

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7063

EVALUACIÓN DEL IMPACTO OCASIONADO POR EL ALUVIÓN DEL 23/02/2020 EN EL RÍO SALKANTAY

Región Cusco
Provincia La Convención
Distrito Santa Teresa



JULIO
2020

INDICE

RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN	4
2. ANTECEDENTES	4
3. ASPECTOS GENERALES	5
3.1. Ubicación y accesibilidad	5
3.2. Objetivos	6
3.3. Clima y vegetación	6
4. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS	8
4.1. Aspectos geológicos	8
4.1.1. Complejo Iscaybamba	8
4.1.2. Formación Ollantaytambo	8
4.1.3. Grupo San José	8
4.1.4. Depósitos Cuaternarios	8
4.1.5. Rocas ígneas	9
4.2. Estructuras geológicas	10
4.3. Aspectos geomorfológicos	11
4.3.1. Geoformas de carácter tectónico - degradacional y erosional	12
4.3.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional	12
4.3.3. Geomorfología glacial	13
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	15
5.1. Estado actual de la laguna Salkantaycocha	15
5.2. Peligros geológicos que afectan la laguna Salkantaycocha	18
5.2.1. Avalancha mixta	18
5.2.2. Avalancha de rocas y detritos	18
5.2.3. Aluvión por desborde de la laguna Salkantaycocha	19
5.2.4. Caída de detritos	20
5.2.5. Deslizamientos	20
5.3. Movimientos en masa en el río Salkantay	21
CONCLUSIONES	27
RECOMENDACIONES	28
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	29

RESUMEN

El nevado Salkantay se ubica en la Cordillera de Vilcabamba, en los Andes orientales del sur del Perú. Políticamente se localiza en el distrito de Santa Teresa, provincia de La Convención, región Cusco.

Litológicamente, el nevado Salkantay está conformado por rocas intrusivas correspondientes al Batolito de Machupicchu del Pérmico - Triásico, de este o este afloran rocas metamórficas del Paleozoico inferior, conformado por metavolcánicas, anfibolitas y gneis, correspondientes al Complejo Iscaybamba, en algunos sectores se encuentran cubiertos por depósitos cuaternarios (coluviales principalmente). Estructuralmente, por la zona de estudio atraviesa el sistema de fallas Collpapampa y Maranpata – Amparay (Carlotto et al., 1999).

Desde el punto de vista geomorfológico, sus vertientes más altas han sido modeladas por la acción erosiva de los glaciares, formando paisajes muy característicos, como circos y valles glaciares en forma de “U”.

El 23 de febrero del 2020, se desencadenó un aluvión producto del desembalse violento de la laguna Salkantaycocha (avalancha), por el lado frontal de la morrena o dique natural, sin generar procesos de ruptura o fracturamiento alguno.

El aluvión, recorrió alrededor de 38 km desde el desembalse hasta la desembocadura en el río Vilcanota (1485 m s.n.m.), en cuyo trayecto ensanchó el cauce y erosionó el lecho del río Salkantay, profundizándola por sectores hasta en 10 m.

Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa que presenta los sectores de Huayracmachay, Chaullay, Huiñaypoco, Palmaderayoc, Playa Sahuayaco, Cochapampa y Paltaychayoc, se les considera como **Zonas Críticas y de Peligro Alto** a la ocurrencia de flujo de detritos de gran magnitud o aluvión.

Se considera que, el nivel de riesgo a lo largo del valle del río Salkantay por desembalse de la laguna Salkantaycocha es alta, debido a la vulnerabilidad de elementos expuestos en el valle y al peligro alto que representa la inestabilidad de la zona glaciar, en relación a la disminución de la cobertura glaciar (hielo y nieve) de los afloramientos rocosos, que se encuentran expuestos ante agentes erosivos, haciéndolos más susceptibles a caídas, derrumbes, desprendimiento, entre otros.

Dentro de las recomendaciones propuestas en el informe se destaca la implementación de un dique artificial en la laguna Salkantaycocha, con su respectivo sistema de regulación de volumen y sistemas de seguridad para casos de elevación peligrosa del nivel de la laguna referida. Así mismo se recomienda reubicar temporalmente al sector Playa Sahuayaco a la zona denominado Chaquiorcco; posteriormente, estudios especializados y de mayor detalle determinaran la reubicación definitiva de los mismos. Del mismo modo se recomienda reubicar a los poblados ubicados en las márgenes del río Salkantay, debido a que se encuentran en una zona de peligro alto ante la ocurrencia de un aluvión.

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) y la ACT.7, evaluación de peligros geológicos a nivel nacional, cuyo 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 hidroclimáticos, sísmicos o de reactivación de fallas geológicas y/o asociados a actividad volcánica.

El INGEMMET, por intermedio de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico comisionó a la geóloga Guisela Choquenaira Garate, para realizar la evaluación técnica en el nevado Salkantay. Los trabajos de campo se realizaron los días 25 y 26 de febrero del presente año, para lo cual se contó con el apoyo del Ing. William Mendoza de CENEPRED, previa coordinación con el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR), personal del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), el Centro de Operaciones de Emergencia Regional de Cusco (COER) y autoridades locales.

Mediante esta asistencia técnica el INGEMMET proporciona un informe técnico que incluye resultados de la evaluación geológica-geodinámica realizada, así como recomendaciones pertinentes para la mitigación y prevención en el marco del Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres; para cuya evaluación se realizaron trabajos de recopilación de información y preparación de mapas para trabajos de campo, toma de datos fotográficos, GPS, cartografía, procesamiento de información y finalmente la redacción del informe.

2. ANTECEDENTES

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

- El Mapa de vulnerabilidades y riesgo del distrito de Santa Teresa dentro del proyecto de glaciares (Portocarrero, 2014), muestra la simulación ante un posible aluvión, donde las comunidades de Totorá, Manchayhuayco, Sahuayaco (figura 1) y Suriray están amenazadas por potenciales aluviones. Todas estas comunidades se encuentran ubicadas en el borde de la zona de peligro.



Figura 1. El sector de Sahuayaco se encuentra en peligro alto ante el posible aluvión que discurriría por la microcuenca Salkantay. Fuente: Portocarrero, 2014.

- Evolución glacial a finales del Holoceno, en los nevados Salkantay y Huamantay y su impacto frente al cambio climático (Concha 2015). Hace referencia al retroceso glacial de los nevados Salkantay y Huamantay debido al cambio climático.
- Zonas Críticas por peligros geológicos en la región Cusco (Vílchez, 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.
- El “Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa” (GEOCATMIN-INGEMMET, 2010), muestra que el distrito de Santa Teresa se encuentra en zona de susceptibilidad alta a movimientos en masa; además de acuerdo al inventario de peligros geológicos, se ha identificado la presencia de deslizamientos, derrumbes erosión fluvial, y flujos de detritos (huaico).

3. ASPECTOS GENERALES

3.1. Ubicación y accesibilidad

El nevado Salkantay se encuentra ubicado en la Cordillera de Vilcabamba, en los Andes orientales del sur del Perú. Políticamente se localiza en el distrito de Santa Teresa, provincia de La Convención, región Cusco (figura 2), cuyas coordenadas centrales UTM WGS84 son 765504 E, 8524146 S a 6100 m s.n.m.

La laguna Salkantaycocha ubicada a 4500 m s.n.m, en la parte alta de la cuenca Salkantay, presenta forma alargada, con longitudes de 513 m de largo por 212 m de ancho, con aguas represadas por un dique morrénico, provienen de los deshielos de

nevado Salkantay y en menor grado de las lluvias estacionales que usualmente se desarrolla entre los meses de diciembre a marzo.

