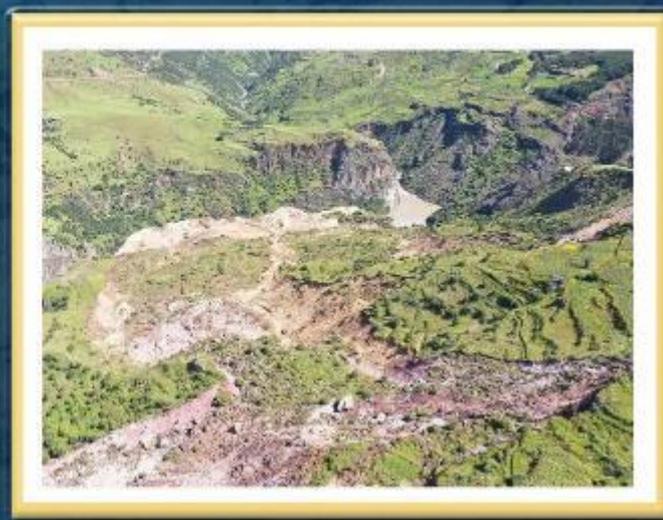


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7245

GEOLOGÍA Y GEODINÁMICA DE LOS DESLIZAMIENTOS DE PIYAY

Departamento Apurímac
Provincia Grau
Distrito Pataypampa



MARZO
2022

GEOLOGÍA Y GEODINÁMICA DE LOS DESLIZAMIENTOS DE PIYAY

(Distrito Pataypampa, provincia Grau, departamento Apurímac)

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

Equipo de investigación:

*Ronald Concha Niño de Guzmán
David Prudencio Mendoza*

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Geología y geodinámica de los deslizamientos de Piyay. Distrito Pataypampa, provincia Grau departamento Apurímac. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7245, 23 p.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ÁREA DE ESTUDIO	3
2.1. Geología	4
2.2. Geomorfología	7
3. PELIGROS GEOLÓGICOS	8
3.1. Deslizamientos rotacionales y Flujos de detritos	8
3.2. Características de los deslizamientos de Piyay	10
3.3. Otros peligros geológicos	19
CONCLUSIONES	21
Factores Condicionantes y Detonantes	21
RECOMENDACIONES	23

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa de tipo deslizamientos y flujos de detritos, realizado en el C. P. de Piyay, perteneciente a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Pataypampa, provincia de Grau, departamento de Apurímac. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología, a los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

El día 25 de febrero del 2022, al promediar las 04:00 a.m., se produjo un fuerte remezón a manera de un sismo en el centro poblado de Piyay. Se trataba de la reactivación de un gran deslizamiento en el sector Huaccoto, ubicado a 1 km al sureste del pueblo. Este sector es de vital importancia, porque constituía la despensa alimentaria de Piyay, en él, se cultivaba maíz, trigo, cebada, papa, entre muchos otros productos.

El contexto geomorfológico de la zona de estudio, puede dividirse en 2 ambientes: uno glaciar, definido por colinas de rocas sedimentarias modeladas por procesos glaciares, mantos morrénicos erosionados y depresiones colmatadas por depósitos fluvio-glaciares y lacustrinos en los alrededores de Piyay. Y otro ambiente, fluvial y de dinámica de laderas dominado por un desnivel topográfico que empieza a unos 250 m al sureste de Piyay y se prolonga hasta el cauce del río Huaccoto. Esta zona, está comprendida por depósitos de un antiguo deslizamientos que forma una ladera empinada de superficies deformadas y escalonadas, afectadas por la erosión fluvial del río Huaccoto que forma un profundo cañón.

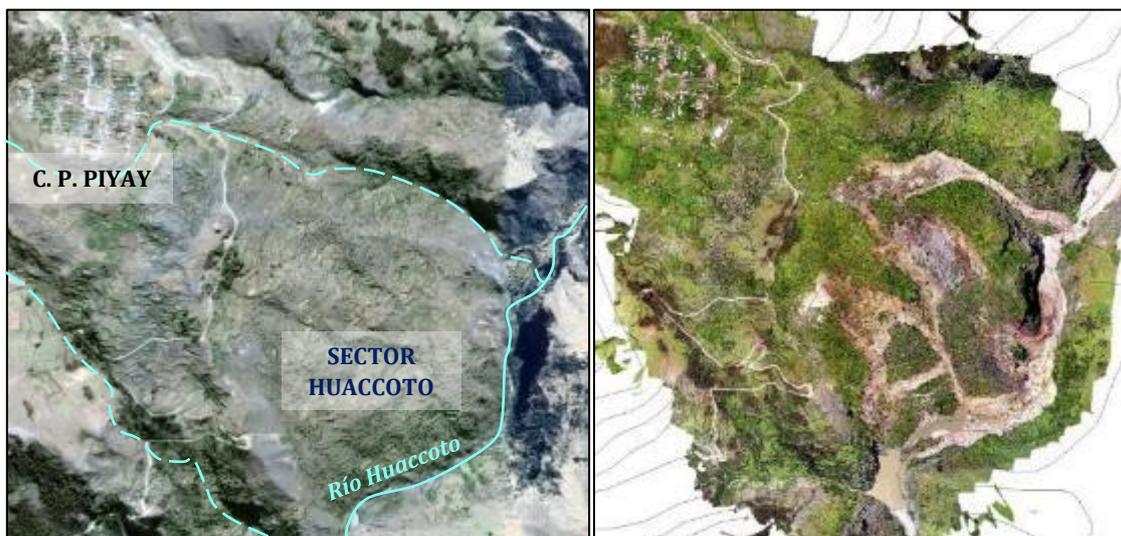
Los deslizamientos del sector Huaccoto, han afectado directamente 33 has e indirectamente 10 has, movilizando $\sim 9\text{Mm}^3$ y originado varios sistemas de grietas tensionales, que indican que los deslizamientos permanecen activos y propensos a removilizarse hasta que logre su completa estabilización. Este proceso puede durar varios meses, incluso algunos años.

Sin embargo, estos movimientos en masa, no han afectado directamente al C.P. de Piyay, pero se debe realizar un monitoreo permanente de las grietas tensionales a través de un sistema de alerta comunitaria. Mientras no se tenga signos de alerta por el crecimiento, expansión y aparición de nuevas grietas más cercanas al C. P. de Piyay. No es necesario una reubicación.

1. INTRODUCCIÓN

El deslizamiento ocurrido el día 25 de febrero, represó inmediatamente el río Huaccoto, formando una “laguna” temporal que fue creciendo peligrosamente conforme pasaban las horas. Cerca de las 08:00 p.m., se desencadena un segundo evento vertiente arriba, que terminó de desestabilizar prácticamente toda la ladera y destruir las áreas de cultivo del sector Huaccoto (**Figuras 1 y 2**). El día 26 a las ~08:00 a.m., se inicia la incisión fluvial del material deslizado y acumulado sobre el lecho del río Huaccoto, permitiendo el desagüe parcial de la laguna que se venía formando.

Como veremos más adelante, este es un fenómeno complejo, condicionado por las características litológicas, hidrogeológicas y geomorfológicas de la zona y detonado por una sobresaturación hídrica del suelo, proveniente de manantiales, las intensas lluvias y una inyección adicional derivada del riego por inundación y el sistema de desagüe ejercida por la población de Piyay.



Figuras 1 y 2. A la izquierda una imagen satelital del 2017 (pre deslizamiento), pero que, sin embargo, se aprecian deformaciones superficiales en el terreno y a la derecha imágenes obtenidas con el dron, el día 08 de marzo de 2022.

El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, como ente técnico-científico del Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (SINAGERD), en atención a los oficios de emergencia N°142-2022-MINEM-SG (VV41246) y N°126-2022-GR. APURÍMAC/GR que remiten el MINEM y el Gobierno Regional de Apurímac respectivamente con fechas 7 y 15 de marzo de 2022, realizó una inspección de campo, entre los días 07 al 10 de marzo. Es decir, la atención de emergencia se brindó antes del envío oficial de las solicitudes del MINEM y el GR de Apurímac.

