 25°), muy fuerte (25°-45°) y escarpados (>45°), substrato rocoso de diferente competencia, suelos de remoción antigua no competentes, escasa cobertura vegetal. Y como factores desencadenantes tenemos las lluvias intensas (promedio anual 70mm) y/o extraordinarias; así como, los movimientos sísmicos

Como resultado de los trabajos de evaluación de zonas afectadas, se identificaron peligros geológicos de tipo: caída de rocas, deslizamiento, flujo de detritos y erosión de ladera. Se concluye que el área de estudio se encuentra considerado de **Alto** peligro en la temporada de lluvias intensas durante los meses del 19 de septiembre al 19 de abril y los movimientos sísmicos. Estos peligros afectaron en diferente intensidad infraestructura y terrenos de cultivo y pastoreo.

Finalmente, se brinda recomendaciones que se consideran importante que las autoridades competentes inicien un programa integral de forestación con paltas nativas; así como, realizar zanjas de coronación y derivar el agua fuera del área inestable. Estas propuestas de solución se plantean con la finalidad de minimizar la ocurrencia de los daños que puedan ocasionar los procesos identificados, como también evitar la generación de nuevos eventos que causen daños.

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), como ente técnico-científico, incorpora dentro de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) a través de la ACT.7: Evaluación de peligros geológicos y consideraciones geotécnicas a nivel nacional. Su alcance contribuye con entidades gubernamentales en los diferentes niveles de gobierno (nacional, regional y local), a partir del reconocimiento, caracterización y diagnóstico de peligros geológicos en territorios susceptibles a movimientos en masa, inundaciones u otros peligros geológicos asociados a eventos hidrolimáticos, sísmicos o de reactivación de fallas geológicas, o asociados a actividad volcánica. Mediante esta asistencia técnica el INGEMMET proporciona una evaluación técnica que incluye resultados de la evaluación geológica-geodinámica realizada, así como, recomendaciones pertinentes para la mitigación y prevención de fenómenos activos o la generación de desastres futuros en el marco del Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres.

El gobernador regional de Ayacucho, mediante Oficio N° 401-2019-GRA/GR, de fecha 05 setiembre del año 2019 solicitó a nuestra institución una evaluación técnica de peligros geológicos en los sectores de Huampuchaka y Sulcabamba del distrito Saurama.

El INGEMMET, por intermedio de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico comisionó a los profesionales Hugo Gómez Velásquez y Norma Sosa Senticala, especialistas en peligros geológicos, para realizar las evaluaciones técnicas, en dos sectores del distrito Saurama previamente mencionados, el cual se realizó el 05 de diciembre del año 2019, previa coordinación con autoridades locales.

La evaluación técnica, se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por el INGEMMET, la interpretación de imágenes satelitales, preparación de mapas para trabajos de campo, toma de datos (fotografía y GPS), cartografiado y redacción de informe preliminar

Este informe, se pone en consideración del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres – CENEPRED, el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI, autoridades y funcionarios competentes, para la ejecución de medidas de mitigación y reducción de riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Antecedentes y trabajos previos

Se pueden mencionar los estudios anteriores efectuados en la zona, que se menciona a continuación:

- a) Estudio de riesgo geológico de la región Ayacucho (Ingemmet, 2019), realiza el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, donde se determina que, los sectores de Huampuchaka, Sulcabamba y alrededores se asientan en una zona de Media a Alto grado de susceptibilidad a movimientos en masa de tipo: deslizamiento, derrumbes, flujo de detritos y erosión de ladera (figura 1).

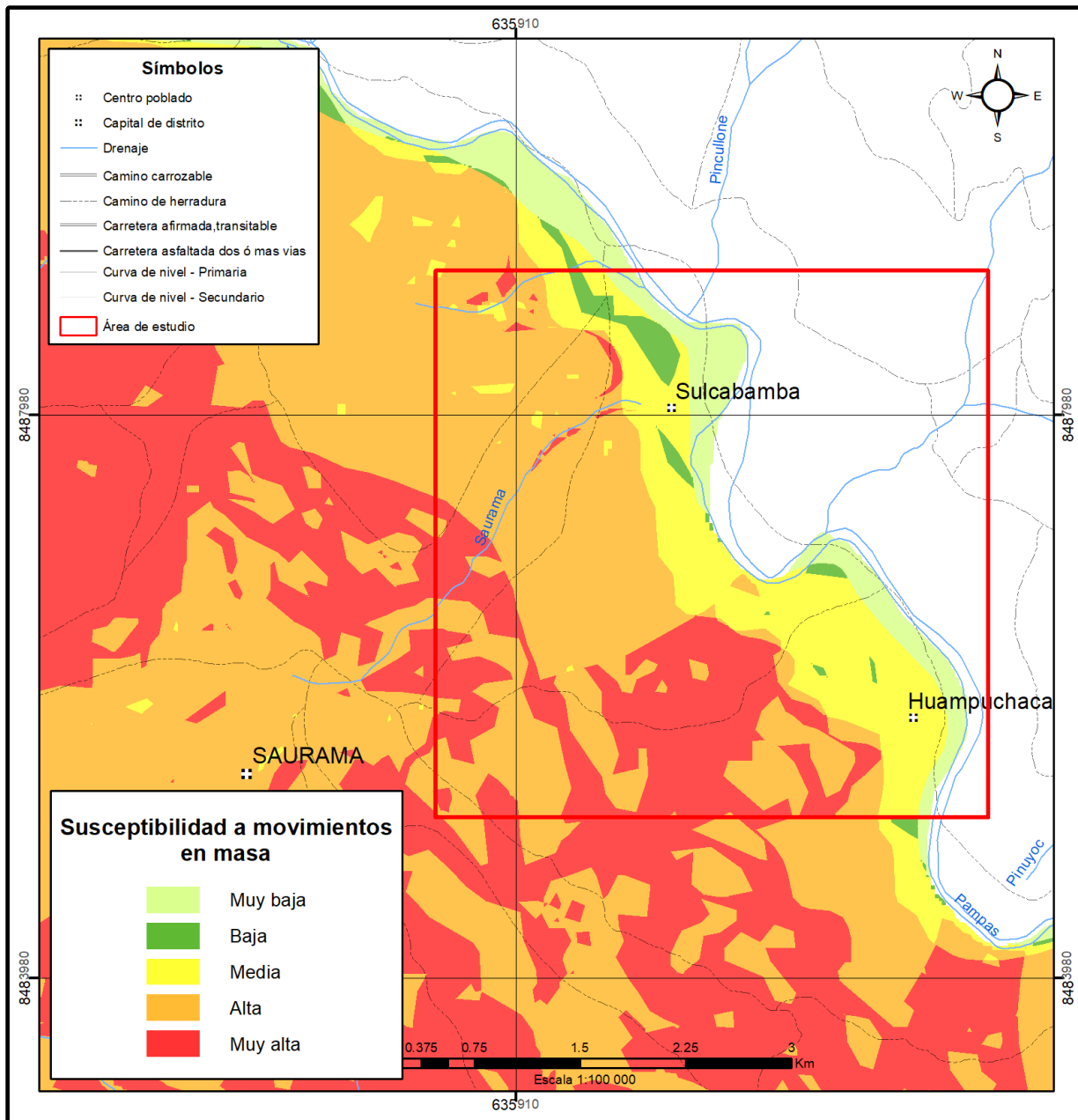


Figura 1. Mapa de susceptibilidad a procesos por movimientos en masa de la región Ayacucho, se observa que en los centros poblados Huampuchaca, Sulcabamba y alrededores, se asientan en una zona de Media a Alto grado de susceptibilidad a movimientos en masa de tipo: deslizamiento, derrumbes, flujo de detritos y erosión de ladera. (Ingemmet, 2019).

1.2. Objetivos

- Identificar y realizar la cartografía de los procesos geológicos por movimientos en masa, existentes en los alrededores poblados del distrito de Saurama, que afectan las obras de infraestructura, terrenos de cultivo y vías de comunicación; así como, las causas de su ocurrencia.
- Emitir las conclusiones y recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación del riesgo.

2. ASPECTOS GENERALES

2.1. Ubicación y accesibilidad

El distrito Saurama, es uno de los ocho distritos en que está dividida la provincia de Vilcas Huamán, en el departamento Ayacucho (figura 2). El distrito tiene una extensión territorial de 95.15 km², cuenta con aproximadamente 1038 habitantes (INEI-2017). Los sectores motivo de estudio ante procesos por movimientos en masa se encuentran situados:

- Huampuchaka, se ubica en la coordenada UTM WGS84 Zona 18 Sur: 638754.00 m E y 8485376.00 m S, a una altura de 2093 m s.n.m.
- Sulcabamba, se ubica en la coordenada UTM WGS84 Zona 18 Sur: 637031.00 m E y 8487975.00 m S, a una altura de 2074 m s.n.m.

