

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7017

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CERRO SAN VALENTIN-QUILCAPATA

Región Cusco
Provincia La Convención
Distrito Santa Teresa



ENERO
2020

INDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. ANTECEDENTES.....	2
3. ASPECTOS GENERALES.....	3
3.1. Ubicación y accesibilidad.....	3
3.2. Objetivos	3
3.3. Clima y vegetación	3
4. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS.....	5
4.1. Aspectos geológicos.....	5
4.2. Aspectos geomorfológicos.....	8
4.2.1. Pendiente del terreno.	8
4.2.2. Unidades geomorfológicas	9
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	10
5.1. Conceptos teóricos.....	10
5.2. Deslizamiento en el cerro San Valentín	12
5.3. Flujo de detritos	17
5.4. Caída de rocas	20
6. FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES.....	22
7. ZONA PROPUESTA PARA LA REUBICACIÓN	23
7.1. Condiciones geológicas de la zona de reubicación.....	23
7.2. Recomendaciones generales.....	24
CONCLUSIONES.....	26
RECOMENDACIONES.....	26
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	27

RESUMEN

La zona de estudio se ubica en la margen izquierda del río Vilcanota, a 23.1km del distrito de Santa María, provincia de La Convención, región Cusco.

Litológicamente, la ladera del cerro San Valentín está conformada por rocas metamórficas (pizarras y esquistos). En la parte alta del cerro se identificó depósitos coluviales conformados por fragmentos de pizarras y esquistos de formas angulosas a sub angulosas, inmersos en matriz areno arcillosa.

Desde el punto de vista geomorfológico, el sector de Santa Teresa está circunscrita por montañas de rocas intrusivas y metamórficas, cuyo relieve agreste y laderas de pendientes empinadas (75°), condicionan la ocurrencia de procesos por remoción en masa tipo deslizamiento-flujo.

El sector de Santa Teresa se encuentra asentado sobre el depósito de un mega deslizamiento antiguo, el cual se reactivó el 19 de diciembre de 2019, afectando media hectárea de terrenos de cultivo.

Los peligros geológicos por movimientos en masa en el cerro San Valentín-Quilcapata, están condicionados por el substrato rocoso de mala calidad (muy fracturado y con intensa meteorización), suelos inconsolidados y montañas con laderas de pendientes empinadas; por lo cual se le considera como zona de susceptibilidad alta a movimientos en masa.

El factor desencadenante para la ocurrencia de procesos por remoción en masa son las precipitaciones pluviales intensas y/o excepcionales.

Finalmente, debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa que presentan el cerro San Valentín, se le considera como **peligro muy alto** a generar procesos de remoción en masa y **zona crítica por peligro geológico**.

Se recomienda reubicar a la población afectada hacia la zona denominado el Potrero, colocar geomallas, implementar un sistema de drenaje en la ladera del cerro San Valentín, realizar el desquinche de rocas en forma controlada en la zona de escarpe, prohibir el paso peatonal por el área de influencia (deslizamiento), continuar con los trabajos de reforestación e implementar muros de contención en la zona baja.

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), la ACT.7: Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional. Su alcance contribuye con entidades gubernamentales en los diferentes niveles de gobierno (nacional, regional y local), desde el reconocimiento, caracterización y diagnóstico de peligros geológicos en territorios susceptibles a movimientos en masa, inundaciones u otros peligros geológicos asociados a eventos hidrológicos, sísmicos o de reactivación de fallas geológicas o asociados a actividad volcánica.

El INGEMMET, por intermedio de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico comisionó a los geólogos Guisela Choquenaira Garate y Yenson Ttito, para realizar las evaluaciones técnicas en el cerro San Valentín – Quilcapata, los días 26, 27 y 28 de diciembre del presente año, previa coordinación con el jefe del Instituto Nacional de Defensa Civil – Cusco y autoridades locales.

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

Este informe, como instrumento técnico se pone en consideración de autoridades y funcionarios competentes, para la ejecución de medidas de mitigación, reducción de riesgo y toma de decisiones.

2. ANTECEDENTES

Entre los principales estudios realizados a nivel regional en la zona se pueden mencionar:

- Zonas Críticas por peligros geológicos en la región Cusco (*Vilchez, M. & Sosa, N. 2014*), determinaron 75 zonas críticas, dentro del cual resaltan áreas, que luego del análisis de los peligros identificados y la vulnerabilidad a la que están expuestos (infraestructuras, centros poblados y vías de acceso), se les considera como zonas con peligro potencial de generar desastres.
- Estudio de Riesgos Geológicos del Perú – Franja N° 3, elaborado por INGEMMET (2003), describe a escala regional la geología, los rasgos geomorfológicos y peligros geológicos de tipo movimientos en masa y geohidrológicos, que ocurren en la zona de estudio.
- El “Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa” (GEOCATMIN-INGEMMET, 2010), muestra que el poblado de Santa Teresa se encuentra en zona de susceptibilidad alta a movimientos en masa. De acuerdo al inventario de peligros geológicos (GEOCATMIN-INGEMMET), la zona presenta deslizamientos, derrumbes erosión fluvial, y flujos de detritos (huaico).

Es importante mencionar que, en la zona de estudio puntual, no se tiene registro de trabajos anteriores sobre peligros geológicos por movimientos en masa.

3. ASPECTOS GENERALES

3.1. Ubicación y accesibilidad

La zona de estudio se ubica en la margen izquierda del río Vilcanota, al noroeste del distrito de Santa Teresa, provincia de La Convención, región Cusco (figura 1), cuyas coordenadas centrales son UTM (WGS84) N: 8547447, E: 760209, a 1656 m s. n. m.

La localidad de Santa Teresa tiene un área de 15 Has y una población de 5972 habitantes (INEI 2017); presenta una importante actividad agropecuaria y sobre todo turístico, donde resalta los baños termales de Cocalmayo, los cuales se verían afectados debido a los procesos de remoción en masa ocurrido en el cerro San Valentín.

El principal acceso por vía terrestre desde Lima se realiza por la carretera panamericana sur hasta la ciudad de Nazca, el recorrido continúa tomando el desvío hacia Cusco. De Cusco la ruta continúa pasando por Cachimayo-Chinchero-Urubamba-Ollantaytambo-Abra Málaga-Santa María, de este último punto se toma el desvío hacia el distrito de Santa Teresa.

Itinerario

Ruta	Tipo de Vía	km	Tiempo
Lima – Nazca	Vía asfaltada	447	6.20 h
Nazca- Abancay- Cusco	Vía asfaltada	880	17 h
Cusco-Ollantaytambo-Santa María	Vía asfaltada	181	4.20h
Santa María - Santa Teresa	Carretera carrozable	23.1	1h

3.2. Objetivos

- a. Identificar y tipificar los peligros geológicos por movimientos en masa en el cerro San Valentín – Quilcapata.
- b. Determinar los factores condicionantes y desencadenantes para la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa.
- c. Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

3.3. Clima y vegetación

Según la clasificación climática de Koppen y Geiger, el distrito de Santa Teresa se caracteriza por presentar un clima templado de montaña con invierno (Cwb), con precipitación media anual de 664 mm, las máximas precipitaciones se presentan entre los meses de noviembre a marzo alcanzando un umbral de 1146 mm. La temperatura media anual es de 17. 6°C.

Por las variaciones de altitud, relieve y clima en la zona predomina una densa vegetación arbustiva. Las laderas del cerro San Valentín vienen siendo reforestadas con pinos, con el fin de atenuar los procesos erosivos.