Los trabajos de campo, estuvieron a cargo de los ingenieros geólogos Ronald F. Concha Niño de Guzmán y David Prudencio Mendoza, quienes realizaron un análisis geológico, geomorfológico, una evaluación de los peligros geológicos en los alrededores del centro poblado de Piyay, realizando un sobrevuelo con un dron y participaron en reuniones de trabajo y talleres participativos con pobladores del C. P. de Piyay, profesionales del INDECI Apurímac y autoridades locales (**Fotos 1, 2 y 3**).



Fotos 1, 2 y 3. Reuniones de trabajo y coordinación que el INGEMMET sostuvo durante los días de trabajo en la localidad afectada.

Este documento, tiene como objetivo principal analizar, describir e interpretar los fenómenos de movimientos en masa desarrollados en el sector de Huaccoto (distrito de Pataypampa) y su relación con la seguridad física del C. P de Piyay. Para ello, se ha elaborado un mapa geológico a escala ~1:10000 (modificado de Valdivia W. & La Torre O., 2001) y un mapa geodinámico del deslizamiento a escala ~1:5000, que muestra de manera detallada las estructuras y geoformas resultantes. Además, se presenta un corte geológico al área del deslizamiento y finalmente, proponemos algunas recomendaciones en función a las conclusiones obtenidas en el estudio.

Esta memoria y sus respectivos mapas, tienen la finalidad de ser instrumentos de gestión para las autoridades, que puedan articularse con estudios de otras especialidades y en conjunto puedan incorporarse a los planes de ordenamiento territorial del distrito de Pataypampa.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El centro poblado de Piyay, se ubica a 66 km al sureste de la ciudad de Abancay, en el distrito de Pataypampa, Provincia de Grau, en el sur del departamento de Apurímac (**Figura 3**). El poblado se emplaza en las laderas del cerro Sallo, a 3884 m.s.n.m. 400m por encima del nivel base del río Huaccoto (en su margen izquierda), este río aguas abajo se denomina Vilcabamba y es parte de la red hidrográfica del río Apurímac.

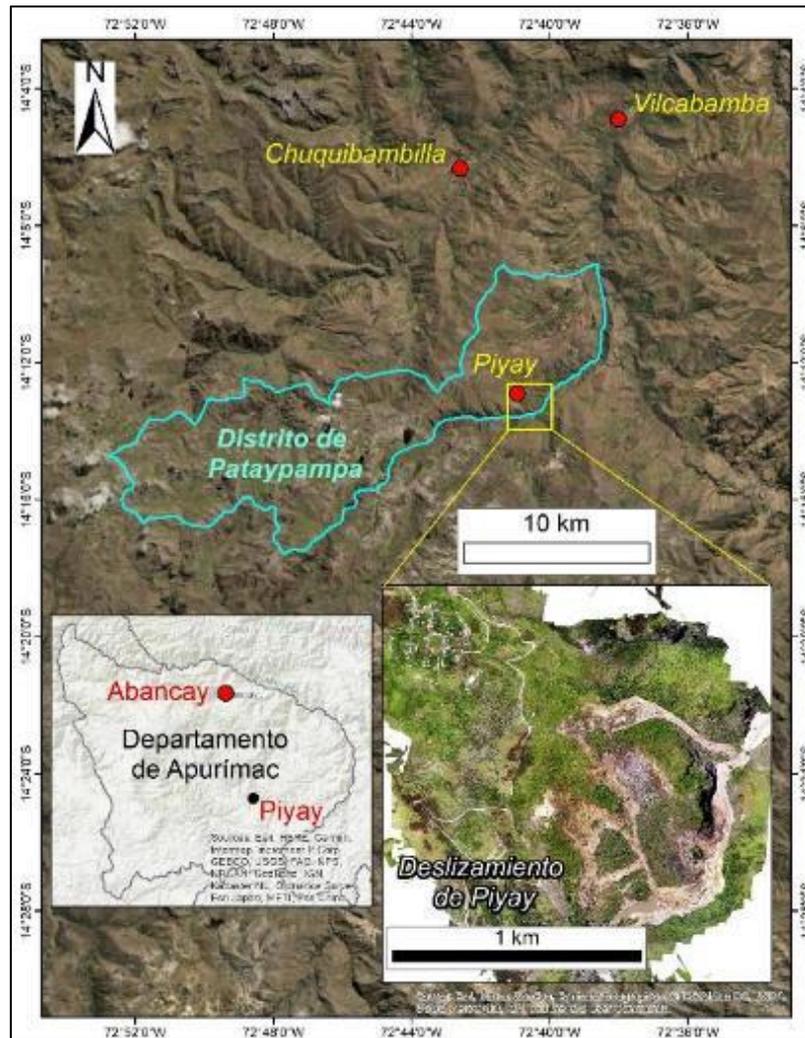


Figura 3. Mapa de ubicación del centro poblado de Piyay y el deslizamiento originado en su vertiente suroriental.

2.1. Geología

En los alrededores del centro poblado de Piyay, afloran ampliamente rocas sedimentarias del Cretácico inferior (Valdivia W. & La Torre O., 2001). Destacan las areniscas cuarzosas intercaladas con limo-arcillitas carbonatadas de la Formación Hualhuani, ubicadas en los flacos del deslizamiento y en la margen derecha del río Huaccoto. Sobre estas rocas, afloran limo-arcillitas rojas intercaladas con areniscas grises de la Formación Murco, al oeste del poblado de Piyay. Encima aparecen Calizas grises de la formación Arcurquina (miembro inferior) en las vertientes del cerro Sallo y en los alrededores de Piyay, hasta la cabecera del deslizamiento (**Foto 1**). Sobre las rocas Cretácicas, en discordancia angular, afloran rocas volcánicas del Grupo Barroso, de Edad Pleistocena, estas rocas se emplazan en la margen derecha del río Huaccoto, formando el cerro Pacllapata. Finalmente, existen también pequeños cuerpos intrusivos (granodioritas del Plutón Progreso de edad Eocena) y rocas subvolcánicas (Andesitas del Plutón Totorá de edad Miocena).

Las rocas Cretácicas, se encuentran regionalmente plegadas y falladas. Factor condicionante para la ocurrencia de desprendimientos rocosos y deslizamientos de grandes dimensiones, muy característicos en la zona.

Cubriendo estas rocas, se emplazan sedimentos de origen glaciar (till), en la cima del cerro Sallo. Por sus vertientes, se han desarrollado depósitos fluvio-glaciares, propios de

la actividad glacial del pasado y en muchos sectores cercanos al poblado de Piyay se observan pequeños depósitos lacustrinos, a manera de bofedales. La vertiente suroriental de Piyay, está dominada por depósitos de un antiguo deslizamiento, que sirvió de superficie agrícola para los pobladores de Piyay. Finalmente, se han desarrollado en menor proporción los depósitos aluviales en el fondo del valle Huaccoto y algunos cuerpos coluviales (**Figura 4**).



Foto 1. Afloramiento de areniscas y limorcillitas de la formación Murco, por encima, calizas de la Formación Arcurquina y sobre estas rocas, depósitos glaciares en los alrededores del C. P. de Piyay.