Itinerario

Se accede a la zona de estudio desde la ciudad del Cusco a través de dos rutas:

- Por el sureste: Se accede a través de la carretera asfaltada Cusco – Limatambo Mollepata, de este punto se toma el desvío hacia Soray por carretera afirmada. Luego la ruta continúa por camino de herradura en un tramo de 5km hasta al nevado Salkantay (cuadro 2).
- Por el noroeste: Se accede por la carretera Cusco – Ollantaytambo - Santa Teresa, con un recorrido de 181 km, la ruta continua por camino carrozable hasta el poblado de Huayracmachay, finalmente se continua por camino de herradura un tramo de 4km aproximadamente hasta llegar al Nevado Salkantay.

Cuadro 1. Accesibilidad principal a la zona de estudio.

Ruta principal	Tipo de Vía	km	Tiempo
Cusco - Limatambo	Vía asfaltada	79	1.40 h
Limatambo - Mollepata	Vía asfaltada	22.9	30 min
Mollepata - Soraypampa	Carretera carrozable (trocha)	25.8	4.20h
Soraypampa – nevado Salkantay	Camino de herradura	7.2	2h

3.2. Objetivos

- a. Evaluar la situación actual de la laguna Salkantaycocha, ocurrido el aluvión del 23 de febrero del 2020.
- b. Identificar los peligros geológicos por movimientos en masa que afectan la laguna Salkantaycocha.
- c. Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación de los efectos originados por los peligros geológicos identificados.

3.3. Clima y vegetación

Según la clasificación climática de W. Koppen, la zona de estudio presenta un clima frío de alta montaña, con precipitación total anual variable de 800 mm, y una temperatura media anual inferior a 1,5°C. También se caracteriza por presentar un clima húmedo, de lluviosa a subhúmeda y frígida según el mapa climático elaborado por el Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente (IMA, 2005).

Las únicas formas de vida observadas son algunas algas, así como minúsculos líquenes y crustáceos que crecen sobre rocas de color oscuro, en los límites inferiores de la cubierta nival y muy cerca de la tundra (Carlotto et. al 2007).

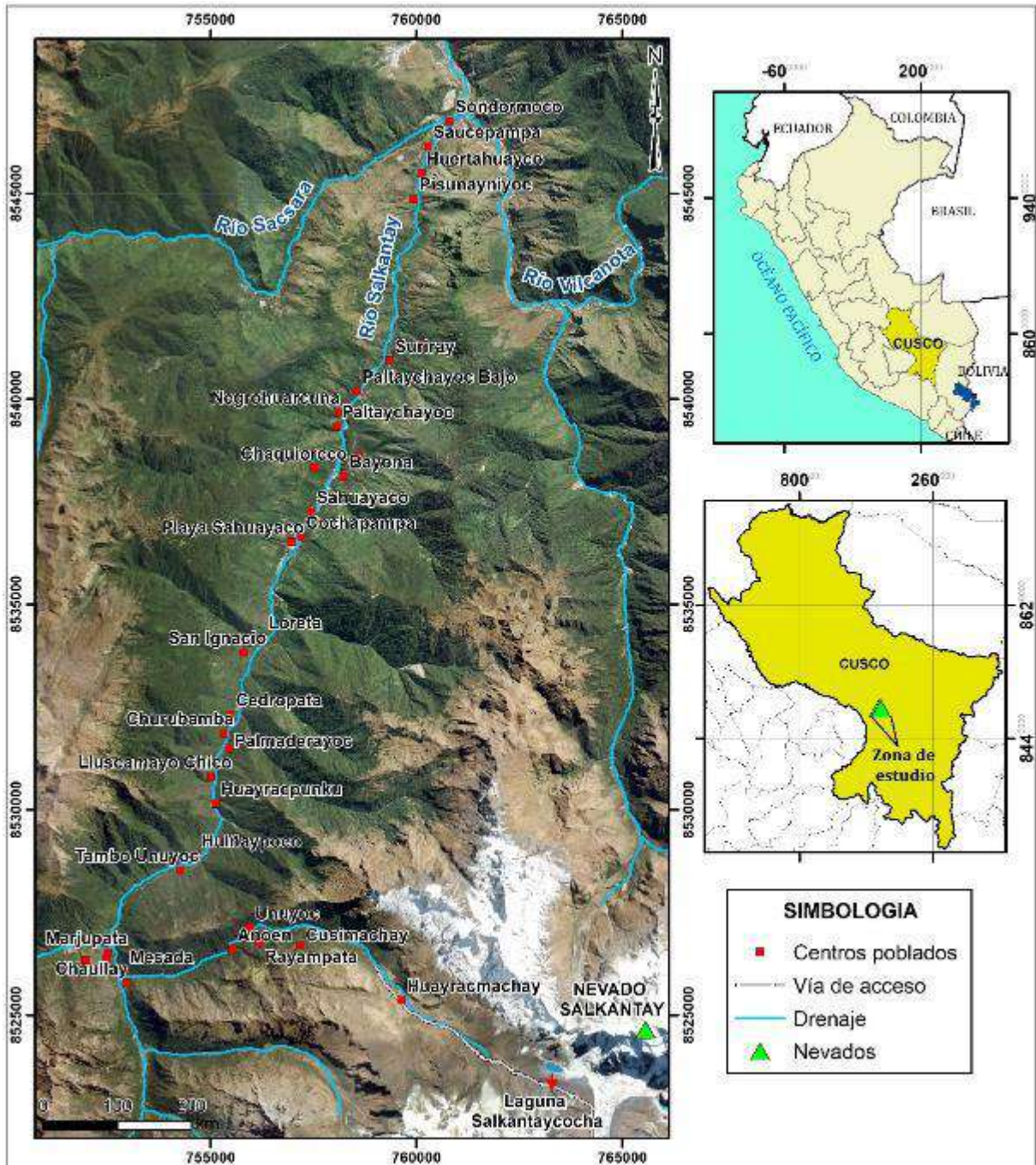


Figura 2. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Aspectos geológicos

El nevado Salkantay está desarrollado sobre rocas intrusivas, correspondientes al Batolito de Machupicchu del Pérmico-Triásico. Al este del Nevado afloran rocas metamórficas del Paleozoico inferior, consideradas como rocas más antiguas y deformadas de la región (Concha, 2015), al oeste afloran rocas metavolcánicas, anfibolitas, granito, gneis, correspondientes al Complejo Iscaybamba; sobre estas rocas se desarrollan diferentes depósitos cuaternarios (figura 3).

4.1.1. Complejo Iscaybamba

Infrayace a la Formación Ollantaytambo, por lo que se le atribuye una edad Cámbrica a Ordovícica basal y podría correlacionarse con el Complejo del Marañón, datado como Ordovícico basal (Concha, 2015).

Está conformado por cuarcitas blanquecinas intercaladas con pequeños niveles de micaesquistos, luego pasan a mármoles de textura granoblástica, continúan gneises de textura granular y finalmente pasan a micaesquistos intercalados con pequeños niveles de hornfels y anfibolitas según los estudios de Carlotto (1999) y Carlotto (2007).

4.1.2. Formación Ollantaytambo

Esta unidad aflora al suroeste del nevado Salkantay. Está compuesta en su parte inferior por brechas de andesitas. En el nivel superior se observan pizarras y esquistos verdes, intercalados con bancos de cuarcitas. En la quebrada de Silque al noroeste del nevado Salkantay, Egeler y De Booy, (1961), indican la presencia de una asociación de fósiles de graptolitos que sugieren una edad Arenigiana, por consiguiente, la edad de la Formación Ollantaytambo es Ordovícica inferior.