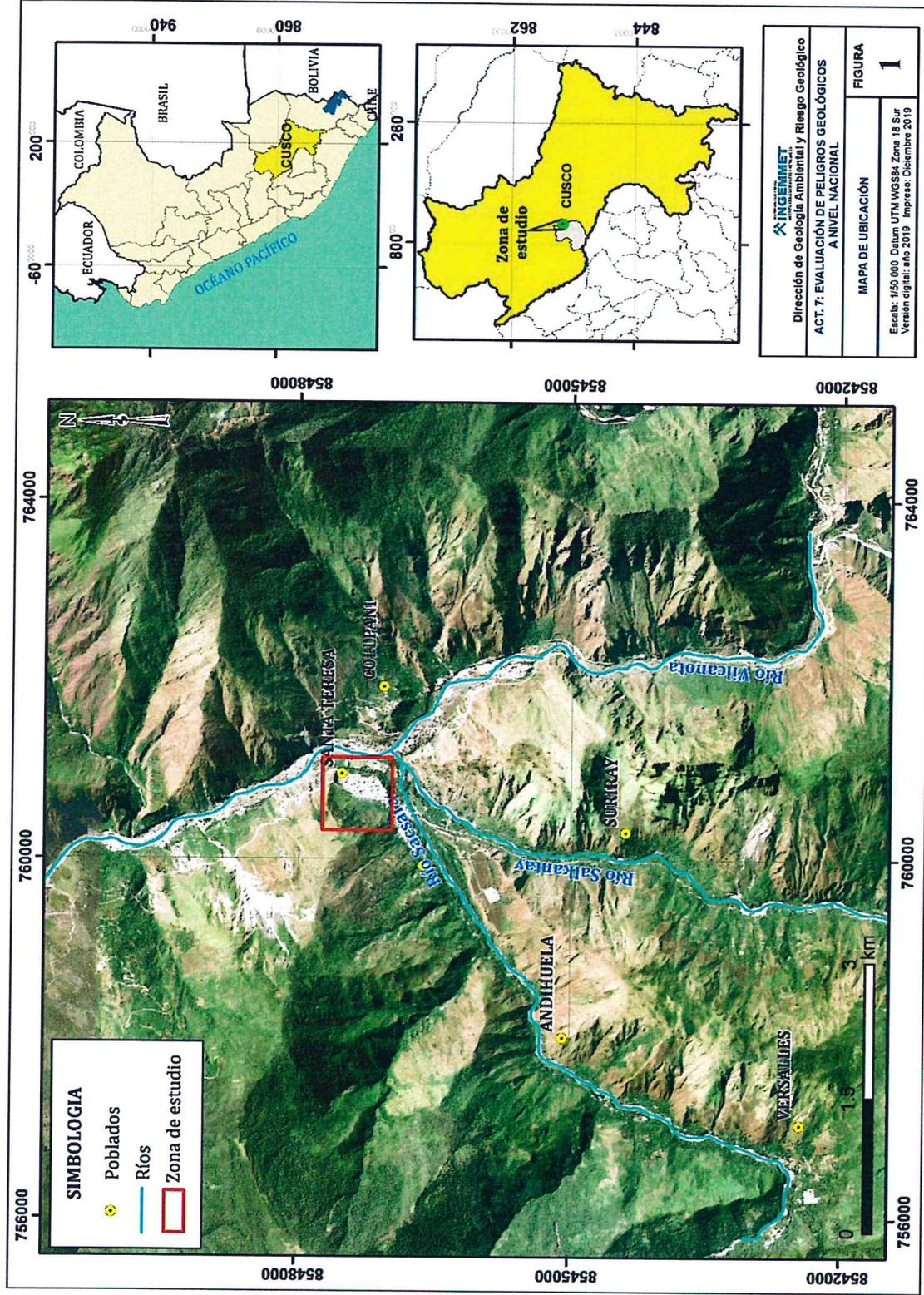


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Aspectos geológicos

Regionalmente, el substrato rocoso está compuesto esencialmente por rocas del Paleozoico, de naturaleza metamórfica y rocas intrusivas del Permo- triásico. También se tienen depósitos cuaternarios (figura 2).

La descripción de las unidades litoestratigráficas se ha extraído del boletín de la carta nacional del cuadrángulo Quillabamba – Machupicchu (Carlotto et al., 1999).

Paleozoico inferior

a. Grupo Ollantaytambo

Litológicamente, la ladera del cerro San Valentín está conformada por rocas metamórficas de edad Cámbrico (pizarras y esquistos) pertenecientes al Grupo Ollantaytambo.

Las pizarras en la parte media del deslizamiento se encuentran muy fracturadas y con intensa meteorización, esto contribuye con mayor infiltración de agua al terreno.

Permo triásico

b. Macizo de Machupicchu

Este macizo se ubica al suroeste del distrito de Santa Teresa, tiene una forma alargada en dirección N-S. Está compuesto principalmente por sienogranitos, monzogranitos, granodioritas, cuarzomonzodioritas, cuarzomonzonitas, son masivas y de textura fanerítica.

Cuaternario

c. Depósito aluvial (Qr-al)

En el valle del río Vilcanota, Sacara y Santa Teresa se han identificado importantes depósitos aluviales, formados en su mayoría por torrenteras de huaicos antiguos. Litológicamente se componen de bloques y gravas, de formas angulosos a subangulosos, envueltos en matriz limo-arenosa y donde se han emplazados centros poblados importantes.

d. Depósito coluvial (Qr-co)

Estos depósitos cubren las laderas del cerro San Valentín, conformado por fragmentos de pizarras y esquistos, que varían de 0.30 a 1m de diámetro, de formas angulosas a sub angulosas, inmersos en matriz arcillo limosa (fotografía 1).

e. Depósitos fluviales (Qr-fl):

Forman parte del curso actual de los ríos Vilcanota, Sacsara y Santa Teresa; caracterizados por la presencia de bloques, gravas, arenas y limos, con formas redondeadas a subredondeadas, periódicamente son acarreadas por el curso del río con avenidas.



Fotografía 1. Material coluvial (pizarra y arcillas) en el cuerpo del deslizamiento del cerro San Valentín- Quilcapata.

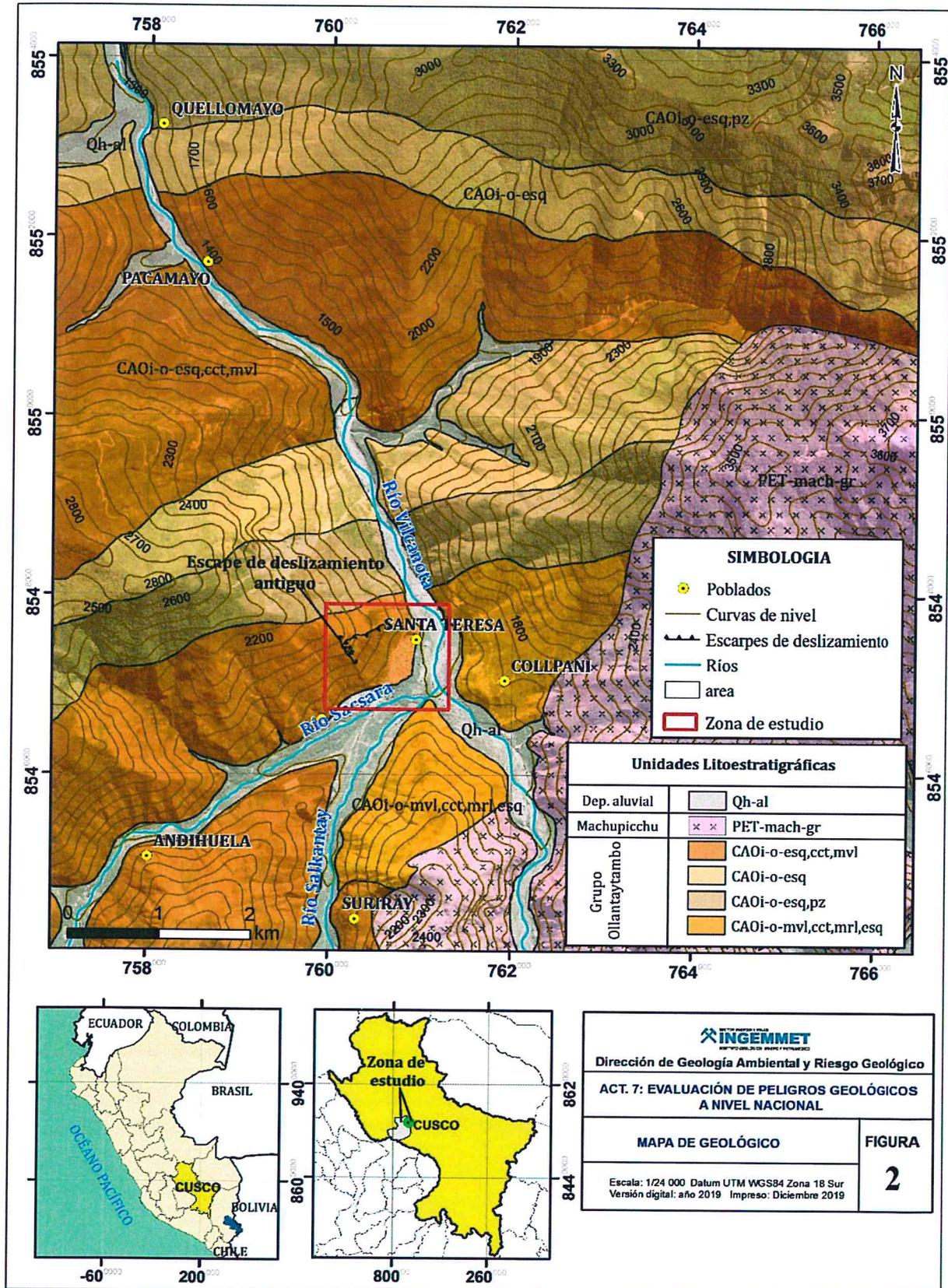


Figura 2. Mapa geológico del poblado de Santa Teresa.