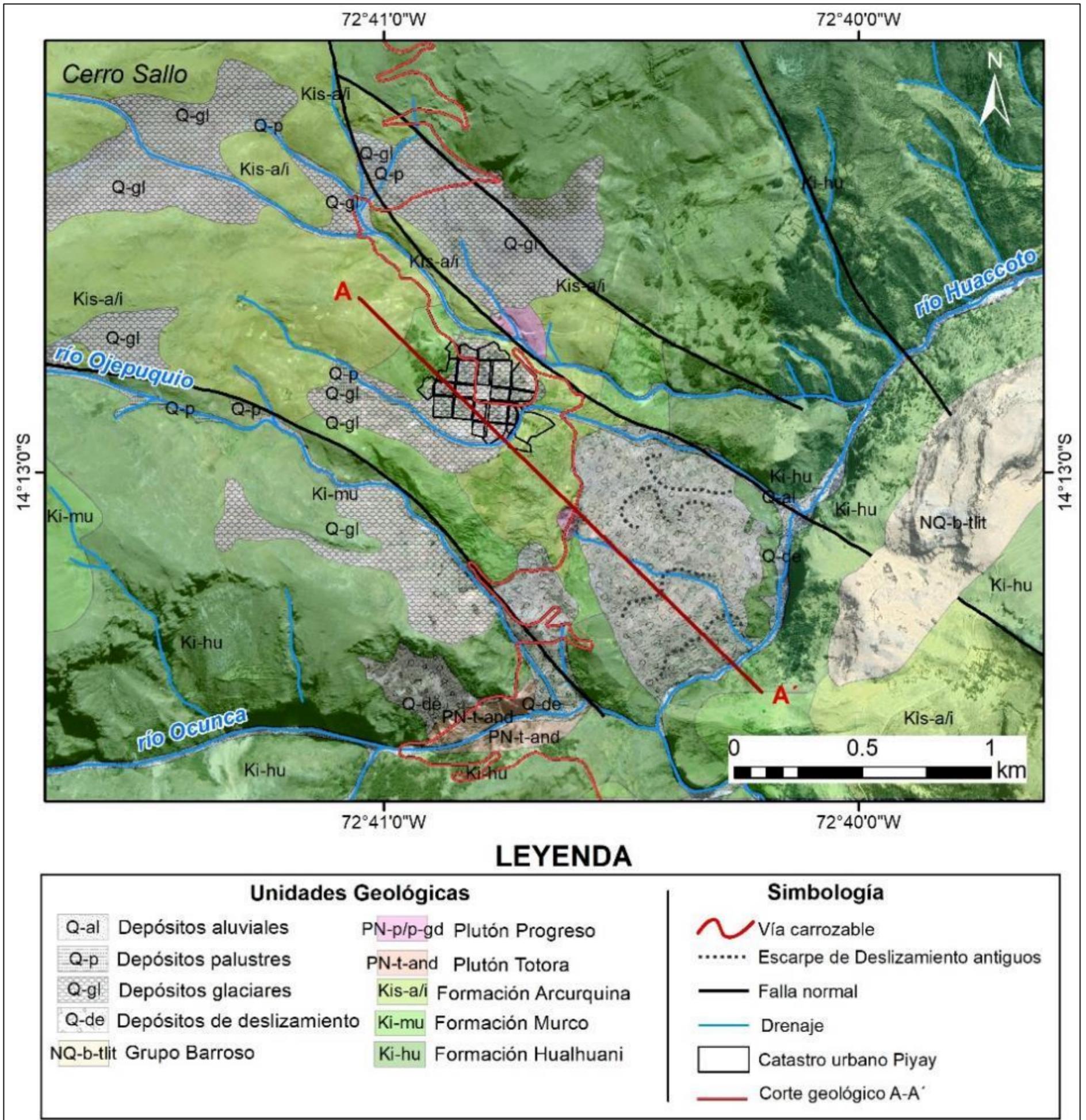


Figura 4. Mapa geológico de los alrededores del poblado de Piyay (antes de ocurrido el deslizamiento).

2.2. Geomorfología

El C. P. de Piyay se ubica sobre una pequeña altiplanicie rodeada de colinas de rocas sedimentarias, pulidas por la actividad glacial (rocas con textura aborregada). En las paredes y en el fondo de las depresiones locales, se emplazan mantos de Till, huellas fluvio-glaciares y pequeñas llanuras lacustrinas a manera de bofedales, que son la evidencia geomorfológica de antiguas lagunas y charcas de origen glacial (**Foto 2**). A través de estas unidades geomorfológicas existe una importante circulación hídrica.

Hacia el sureste de Piyay, se observa un fuerte desnivel topográfico, en el que se han desarrollado conos de deyección y grandes deslizamientos, como es el caso del sector Huaccoto, ubicado sobre un antiguo deslizamiento. Estas laderas empinadas son producto de la erosión fluvial del río Huaccoto, y la intensa dinámica de laderas, que en conjunto forman un profundo cañón (**Foto 3**).

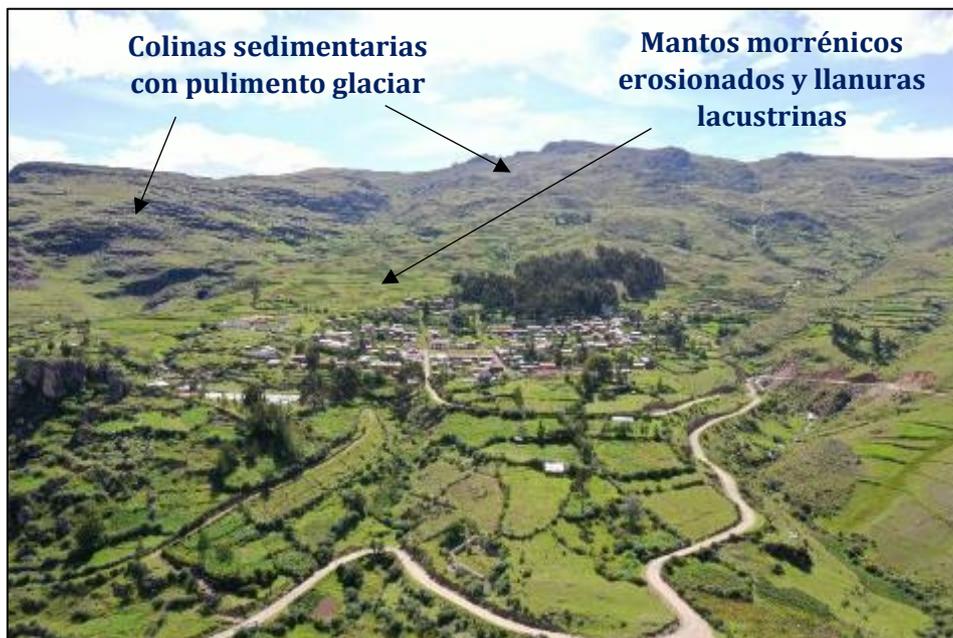


Foto 2. Algunas unidades geomorfológicas en los alrededores del C. p. de Piyay.



Foto 3. Cañón del río Huaccoto en la vertiente oriental del C. P. de Piyay.

3. PELIGROS GEOLÓGICOS

En esta sección, se explicará brevemente algunos conceptos y características particulares de los deslizamientos rotacionales y los flujos de detritos, que son los fenómenos observados en la zona de estudio. Seguidamente, se describirá y expondrá los rasgos morfológicos característicos del deslizamiento de Piyay, mostrando un mapa geodinámico a escala ~1:5000 y dos perfiles geológicos pre y post deslizamiento.

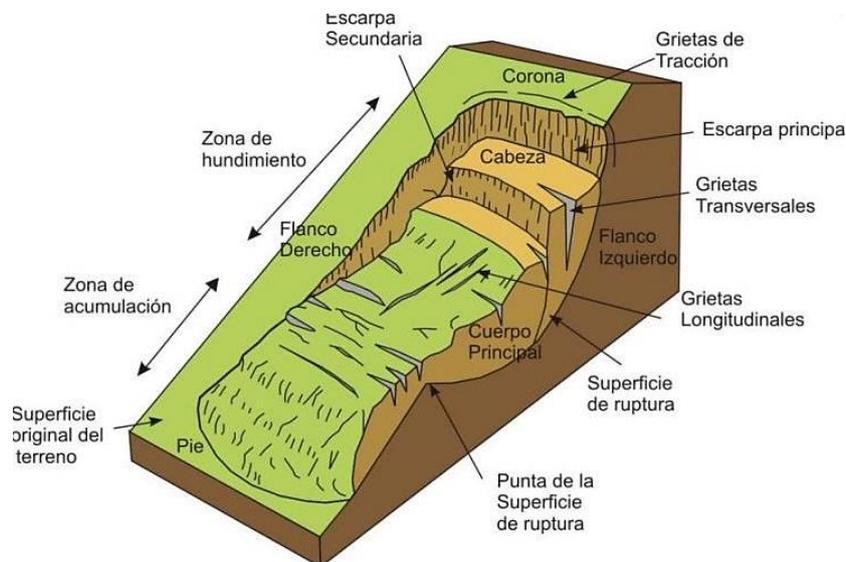
Luego se analizarán algunos factores condicionantes y detonantes del fenómeno y finalmente se analizará otros movimientos en masa y peligros geológicos identificados fuera del área del deslizamiento de Piyay.