4.1.3. Grupo San José

Aflora ampliamente al este y al sureste del nevado Salkantay. Está constituida por pizarras micáceas y esquistos de color verde o negro, y en algunos lugares se halla intercalada con cuarcitas verdes. Todas estas rocas son de origen marino y se encuentran fuertemente plegadas. Cerca del nevado Verónica, al norte del nevado Salkantay, esta formación contiene fósiles de edad Arenigiana superior (Marocco, 1978).

4.1.4. Depósitos Cuaternarios

Estos depósitos se han desarrollado ampliamente en las laderas y en el fondo de los valles Aobamba, Rio Blanco, Sisaypama, Huamantay y Totorayoc que descienden de los nevados Salkantay, Tucurhuay y Huamantay. Se trata de depósitos morrénicos, formados durante los periodos glaciares del Pleistoceno y Holoceno (Licciardi, 2009), los que están constituidos principalmente por bloques graníticos envueltos en matriz gravo arcillosa (Concha, 2015).

4.1.4.1. Depósito fluvio glaciar

En el fondo de los valles, se pueden observar depósitos fluvio-glaciares, constituidos por gravas envueltas en matriz areno – arcillosa, que son resultado del acarreo y deposición de material de origen glaciar por corrientes fluviales.

4.1.4.2. Depósito aluvial

Se encuentran distribuidos en ambas márgenes del río Salkantay, conformado por bloques y gravas de rocas intrusivas en su mayoría, envueltos por una matriz areno - arcillosa. Representan antiguos niveles del curso del río.

4.1.4.3. Depósito coluvial

Se localizan en las laderas de montañas modeladas en rocas intrusivas y metamórficas que delimitan el río Salkantay, están constituidos por bloques angulosos envueltos en una matriz limosa, son producto de la caída de detritos y bloques de roca, los cuales se depositan al pie de las vertientes.

4.1.4.4. Depósito morrénico

Se localizan principalmente en las partes altas de las montañas, a 3 300 m s. n. m. en el fondo de los valles glaciares. Están constituidas por acumulaciones de bloques heterométricos y gravas, principalmente de rocas intrusivas, en una matriz areno-arcillosa. Su origen está relacionado a la acción de avance y retroceso de los glaciares, erosionan el substrato rocoso sobre el cual se sostienen las masas de hielo.

Estos depósitos mayormente son de corto recorrido y se acumulan en valles bien anchos. Las morrenas de los nevados Salkantay - Corihuayrachina y Sacsarayoc - Pumasillo, han alimentado los aluviones producidos en el año 1998, que afectaron la Central Hidroeléctrica de Machupicchu y el poblado de Santa Teresa.

4.1.5. Rocas ígneas

4.1.5.1. Unidad de Machupicchu

La zona de estudio está caracterizada por la presencia de varios cuerpos o macizos de rocas intrusivas (fotografía 1), que forman el Batolito de Machupicchu. Esta unidad corta rocas metamórficas de la Formación San José (Ordovícico), y del Complejo Iscaybamba (Cámbrico - Ordovícico). El granito ha sido datado en 246 ± 10 Ma. (Egeler y De Booy, 1961), es decir, del Triásico inferior. En general, los granitos son de color blanco o gris, con textura granular, holocristalina, o a veces porfírica y están compuestos por cuarzos, microclinas, ortoclasas, plagioclasas, biotitas, así como zircónes, epídotas y cloritas (Carlotto et al., 1999).



Fotografía 1. Vista de afloramiento de roca intrusiva muy fracturada, en la margen izquierda del río Salkantay.

4.2. Estructuras geológicas

Estructuralmente, en la zona de estudio se aprecian fallas, fracturas y diaclasas, que conjuntamente con los procesos glaciares, han condicionado la forma del relieve (Concha, 2015). Específicamente, por la laguna Salkantaycocha atraviesa una falla inversa regional, correspondiente al sistema de fallas Collpapampa y Maranpata – Amparay (Carlotto et al., 1999).

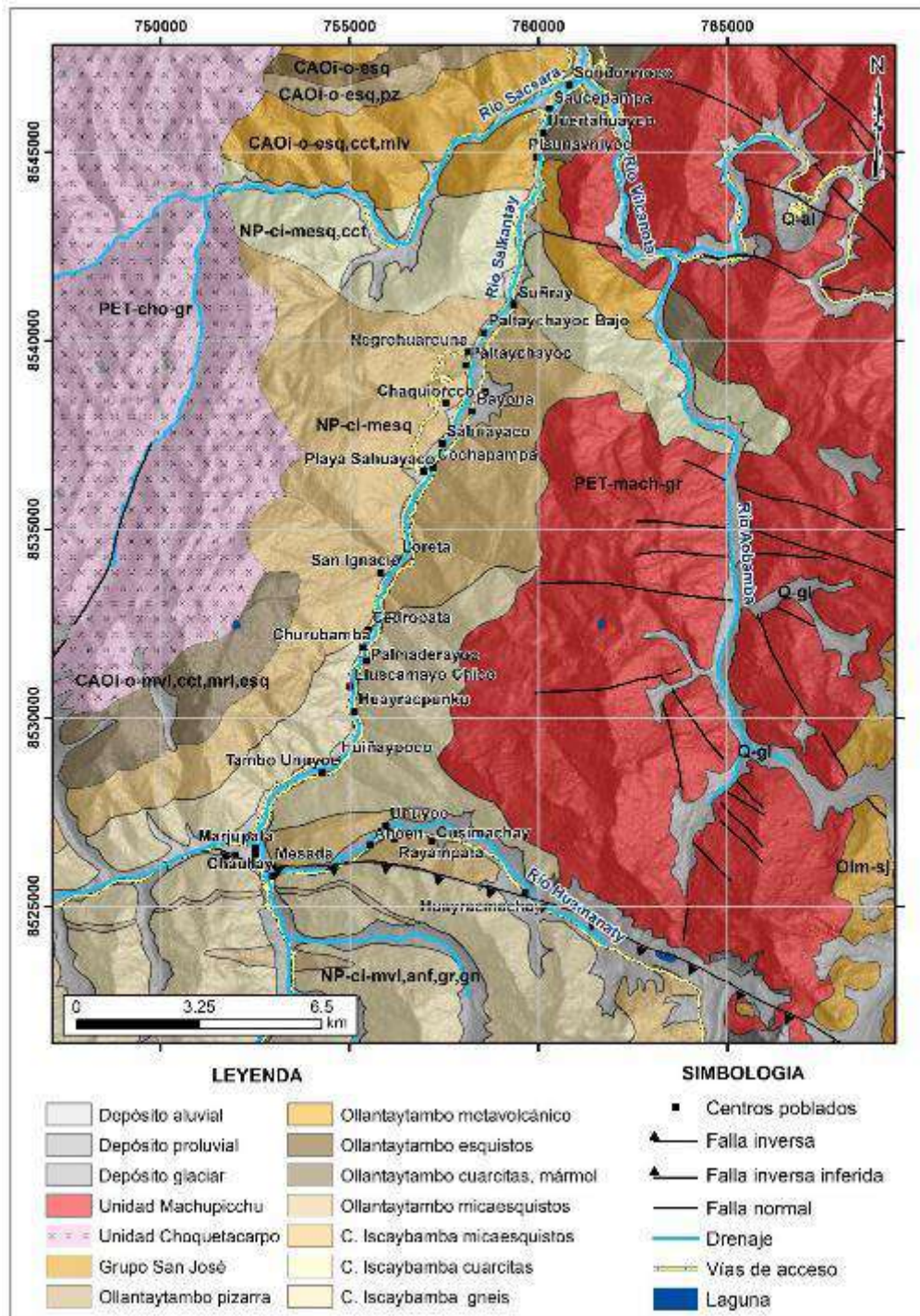


Figura 3. Mapa geológico de la zona de estudio. Modificado de Carlotto, et al., 1999.