4.2. Aspectos geomorfológicos

4.2.1. Pendiente del terreno.

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

En la Figura 3, se presenta el mapa de pendientes, elaborado en base a información del modelo de elevación digital de 30 m de resolución, tomado de la USGS, donde se presentan con mayor predominio laderas con pendientes comprendidas entre 20° a 80°, consideradas de moderada a fuerte pendiente, lo cual facilita el escurrimiento superficial del material suelto disponible en las laderas.

Por otro lado se evidencian pendientes menores a 5° en las terrazas, consideradas de ligera a moderadamente inclinadas, zona donde se ubica parte del distrito de Santa Teresa.

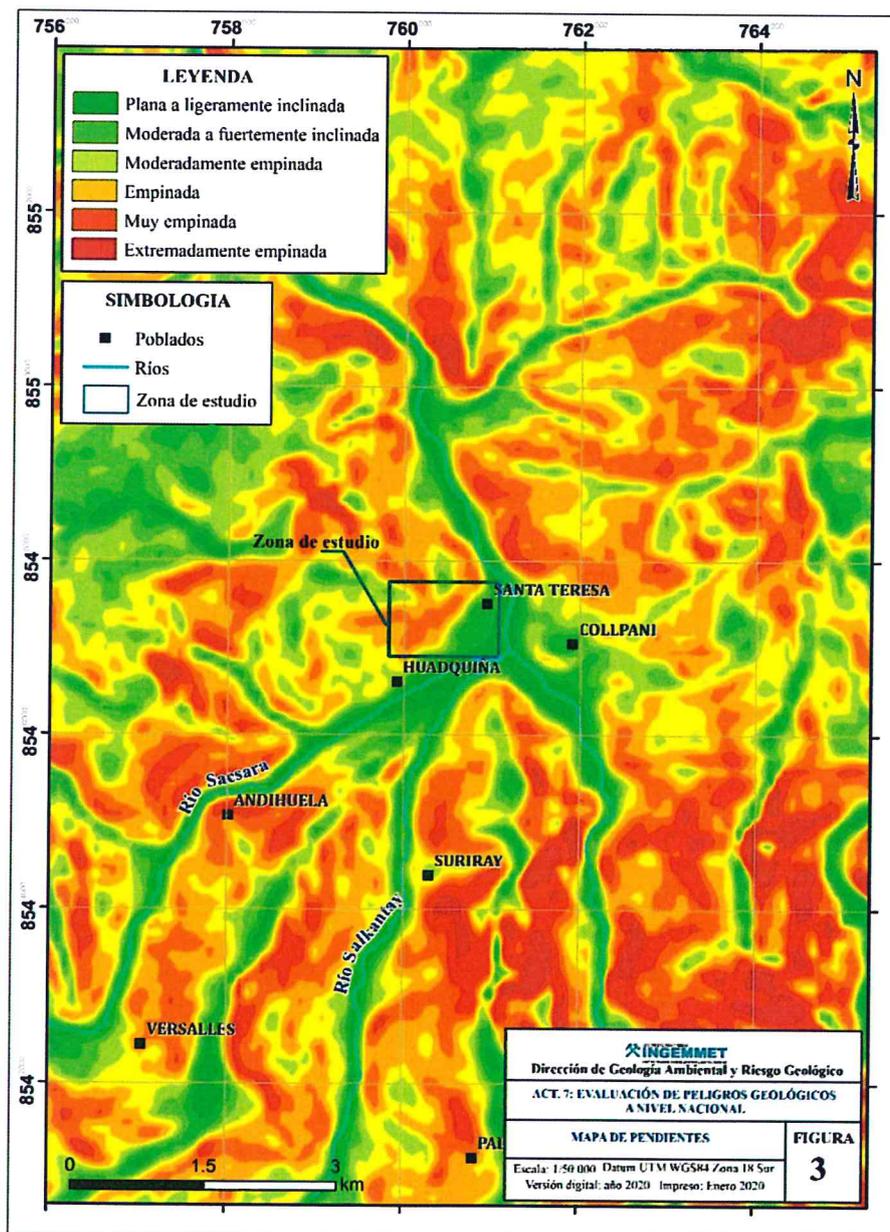


Figura 3. Mapa de pendientes del distrito de Santa Teresa.

4.2.2. Unidades geomorfológicas

Desde el punto de vista morfoestructural, el distrito de Santa Teresa se ubica en la Cordillera Oriental, geomorfológicamente está circunscrita por montañas de rocas intrusivas y metamórficas del cerro San Valentín, cuyo relieve agreste y de pendiente empinada condicionan la ocurrencia de procesos por remoción en masa tipo deslizamiento-flujo (figura 4), donde van formando geoformas depositacionales sobre las cuales se encuentra asentado parte del distrito de Santa Teresa.

Geoformas de carácter tectónico-degradacional y erosional

Representadas por relieves montañosos modelados en rocas metamórficas e intrusivas, con laderas de pendientes superiores a los 30°.

a. Unidad de montaña

- ✓ **Sub unidad de montaña en roca metamórfica (RM-rm):** El poblado de Santa Teresa, por el noroeste está circunscrita por montañas de roca metamórfica (pizarras y esquistos). Poseen una topografía accidentada, de cimas alargadas, y laderas de pendientes predominantemente empinadas (75°).
- ✓ **Sub unidad en roca intrusiva (RM-ri):** Al noreste del poblado de Santa Teresa, el intrusivo del macizo de Machupicchu, cuyo relieve agreste y de laderas empinadas, muestra los procesos geológicos y tectónicos a la que estuvo expuesta, visualizando grandes escarpes de deslizamientos antiguos.

Geoformas de carácter deposicional y agradacional

Representadas por las acumulaciones de material proveniente de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas existentes.

b. Unidad de piedemonte

En el área de estudio, se encuentran situados al pie del frente montañoso

- ✓ **Sub unidad de vertiente coluvio deluvial (V-cd):** Localizados al pie de la ladera oeste del cerro San Valentín, resultante de la acumulación de material caído desde las partes altas, por acción de la gravedad.
- ✓ **Sub unidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd):** Corresponde a las acumulaciones de ladera, originadas por procesos de movimientos en masa antiguos y recientes de tipo deslizamientos, usualmente se depositan en forma convexa. Esta geoforma se visualiza en los pies del cerro San Valentín producto de la ocurrencia de un mega deslizamiento en el año 1994.

c. Unidad de planicie inundable

- ✓ **Sub unidad de terrazas aluviales (T-al):** Son depósitos dispuestos en ambos márgenes de los ríos Vilcanota, Sacsara y Santa Teresa, representan niveles antiguos de sedimentación aluvial de gran magnitud ocurrido en la zona. Estas terrazas presentan 10m de altura con respecto al nivel del río Vilcanota, con pendiente menor a 5°. Sobre estos terrenos se emplazan centros poblados y se desarrollan actividades agrícolas.