3.1. Deslizamientos rotacionales y Flujos de detritos

Los deslizamientos rotacionales, son movimientos de suelo o roca producidos ladere abajo, cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla curva (**Figura 5**), o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación (Varnes, 1978). Muestran una morfología distintiva caracterizada por un desnivel o escarpe principal pronunciado, grietas tensionales internas y externas (dentro y fuera de la masa desplazada) y una pendiente superficial deformada de manera escalonada (**Figura 6**).

La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es auto-estabilizante, y este ocurre en rocas y depósitos poco competentes, la tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas. Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir con velocidades lentas de algunos centímetros al año o rápidamente con velocidades menores a 1 m/s (Cruden & Varnes, 1996).

Sin embargo, las superficies de rotura de estos movimientos en masa son generalmente muy complejos, como es el caso del deslizamiento de Piyay, pero que claramente tiene características rotacionales (escarpes principales y secundarios, grietas tensionales, coronas, etc.).



DESLIZAMIENTO ROTACIONAL

Figura 5: Esquema de un deslizamiento rotacional, que muestra sus rasgos morfológicos característicos (Modificado de: Cruden & Varnes, 1996). Rasgos que fueron identificados en el deslizamiento de Piyay.



Figura 6: Esquema de un deslizamiento rotacional ocurrido en Tarabamba – Ancash, ocurrido tras la reactivación de un deslizamiento antiguo (Elaborado por: Concha, 2015). El caso es muy similar al deslizamiento de Piyay.

Por su parte, los flujos de detritos o huaycos son un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhiben un comportamiento semejante al de un fluido. Pueden ser lentos o extremadamente rápidos, saturados en agua o secos y transcurren principalmente confinados a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada, aunque también podrían ser no canalizados (**Figura 7**). Su origen es muy diverso, pudiendo ser a raíz de uno o varios deslizamientos o caídas de detritos en las cabeceras de cuenca o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes (Varnes, 1978).

Incorporan en su trayectoria, gran cantidad de material saturado al descender en el canal y finalmente los depositan en forma de abanicos de detritos. Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de “u”, trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales. Usualmente desarrollan pulsos con acumulación de bloques en el frente de onda (**Figura 8**), como resultado de esto, 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. Pueden ser detonados por sismos de gran magnitud o intensas precipitaciones pluviales.

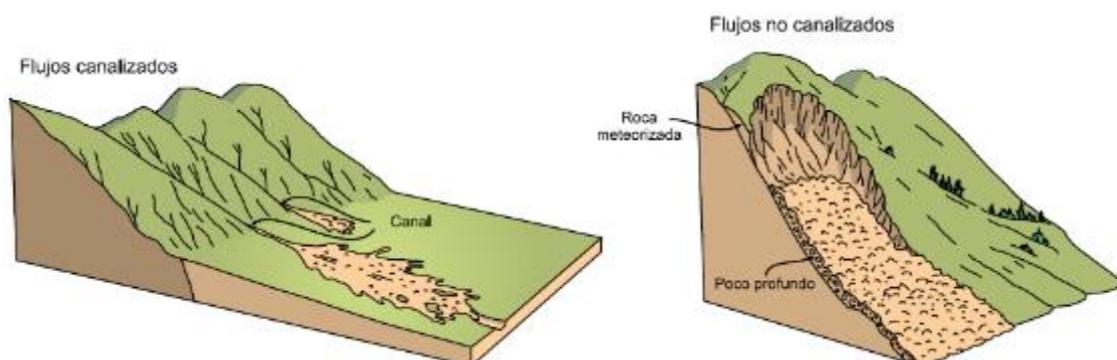


Figura 7: Esquema de flujos canalizados y no canalizados, según Cruden y Varnes (1996).

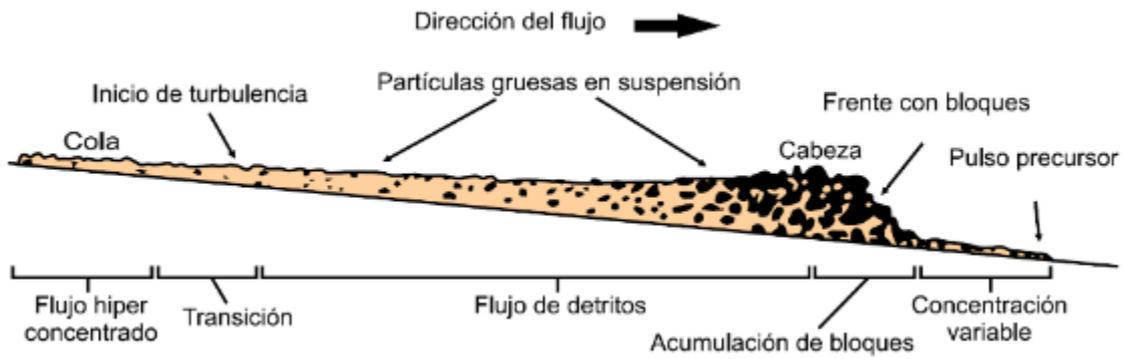


Figura 8: Corte esquemático típico de un flujo de detritos. Frente con bloques de un pulso del flujo de detritos (diagrama de Pierson, 1986).

3.2. Características de los deslizamientos de Piyay

Como se mencionó anteriormente, este fenómeno geodinámico es muy complejo y no se trata solamente de un deslizamiento de tipo rotacional, es mas bien un enjambre de muchos deslizamientos, reconvertidos en flujos de detritos y cada uno de ellos con características particulares en donde resaltan 3 deslizamientos importantes (D1, D2 y D3) (**Figura 9**). Este apartado, describe cada uno de estos deslizamientos.