El acceso a la zona de estudio se realiza por la ruta que se ve en el cuadro 1:

Cuadro 1: Vías de acceso a los sectores evaluados

Tramo		Km	Tipo de vía	Duración (h)
Lima	Vilcas Huamán	607	Asfaltada	14.11
Vilcas Huamán	Saurama	32	Afirmada	2:00
Saurama	Huampuchaka y Sulcabamba	26	Afirmada	1:30

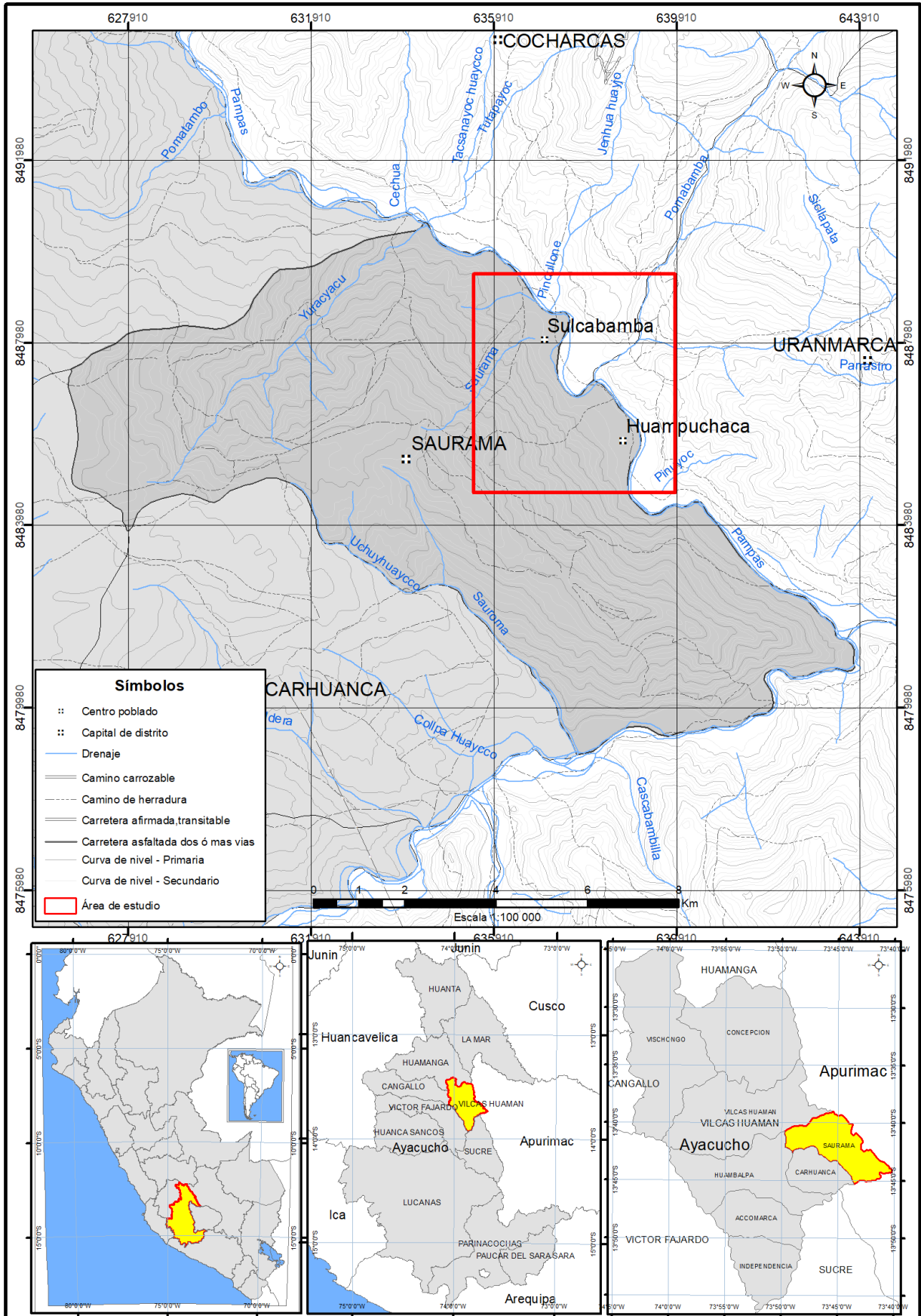


Figura 2. Mapa de ubicación de los sectores Huampuchaca y Sulcabamba y alrededores.

2.2. Clima promedio

En Saurama, los veranos son cortos, favorables y nublados mientras que los inviernos son cortos, frescos, secos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 6 °C a 21 °C y rara vez baja a menos de 4 °C o sube a más de 24 °C.

Temperatura.

La temporada templada dura dos meses, del 8 de octubre al 7 de diciembre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 21°C. El día más caluroso del año es el 12 de noviembre, con una temperatura máxima promedio de 21°C y una temperatura mínima promedio de 9°C.

La temporada fresca dura 1,9 meses, del 26 de mayo al 21 de julio, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 19°C. El día más frío del año es el 16 de julio, con una temperatura mínima promedio de 6°C y máxima promedio de 19°C. (figura 3)

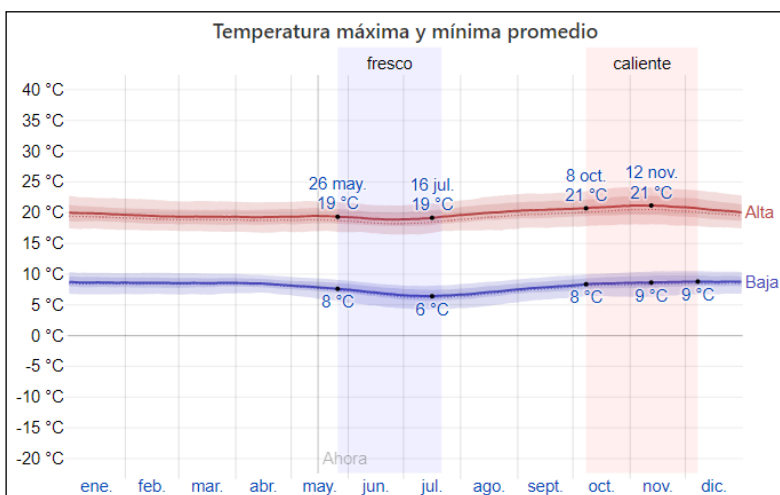


Figura 3 La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diaria con las bandas de los percentiles 25º a 75º, y 10º a 90º. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes. Fuente <https://es.weatherspark.com/>

Precipitación

Un día mojado es un día con por lo menos 1mm de precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Saurama varía considerablemente durante el año.

La temporada más mojada dura 4,2 meses, de 20 de noviembre a 28 de marzo, con una probabilidad de más del 20% de que cierto día será un día mojado. La probabilidad máxima de un día mojado es del 39% el 27 de enero.

La temporada más seca dura 7,8 meses, del 28 de marzo al 20 de noviembre. La probabilidad mínima de un día mojado es del 2% el 20 de julio.

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 39% el 27 de enero (figura 4).

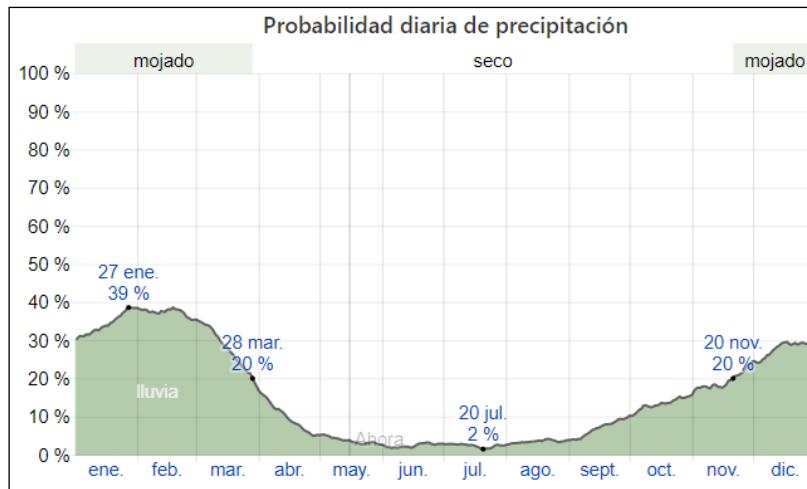


Figura 4. El porcentaje de días en los que se observan diferentes tipos de precipitación, excluidas las cantidades ínfimas: solo lluvia, solo nieve, mezcla (llovió y nevó el mismo día). Fuente <https://es.weatherspark.com/>

Lluvia

Para mostrar la variación durante un mes y no solamente los totales mensuales, mostramos la precipitación de lluvia acumulada durante un período móvil de 31 días centrado alrededor de cada día del año. Saurama tiene una variación considerable de lluvia mensual por estación.

La temporada de lluvia dura 7 meses, del 19 de septiembre al 19 de abril, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 mm. La mayoría de la lluvia cae durante los 31 días centrados alrededor del 8 de febrero, con una acumulación total promedio de 70 mm.