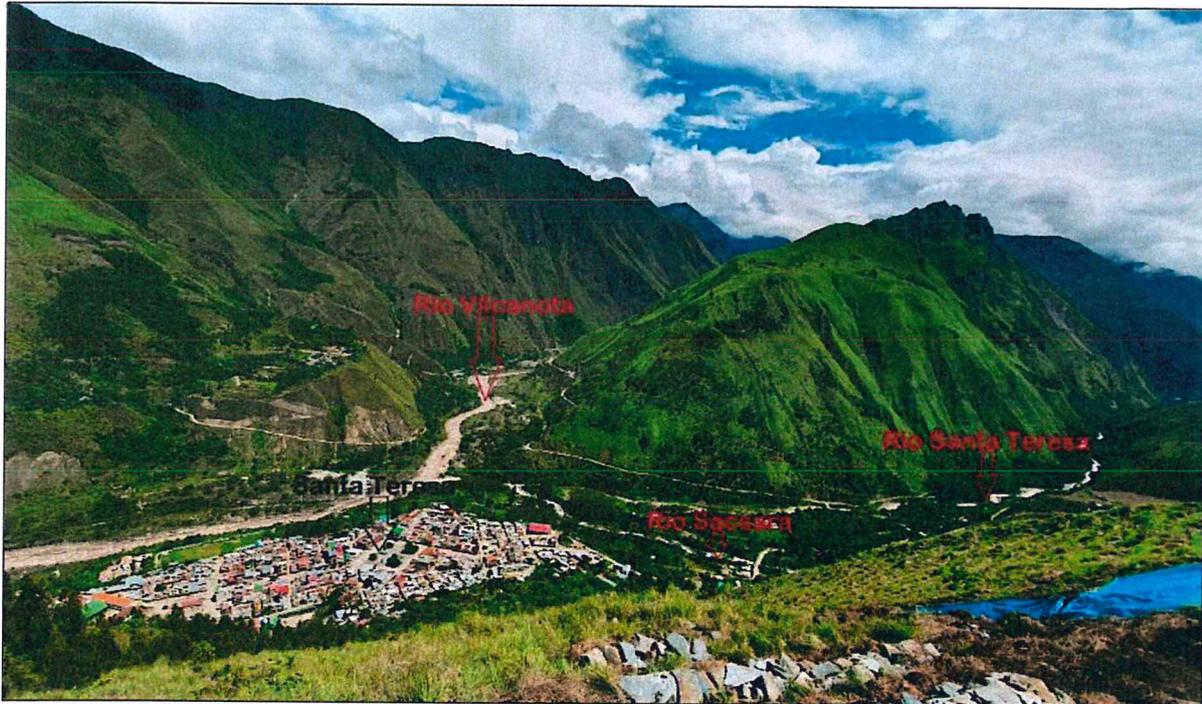


Figura 4. Vista del distrito de Santa Teresa, ubicado en los pies de un mega deslizamiento antiguo y sobre parte de una terraza fluvio aluvial, formada por el río Vilcanota y sus afluentes ríos Sacsara y Santa Teresa.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

5.1. Conceptos teóricos

El término movimientos en masa es el desplazamiento ladera abajo de grandes volúmenes de masas de rocas, detritos o suelo por efectos de gravedad, su origen obedece a procesos geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos, químicos y mecánicos en la corteza terrestre. La probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos geodinámicos es alta en todas las laderas naturales y artificiales, con velocidad de movimiento de muy lentos a extremadamente rápidos. (PGA: GCA, 2007).

a. Deslizamientos

Los deslizamientos son movimientos de masas de roca, residuos o tierra (figura 5), hacia abajo de un talud” (Cruden, 1991), son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Harrod, 1989). Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc.

Los desplazamientos en masa se dividen en subtipos denominados deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales o planares y deslizamientos compuestos de rotación. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y el tipo de estabilización que se va a emplear (Suarez J., 2009).

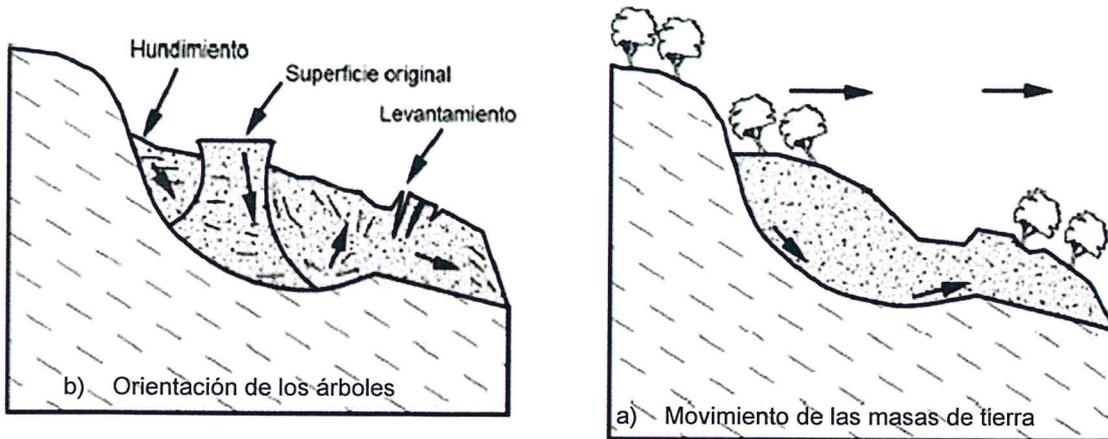


Figura 5: Deslizamiento rotacional típico. Fuente Suárez J., 2009.

b. Caída

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable (figura 6). Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s. El estudio de casos históricos ha mostrado que las velocidades alcanzadas por las caídas de rocas pueden exceder los 100 m/s.

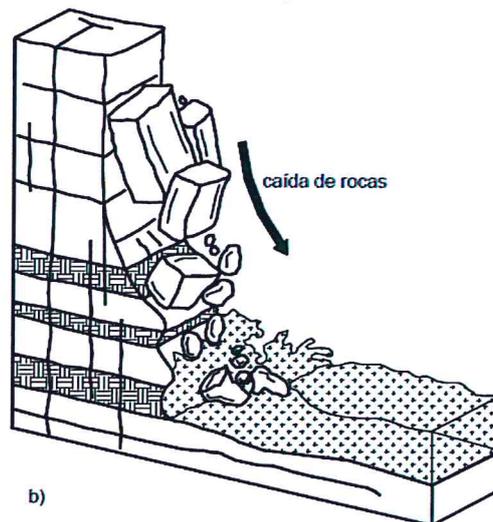


Figura 6. Esquema de caída de rocas. Fuente Suárez (1998).

c. 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 un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Según el tipo de material y mecanismo de velocidad de desplazamiento y ocurrencia, se pueden identificar flujos de detritos, de lodo y aluviones (figura 7).

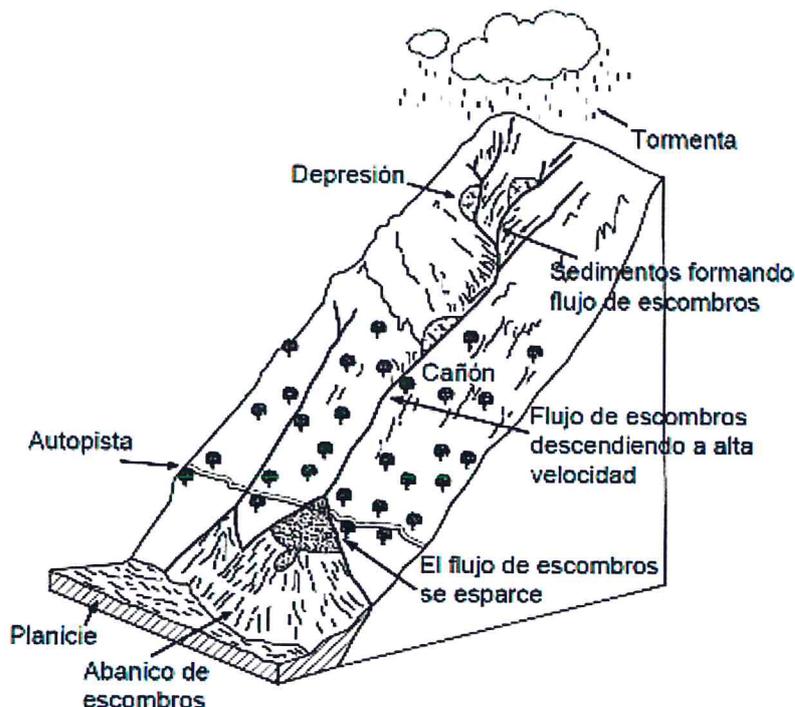


Figura 7. Esquema de un flujo de detritos (huaico). Fuente: Suárez J, 2009.

5.2. Deslizamiento en el cerro San Valentín

Las montañas del distrito de Santa Teresa se caracterizan por presentar relieve abrupto, pendientes empinadas ($>25^\circ$) y configuración topográfica muy accidentada debido a los procesos geológicos ocurridos en el pasado. En sus laderas se identificó procesos geodinámicos como deslizamientos y derrumbes. El poblado de Santa Teresa se encuentra ubicado sobre depósito de un mega deslizamiento antiguo (figura 8).

Según indican los pobladores, en el año 1994, en el distrito de Santa Teresa, se desencadenó un mega deslizamiento proveniente del cerro San Valentín cuya extensión superó las 25 hectáreas con 750m longitudinales de escarpe y con una longitud del escarpe al pie de deslizamiento de 600m aproximadamente.