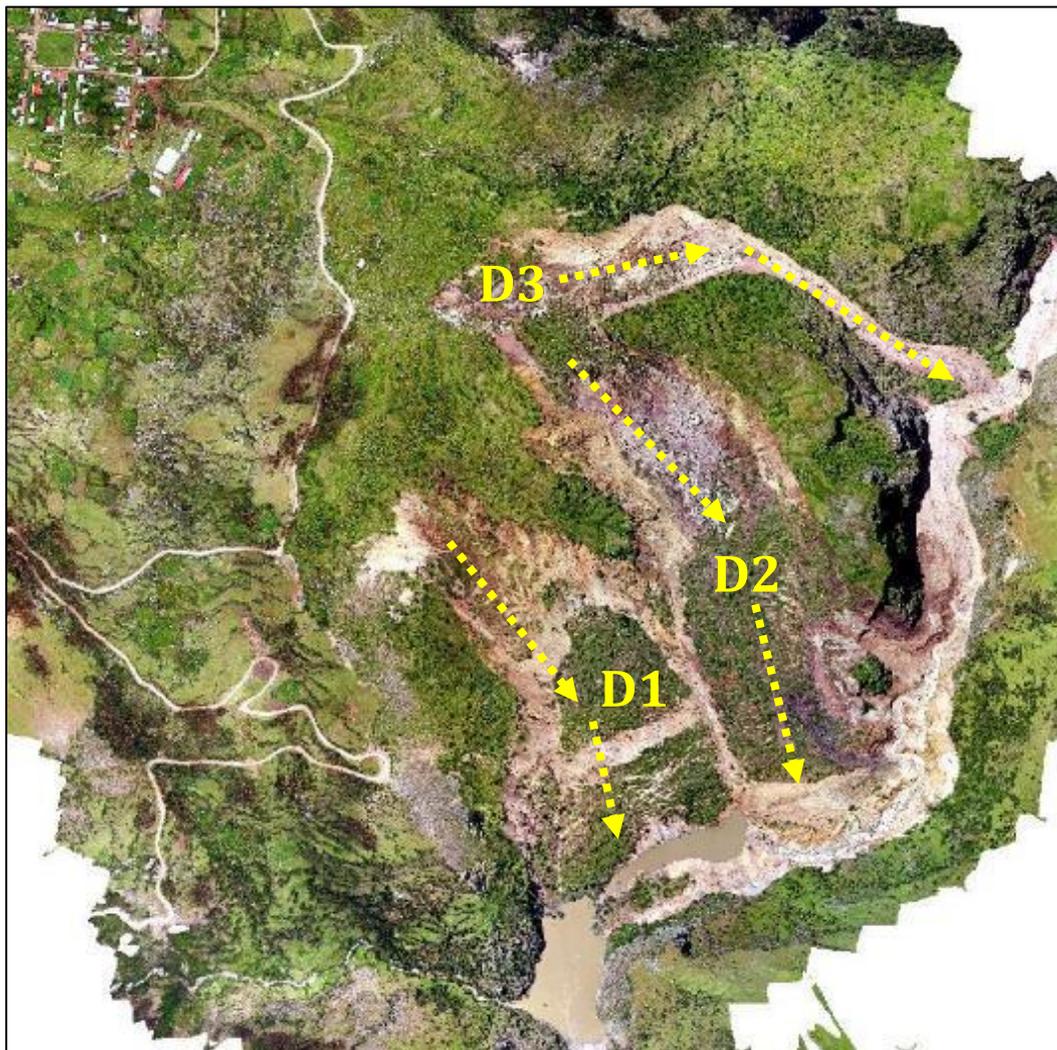


Figura 9. Ubicación de los 3 principales deslizamientos identificados en la zona de estudio.

El área total afectada por los 3 deslizamientos fue de 330370 m² o 33 Has, que fue delimitada por los escarpes principales y el límite inferior de las masas deslizadas. Se demarcó también el área de afectación indirecta, considerando las grietas tensionales que aún no se deslizaron, incrementando al área de afectación directa 104113 m² o 10 Has adicionales (**Figura 10 y Cuadro 1**). Cabe mencionar, que el área de afectación indirecta, puede incrementarse debido a que puede existir más grietas tensionales que no han sido reconocidas en la fotointerpretación. El volumen de material movilizand o aproximado, es de 9'250,369.00 m³. Si consideramos un espesor promedio de 28 m de material.

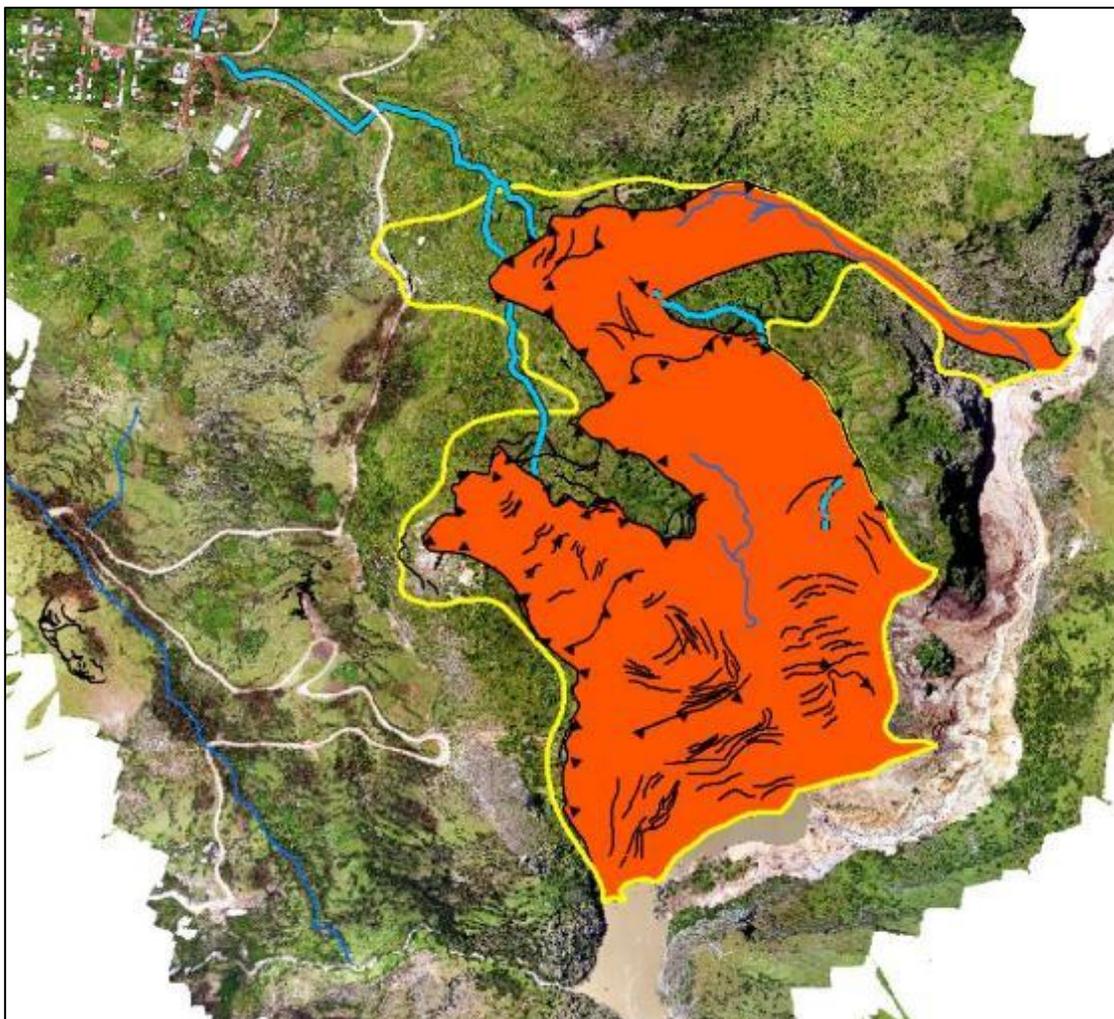


Figura 10. Determinación del área de afectación directa en color rojo e indirecta en línea amarilla.

Afectación	Área		Volumen (m ³)
	(m ²)	Hectáreas	
Directa	330,370.00	33	9'250,369.00
Indirecta	104,113.00	10	
Total	428,610.00	43	

Cuadro 1

- **El deslizamiento D1**, tiene un escarpe principal de 150 m de ancho en su cabecera y 2 escarpes secundarios de 125 y 180 m respectivamente. Tiene una longitud de 665 m. El escarpe secundario 1, es evidencia del primer movimiento en masa registrado (el día 25 de febrero a las 4:00a.m.). Este deslizamiento, originó el represamiento del río Huaccoto (**Foto 4**) y la desestabilización

progresiva ladera arriba (**Fotos 5 y 6**), por lo que se considera un deslizamiento rotacional de tipo retrogresivo. Tiene 3 grandes masas de material deslizado, muy deformadas y con abundantes grietas tensionales en su cuerpo. Por encima de la corona principal, también se observan grietas tensionales que se acercan peligrosamente a la carretera Piyay – Virundo.

El flanco izquierdo del deslizamiento D1, muestra evidencias de un flujo de detritos originado por la reaparición de un manantial. Este flujo, llega y se canaliza por el río Huaccoto. Se observa también, un canal de riego destruido que atraviesa la cabecera del deslizamiento y sus fragmentos sobre la masa deslizada (**Figura 11**).