4.3. Aspectos geomorfológicos

Desde el punto de vista geomorfológico, sus vertientes más altas han sido modelados por la acción erosiva de los glaciares (figura 4), formando paisajes muy característicos, como circos y valles glaciares en forma de "U", cuyas vertientes están cubiertas por depósitos de till (fotografía 2), que son sedimentos originados por la acción glaciar.

4.3.1. Geoformas de carácter tectónico - degradacional y erosional

4.3.1.1. Unidad de montaña

Se considera dentro de esta unidad a las geoformas con alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de base local. Se reconocen como cimas o cumbres agudas, subagudas, semiredondeadas, redondeadas o tubulares y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza (levantamiento, glaciación, etc.). Sus laderas presentan un pendiente promedio superior al 30 % (como se cita en Villota, 2005, p. 63).

a. Sub unidad de montañas en rocas intrusivas (RM-ri)

Conforman laderas y crestas de topografía muy abrupta, con pendientes de hasta 80° (vertiente sur de los nevados Salkantay) y elevaciones que alcanzan los 6271 m s.n.m. Estos relieves tienen formas irregulares y la evolución de sus formas está controlada por fallas de dirección E-O, diaclasas y el modelado glaciar. Desde el punto de vista litológico son rocas graníticas que pertenecen al Batolito de Machupicchu.

El grado de peligrosidad en esta subunidad está caracterizado por las continuas caídas y desprendimientos de roca y detritos, así como avalanchas de hielo y nieve de los nevados Salkantay y Huamantay (Concha, 2015).

b. Sub unidad de montañas en rocas metamórficas (RM-rm)

Conforman también laderas y crestas muy empinadas y abruptas, con pendientes que varían entre 50° - 80° y con elevaciones que alcanzan los 5890 m s.n. m. (nevado Turcarhuay). Tienen formas muy parecidas a los relieves montañosos en rocas intrusivas, aunque no se encuentran tan fracturadas, pero si están fuertemente plegadas y alteradas. Su forma también está controlada por fallas, pliegues y el modelado glaciar. En este caso se trata de gneises, esquistos y cuarcitas de edad paleozoica.

El grado de peligrosidad en esta subunidad está caracterizado por caídas y desprendimientos de roca y detritos, así como avalanchas de nieve del nevado Tucaruay, ubicados al sur del nevado Salkantay (Concha, 2015).

4.3.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional

4.3.2.1. Unidad de piedemonte

c. Sub unidad de piedemonte coluvio – deluvial (V-cd)

Corresponde a las acumulaciones o depósitos de ladera, originados por procesos de movimientos en masa del tipo deslizamientos, derrumbes, avalanchas de rocas o movimientos complejos. Corresponde a laderas con pendientes que varían entre 30° y 70° (vertiente sur del nevado Salkantay). Su composición litológica es homogénea, constituida por fragmentos rocosos envueltos en matriz arenosa, son depósitos de corto recorrido y forman abanicos y conos de deyección en las laderas de las montañas.

Su peligrosidad está caracterizada por la formación de deslizamientos, derrumbes y avalanchas producidas por el desgaste y la erosión de las rocas que en muchos casos se encuentran fracturadas y alteradas (Concha, 2015).

4.3.2.2. Unidad de valle

d. Sub unidad de terraza aluvial (T-al)

Son planicies inclinadas, con pendientes de entre 20° y 50°, constituidas por una sucesión de abanicos aluviales que se superponen uno sobre otro y que descienden por las laderas de las montañas. Están constituidos por material inconsolidado, de gravas mezclado con limos y arenas. Estos depósitos se originan en tiempos de intensas precipitaciones pluviales y trastornos climáticos como el fenómeno ENSO (Concha, 2015).

4.3.3. Geomorfología glaciar

e. Morrenas

Las morrenas son depósitos sedimentarios, formados por la dinámica glaciar en las laderas de las montañas y en los fondos de valle (registran la existencia de antiguas fases glaciares). Son geoformas semicirculares con pendientes promedio de 50°. Están constituidos por bloques y fragmentos rocosos de litología y granulometría heterogéneas envueltos en una matriz areno gravosa.

Estas geoformas pueden verse en la vertiente del nevado Salkantay, donde se registran antiguas fases de expansión glaciar. Las morrenas más recientes, son depósitos muy inestables, y por lo general encierran lagunas de origen glaciar que se formaron por el derretimiento de las masas de hielo existentes.

La peligrosidad en estas unidades, están dadas por los deslizamientos y derrumbes producidos en las laderas internas y externas de la estructura, además pueden desestabilizarse por embalses violentos producidos en las lagunas (Concha, 2015).

f. Valles fluviales – fluvioglaciares

Son superficies bajas adyacentes a los fondos de valle y ocupan también el mismo curso fluvial, se originan por inundaciones de detritos es decir movimientos en masa con abundante contenido de agua producto del derretimiento de la nieve y el hielo, y las intensas precipitaciones pluviales registradas en la zona.

Morfológicamente se distinguen como terrenos planos con pendientes de entre 5° y 20°; compuesto por gravas y bloques envueltas en matriz limo arcillosa.

Los peligros geológicos asociados son los aludes, las inundaciones de detritos, flujos de detritos y flujos de lodo.

g. Glaciares

Son masas o cuerpos de hielo que se forman por la acumulación de la nieve en las vertientes de las montañas. Con el paso del tiempo, los cristales de hielo se acumulan, se compactan, se genera una pérdida de porosidad, se recristalizan y originan el hielo glaciar, que es una densa masa que desciende por las laderas de las montañas impulsada por su propio peso, es decir su movimiento es principalmente gravitacional.

Los peligros asociados son las avalanchas de nieve, desprendimientos de bloques, que pueden colapsar sobre lagunas glaciares originando de esta manera desembalses violentos que pueden ser perjudiciales para las comunidades que se desarrollan en los valles.

h. Lagunas glaciares

Durante un proceso de retroceso glaciar, las masas de hielo se derriten, y como consecuencia inundan las depresiones previamente generadas por la sobre excavación glaciar. En la zona de estudio se puede observar principalmente en las vertientes sur del nevado Salkantay.



Figura 4. Unidades geomorfológicas: Sub unidad de montaña en roca intrusiva (RM-ri), sub unidad de montaña en roca metamórfica (RM-rm), Sub unidad de valle fluvio glaciar (V-flgl), Morrenas (Mo).



Fotografía 2. Vista del nevado Salkantay cubierto por material inconsolidado (till) y afloramiento rocoso con escasa nieve.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

5.1. Estado actual de la laguna Salkantaycocha

El 23 de febrero, a la 1 p.m. aproximadamente, se desencadenó un aluvión producto del desembalse violento que originó una avalancha (conformado por hielo y roca principalmente), proveniente de la cara suroeste del nevado Salkantay sobre la laguna Salkantaycocha. El desembalse se originó por el lado frontal de la morrena o dique natural, con un salto de 12 a 15 m aproximadamente, sin generar procesos de ruptura o fracturamiento alguno en el dique.

Al dique morrénico que contiene a la laguna, de 0.66 km² de área, se correlaciona su formación durante los periodos glaciares del Pleistoceno y Holoceno (Licciardi, 2009), este está constituido principalmente por bloques de roca granítico, envueltos en una matriz gravo arcillosa.