En noviembre del 2019, parte de la ladera noroeste del cerro San Valentín se reactivó en deslizamiento, producto de las lluvias intensas.

Producto de la reactivación del deslizamiento se formó un escarpe de forma semicircular, con tres niveles (figura 9A). El escarpe principal presenta 58m de longitud y un salto de 2m en su parte central. Mientras que en el flanco derecho, el deslizamiento presenta un salto de 1.10m (figura 9B).

Además se observó que en la parte posterior del escarpe principal, se están formando agrietamientos longitudinales discontinuos de 5 a 10m por tramos, con aperturas de hasta 0.50m (figura 10 A, B), el cual indica el avance retrogresivo del deslizamiento.

La masa deslizada (figura 11A, B) desplazó bloques de hasta 0.6m y arranco árboles desde su raíz (figura 11C). Algunos árboles más resistentes, actuaron como retenedores del material desplazado (figura 11D).

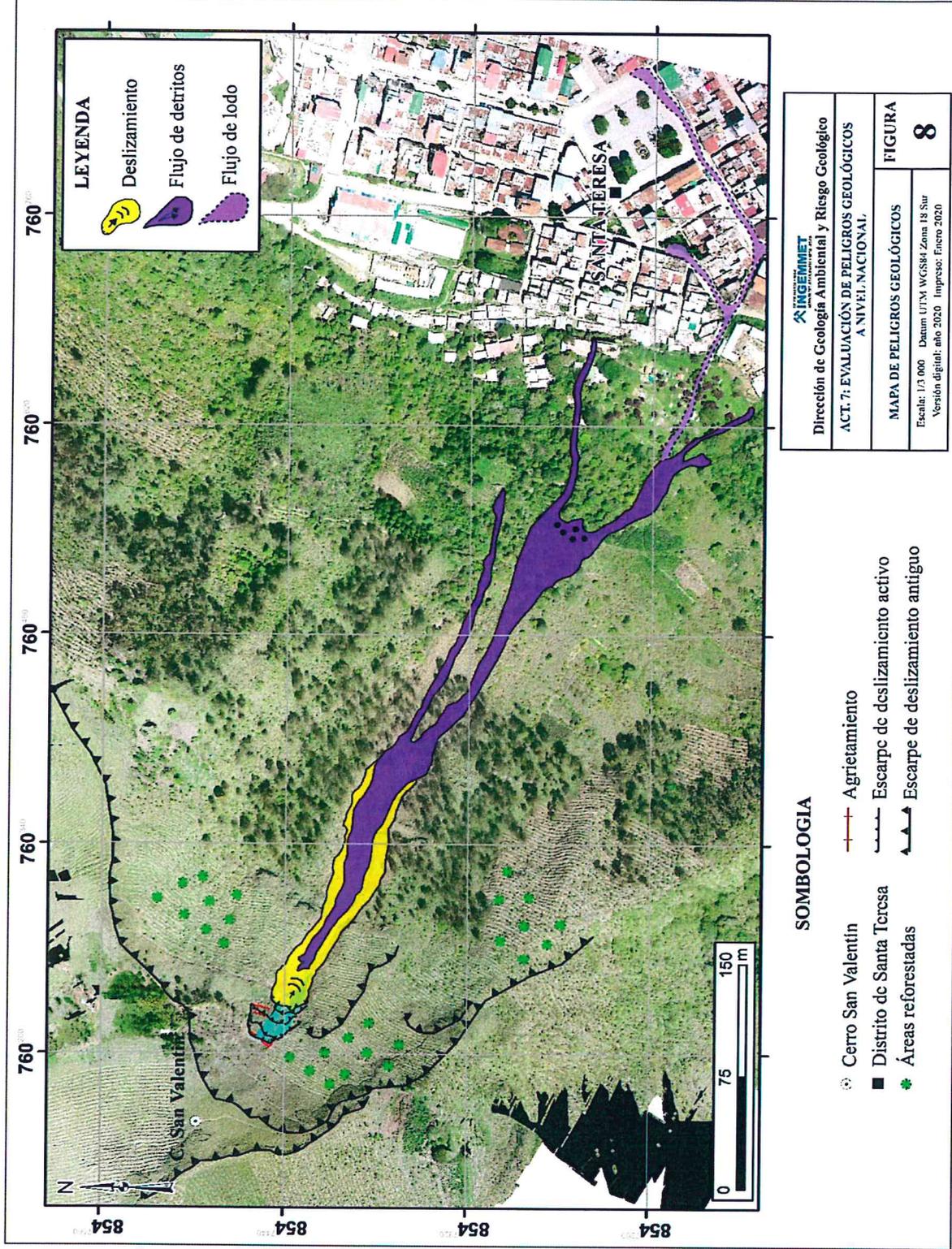


Figura 8. Mapa de peligros geológicos del distrito de Santa Teresa.

Es importante mencionar, que en la cabecera del deslizamiento se tiene material de fácil erosión-remoción (arcillitas, arena y bloques de rocas), que ante precipitaciones pluviales intensas podrían ceder cuesta abajo y afectar a la población que se encuentra al pie de la ladera.

Cabe indicar que, en la divisora de aguas del cerro San Valentín, la existencia de agrietamientos con aperturas de hasta 0.80m (fotografía 2) y la permeabilidad alta debido al fracturamiento de la roca, permiten mayor infiltración de agua de lluvia, posterior humedecimientos y saturación. Esto podría desencadenar un deslizamiento de mayor magnitud.

Por lo observado de campo se puede interpretar que el agua de lluvia infiltró a través del fracturamiento de la roca hasta saturar el terreno, luego el flujo de agua busca la cara libre de la ladera del cerro San Valentín para surgir tipo manantial (fotografía 3), generando erosión en la ladera y posterior ocurrencia de un flujo de detritos.

Por otro lado, en las laderas del cerro San Valentín se viene realizando reforestación con pinos con el fin de atenuar los procesos de remoción en masa.

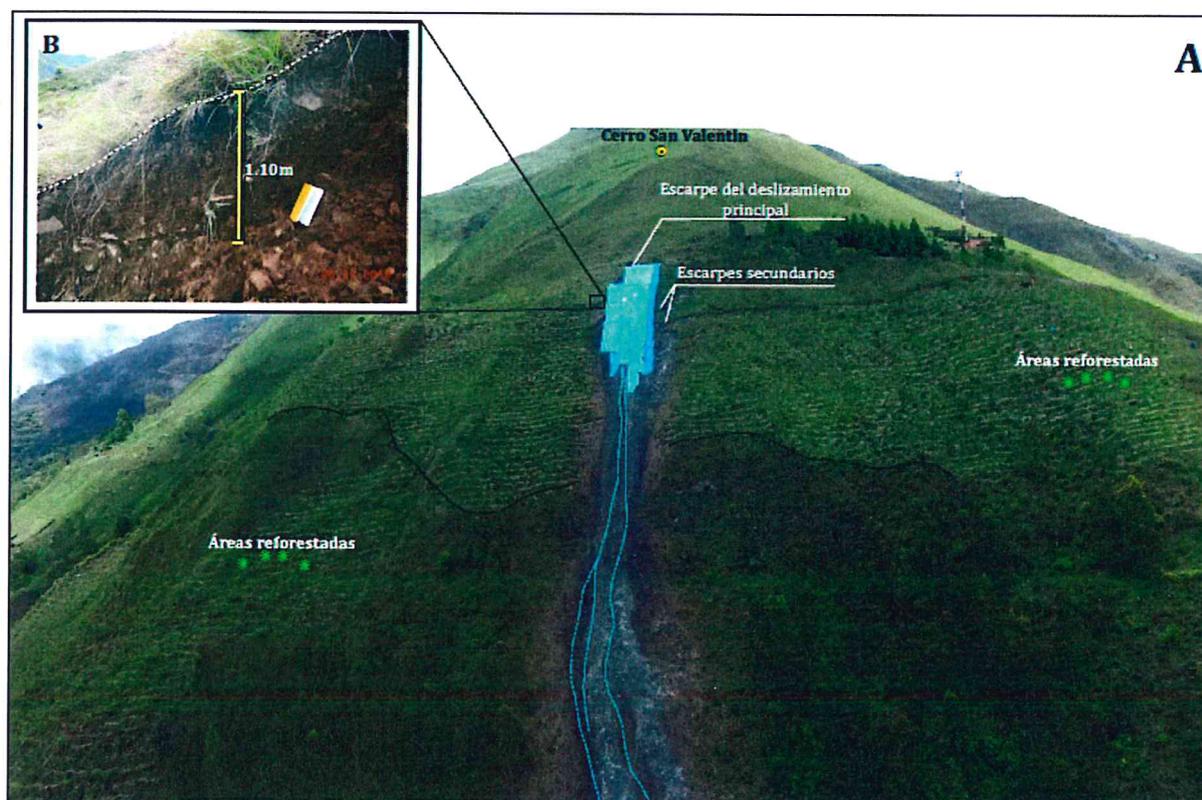


Figura 9. A) Vista frontal del deslizamiento activo, escarpes de deslizamientos antiguos (líneas de color negro) y zonas reforestadas. B) Escarpe del deslizamiento en el flanco derecho.