Figura 11. Detalles fotográficos y cartográficos del deslizamiento D1



Foto 4. Represamiento del río Huaccoto, tras el desencadenamiento del deslizamiento D1.



Foto 5. Cabecera del deslizamiento D1.



Foto 6. Sección media y baja del deslizamiento D1.

La **Figura 4** (Mapa geológico de la zona de estudio), muestra un segmento A-A', que representa 2 cortes geológicos (pre y post deslizamiento D1) y su prolongación hacia el C. P. de Piyay (**Figuras 12 y 13**). En estos cortes geológicos, podemos observar las formaciones rocosas que subyacen a los deslizamientos del sector Huaccoto y en flechas celestes la representación de la infiltración de agua y su circulación interna.

También podemos observar, los depósitos glaciares que subyacen al C. P. de Piyay, la masa del deslizamiento antiguo con deformaciones superficiales y la masa del deslizamiento D1 con desplazamientos que ocupan el cauce del río Huaccoto y fuertes deformaciones superficiales, que forman terrazas o escalonamientos.

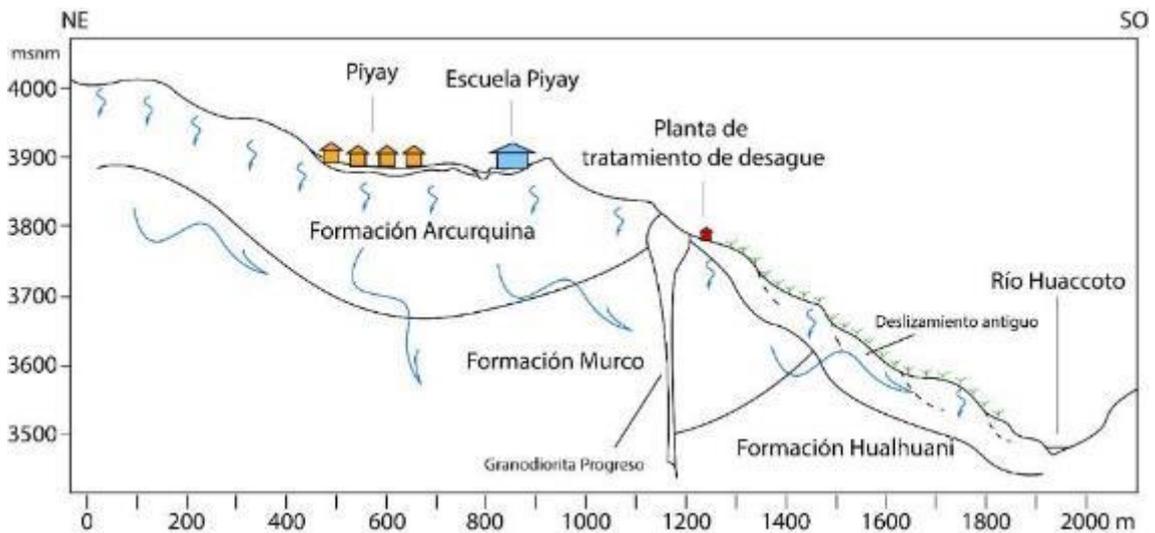


Figura 12. Corte geológico pre deslizamiento D1.

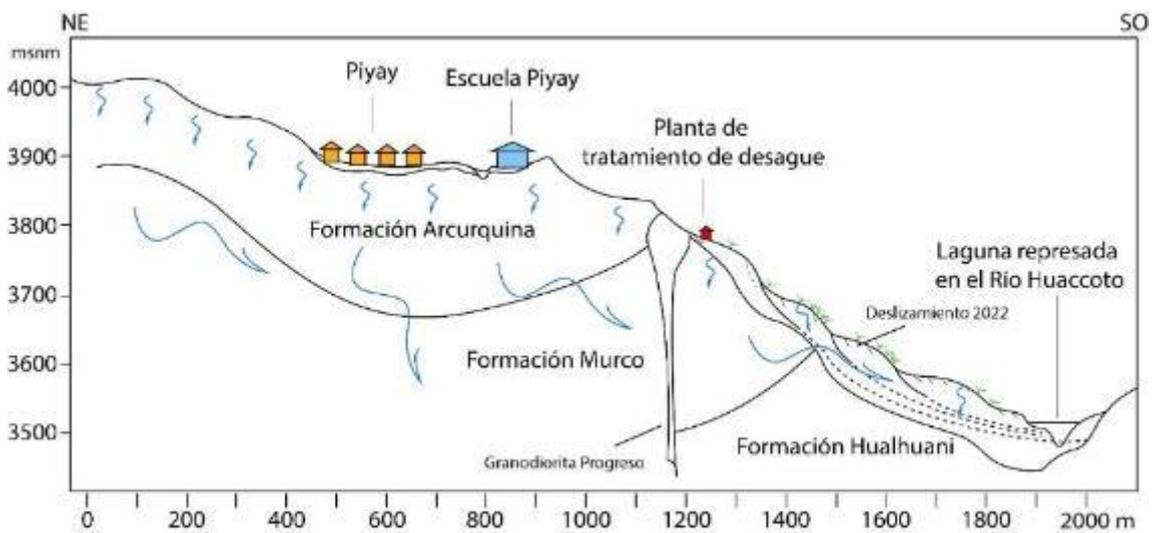


Figura 13. Corte geológico post deslizamiento D1.

- **Los deslizamientos D2 y D3**, tienen una misma zona de arranque y comparten un escarpe y corona principal. Pero debido a la resistencia de un afloramiento rocoso a manera de “cuña” en el pie de este deslizamiento, este fenómeno sufrió una bifurcación o difluencia (**Figura 14 y Foto 7**).

La corona principal tiene un ancho de 170 m, y su desplazamiento sur (**D2**), presenta un escarpe secundario de 143 y tiene una longitud total de 862 m desde la cabecera, hasta su depositación en el río Huaccoto. Presenta numerosas grietas tensionales en la masa deslizada, también en la corona principal y hasta 130 m por encima de esta, llegando a afectar la carretera Piyay – Virundo (**Fotos 8, 9 y 10**).



Figura 14. Detalles fotográficos y cartográficos de los deslizamientos D2 y D3.



Foto 7. Bifurcación o difluencia en los deslizamientos D2 y D3.



Fotos 8 y 9. Grietas tensionales que afectan la carretera Piyay - Virundo



Foto 10. Cabecera de los deslizamientos D2 y D3, 130 m encima, aparecen las grietas tensionales mostradas en las fotografías 8 y 9.

Por su parte, el deslizamiento D3 presenta un escarpe secundario de 85 m, que desplaza material deslizado hasta una distancia de 413 m, desde la cabecera. Desde este punto, la masa deslizada se convierte en un flujo de detritos (**Foto 11**) a causa de la inyección de agua de un manantial en el flanco izquierdo del deslizamiento. Este flujo, recorre 428 m, hasta llegar al río Huaccoto, en donde se mezcla con otro flujo de detritos proveniente del desagüe de la laguna temporal, represada por el deslizamiento D1. El detalle cartográfico de estos deslizamientos, se muestra en la **Figura 15**.



Foto 11. Deslizamiento D3, reconvertido en un flujo de detritos.