El periodo del año sin lluvia dura 5 meses, del 19 de abril al 19 de septiembre. La fecha aproximada con la menor cantidad de lluvia es el 5 de junio, con una acumulación total promedio de 3 milímetros. (figura 5)

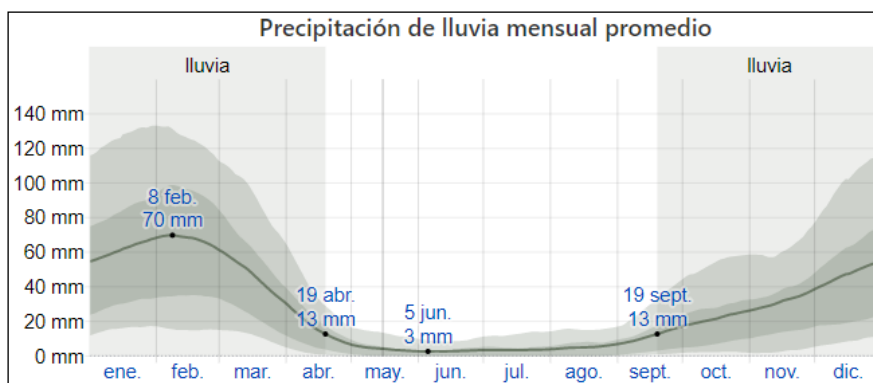


Figura 5. La lluvia promedio (línea sólida) acumulada en un periodo móvil de 31 días centrado en el día en cuestión, con las bandas de percentiles del 25° al 75° y del 10° al 90°. La línea delgada punteada es el equivalente de nieve en líquido promedio correspondiente. Fuente <https://es.weatherspark.com/>

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico se realizó en base a la carta geológica del cuadrángulo de Huancapi 28ñ, Chincheros 28o, Querobamba 29o y Chaviña 30o (Asociación LAGESA - CFGS, 1996), revisado y actualizado por Quispesivana & Navarro (2002). El área de estudio está conformada por afloramientos de rocas volcánico sedimentarias del Paleozoico y Mesozoico, Grupo Mitú y Pucará, cubiertos por depósitos cuaternarios (aluviales, coluviales, deluviales, fluviales) (figura 6).

Grupo Mitú, está constituida principalmente por areniscas de color rojizo, de grano fino a medio, intercaladas con conglomerados rojo amarillento, con clastos de granito rosado a veces gneisoidal, calizas y cuarcitas, englobados dentro de una matriz areniscosa de color gris rojizo.

En el área de estudio aflora en los cerros Llipili y Contay, la masa rocosa presenta las siguientes condiciones: resistencia media y muy meteorizada. Afloramiento de condiciones geomecánicas mala, susceptible a la ocurrencia de procesos geológicos por movimientos de masa.

Grupo Pucará, está básicamente representada por calizas intercaladas por proporciones subordinadas de areniscas y arcillitas; ocasionalmente se encuentran lentes de evaporitas y horizontes de conglomerados.

En el área de estudio aflora en el flanco noreste del cerro Contay, margen izquierda del río Pampas, la masa rocosa presenta las siguientes condiciones: resistencia baja, muy alto grado de fracturamiento y muy meteorizada. Afloramiento denominado de condiciones geomecánicas mal, susceptible a la ocurrencia de procesos geológicos por movimientos en masa

Estas unidades litoestratigráficas son cubiertos por depósitos cuaternarios como: **Aluviales** formado por fragmentos rocosos heterométricos (arenas, cantos, bolos, etc.) transportados por las corrientes del río Pampas grandes distancias en el fondo de los valles depositados en forma de terrazas o playas; **Fluviales**, formado por depósitos granulares, cantos y gravas redondeadas acumuladas en el fondo de los cauces del río Pampas o principales; **Coluvio-deluviales**, formado por bloques rocosos angulosos heterométricos; como también, por capas de suelos fino y arcillas arenosas con inclusiones de fragmentos rocosos pequeños a medianos, se acumulan al pie del taludes escarpados como también cubren ladera de los cerros; **Proluviales**, compuesto por fragmento rocoso heterométricos (cantos, bolos, bloques, etc.,) con relleno limo arenoso –arcilloso depositados en el fondo del valle tributario y conos deyeativos en la confluencia de los ríos y **Depósitos de deslizamientos**, formado por cualquier tipo de suelo cuaternario que ha sufrido movimiento o proceso de reacomodo lento o escurrimiento rápido y bajo el influjo de la fuerza de la presión de carga por hidratación

Los sectores afectados en el distrito de Saurama, ocurren con frecuencia en unidades litoestratigráficas de mala calidad formado por suelos de grano fino o alternancia de diferente competencia, como se aprecia en los sectores evaluados se ubican sobre unidades formadas por areniscas, arcillitas y lentes de evaporitas del Grupo Pucará Chicama (fotografía 1), así mismo esta unidad está cubierta por depósitos cuaternarios como depósitos de deslizamiento y coluvio-deluviales, donde han sido formados por derrumbes y deslizamientos o erosión y el material. estas unidades litoestratigráficas son susceptibles y favorecen la evolución de los procesos por movimientos en masa.

Roca intrusiva

Diorita, se encuentra intruyendo a las calizas Pucará. Se observa que presenta coloración gris oscura, textura inequigranular, media a fina. La roca es masiva y poco alterada (fotografía 2).



Fotografía 1. Se observa en la coordenada UTM 639095 m E – 8484293 m S, el afloramiento de roca sedimentaria formado por areniscas, arcillitas y lentes de evaporitas del Grupo Pucará



Fotografía 2. Se observa afloramiento de roca intrusiva (diorita) en las coordenadas UTM 639487 m E – 8484202 m S

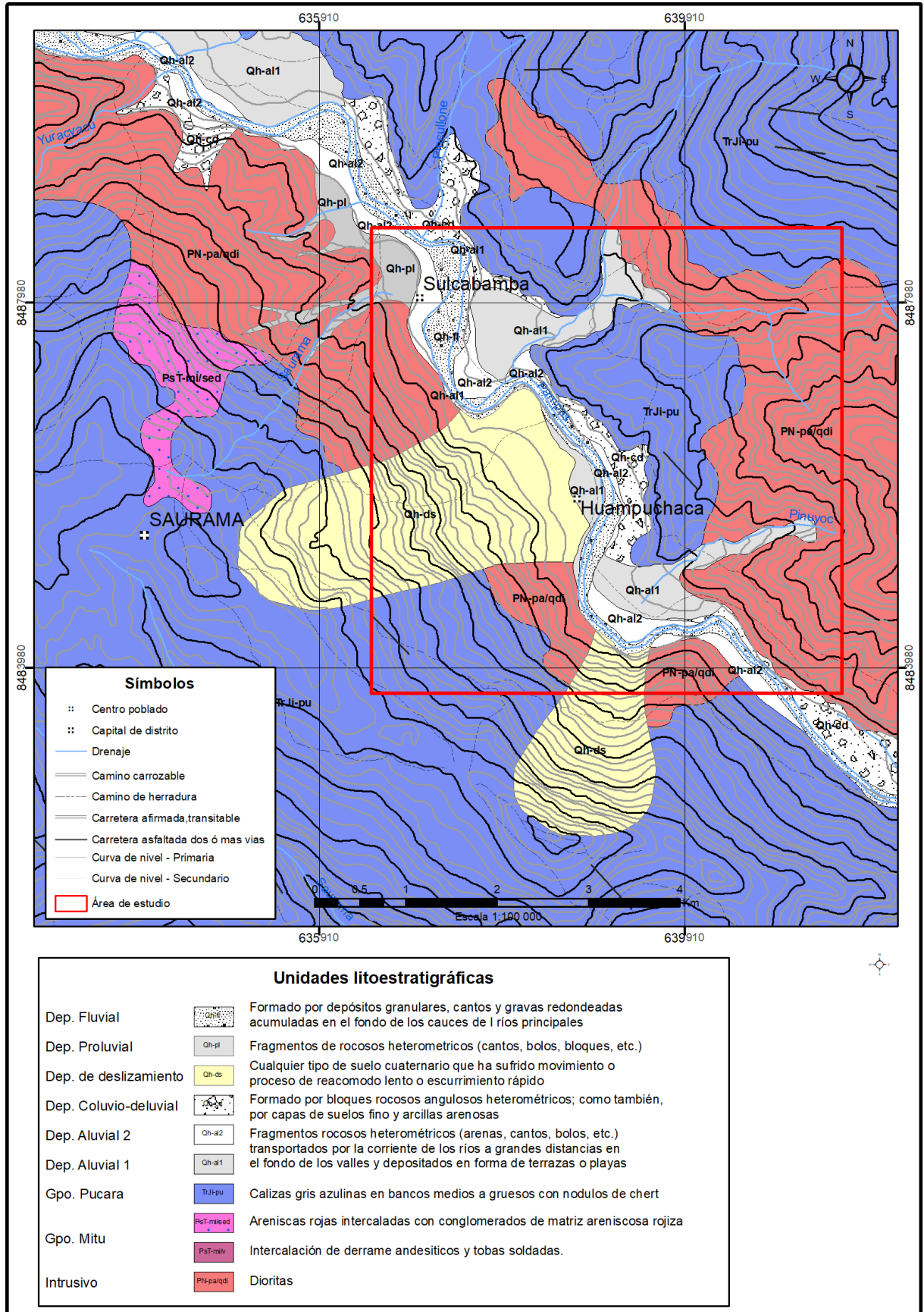


Figura 6. Mapa de unidades litoestratigráficas del área de estudio (tomado como base de Ingemmet, 1996)

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

En el contexto regional, los sectores Huampuchaca y Sulcabamba, se ubican en la parte alta de la cordillera Occidental, ladera del cerro Lliplli, el área presenta un relieve accidentado de fuertes contrastes topográficos.

El área ocupa parte de la ladera de montaña en rocas sedimentaria, de pendiente alta (25° a 45°), limitada por el cerro Lliplli 4000 m s.n.m. al suroeste y el río Pampas 2074 m s.n.m. al noreste. Sector que se caracteriza porque en sus laderas se generan procesos geológicos por movimientos en masa (fotografía 3).