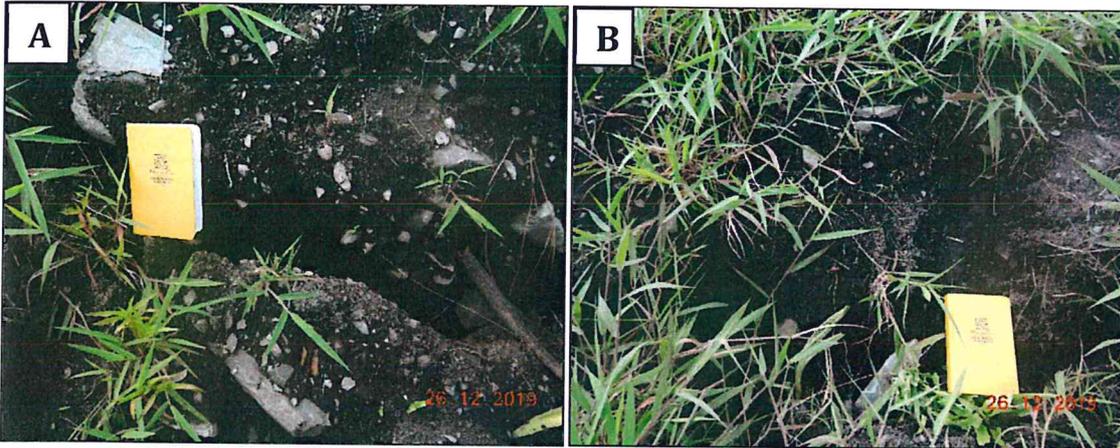


Figura 10. A,B) Los agrietamientos longitudinales en la parte posterior del deslizamiento, indican su avance retrogresivo. Presentan aperturas de 0.50m en promedio.



Figura 11.

- A) Vista al NO del poblado de Santa Teresa, se observa el mega deslizamiento antiguo demarcado con líneas negras y la reactivación con líneas de color amarillo.
- B) Reactivación del deslizamiento.
- C) Cuerpo del deslizamiento-Flujo.
- D) Afectación de terrenos de cultivo.



Fotografía 2. Divisoria de aguas del Cerro San Valentín, notar agrietamiento que afecta a ambas laderas del Cerro en dirección a Santa Teresa y Huadquiña. Fuente Gómez J., 2012.



Fotografía 3. Vista de filtración de agua tipo manantial en el cerro San Valentín.

5.3. Flujo de detritos

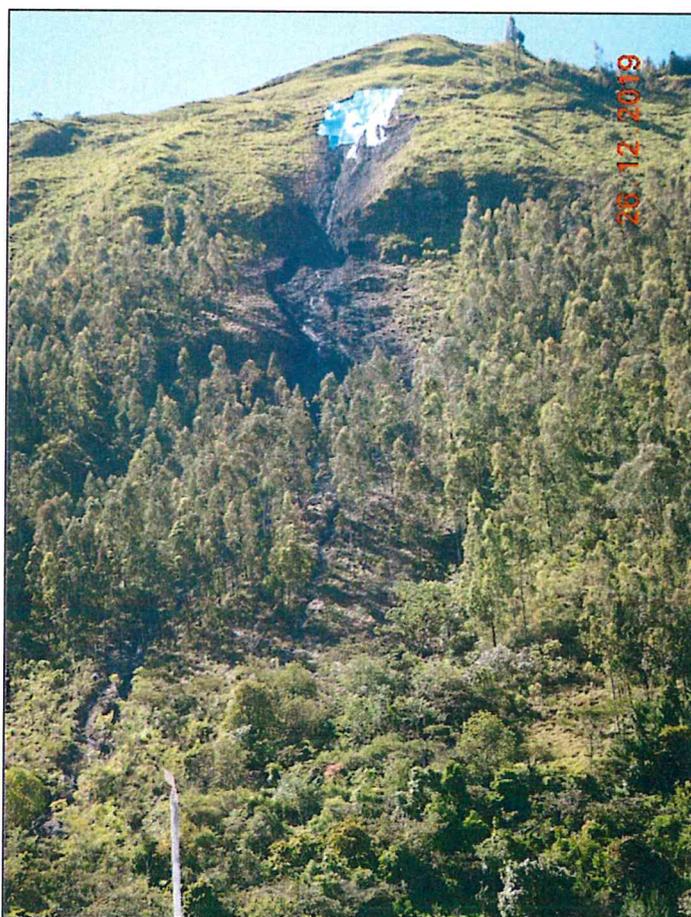
El 19 de diciembre de 2019, el deslizamiento se reactivó nuevamente en forma de flujo de detritos (fotografía 4), en su trayecto transportó bloques de roca metamórfica de 50 a 70 cm de diámetro y palizada (fotografía 5).

En la zona media, el flujo de detritos se bifurcó en tres partes, la primera en dirección noroeste, el segundo y tercer brazo se desplazó en dirección al cementerio de Santa Teresa, afectó media hectárea de terrenos de cultivo aproximadamente.

El flujo de detritos, al perder capacidad de transporte, dejó en su camino material grueso (grava), alcanzando a la población solo material fino (lodo). Además, el flujo acarreado en dirección noroeste llegó a ingresar a algunas viviendas ubicadas en la zona baja (figura 12), sin causar daño alguno.

Es importante mencionar que la existencia de muros secos (fotografía 6) en la zona media – baja, reduce la velocidad de transporte del flujo, además retiene la cantidad de material acarreado.

Por otro lado, las lluvias intensas en la zona continúan erosionando la ladera, profundizándolas hasta en 1.2m (fotografía 7).



Fotografía 4. Reactivación del deslizamiento en forma de flujo de detritos (huaico).



Fotografía 5. Material transportado por el flujo de detritos (huaico) hacia la zona baja.



Fotografía 6. Vista de muros secos en la zona media – baja, actúan como retenedores de material acarreado.



Fotografía 7. Erosión y profundización en la laderas del cerro San Valentín producto de la escorrentía pluvial.

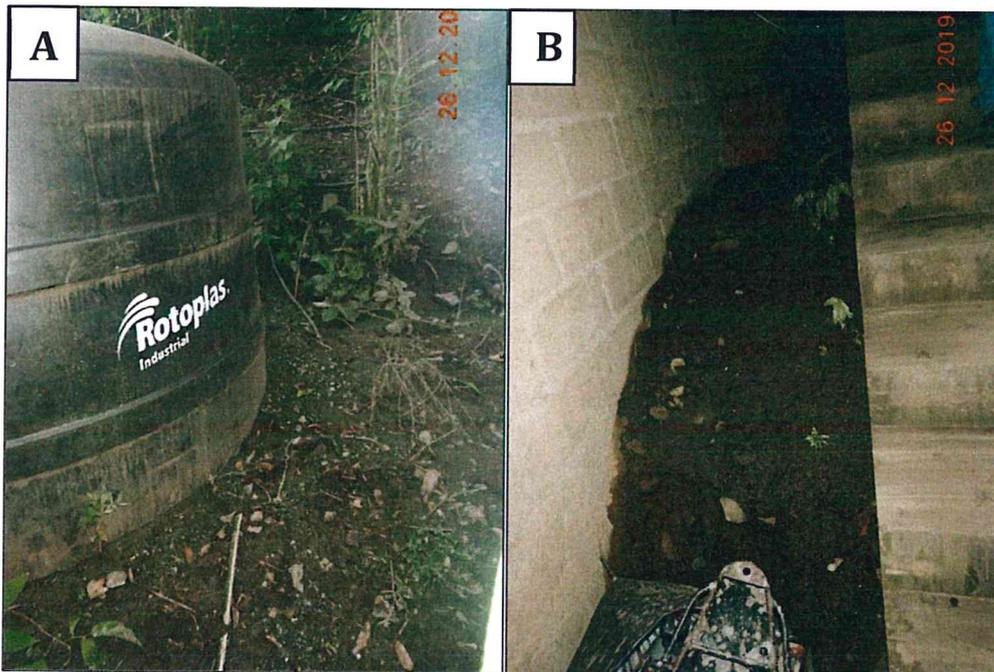


Figura 12. A, B) Vista de viviendas afectadas por el flujo de lodo.