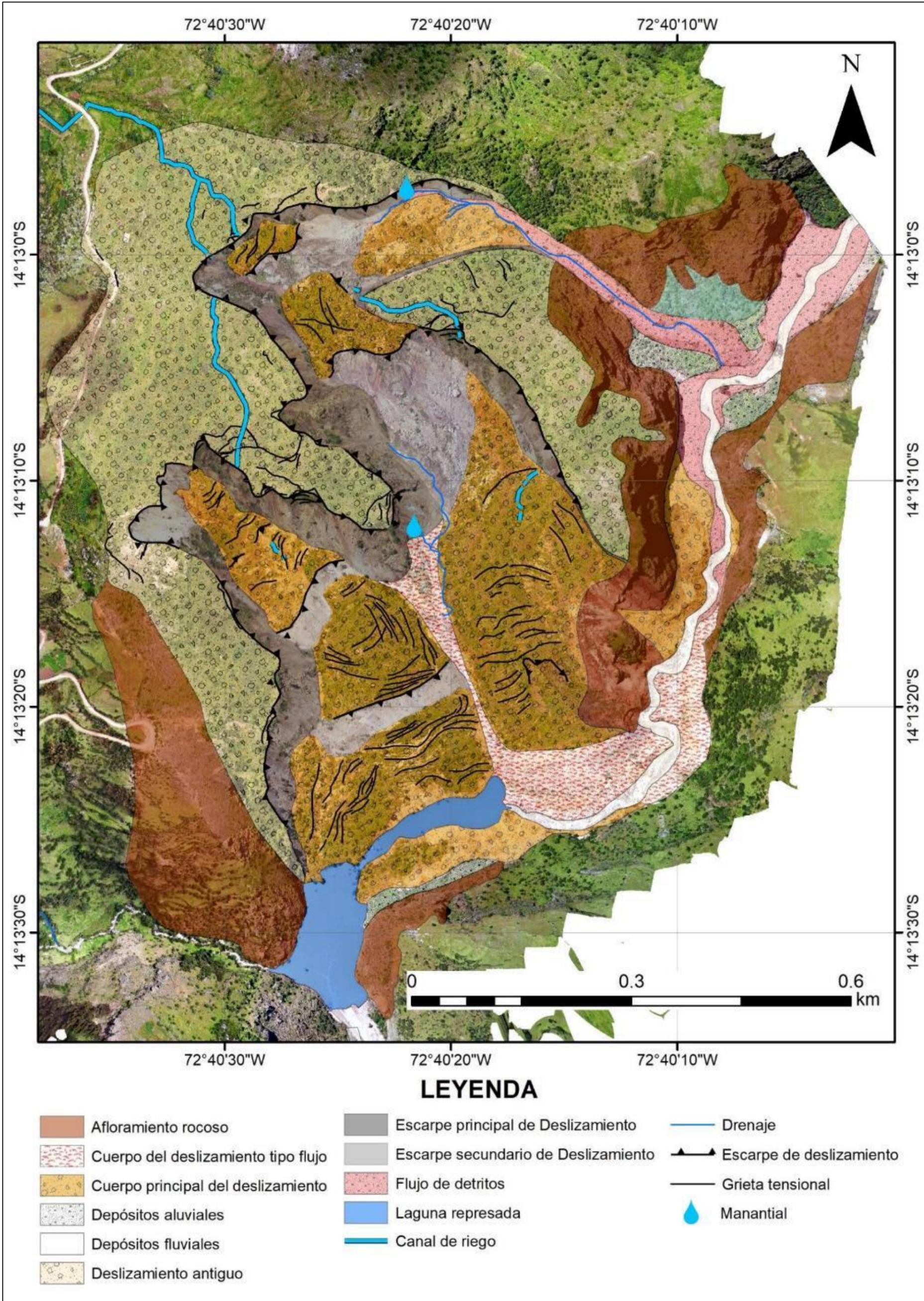


Figura 15. Mapa geodinámico del sector Huaccoto.

3.3. Otros peligros geológicos

Es importante resaltar de durante la visita de campo y la cartografía geomorfológica, se identificaron otras grietas fuera del sector Huaccoto. Resaltan las zonas críticas A y B, señaladas en la **Figura 16**, ubicadas en ambas márgenes del río Ojepuquio, que presentan gran cantidad de grietas. Imágenes satelitales del año 2015, muestran que la zona A ya presentaba un deslizamiento activo. Actualmente, las grietas se han extendido hasta 100 m al sur (**Foto 12**). La zona B, se activó recientemente y tiene grietas tensionales en sus flancos y ladera arriba (**Foto 13**).



Foto 12. Zona crítica A, en la que se observa una prolongación de grietas tensionales río abajo.



Foto 13. Zona crítica B, deslizamiento activo con números grietas tensionales en los flancos y encima de la corona principal.

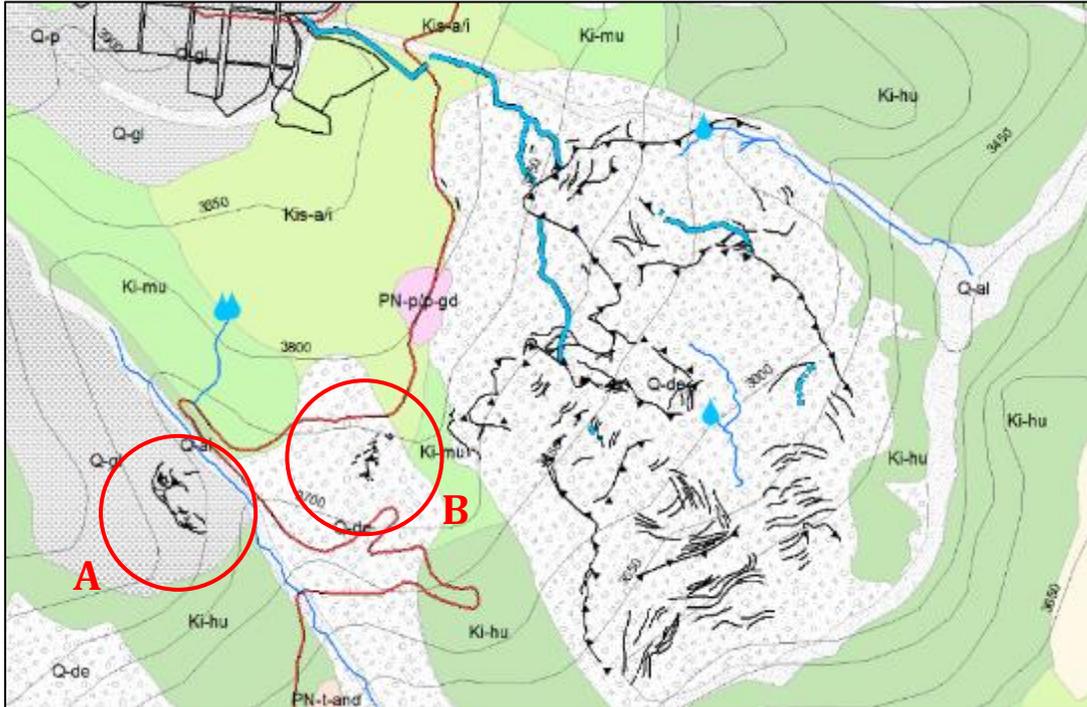


Figura 16. Ubicación de zonas críticas fuera del sector Huaccoto.

Un peligro geológico latente, representa el material deslizado que obstruye parcialmente el río Huaccoto. Si bien, la laguna originada el 25 de febrero a reducido notablemente su área, producto de la incisión fluvial del río Huaccoto. Es muy probable una removilización de las masas deslizadas a causa del socavamiento fluvial y la propia estabilización natural de los deslizamientos. Esto causaría un nuevo crecimiento de la laguna y un incremento del peligro de desembalse que podría afectar a la ciudad de Vilcabamba, ubicada a ~18 km aguas abajo (**Figura 17**).