En la vertiente sur del nevado Salkantay aún se observa el desprendimiento de roca de hasta 12 m de diámetro (figura 5), que impactó sobre la laguna.

La avalancha en su proceso dinámico impactó contra la morrena lateral izquierda, generando otro desembalse en dirección sureste, depositándose bloques de hasta 3m sobre el camino de herradura, vía bastante utilizada por turistas.

Es importante mencionar que las paredes de la morrena lateral izquierda y derecho se encuentran inestables, debido a los deslizamientos, derrumbes y caída de detritos que originó la avalancha (figura 6).

Según manifiestan los pobladores, la caída de rocas es constante durante todo el año en el nevado Salkantay, lo cual representa un peligro latente, con altas probabilidades de generar otro aluvión de mayor magnitud, de llegar a producirse la ruptura del dique natural por la caída de rocas provenientes desde los afloramientos rocosos expuestos que dejó el deshielo del glaciar.



Figura 5. Vista del desprendimiento de roca de la cara suroeste del nevado Salkantay.

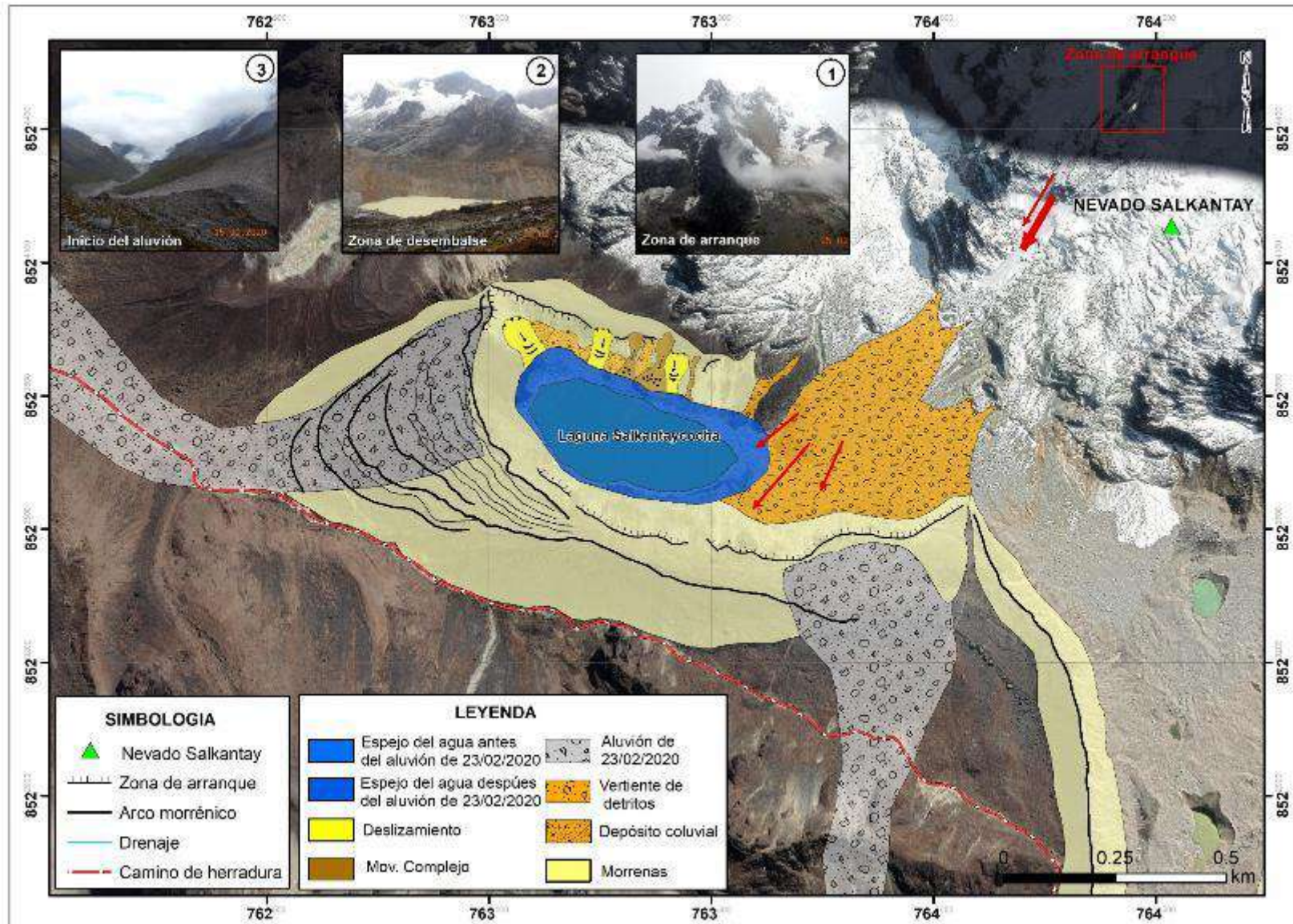


Figura 6. Cartografía de peligros geológicos y el proceso evolutivo que generó el aluvión del 23 de febrero, a partir de una avalancha.

La avalancha (roca y hielo) que impactó sobre la laguna Salkantaycocha generó olas, ello incrementó el nivel del agua en 12m de altura en promedio.

En la Figura 7a se observa cantidad considerable de material de escombros alrededor de la laguna, que son fácilmente removibles y erosionables, constituidos principalmente de bloques graníticos que varían de 0.5 a 3 m de diámetro.

Actualmente, el espejo de agua de la laguna se encuentra a 50 m de profundidad, con respecto a los laterales de la morrena (figura 7b), sin embargo, al lado frontal de la morrena se encuentran a tan solo 10 m de altura del espejo de agua.



Figura 7 Vista de la laguna Salkantaycocha. a) Tomada el 4 de febrero del 2020 (Fuente: Trekking Salkantay), b) Tomada posterior al desembalse.

5.2. Peligros geológicos que afectan la laguna Salkantaycocha

La morrena de la laguna Salkantaycocha, compuesto por bloques de hasta 3 m de diámetro, cantos y gravas, con clastos sub redondeados a sub angulosos de naturaleza granítica y pizarrosa; en matriz areno limo arcilloso (morrena lateral derecha e izquierda respectivamente); medianamente consolidado, es susceptible a procesos por remoción en masa.

5.2.1. Avalancha mixta

Las avalanchas mixtas (hielo y roca) en el nevado Salkantay (fotografía 3) se producen debido a la fragilidad del casco glaciar, caen constantemente en forma de bloques, pudiendo variar las dimensiones de este movimiento en dirección a la laguna Salkantaycocha, ocasionando en algunos casos olas de tsunami, ello influencia en la inestabilidad de la morrena, sobre todo en sus laterales.



Fotografía 3. Avalancha mixta en la cara frontal de la vertiente sur del nevado Salkantay.

5.2.2. Avalancha de rocas y detritos

La avalancha de rocas y detritos se observan principalmente en la morrena lateral derecha, y en los pies del nevado Salkantay, producido por las filtraciones de agua de las precipitaciones pluviales y las avalanchas de hielo que impactan sobre la laguna Salkantaycocha. El tamaño de clastos, varía desde 0.5 cm hasta 1.5 m de diámetro (fotografía 4).



Fotografía 4. Avalancha de detritos de la cara sur del nevado Salkantay.

5.2.3. Aluvión por desborde de la laguna Salkantaycocha

El aluvión del 23/02/2020, con origen en la laguna Salkantaycocha, se desbordo por el lado frontal de la morrena, en un ancho de 340 m (figura 8), esto a partir de la caída de una avalancha mixta de la cara suroeste del nevado Salkantay.