5.4. Caída de rocas

Según indican los pobladores, en el mes de octubre del 2019, se originó caída de rocas de la ladera del cerro San Valentín, su actividad dinámica permitió que algunos bloques llegaran hasta el cementerio (figura 13).

En la zona baja, algunos bloques caídos fueron retenidos por los árboles (fotografía 8) y muros secos (figura 14), evitando el impacto contra las viviendas.

Es importante mencionar que en la ladera del cerro San Valentín, aún existen bloques sueltos suspendidos de hasta 1.5 m de diámetro, ante movimientos sísmicos de intensidad media pueden caer cuesta abajo, afectando viviendas, vías de acceso y a la población de Santa Teresa.

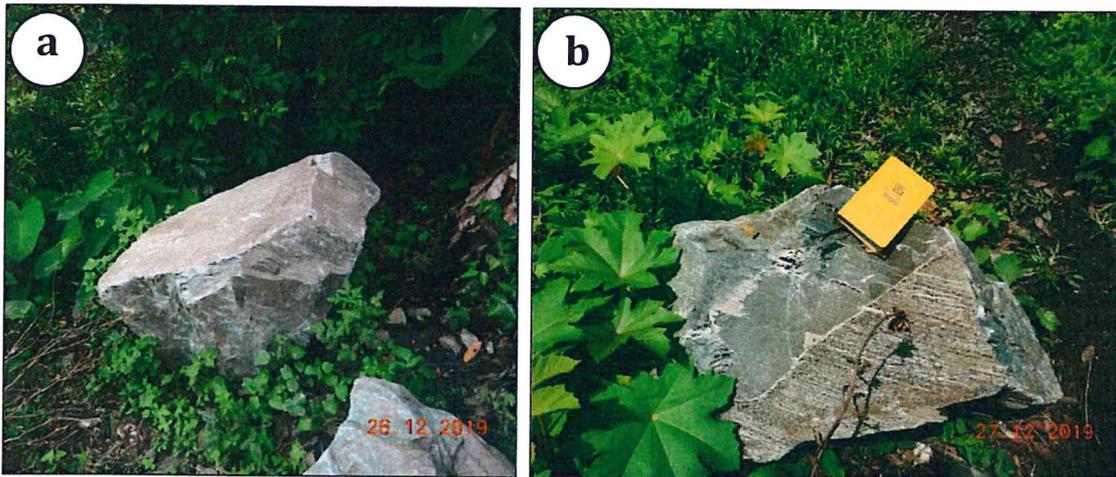


Figura 13. a) Vista de bloques con 1m de diámetro caídos de la ladera del cerro San Valentín. b) Bloque encontrado a la altura del cementerio.



Fotografía 8. Los bloques caídos de la parte alta del cerro San Valentín son retenidos por los árboles.



Figura 14. Vista de bloques caídos de la parte alta del cerro San Valentín, los cuales son retenidos por los muros secos construidos en la parte baja.

6. FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES

Factores condicionantes

Factor litológico y estructural

- Substrato rocoso de mala calidad (muy fracturado y con intensa meteorización) e incompetencia geotécnica, correspondiente al Grupo Ollantaytambo.
- Suelos inconsolidados (depósito coluvial), de fácil erosión-remoción ante intensas precipitaciones pluviales.

Factor geomorfológico

- La morfología de montañas y laderas con pendientes empinadas, muy escarpado >45° tienen gran influencia en la ocurrencia de procesos por remoción en masa, por su efecto de gravedad.

Factor hidrogeológico

- Sobresaturación del suelo debido a la infiltración de agua de lluvia.
- La constante circulación de aguas de escorrentía superficial y los niveles freáticos no visibles en superficie condicionan la estabilidad de las laderas del cerro San Valentín.

Actividad antrópica

- La ocupación y uso inadecuado de terrenos de cultivo en zonas susceptibles a movimientos en masa, generan mayor infiltración de agua de lluvia al terreno.
- Desquinche de rocas en la ladera del cerro San Valentín.
- Deforestación en el cerro San Valentín, dejando descubierto la superficie de las laderas ante agentes erosivos.

Factores desencadenantes

Factor climático-precipitaciones

- Precipitaciones pluviales excepcionales ocurridas entre los meses de noviembre a marzo, con registros críticos umbrales de 1146 mm en promedio, consideradas intensas y frecuentes (*según Koppen y Geiger*).

7. ZONA PROPUESTA PARA LA REUBICACIÓN

La zona propuesta para la reubicación del distrito de Santa Teresa, denominado El Potrero se ubica en la confluencia de los ríos Sacsara y Salkantay, a 2 km aproximadamente del distrito referido, cuyas coordenadas centrales son UTM WGS84 X: 759787 Y: 8545959 a 1697 m s. n. m. (figura 15).

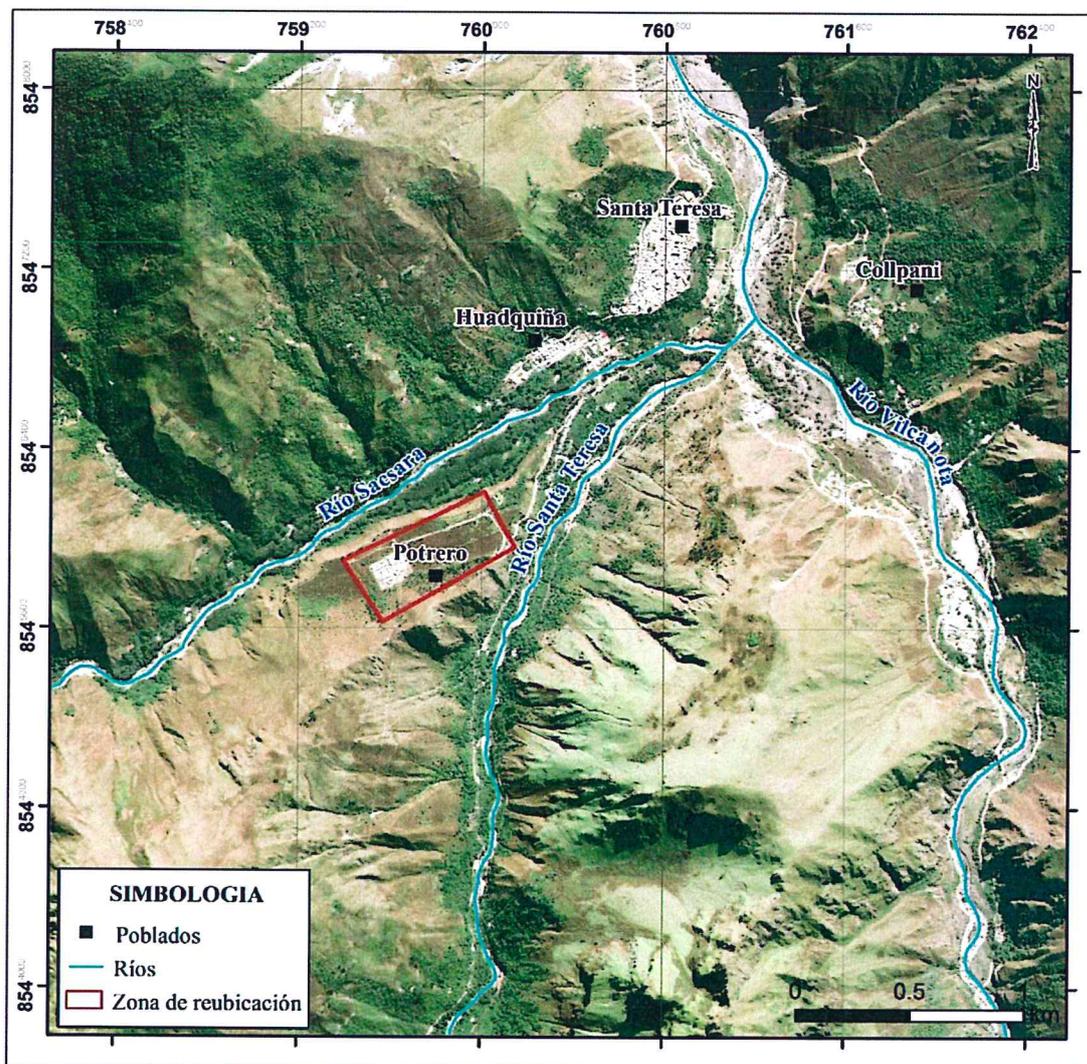


Figura 15. Zona de reubicación para el poblado de Santa Teresa.