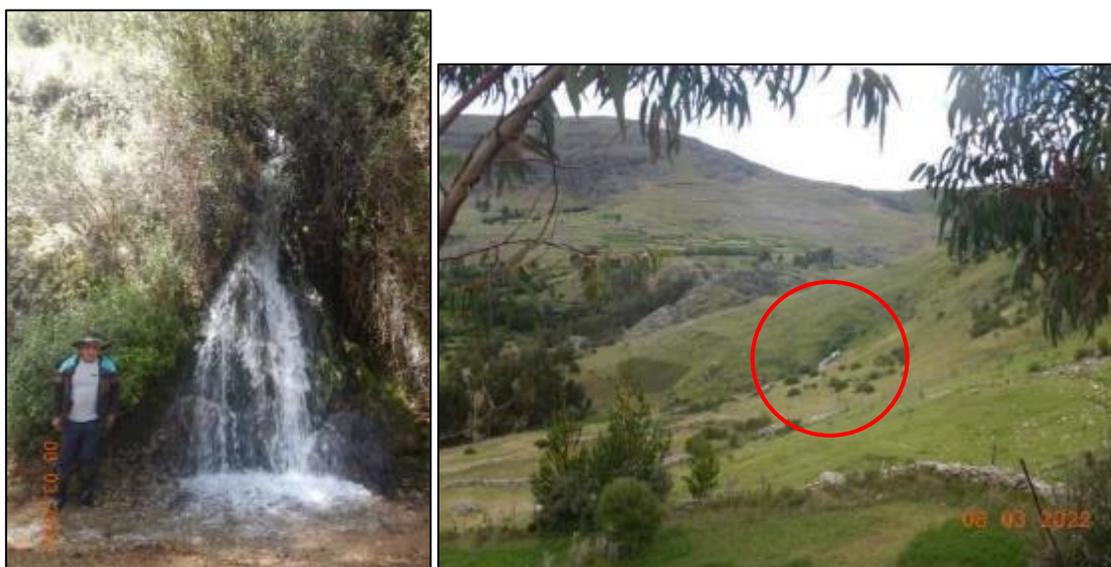


Figura 17. Ubicación de la ciudad de Vilcabamba, ~18 km al norte del sector

CONCLUSIONES

Factores Condicionantes y Detonantes

1. En primer lugar, están los agentes regionales que condiciona la naturaleza de los afloramientos rocosos y su susceptibilidad a la erosión es la tectónica (fallas y pliegues regionales que afectaron rocas Cretácicas). Sobre estas rocas fracturadas, se han desarrollado a través de diversos procesos geológicos, suelos y sedimentos cuaternarios que también son susceptibles a la erosión y a la ocurrencia de desprendimientos rocosos y el desencadenamiento de grandes deslizamientos en los alrededores de Piyay.
2. Las características hidrogeológicas (generación de acuíferos y manantiales) en rocas y depósitos cuaternarios, son determinantes para la ocurrencia de movimientos en masa en la zona de estudio. Como se mencionó anteriormente, previo a los deslizamientos de 2022, existían al menos 5 ojos de agua dentro en el sector Huaccoto, que condicionaron su susceptibilidad a deslizarse (**Fotos 14 y 15**). Por un lado, las areniscas, limolitas y calizas y por otro, los depósitos glaciares y de deslizamientos antiguos.



Fotos 14 y 15. Manantiales en los alrededores del C. P. de Piyay.

3. En la descripción geomorfológica, mencionamos la existencia de un fuerte desnivel topográfico originado por la erosión fluvial del río Huaccoto y la dinámica de laderas consecuente. Estas pendientes han condicionado también la ocurrencia de los deslizamientos en el sector Huaccoto.
4. En este contexto, unos de los agentes detonantes de los deslizamientos del sector Huaccoto, fueron las intensas lluvias propias de la temporada, que sobresaturaron los suelos del deslizamiento antiguo y lo reactivaron.
5. Esta sobresaturación hídrica proveniente de la precipitación pluvial y la circulación interna de los acuíferos, fue incrementada por el sistema de riego por inundación practicada por la comunidad de Piyay y también por la falta de mantenimiento del sistema de canales, cuyas fallas inyectaron agua adicional al deslizamiento.
6. Otro aspecto importante es la instalación de la planta de tratamiento de desagüe (**Foto16**), ubicada a 110 m por encima de la cabecera del deslizamiento D2. En sus alrededores se aprecian grietas tensionales.



Fotos 16. Planta de tratamiento de desagüe, ubicada en la cabecera del deslizamiento D2.

7. El área total afectada fue de 330,370.00 m² y su volumen aproximado de 9'250,369.00 m³. Sin embargo, existen zonas propensas a deslizarse fuera del área de afectación directa (**ver Figura 10**).

Afectación	Área		Volumen
	(m ²)	Hectáreas	(m ³)
Directa	330,370.00	33	9'250,369.00
Indirecta	104,113.00	10	
Total	428,610.00	43	

8. La fotointerpretación muestra muchos sistemas de grietas tensionales, pero puede ser que muchas otras grietas no hayan sido identificadas. Por lo que, el área total de influencia indirecta puede ser mayor a lo consignado en este informe.
9. Los deslizamientos de Piyay, al haber movilizado un gran volumen de material, abarcado una gran área de influencia y originado varios sistemas de grietas tensionales, tendrán un movimiento permanente hasta que logre su completa estabilización. Este proceso puede durar varios meses, incluso algunos años.
10. Los manantiales existentes en el sector de Huaccoto, antes de ocurrido los deslizamientos (al menos 5), fueron cubiertos por las masas deslizadas y removilizados. Actualmente, reaparecieron por diversos sectores, lo que condiciona una posible reactivación de los deslizamientos.
11. El C. P. de Piyay no fue afectado directamente por los deslizamientos ocurridos en el sector Huaccoto. Sin embargo, la grieta tensional más próxima a Piyay se encuentra a 300 m, por lo que es importante hacer el monitoreo de estas estructuras.

12. La afectación más importante a Piyay, fue la destrucción de su despensa alimentaria. En el sector de Huaccoto, se cultivaba maíz, trigo, cebada, papa, entre muchos otros productos.

RECOMENDACIONES

1. Mientras no se tenga signos de alerta por el crecimiento, expansión y aparición de nuevas grietas más cercanas al C. P. de Piyay. No es necesario una reubicación.
2. Para ello, es necesario realizar un monitoreo permanente de las grietas tensionales a través de un sistema de alerta comunitaria en Piyay.
3. Al cabo de algunos meses y luego de la próxima temporada de lluvias, se debe realizar nuevamente un sobrevuelo con dron, para monitorear la evolución de los movimientos en masa. Para ello el municipio distrital de Pataypampa, puede solicitar al INGEMMET una nueva evaluación de peligros geológicos.
4. Las mejores zonas de expansión urbana o de una posible reubicación, deben estar fuera de los depósitos palustres y quebradas con depósitos fluvio-glaciares mostrados en el mapa geológico. Una buena zona de ocupación sería la colina más próxima al noroeste de Piyay.
5. Se debe gestionar el mejoramiento de comunicación telefónica, para casos de emergencia y monitoreo.
6. El área afectada por los deslizamientos en el sector Huaccoto, no debe ser reutilizada para ningún fin (urbano o agrícola). Las actividades agrícolas, podrían reactivarse en esta zona y solamente de manera restringida, una vez que las masas deslizadas hayan logrado una estabilización completa, este proceso podría durar varios años.
7. Se debe mejorar el sistema de evacuación de agua de escorrentía, para reducir la infiltración, podrían realizarse, zanjas de coronación en lugares externos al área de afectación directa de los deslizamientos. Impermeabilización y mejoramiento de los canales ya existentes, evacuándolos hacia las quebradas que flanquean el sector de Huaccoto.
8. Forestar los perímetros del deslizamiento para una mejor compactación del terreno, evitando también la infiltración.
9. Proponer un sistema de alerta temprana (SAT) que ayude en reconocer movimientos del suelo, para evacuar a las personas que se encuentren dentro de la zona afectada, hasta que se realice un reconocimiento técnico de las deformaciones superficiales.
10. De igual manera, considerar un SAT, frente a un posible desembalse del río Huaccoto y su probable impacto a la ciudad de Vilcabamba.
11. Monitorear las zonas críticas A y B, ya que un posible deslizamiento puede llegar al río Huaccoto, originando un represamiento.
12. Esta memoria y sus respectivos mapas, tienen la finalidad de ser instrumentos de gestión para las autoridades, que puedan articularse con estudios de otras especialidades y en conjunto puedan incorporarse a los planes de ordenamiento territorial del distrito de Pataypampa.