Fotografía 3, Vista tomada con dirección noroeste, se observa ladera de montaña en roca sedimentaria que se caracteriza por tener pendiente del terreno muy fuerte (25° a 45°), donde se generan procesos geológicos por movimientos en masa.

4.1. Pendiente del terreno

Uno de los aspectos importantes en la clasificación de unidades geomorfológicas, además del relieve, es la pendiente de los terrenos. La pendiente es uno de los principales factores dinámicos y particularmente de los movimientos en masa, ya que determina la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Sánchez, 2002); importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa como factor condicionante.

En la zona de estudio, las laderas de los cerros tienen muy fuerte pendiente entre 25° a 45° y pendientes de inclinación suave de 1° a 5° , como se observa en los fondos de valles. Esto facilita el escurrimiento superficial de los materiales sueltos dispuestos en las laderas que luego pasan a depositarse en los fondos de valle, los poblados ocupan laderas donde ocurrieron eventos antiguos que son terrenos fértiles para la agricultura.

Por ello es propenso, considerando solo el factor pendiente, que ocurran movimientos en masa en laderas de montañas (deslizamientos, derrumbes y caída de rocas) como cauces de quebradas (huaicos), porque facilita el escurrimiento superficial, como el fácil acarreo de material suelto en las laderas como cauces, respectivamente.

4.2. Clasificación de unidades geomorfológicas

Las geformas son unidades independientes que conforman un relieve, están compuestos por materiales que brindan información de su dinámica de formación, presentan características morfoestructurales tales como: forma, altura, pendientes, drenaje, vegetación, color, textura, etc., que las diferencian una de otras (figura 7).

4.2.1. Unidades geomorfológicas de carácter tectónico degradacional y erosional:

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005).

Los paisajes morfológicos, resultantes de los procesos denudativos forman parte de las cadenas montañosas, colinas, superficies onduladas y lomadas, ocupan el del área total de la región. Dentro de este grupo se tienen las siguientes unidades:

Unidad de Montaña

Se considera dentro de esta unidad a las geformas que alcanzan alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de la base local, se conocen como cumbres y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza (levantamiento y de glaciación).

En el contexto general se encuentran conformados por alineamientos alargados, consolidados por rocas de tipo sedimentaria, con un moderado a fuerte estado de meteorización superficial y de erosión.

Subunidad de montañas en rocas sedimentarias

Corresponde a relieves montañosos compuestos por rocas sedimentarias formado por calizas intercaladas por proporciones subordinadas de areniscas y arcillitas; ocasionalmente se encuentran lentes de evaporitas y horizontes de conglomerados (Gpo. Pucará) con laderas de pendiente muy fuerte (25° a 45°). Estas subunidad es susceptible a la ocurrencia de proceso geológicos por movimientos en masa.

Subunidad de montañas en rocas intrusivas

Corresponde a montañas formados por cuerpos alargados de roca intrusiva de color gris oscuro (dioritas), estos se encuentran intruyendo a las calizas del Grupo Pucará, presentan laderas con pendiente muy fuerte (25° a 45). Esta subunidad es susceptible a peligros geológicos por movimientos en masa.

4.2.2. Unidades geomorfológicas de carácter depositacional o agradacional

Formas originadas por procesos geomorfológicos constructivos, a través de la depositación y acumulación de materiales sólidos resultantes de la denudación de relieves más elevados. En el área de estudio se identificó la unidad de planicie.

Unidad de Piedemonte

Está formado por una serie de conos de deyección y esparcimiento que se ubican a lo largo de todos los ríos que abandonan la vertiente de la Cordillera hacia la llanura amazónica, formando extensos y amplios abanicos aluviales; los más antiguos se localizan a una altura aproximada de 500 m s.n.m., forman niveles escalonados de terrazas ligeramente inclinadas hacia el este, con superficies moderadamente disectadas a redondeadas bastante homogéneas y de baja pendiente. Los más recientes son bastante planos a ligeramente ondulados; van perdiendo altura hasta desaparecer confundidos con los relieves de la llanura aluvial.

Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial

Unidad formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial, se encuentran interestratificados y no es posible separarlos como unidades individuales, estos se encuentran acumulados al pie de laderas de montañas o acantilados de valles.

Los depósitos coluviales se encuentran conformados por bloques rocosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, acumulados al pie de taludes escarpados, en forma de conoides. Los bloques angulosos más gruesos se depositan en la base y los tamaños menores disminuyen gradualmente hacia el ápice. Carecen de relleno, son sueltos sin cohesión, conforman taludes de reposo poco estables. Los principales agentes formadores son el intemperismo, la gravedad, movimientos sísmicos, derrumbes y vuelcos.

Los depósitos deluviales caracterizados por estar conformados por capas de suelo fino y arcillas arenosas con inclusiones de fragmentos rocosos pequeños a medianos, que se depositan y cubren las laderas de los cerros, con taludes suaves a moderados; estos depósitos han sido removidos por la escorrentía formada por precipitaciones pluviales, la cual no se encuentra encauzada o ha sido transportada por torrentes de corto recorrido. Los principales agentes formadores son los procesos de erosión de suelos, la gravedad, las lluvias, el viento y la reptación.

Vertiente con depósitos de deslizamiento

Esta subunidad formada por diferentes tipos de suelo cuaternario que ha sufrido movimiento o proceso de reacomodo lento o escurrimiento rápido y bajo el influencia de la fuerza de la presión de carga hidráulica, son vertientes de fuerte pendiente (15° - 25°). Estas superficies que son ocupadas por el hombre como terrenos de cultivo y pastoreo, es susceptible a la ocurrencia de procesos geológicos por movimientos en masa, ocasionados por lluvias intensas y/o extraordinarias y movimientos sísmicos.

Abanicos de piedemonte

Son conoides o abanicos de baja pendiente (2° - 15°) hacia el valle, formadas por acumulaciones de material acarreado por huaicos, flujos de lodo, aluviones o llocllas excepcionales, en la desembocadura de quebradas y ríos tributarios; muchos de estos depósitos están asociados a cursos individuales de quebradas secas, que se activan con la presencia de lluvias extraordinarias o con la presencia del fenómeno El Niño, que es cuando acarrear y depositan material.

Vertiente o piedemonte aluvio torrencial

Planicie inclinada extendida al pie de los sistemas montañosos o estribaciones andinas, formada por el acarreo de material aluvial, arrastrado por corrientes de agua estacional y de carácter excepcional, en ocasiones a manera de flujos y avalanchas de detritos. Se depositan en la desembocadura de las quebradas y están asociadas usualmente al fenómeno de El Niño. La pendiente del terreno de esta subunidad geomorfológica varía de 3° a 15° (pendiente suave a moderadamente fuerte).

Unidad de planicie

Constituyen depósitos convexos residuales acarreados y depositados en vertientes o laderas bajas y medias, engloba orígenes variados asociado a la gravedad, aguas superficiales, etc. y la pendiente como una condición determinante para su movilidad y acumulación de los materiales sueltos. Corresponden al tiempo geológico del cuaternario.

Terraza aluvial indiferenciada

Son porciones de pendiente del terreno llano ($<5^{\circ}$) que se encuentran dispuestos a los costados de la llanura de inundación o del lecho principal de un río, con altura relativamente marcada.

La altura a la que se encuentran estas terrazas representa niveles antiguos de sedimentación fluvial, donde las terrazas más antiguas están a mayor altura.

Su composición litológica es resultado de la acumulación de fragmentos de roca de diferente granulometría (bolos, cantos, gravas con matriz de arenas y limos) que corresponden principalmente a rocas polimicticas. Estos materiales fueron acarreados y depositados por el caudal de los ríos Pampas y sus afluentes.