7.1. Condiciones geológicas de la zona de reubicación

El sector El Potrero, ubicado sobre una meseta, con una extensión de 21.6 ha aproximadamente y un desnivel de 80m sobre el nivel del río Sacsara, esta circundada por montañas modelados en roca metamórfica, cuyas laderas empinadas evidencian procesos de remoción en masa antiguos (fotografía 9).

Litológicamente, está compuesto por esquistos, cuarcitas y meta volcánicos, correspondiente al Grupo Ollantaytambo. En los pies de las laderas se observan depósitos coluviales, desplazados por efecto de la gravedad.

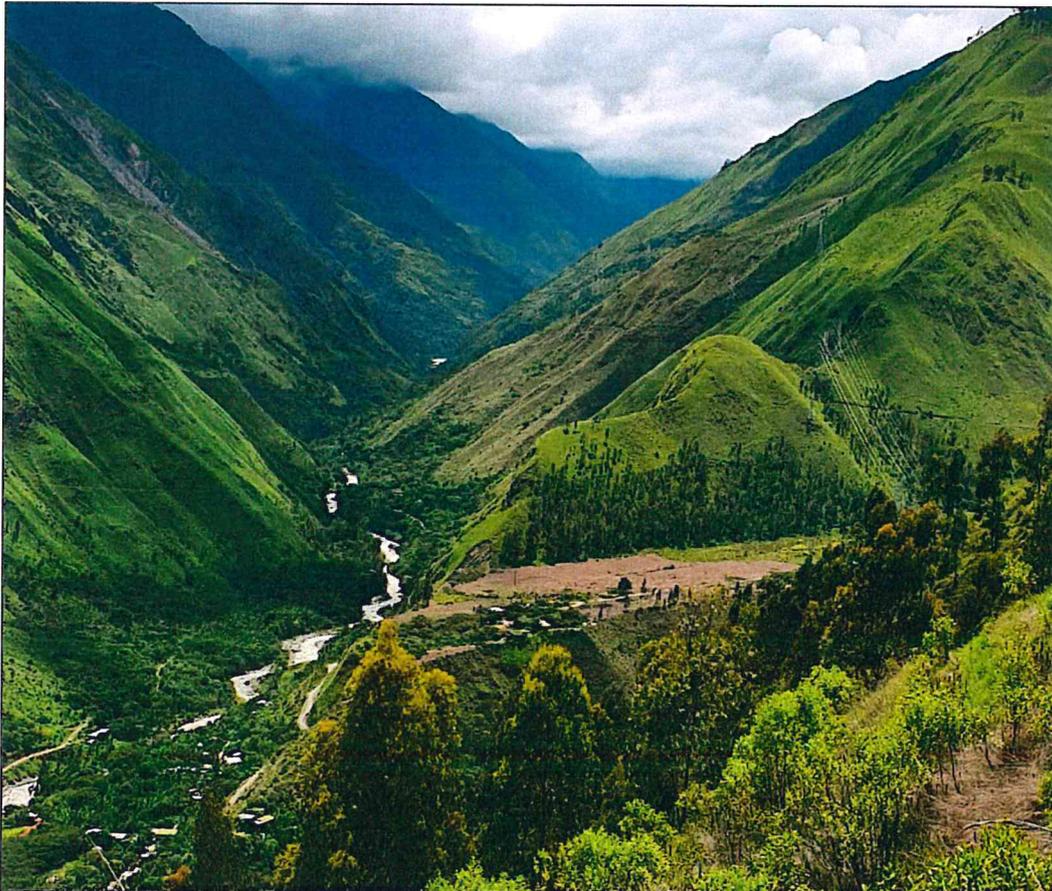
En la ladera suroeste del sector El Potrero se evidencian escarpes de deslizamientos antiguos, con 50m de longitud.

El sector cuenta con sistemas de drenaje (fotografía 10), en ambas márgenes del camino carrozable, con el fin de drenar las aguas de escorrentía y evitar inundaciones.

El corte de talud realizado para la construcción del camino carrozable al sector El Potrero, dejó inestable las laderas y muy susceptibles a generar nuevos derrumbes y deslizamientos. Por otro lado, en el talud verticalizado de la meseta también se evidencian procesos de erosión de ladera en surcos.

7.2. Recomendaciones generales

- La expansión urbana en el sector El Potrero, debe realizarse dejando una distancia considerable como franja.
- Para estabilizar las laderas verticalizadas de la meseta, se debe implementar muros de contención contra caída de rocas.
- Para el reforzamiento de los taludes inestables se debe implementar geomallas, para ello se necesita el asesoramiento de un especialista probado en el tema.
- Reforestar las laderas desprovistas de vegetación, con el fin de estabilizar las laderas.



Fotografía 9. Zona de reubicación para el poblado de Santa Teresa. Al fondo se observan montañas modeladas en rocas metamórficas.



Fotografía 10. Vista de canales de drenaje en ambas márgenes del camino carrozable que conduce al sector El Potrero.

CONCLUSIONES

- a. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa que presenta el cerro San Valentín, se le considera como **peligro muy alto** a generar procesos de remoción en masa y **zona crítica por peligro geológico**.
- b. El poblado de Santa Teresa se encuentra en zona de susceptibilidad alta a muy alta a la ocurrencia de procesos por remoción en masa y peligros geohidrológicos.
- c. Los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en el cerro San Valentín están condicionados por:
 - 1) Presencia de material de fácil remoción, conformado por bloques de rocas metamórficas, de formas subangulosos, inmersos en matriz arcillo limosa, color marrón.
 - 2) Substrato rocoso muy fracturado y con intensa meteorización; ello permite mayor filtración y retención de agua, el cual lo hace inestable.
 - 3) El cerro San Valentín presenta laderas con pendientes de 75°, ello permite que el material suelto disponible se erosione y remueva fácilmente pendiente abajo.
 - 4) Acción de las aguas de escorrentía.

El factor desencadenante para la reactivación del deslizamiento fueron las precipitaciones intensas registradas en el mes de noviembre.

RECOMENDACIONES

- a) Reubicar a la población afectada por el deslizamiento - flujo originado en el cerro San Valentín- Quilcapata, hacia la zona denominado El Potrero.
- b) Colocar geomallas que ayudan en refuerzo y control de la erosión del talud, en la ladera del cerro San Valentín; la cual debe realizarse teniendo en cuenta estudios técnicos.
- c) Implementar un sistema de drenaje para reducir las presiones intersticiales a lo largo del cuerpo de deslizamiento, mediante un drenaje de espina de pescado y zanjas de coronación. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía del talud y del cuerpo del deslizamiento.
- d) Realizar el desquinche de rocas en la ladera del cerro San Valentín, en forma controlada, para evitar que los bloques sueltos lleguen a impactar en la zona urbana.
- e) Prohibir el paso peatonal por el área de influencia (deslizamiento).
- f) Continuar con los trabajos de reforestación.
- g) Implementar muros de contención en la zona baja, con el fin de retener los bloques que puedan ceder de la parte alta del cerro San Valentín.
- h) Realizar estudios geofísicos en la ladera del cerro San Valentín para conocer los niveles freáticos.


.....
Ing. CÉSAR A. CHACALTANA BUDIEL
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- **Carlotto, V., Cárdenas, J., Romero, D., Valdivia, W., & Tintaya, D. (1999).** Geología de los cuadrángulos de Quillabamba y Machupicchu. Hojas: 26-q y 27-q. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 127, 319 p.
- **Cruden, D., y Varnes, D. (1996).** Landslide Types and Processes. "Landslides. Investigation and Mitigation", Eds Turner, A.K. and Schuster, R.L. Special Report 247, Transport Research Board, National Research Council, Washington D.C. pp. 36-75.
- **Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007)** Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.
- **Suárez, J. (1996).** Deslizamientos. Análisis Geotécnico. Capítulo uno, Los Deslizamientos.