En su trayecto transportó bloques de hasta 3 m de diámetro, de composición granítica principalmente. Así también afecto el camino de herradura que conduce a la laguna Salkantaycocha.



Figura 8. El aluvión del 23/02/2020 afectó la morrena frontal. Vista tomada hacia el NE.

5.2.4. Caída de detritos

Debido al material poco consolidado de la morrena que contiene a la laguna Salkantaycocha, se producen numerosas caídas de detritos hacia la laguna. Se presentan mayormente zonas de arranque irregulares y se muestra claramente eventos relativamente antiguos y recientes en los laterales de la morrena (fotografía 5), conformado por bloques de hasta 1 m, inmersos en matriz limo arenosa.



Fotografía 5. Caída de detritos de la morrena lateral derecho hacia la laguna.

5.2.5. Deslizamientos

El impacto de la avalancha mixta sobre la laguna Salkantaycocha, generó la reactivación de la morrena lateral derecha en pequeños deslizamientos (fotografía 6), por efectos de la erosión de la base de la morrena, como consecuencia del violento desembalse de la laguna.



Fotografía 6. Vista de deslizamiento en la morrena lateral derecho.

5.3. Movimientos en masa en el río Salkantay

El aluvión, de origen en la laguna Salkantaycocha (4480 m s.n.m.) recorrió alrededor de 38 km desde el desembalse sobre la morrena frontal hasta su desembocadura en el río Vilcanota (figura 10), en cuyo trayecto erosionó la base del río Salkantay, socavando y profundizando el lecho del río hasta en 10 m por sectores (figura 9a y b).

A continuación, mediante la figura 11 y secciones fotográficas A, B, C, D, E se han identificado los principales sectores afectados por el aluvión.

Figura 11A, el aluvión al perder capacidad de transporte, depositó el material más grueso (bolones de hasta 6 m de diámetro) a la altura del sector Huayracmachay, ensanchando su cauce en 200 m, para luego en la zona baja acarrear material fino (lodo). El daño ocasionado comprende la destrucción de varias viviendas y la pérdida de 06 vidas humanas.

En su trayecto la dinámica erosiva del aluvión, al pasar por el sector Chaullay socavó ambas márgenes de la ladera (figura 11B), generando sucesivos derrumbes (fotografía 7).

De igual manera, a lo largo del río Salkantay se observan continuos derrumbes y deslizamientos, condicionados principalmente por la pendiente empinada (65°) de sus laderas, el substrato rocoso fracturado y muy meteorizado; la mayor evidencia se presenta en el sector Huiñaypoco (figura 11C), donde el deslizamiento activo podría generar el represamiento del río, y su posterior desembalse afectaría nuevamente a los sectores ubicados aguas abajo.

El sector Playa Sahuayaco, está ubicado en la margen izquierda del río Salkantay, sobre una terraza aluvial, conformado por bloques, gravas y arenas depositado por huaicos antiguos que han ido migrando el cauce hacia la margen derecha. El aluvión del 23 de febrero, inundó en su totalidad la terraza más baja del sector, ensanchando su cauce en ese punto en 190m (figura 11D); dicho evento ocasionó el colapso del puente de acceso a pueblos aledaños y varios tramos carreteros. Así también, por el sector Cochapampa, el flujo de detritos alcanzó 8 m de altura, sobrepasando la terraza donde se asientan las viviendas del sector referido.

Finalmente, en el extremo distal del recorrido de dicho aluvión, se puede evidenciar flujos de lodo que colmataron y colapsaron el puente Saucepampa (figura 11E), dejando inhabilitado la vía de acceso a la central Hidroeléctrica de Machupicchu y los baños Termales de Cocalmayo.

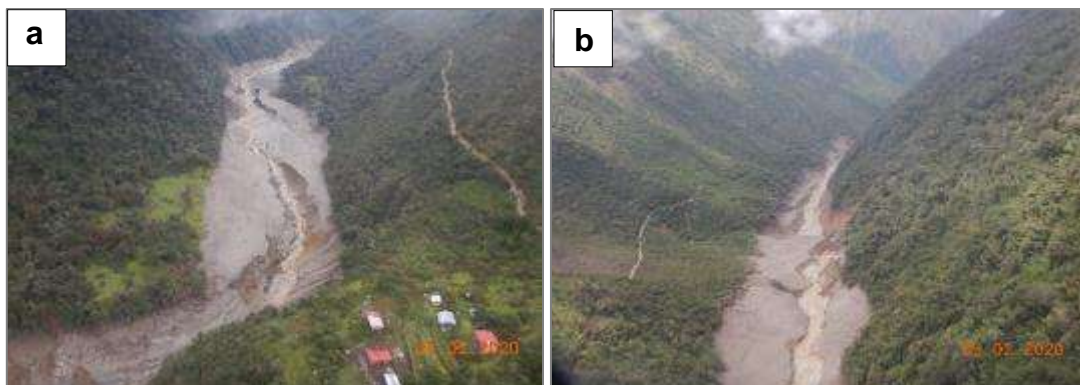
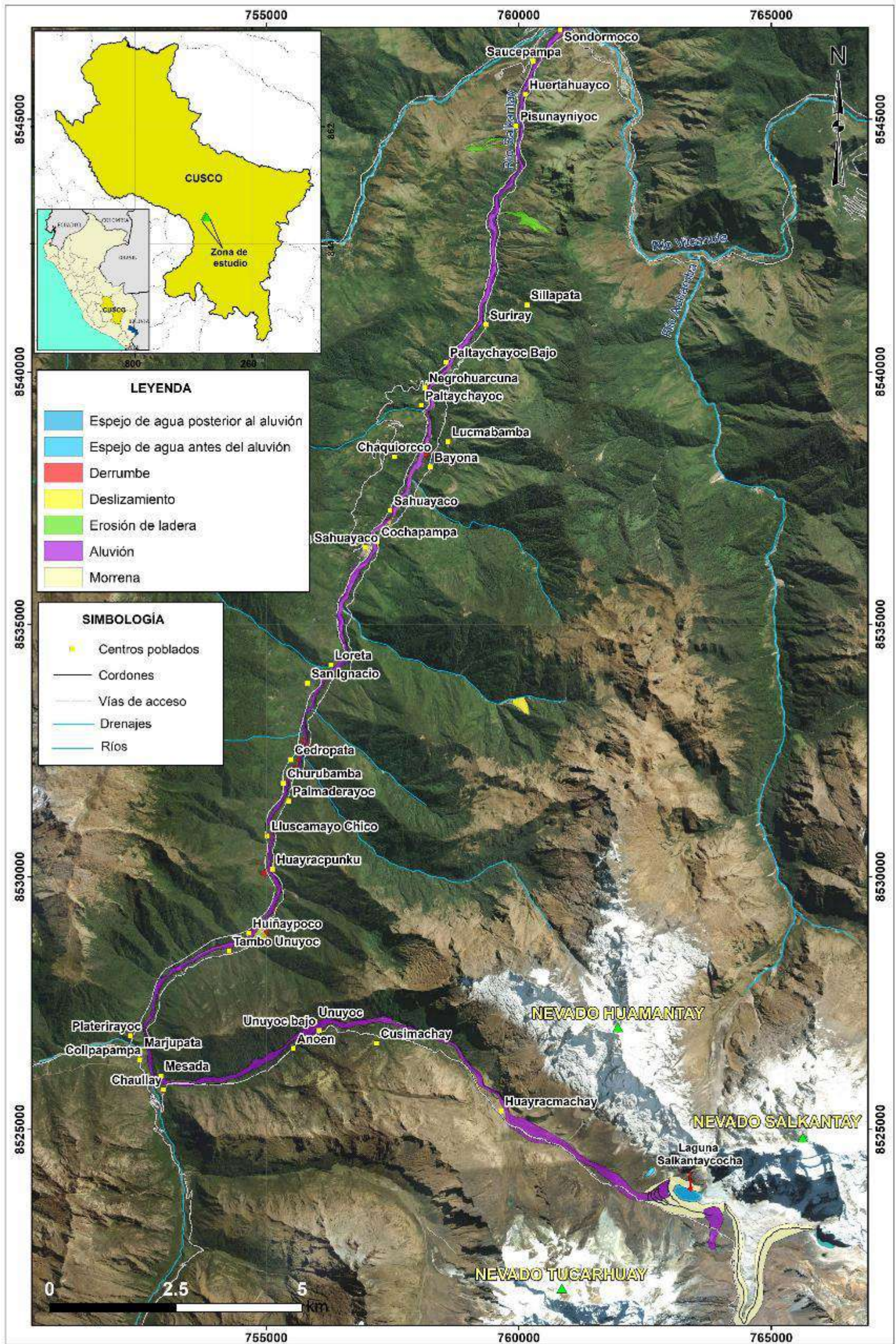