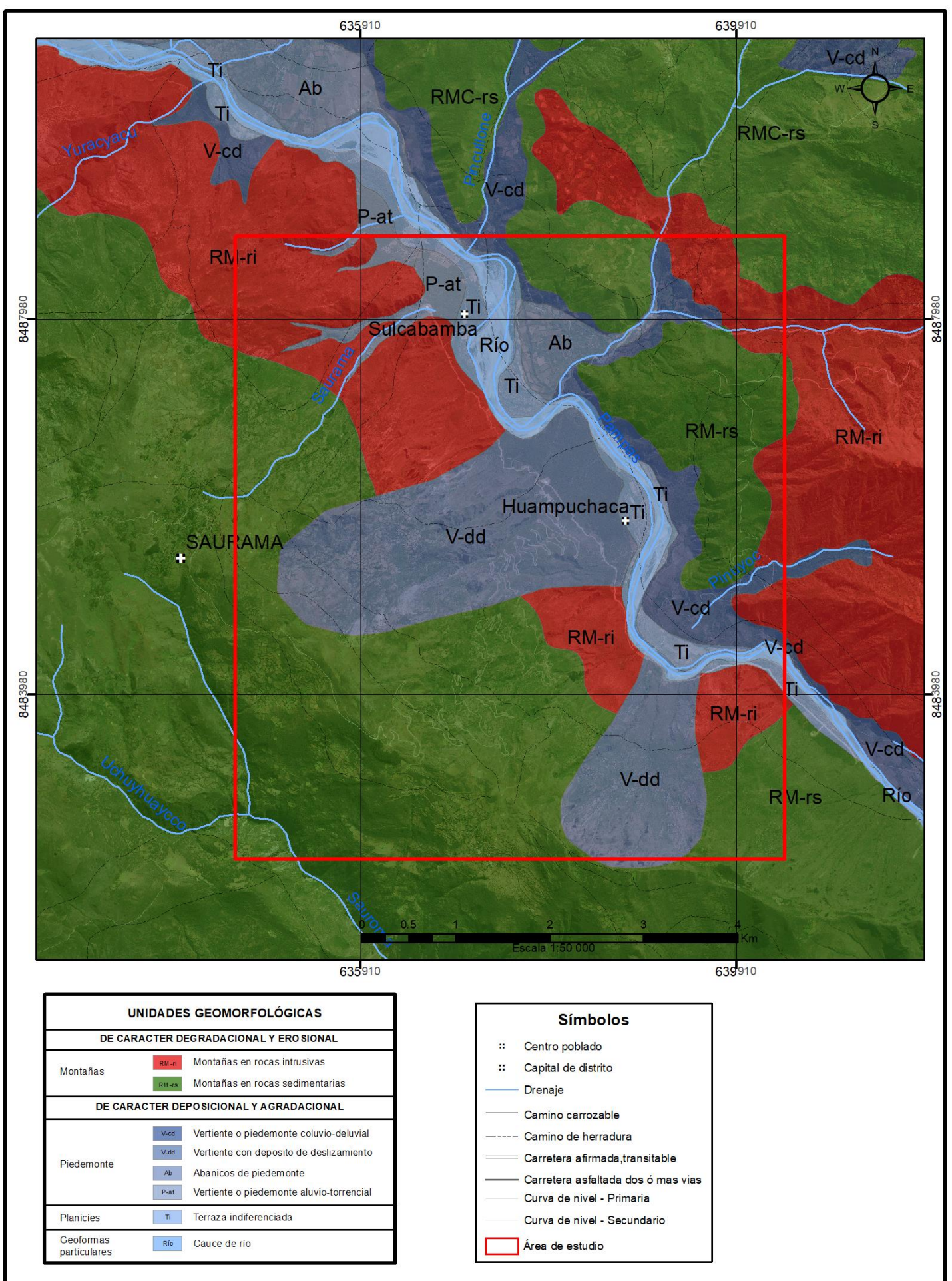


Figura 7. Cartografía de unidades geomorfológicas de los sectores Huanpuchaca y Sulcabamba y sus alrededores (tomado como base INGEMMET, 2019)

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

5.1. Conceptos teóricos

El término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991). Algunos movimientos en masa, como la reptación, son, lentos, a veces imperceptibles y difusos, en tanto de otros, como algunos deslizamientos pueden desarrollar velocidades altas y pueden definirse con límites claros, determinados por superficies de rotura (Crozier, 1999^a, en Glade y Crozier, 2005).

Estos movimientos en masa, tienen como causas factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de suelos, el drenaje superficial-subterráneo y la cobertura vegetal; combinados con factores extrínsecos, entre ellos se consideran la construcción de viviendas en zonas no adecuadas, construcción de carreteras, explotación de canteras. Se tiene como “desencadenantes” de estos eventos las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la zona.

5.1.1. Deslizamiento

Es un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de un delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante.

En el sistema de Varnes (1978), clasifica los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. Los deslizamientos traslacionales a su vez pueden ser planares y o en cuña. Sin embargo, las superficies de rotura de movimientos en masa son generalmente más complejas que, la de los dos tipos anteriores, pues pueden consistir de varios segmentos planares y curvos, caso en el cual se hablará de deslizamiento compuesto (Hutchinson, 1988) (figura 8).

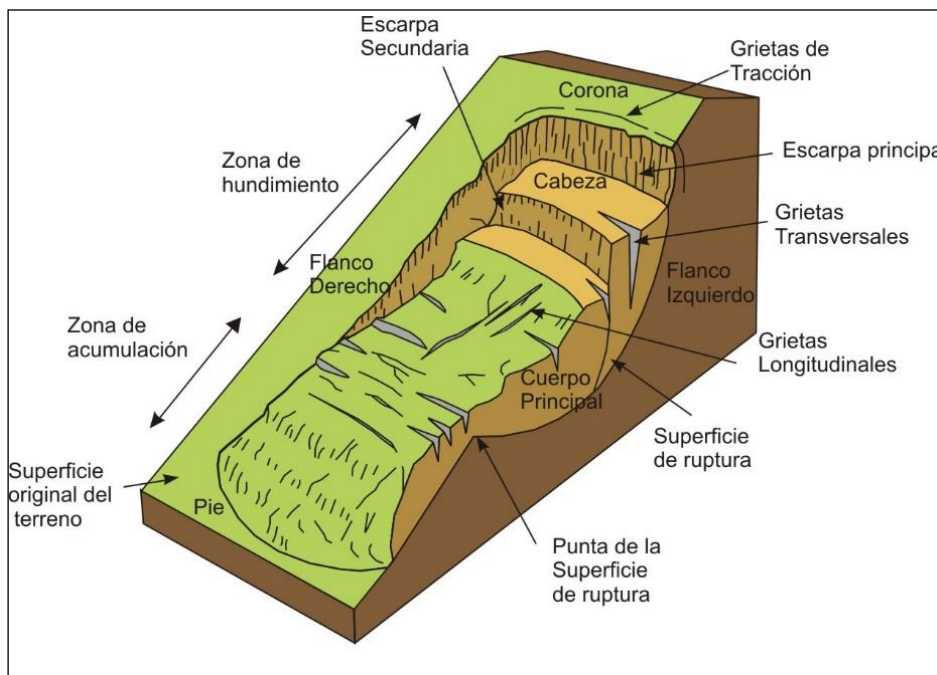


Figura 8. Esquema de Deslizamiento rotacional

5.1.2 Caída de rocas

La caída de rocas es un proceso geológico en el que uno o varios bloques de suelo o roca se desprende de una ladera, sin que a lo largo de la superficie ocurra un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae y se desplaza principalmente por el aire; así puede efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978) (figura 9). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca o una caída de suelo. Movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden & Varnes, 1996); es decir, las velocidades mayores a 5×10^1 mm/s.

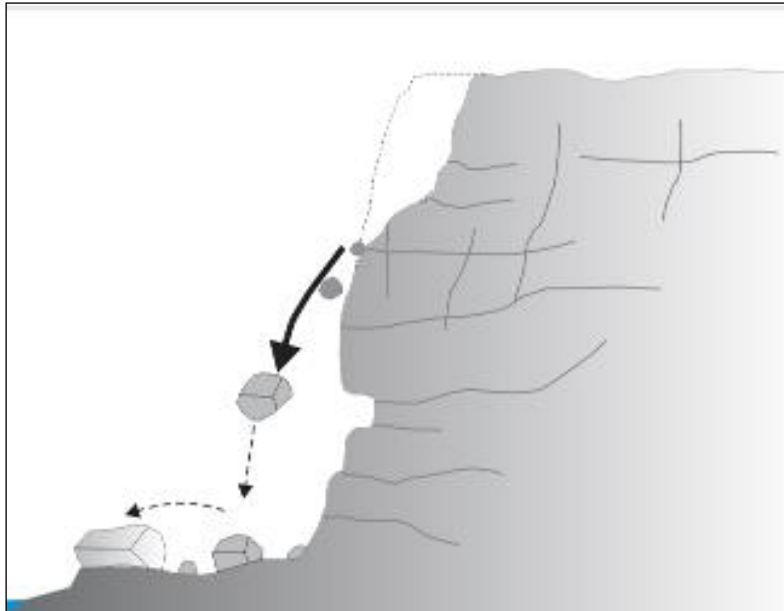


Figura 9 Esquema de caída de rocas. Tomado y modificado de (Nicholson & Hencher, 1997)

5.1.3 Flujo de detritos (huaico)

Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (índice de plasticidad menor al 5%), que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendiente fuerte. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y, finalmente, los depositan en abanicos de detritos (figura 10). Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de "U", trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales. Los flujos de detrito desarrollan pulsos usualmente con acumulaciones de bloques en el frente de la onda. Como resultado del desarrollo de pulsos, los caudales pico de los flujos de detritos pueden exceder en varios niveles de magnitud a los caudales pico de inundaciones grandes. Esta característica hace que los flujos de detritos tengan un alto potencial destructivo.

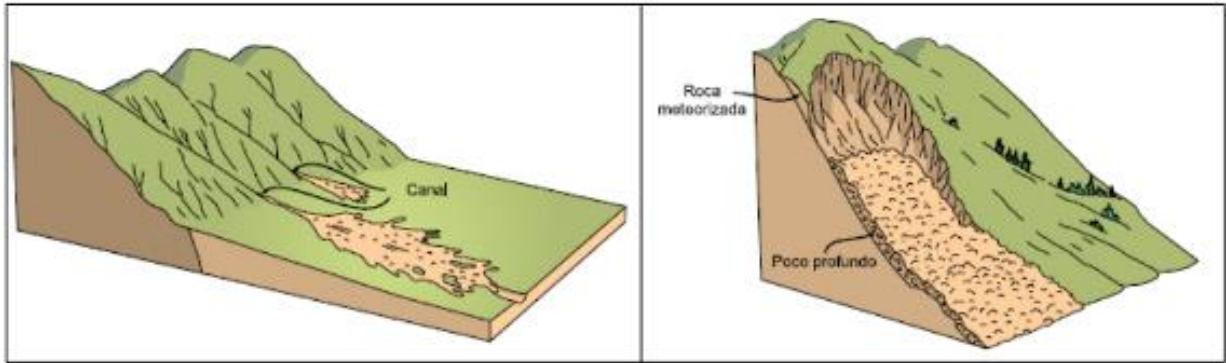


Figura 10. Esquema de flujo de detritos canalizado (izquierda) y no canalizado (derecha)

5.1.4 Erosión de Ladera

Las cárcavas (figura 11) son pequeños valles de paredes verticales y cabeceras verticalizadas y perfiles longitudinales de pendiente elevada, que transmiten flujos efímeros y están sujetos a una intensa erosión hídrica (Lucía *et al.*, 2008), además de la ocurrencia de movimientos en masa como flujos, derrumbes y deslizamientos.