Figura 9. a, b Trayecto del aluvión a la altura del sector Chaullay.



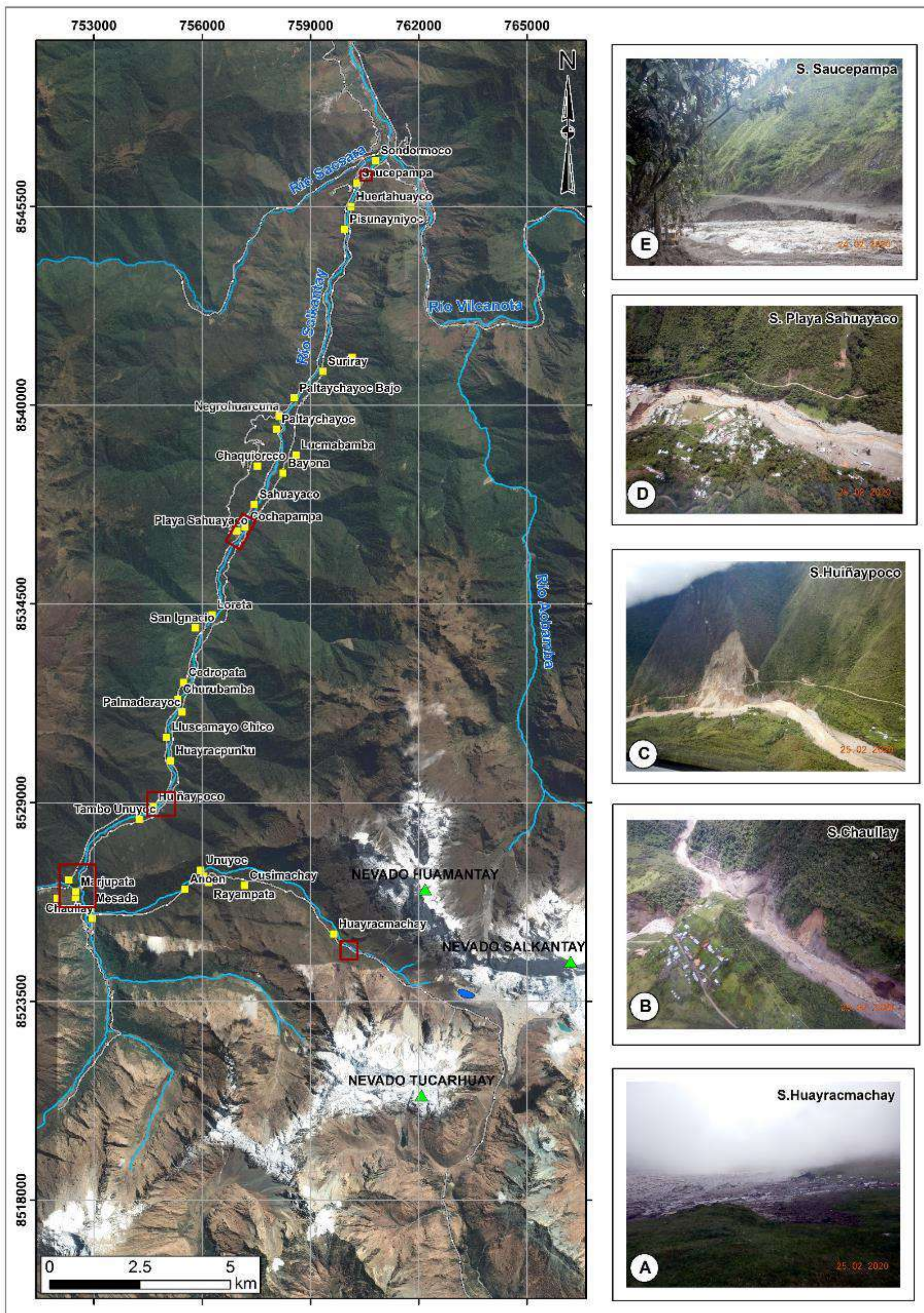


Figura 11. Principales sectores afectados por el aluvión del 23/02/2020 a lo largo del río Salkantay.



Fotografía 7. Zona de derrumbes producto de la dinámica erosiva que generó el aluvión.

De igual modo podemos mencionar que en el sector Paltaychayoc la dinámica erosiva del aluvión generó el ensanchamiento del cauce en 20 m hacia la margen derecha (figura 12), cuyo socavamiento en la base inferior de la terraza, debilita los cimientos y expone a peligros por erosión fluvial a las viviendas emplazadas al límite de la terraza (figura 13).



Figura 12. El sector Paltaychayoc, emplazado en la margen derecha, viene siendo afectado por la dinámica erosiva del aluvión.



Figura 13. Se observan viviendas a punto de colapsar debido a la erosión en la base del talud, que generó el aluvión.

Es importante mencionar que, el trabajo realizado por Portocarrero (2014), determina zonas de riesgo para cada sector localizado en ambas márgenes del río Salkantay. Teniendo así que los sectores de Cochapampa, Lucmabamba y Suriray presentan niveles de riesgo alto y una combinación de riesgo alto y medio para los sectores de Saucepampa, Manchayhuacco, Paltaychayoc, Sahuayaco, Santa Rosa y Totorá; sólo algunas comunidades como: Achirayoc, Mesada, Sullucuyoc y Yanatile presentan riesgo medio y ninguna se considera como riesgo bajo (cuadro 2).

En la figura 14, se muestra el mapa de riesgo para el sector Playa Sahuayaco (fotografía 8), donde se determina una zona de riesgo alto a medio a la ocurrencia de un aluvión (Portocarrero, 2014).



Fotografía 8. Sector Playa Sahuayaco afectado por el aluvión del 23 de febrero del 2020.

Cuadro 2. Distribución de riesgo localizado para los sectores ubicados en las márgenes del río Salkantay

Comunidad	Riesgo
Achirayoc	Medio
Ahobamba	Alto
Andihuela	Alto - Medio
Cochapampa	Alto
Huadquiña-Saucepampa	Alto – Medio
Lucmabamba	Alto
Lucmapampa	Alto
Manchayhuacco	Alto – Medio
Mesada	Medio
Paltaychayoc	Alto – Medio
Sahuayaco	Alto – Medio
Santa Rosa	Alto – Medio
Santa Teresa	Medio
Sullucuyoc	Medio
Suriray	Alto
Tоторa	Alto – Medio
Yanatile	Medio

Fuente: Portocarrero, 2014.

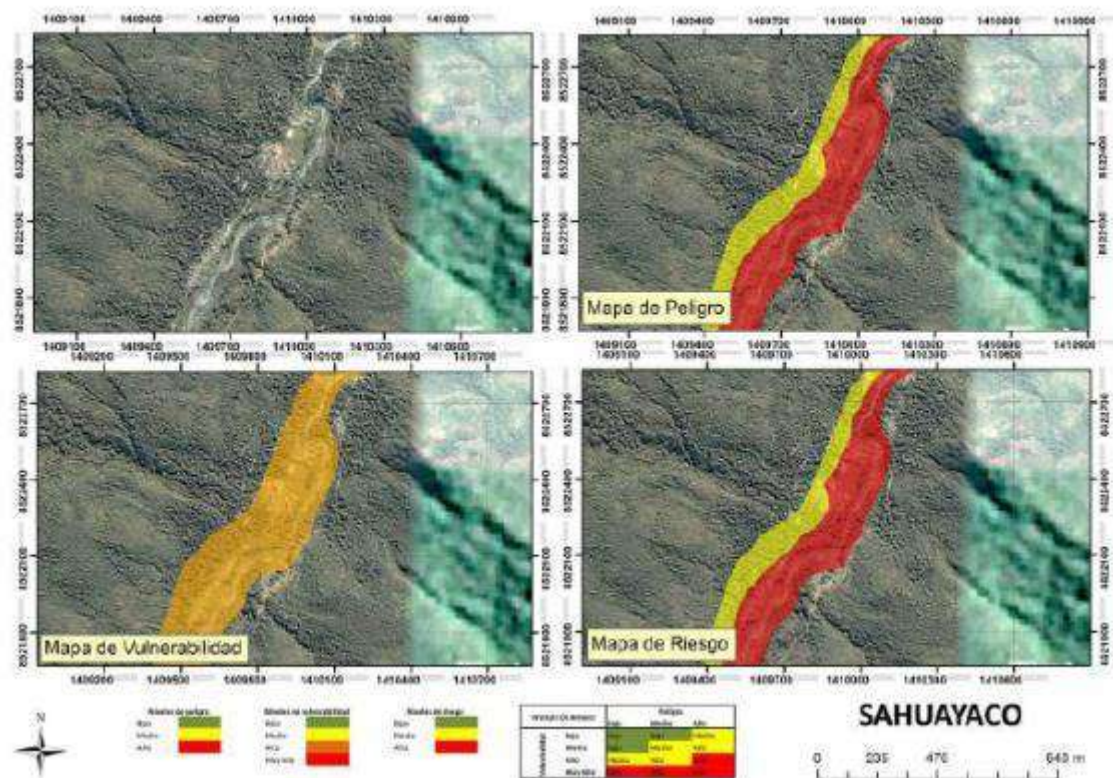


Figura 14. Mapa de riesgos localizados para el sector Sahuayaco. Fuente: Portocarrero, 2014.

CONCLUSIONES

1. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa que presenta los sectores de Huayracmachay, Chaullay, Huiñaypoco, Palmaderayoc, Playa Sahuayaco, Cochapampa y Paltaychayoc, se les considera como **Zonas Críticas y de Peligro Alto** a la ocurrencia de flujos de detritos (huaicos y aluviones).
2. El nivel de riesgo a lo largo del valle del río Salkantay por desembalse de la laguna Salkantaycocha es alto, debido a la peligrosidad alta y latente que representa, así como el nivel de vulnerabilidad alta por la presencia de importante número de población, algunos medios de vida y obras de infraestructura importante.
3. El agua de la laguna Salkantaycocha se encuentra sujeta a variaciones de nivel del espejo de agua, las mismas que a partir de la caída de roca y hielo de la vertiente sur del nevado Salkantay, generaron el aluvión.
4. El desembalse, se produjo debido al salto de una ola de 12 a 15 m aproximadamente por encima de la morrena frontal, sin generar procesos de ruptura o fracturamiento alguno del dique.
5. La morrena lateral derecho es más inestable presentándose movimientos en masa de tipo caídas de detritos, derrumbes y/o avalanchas, los cuales pueden provocar el desborde de la laguna y/o ruptura del dique (morrena frontal).
6. El aluvión afectó principalmente al sector Playa Sahuayaco, donde ensanchó el cauce hacia la margen izquierda en unos 190 m, lo cual trajo consigo el colapso del puente de acceso a pueblos aledaños y varios tramos carreteros.

RECOMENDACIONES

MEDIDAS ESTRUCTURALES

- Implementar un dique artificial en la laguna Salkantaycocha, con sus respectivos sistemas de regulación de volumen y seguridad para casos de elevación peligrosa del nivel de agua de la laguna; y para represar el agua de los deshielos del glaciar, así como de los volúmenes de agua que pueden ser desplazados violentamente producto de los desprendimientos de hielo o roca del nevado Salkantay que caigan a la laguna.
- Realizar estudios geotécnicos y geofísicos a detalle en la morrena que contiene a la laguna Salkantaycocha.
- Realizar un levantamiento topográfico a detalle en toda la zona afectada, especialmente a las zonas mostradas en la figura 10, con el objetivo de realizar estudios para el análisis de estabilidad de taludes.
- Se recomienda el uso de nuevas técnicas de conservación de tierras agrícolas: cultivos de contorno, barreras vivas, estacas, cultivos de cobertura, aislamiento de quebradas y cárcavas con fajas protectoras de vegetación ribereña en la zona comprometida por el fenómeno.

MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

- Reubicar temporalmente al sector Playa Sahuayaco a la zona denominado Chaquiorcco; posteriormente realizar estudios de evaluación de riesgos (EVAR), que determinen la reubicación definitiva. Del mismo modo se recomienda reubicar a los poblados ubicados en las márgenes del río Salkantay, debido a que se encuentran en una zona de peligro muy alto ante la ocurrencia de un aluvión.
- Realizar un continuo monitoreo del comportamiento de las morrenas en la laguna Salkantaycocha; así como también en el río Salkantay ante un posible represamiento por derrumbes o deslizamientos.
- Implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para huaicos, con los respectivos sensores y sistemas de comunicación – alarma, que avise con antelación a la población que vive a lo largo del valle del río Salkantay de la ocurrencia de nuevos eventos de tipo flujos (huaicos o aluviones).
- Realizar charlas de sensibilización y concientización del peligro y riesgo al que se encuentran expuestos en la zona, especialmente a los poblados ubicados en ambas márgenes del río Salkantay y dentro de la faja marginal.
- Es de responsabilidad de las autoridades en los tres niveles de gobierno, delegar y facultar a los Grupo de Trabajo para la Gestión del Riesgo de Desastres de cada jurisdicción, el desarrollo de estudios de evaluaciones de riesgo, así como también la implementación de medidas y recomendaciones sugeridas por los especialistas en los informes elaborados y presentados, poniendo mayor énfasis e importancia ante la temporada de lluvia.



Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto-Act-07



César Augusto Chacaltana Budiel
Director de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Carlotto, V.; Cárdenas, J.; Romero, D.; Valdivia, W. & Tintaya, D. (1999) - Geología de los cuadrángulos de Quillabamba y Machupicchu. *INGEMMET*, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 127, 319 p.
- Concha, R (2015). Evolución glacial a finales del Holoceno, en los nevados Salkantay y Huamantay y su impacto frente al cambio climático. Tesis de pre grado. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Portocarrero, C (2014). El Mapa de vulnerabilidades y riesgo del distrito de Santa Teresa. Proyecto de glaciares.
- Licciardi, J. 2009. Holocene Glacier Fluctuations in the Peruvian Andes Indicate Northern Climate Linkages.