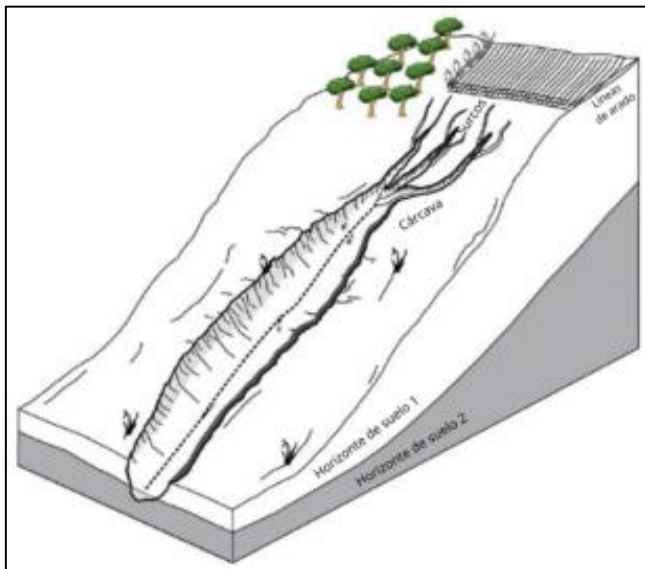


Figura 11. Esquema de cárcavas formadas por profundización en surcos. Tomado y modificado de (Shruthi *et al.*, 2011)

5.2 Procesos por movimientos en masa que afectan centros poblados Huampuchaka y Sulcabamba

Los centros poblados pertenecen a la jurisdicción del distrito de Saurama, provincia Vilcas Huamán, departamento Ayacucho, son afectados por procesos geológicos por movimientos en masa.

Los trabajos de campo permitieron identificar y realizar la cartografía de eventos antiguos, activos o reactivados. Estos peligros geológicos son de tipo deslizamientos, caída de rocas, flujo de detritos (huaico); así como peligros hidrogeológicos de tipo: erosión e inundación fluvial (ver figura 12)

5.2.1. Sectores Huampuchaka y Sulcabamba

Los sectores evaluados se ubican en la ladera de los cerros Contay y Lliplli, flanco noreste, en la margen izquierda del río Pampas. Con la visita de campo realizado el día 05 de diciembre, se corroboró que el sector presenta eventos antiguos que actualmente se reactivaron a manera de caída de rocas, deslizamiento y flujo de detritos (huaico). Estos eventos son condicionados por aspectos geológicos y geomorfológicos y como detonante principal las lluvias de gran intensidad y/o extraordinarias y movimientos sísmicos.

A continuación se describe las características de los eventos:

Deslizamientos

- El deslizamiento antiguo ubicado en la coordenada UTM 636866.00 m E - 8485155.00 m S, sector **Huampuchaka**, presenta las siguientes características: escarpe principal con una longitud de 1900 m aproximadamente, ancho de cuerpo desplazado de 622 m, longitud vertical del evento de 1230 m, la velocidad de movimiento es muy lento con una dirección norte 96°, la zona de acumulación tiene una longitud de 730 m ocasionando que el cauce del río Pampas migre hacia la margen derecha. Por ser un evento antiguo no se tiene más registro, ya queha sido erosionado (figuras 10 y 16)

A la cabecera del deslizamiento antes mencionado, se ha identificado un deslizamiento activo, con las siguientes características: escarpe principal con una longitud de 785 m, ancho de cuerpo desplazado 434 m, longitud vertical 323 m, longitud de la corona al pie del deslizamiento con velocidad de movimiento muy lento con una dirección norte 15°.

También, se generan flujos de detritos (huaico) como producto de la meteorización y erosión de la roca se forman suelos residuales. Con la presencia de lluvias, este material es transportado y depositado en la parte baja de la ladera formando abanicos y muchas veces represando parcialmente el cauce de los ríos principales. Este fenómeno presenta las siguientes características: flujo de detritos canalizado, longitud de recorrido de 2240 m, conformado por fragmentos rocosos heterométricos (cantos, bolos, bloques, etc.), con relleno limo arenoso-arcilloso. Estos eventos son recurrentes, en cada periodo de lluvias muy intensas y/o extraordinarias que son los que transportan grandes cantidades de material.

- Deslizamiento ubicado en la coordenada UTM 639043.00 m E - 8483179.00 m S flanco noreste del cerro Contay, evento antiguo que tiene las siguientes características: escarpe principal con una longitud de 2150 m aproximado, ancho de cuerpo desplazado de 980m, longitud vertical del evento 1513m, la velocidad de movimiento es muy lento con una dirección norte 96°; también se observa que se generan caída de rocas y deslizamientos de menor dimensión, estos eventos dejan pocos registros porque con el tiempo son erosionados

Para la ocurrencia de peligros geológicos de tipo deslizamiento, está condicionado aspectos geológicos, geomorfológicos y antrópicos.

Factores de sitio

- a) El sector presenta montañas en roca sedimentaria con laderas de pendiente del terreno muy fuerte (25° a 45°) consideradas como laderas inestables, susceptible a la ocurrencia de deslizamientos o derrumbes.
- b) Alternancia de rocas de diferente competencia (duros y blandos).
- c) Substrato muy meteorizado, susceptible a procesos por movimientos en masa.
- d) Suelos residuales poco saturados por sectores
- e) Cobertura vegetal regular, con sectores deforestados para ser utilizados como terreno de pastoreo.

Entorno geográfico.

- a) Precipitaciones pluviales intensas y/o excepcionales.
- b) Infiltración de aguas subterráneas.
- c) Sismos.

Factores antrópicos

- a) Excavación o corte de talud para la construcción de tramos de carretera.
- b) Ocupación inadecuada del suelo por el hombre hacia zonas susceptibles.
- c) Mal uso de sistema de riego como canal de regadío sin revestir, que atraviesa la zona inestable.
- d) No cuenta con sistema de drenaje pluvial.

Daños:

Los eventos antiguos se pueden reactivar y presentarse como caída de rocas, deslizamientos de menor dimensión, flujos de detritos (huaico), que afectarían tramo de carretera afirmada, terrenos de cultivo ubicados al pie del cuerpo deslizado (figura 12).



Figura 12. Vista tomada con dirección noroeste, se observa el sector Huampuchaka, es afectado por procesos geológicos de tipo: deslizamiento, flujo de detritos (huaico) e inundación fluvial



Figura 13. Vista tomada con dirección este, se observa el reservorio de agua para riego, que se ubica sobre depósito de flujo de detrito, de reactivarse podría ser afectado

Caída de rocas

Los cerros Contay y Liplli en su flanco noreste, se generan procesos geológicos como caídas de rocas, en las coordenadas UTM 639165.00 m E - 8484103.00 m S, evento reciente que presenta las siguientes características: escarpe principal de forma discontinua con una longitud de 346 m, altura del evento 120 m, depósito conformado por bloques hasta de 2 m de diámetro (figuras 14 y 15).

Para la ocurrencia de peligros geológicos de tipo caída de rocas, está condicionado aspectos geológicos, geomorfológicos y antrópicos.

Factores de sitio

- a) El sector presenta montañas en roca sedimentaria con laderas de pendiente del terreno escarpado ($<45^\circ$) consideradas como laderas inestables, susceptible a la ocurrencia de caída de rocas.
- b) Alternancia de rocas de diferente competencia (duros y blandos).
- c) Substrato muy meteorizado, susceptible a procesos por movimientos en masa.
- d) Suelos residuales poco saturados por sectores
- e) Cobertura vegetal regular, con sectores deforestados para ser utilizados como terreno de pastoreo.

Entorno geográfico.

- a) Precipitaciones pluviales intensas y/o excepcionales.
- b) Infiltración de aguas subterráneas.
- c) Sismos.

Factores antrópicos

- a) Excavación o corte de talud para la construcción de tramos de carretera.
- b) Ocupación inadecuada del suelo por el hombre hacia zonas susceptibles.

Daños:

El evento afectó trocha carrozable y tubería de conducción de aguas de regadío. (figura 16).



Figura 14. Imagen tomado de Google Earth pro y vista tomada con vehículo aéreo no tripulado (VAT), se observa la zona donde se genera caída de rocas, que afecta tubos de conducción de agua para riego.



Figura 15. Vista tomada con dirección noroeste, se observa sector que es afectado por caída de rocas; así como también, erosión fluvial al pie del talud.



Figura 16, vista de tuberías de conducción de agua de regadío afectado por caída de rocas.

Flujo de detritos (huaico)

El proceso geológico de tipo flujo de detritos (huaico) ubicado en las coordenadas UTM 636837.00 m E- 8488219.00 m S, en el sector Sulcabamba, presenta las siguientes características: flujo de detritos canalizado, con longitud de recorrido de 2440 m y 2150 m, ancho de los canales 30 m y 20 m respectivamente. La zona de acumulación tiene forma de abanico que desvía el cauce del río Pampas hacia la margen derecha.

Para la ocurrencia de peligros geológicos de tipo flujo de detritos (huaico), está condicionado por aspectos geológicos, geomorfológicos y antrópicos:

Factores de sitio

- a) El sector presenta montañas en roca sedimentaria con laderas de pendiente del terreno muy fuerte (25° a 45°) en la zona de transición, en el cuerpo (flujo de detrito) pendiente fuerte (15 a 25°) y en la zona de acumulación pendiente moderado (5 a 15°).
- b) Alternancia de rocas de diferente competencia (duros y blandos).
- c) Substrato muy meteorizado, susceptible a procesos por movimientos en masa.
- d) Suelos residuales poco saturados por sectores
- e) Cobertura vegetal regular.

Entorno geográfico.

- a) Precipitaciones pluviales intensas y/o excepcionales.
- b) Infiltración de aguas subterráneas.
- c) Sismos.

Factores antrópicos

- a) Ocupación inadecuada del suelo por el hombre hacia zonas susceptibles.
- b) Mal uso de sistema de riego como canal de regadío sin revestir, que atraviesa la zona inestable.
- c) No cuenta con sistema de drenaje pluvial.

Daños:

Los flujos de detritos son procesos geológicos recurrentes, están condicionados al factor desencadenante (lluvias intensas), de reactivarse afectaría terrenos de cultivo, reservorios de agua para regadío (figura 17)



Figura 17, Vista tomada aguas arriba de la quebrada Sulcabamba, se observa depósito de evento antiguo, y como se construye un reservorio de agua en área susceptible a la ocurrencia de procesos geológicos de tipo flujo de detritos (huaico).

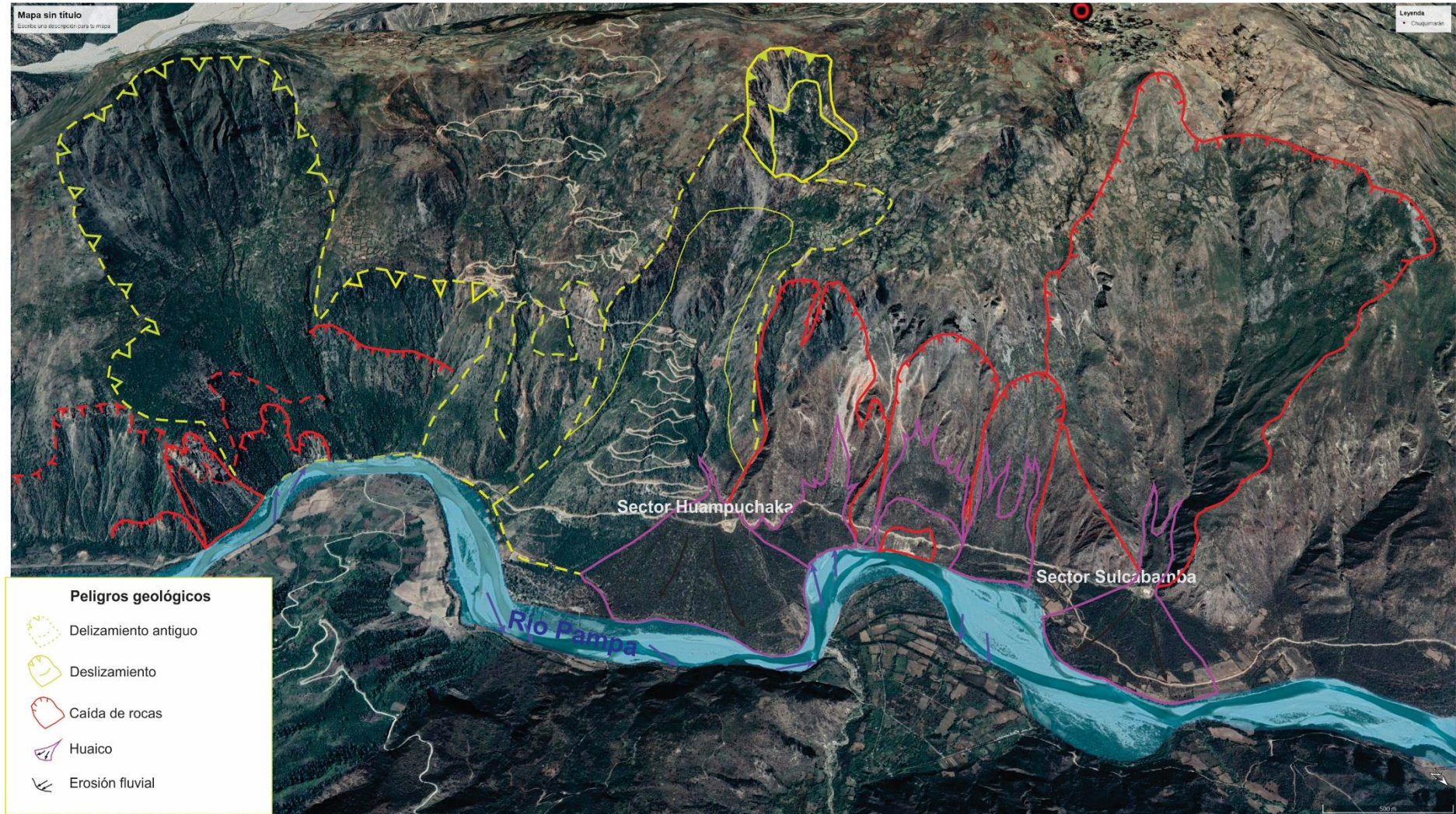


Figura 18. Cartografía de peligros geológicos en los sectores de Huampuchaka y Sulcabamba.

6. PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS

En esta sección se dan algunas propuestas generales de solución para la zona de estudio, con la finalidad de minimizar las ocurrencias de deslizamientos, derrumbes, caídas de rocas, flujos, procesos de erosión de laderas, entre otros; así como también para evitar la generación de nuevas ocurrencias.

6.1 Para deslizamiento y derrumbe

Los deslizamientos ocurren esencialmente de forma natural pero también por la actividad antrópica (agrícola, deforestación) mal desarrollada que acelera el proceso; asimismo por el socavamiento al pie de laderas, la utilización de canales sin revestir, etc. A continuación, se proponen algunas medidas para el manejo de estas zonas:

- Manejo agrícola: evitar riegos en exceso, estos deben ser cortos y frecuentes, de modo que limiten la infiltración y la retención en la capa superficial del suelo en contacto con los cultivos.
- Los canales deben ser revestidos (concreto, mampostería, terrocemento, entre otros) para minimizar la infiltración y saturación de los terrenos.
- No debe construirse reservorios de agua sin revestimiento, ya que esto favorece la infiltración y saturación del terreno.
- El sistema de riego de cultivo debe ser tecnificado por aspersión controlada o por goteo.
- La remoción de la tierra para realizar el cultivo debe ser superficial pues una remoción más profunda realizada con maquinaria puede favorecer la infiltración y saturación del terreno.
- Realizar prácticas de conservación y regeneración de la cobertura vegetal natural conformada por pastos, malezas y arbustos debido a que, el desarrollo de esta vegetación contribuye a atenuar el proceso de incisión rápida de las masas deslizantes; no obstante, este seguirá produciéndose en forma lenta hasta alcanzar el equilibrio natural entre el suelo y la vegetación nativa.
- Realizar trabajos de reforestación de laderas con fines de estabilización. En la selección de árboles a utilizarse debe contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y alturas que alcanzarán versus la pendiente y profundidad de los suelos, se recomienda que las plantaciones forestales se ubiquen al lado de las zanjas de infiltración con el objeto de captar el agua y controlar la erosión.
- Evitar el sobre pastoreo que produzca deterioro y destrucción de la cobertura vegetal, se debe realizar un manejo de las zonas de pasturas mediante el repoblamiento de pasturas nativas, empleando sistemas de pastoreo rotativo, evitar la quema de pajonales.

Uso de vegetación

El efecto de la vegetación sobre la estabilidad de los taludes es muy debatido; el estado del uso actual deja muchas dudas e inquietudes y la cuantificación de los efectos de estabilización de las plantas sobre el suelo, no ha tenido una explicación universalmente aceptada. Sin embargo, la experiencia ha demostrado el efecto positivo de la

vegetación, para evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales (J. Suárez Díaz, 1998). Para poder analizar los fenómenos del efecto de la vegetación sobre el suelo se requiere investigar las características específicas de la vegetación en el ambiente natural que se esté estudiando. Entre los factores se sugiere analizar los siguientes:

- Volumen y densidad de follaje, tamaño, ángulo de inclinación y aspereza de las hojas, altura total de la cobertura vegetal, presencia de varias capas diferentes de cobertura vegetal, tipo, forma, profundidad, diámetro, densidad, cubrimiento y resistencia del sistema de raíces.
- El tipo de vegetación, tanto en el talud como en el área arriba del talud es un parámetro importante para su estabilidad. La vegetación cumple dos funciones principales: En primer lugar, tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y, además, da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces.
- Como controlador de infiltraciones tiene un efecto directo sobre el régimen de aguas subterráneas y actúa posteriormente como secador del suelo al tomar el agua que requiere para vivir.

Factores que aumentan la estabilidad del talud:

1. Intercepta la lluvia
2. Aumenta la capacidad de infiltración
3. Extrae la humedad del suelo
5. Las raíces refuerzan el suelo, aumentando la resistencia al esfuerzo cortante
6. Anclan el suelo superficial a mantos más profundos
7. Aumentan el peso sobre el talud
8. Trasmiten al suelo la fuerza del viento
9. Retienen las partículas del suelo disminuyendo la susceptibilidad a la erosión

La deforestación puede afectar la estabilidad de un talud de varias formas:

1. Disminuyen las tensiones capilares de la humedad superficial
2. Elimina el factor de refuerzo de las raíces
3. Facilita la infiltración masiva de agua.

La quema de la vegetación aumenta la inestabilidad de los taludes, especialmente si esto ocurre en áreas de coluviones en los cuales la vegetación ejerce un papel preponderante en la estabilidad, especialmente por la eliminación del refuerzo de las raíces y por la exposición a la erosión acelerada.

Otras medidas son:

a) Construir zanjas de coronación

Las zanjas en la corona o en la parte alta de un talud, son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas de lluvias y evitar su paso por el talud. La zanja de la corona no debe construirse muy cerca del borde superior del talud para evitar que se convierta en activadora de un deslizamiento en cortes recientes; o en una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en deslizamientos activos; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe (figura 19).

Se debe tener en cuenta el mantenimiento periódico que debe efectuarse en las zanjas de coronación, a fin de evitar problemas que pueden incidir en la estabilidad del talud.

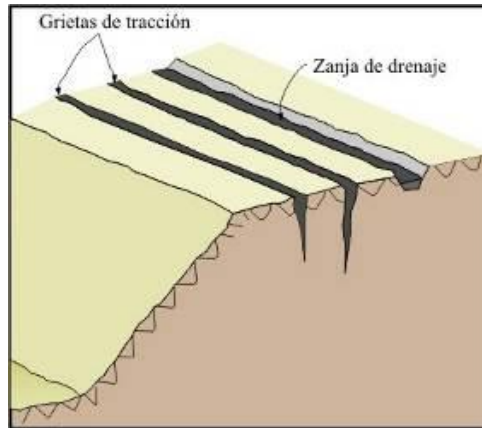


Figura 19. Canales de coronación.

b) Construir un sistema de drenaje tipo Espina de Pescado

Para disminuir la infiltración de agua en las áreas arriba del talud, se construyen canales colectores en Espina de Pescado, los cuales conducen las aguas colectadas fuera de las áreas vulnerables del talud, entregándolas generalmente a los canales en gradería o torrenteras (figura 20). Estos canales deben impermeabilizarse adecuadamente para evitar la infiltración del agua.

c) Monitoreo permanente en la zona durante el periodo lluvioso

Implementar un sistema de monitoreo de la zona de arranque, que permita determinar la existencia de movimiento en la masa deslizante, este puede estar constituido por estacas de madera o varillas de hierro, las cuales deben estar colocadas tanto dentro del deslizamiento, como en una zona estable (fuera o encima del cuerpo de deslizamiento), realizándose medidas de la distancia entre estacas, cada cierto tiempo, aumentado la frecuencia de medidas durante periodos de lluvia. De detectarse movimientos rápidos, se informará a la población para que pueda realizarse la evacuación de las zonas que pueden resultar afectadas.



Figura 20. Sistema de drenaje tipo espina de pez.

CONCLUSIONES

- 1) Los sectores de Huampuchaka y Sulcabamba, presentan un relieve accidentado y agreste que forman montañas en roca sedimentaria, con ladera de pendiente fuerte (15° a 25°), muy fuerte (25° a 45°) de flancos escarpados (>45°) que forman vertientes coluvio – deluvial, depósitos de deslizamiento, abanicos de piedemonte y terrazas aluviales en algunos sectores disectadas que forman quebradas profundas se observa piedemonte aluvio-torrenciales.
- 2) Las unidades litoestratigráficas que afloran en las zonas evaluadas por movimientos en masa, están constituidas por calizas, areniscas, arcillitas y lentes de evaporitas del Grupo Pucará, considerado de mala calidad geotécnica, formado por suelos de grano fino y alternancia de diferente competencia, unidades susceptibles a la ocurrencia de procesos por movimientos en masa.
- 3) Los sectores Huampuchaka y Sulcapampa y sus alrededores, se ubica en un área de **Alto a Muy Alto** grado de susceptibilidad a peligros geológicos de tipo: deslizamiento, caída, flujo de detritos (huaico) y erosión de ladera.
- 4) La deforestación de las laderas en los sectores en estudio, es un factor importante que ha influenciado en la aceleración de los procesos por movimientos en masa. La ocupación inadecuada por el hombre en zonas vulnerables el mal manejo del sistema de riego.
- 5) El factor desencadenante para la ocurrencia de procesos por movimientos en masa, que afectaron la zona de estudio, fueron la presencia de lluvias intensas o extraordinarias que ocurren entre los meses de diciembre a marzo y movimientos sísmico.
- 6) Los sectores evaluados de Huampuchaka y Sulcabamba, se encuentran expuestos a procesos geológicos por movimientos en masa de tipo caída de rocas y deslizamiento; así como, flujo de detritos (huaico), presentando una condición de ALTO PELIGRO, que compromete la seguridad física de sus habitantes.



Ing. Hugo Dulio Gómez Velásquez

ESPECIALISTA EN PELIGROS GEOLÓGICOS

RECOMENDACIONES

- 1) En los alrededores de las áreas evaluadas, las autoridades competentes deben realizar un programa integral de forestación, con plantas nativas, evitar la quema indiscriminada de la cobertura vegetal, en laderas inestables.
- 2) Realizar la captación y la derivación de las aguas de manantiales que se encuentran dentro y cerca del deslizamiento; estas aguas deberán ser conducidas por medio de canales revestidos hacia cauces naturales (quebradas) ubicadas lejos de las zonas inestables.
- 3) No talar ni quemar árboles para ganar terrenos para la agricultura, ésta mala práctica facilita la generación de deslizamientos, derrumbes y erosión de suelos en la zona evaluada. Más bien se debe incentivar los trabajos de sembrado de árboles.
- 4) Encausar las aguas de las quebradas y tengan salida directa al cauce del río principal.
- 5) Implementar un programa y proyectos para la promoción del uso de sistema de riego tecnificado entre los agricultores y sus organizaciones.
- 6) Implementar un sistema de alerta temprana (SAT), en temporadas de lluvias intensas y/o excepcionales para informar a la población involucrada y que pueda realizarse la evacuación de las zonas que pueden resultar afectadas.
- 7) Implementar un sistema de monitoreo en el área inestable de los sectores evaluados, especialmente en la época de lluvias, para controlar su movimiento. Se puede realizar mediante la colocación de estacas entre la zona donde se produce el movimiento y las zonas estables.



Ing. Hugo Dulio Gómez Velásquez

ESPECIALISTA EN PELIGROS GEOLÓGICOS

REFERENCIAS

- Asociación LAGESA – CFGS. (1996). carta geológica del cuadrángulo de Huancapi 28ñ, Chincheros 28o, Querobamba 29o y Chaviña 30º. revisado y actualizado por Quispesivana & Navarro (2002).
- Crozier, M.J., y Glade, T. (2005). Landslide hazard and risk: Issues, concepts and approach, en Glade, T., et al. ed., Landslide hazard and risk: Chichester, England, John Willey & Sons, p. 2–40.
- Cruden, D. M. (1991). A Simple definition of a landslide: Bulletin of the International Association of Engineering Geology, v. 43, p. 27–29.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J. (1996)- Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247, p. 36–75.
- Hutchinson J.N. (1988). “Morphology and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology”. Fifth International Symposium on landslides, Lausanne, pp. 3-35.
- Lucía, A.; Vicente, F.; Martín-Moreno, C.; Martín-Duque, J.F.; Sanz, M.A.; De Andrés, C.; Bodoque, J.M.; 2008. Procesos geomorfológicos activos en cárcavas del borde del piedemonte norte de la Sierra de Guadarrama (Provincia de Segovia, España). Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sec. Geol.), 102: 47-69.
- Nicholson D.T, Hencher S. (1997). “Assessing the potential for deterioration of engineered rock slopes”. Proceeding International Symposium on Engineering Geology and the environment. Athens , pp- 911- 917.
- Proyecto Multinacional Andino, Geociencias para las Comunidades Andinas, PMA: GCA (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas, 404 Pág.
- Sánchez, Urrego, Mayorga y Vargas. (2002). Modelo para el pronóstico de la amenaza por los deslizamientos en tiempo real. [Documento CD]. En Simposio Latinoamericano de Control de Erosión. Santa Fe de Bogotá, Colombia
- Suarez Diaz, J. (1998) Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales, Instituto de Investigación sobre Erosión y Deslizamientos p, 541
- Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176, Pág. 9–33.
- Vílchez, M., Ochoa, M. & Pari, W. (2019). Peligros geológicos en la región Ayacucho. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 70, 258p.9 mapas
- Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. Colombia Bogotá. Edit. IGAC. Pág. 184.