

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7275**

# REPORTE DE MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE LUCRE PERIODO 2018 - 2021

Departamento Cusco  
Provincia Quispicanchi  
Distrito Lucre



JULIO  
2022

**REPORTE DE MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE LUCRE PERIODO 2018 - 2021**

*(Distrito Lucre, provincia Quispicanchi, departamento Cusco)*

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

Proyecto:  
ACT14: Caracterización y Monitoreo de Movimientos  
en Masa en el Perú

*Equipo de investigación:*

*Luis Albinez  
Joseph Huanca  
Dulio Gómez*

**Citación:**

*Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Reporte de monitoreo del deslizamiento de Lucre periodo 2018 - 2021, distrito Lucre, provincia Quispicanchi, departamento Cusco. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7275, 18 p.*

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	3
1.1. Objetivos .....	3
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores .....	3
1.3. Ubicación .....	3
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS, GEOMORFOLÓGICOS Y GEODINÁMICOS.....	5
2.1. Aspectos geológicos .....	5
2.1.1. GRUPO SAN JERONIMO.....	5
2.1.2. DEPÓSITOS CUATERNARIOS .....	5
2.2. Aspectos Geomorfológicos.....	6
2.2.1. PENDIENTES.....	6
2.3. Movimientos en masa (García et al. 2018) .....	7
2.3.1. DESLIZAMIENTO DE SUPAYHUAYCO .....	7
3. MONITOREO MULTIPARAMÉTRICO.....	9
3.1. Toma de datos .....	9
3.1.1. MONITOREO GEODÉSICO.....	9
3.1.2. MONITOREO FOTOGRAFAMÉTRICO .....	10
3.2. Análisis de Datos.....	12
3.2.1. CINEMÁTICA DEL CUERPO.....	12
4. CONCLUSIONES.....	16
5. RECOMENDACIONES .....	16

## 1. INTRODUCCIÓN

El deslizamiento de Lucre (Supayhuayco), es uno de muchos peligros geológicos localizados, desde hace 50 años, en la microcuenca de Lucre. En el 2010 la quebrada presentó movimientos de masa, como flujos de detritos, que ocasionaron pérdidas y daños a la población (García et al. 2018). Los pobladores de la zona reportaron la reactivación de este fenómeno geológico en el año 2018.

El deslizamiento de la quebrada Supayhuayco presenta corona semicircular y alargada con longitud de 383 m, con una altura del escarpe principal de 7.6 m, distancia de la corona al pie del deslizamiento de 170 m, volumen de aproximadamente 128,750 m<sup>3</sup> y área aproximada de 52 900.00 m<sup>2</sup> (García et al. 2018).

La inclinación de capas es a favor de la pendiente, por este factor geológico, la corona presenta cambios con ángulos rectos, cerca de 90° en algunos tramos. El movimiento de este deslizamiento está relacionado con la inclinación de los estratos que presenta la roca, esto permitió interpretar a este evento como deslizamiento traslacional.

El INGEMMET, ente técnico-científico, mediante el proyecto ACT14: Caracterización y monitoreo de movimientos en masa en el Perú, de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico realiza el monitoreo temporal del deslizamiento de Lucre. Los resultados de este monitoreo actualizados hasta el año 2021 se presentan en este informe.

Este estudio tiene por finalidad dar a conocer el estado de la actividad del deslizamiento de Lucre a través de la información que provee el monitoreo durante las 5 campañas de medición realizadas entre octubre de 2018 y junio de 2021.

### 1.1. Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Cuantificar el desplazamiento y la velocidad de la masa deslizada.

### 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Después de ocurrida la reactivación del deslizamiento de Lucre en el año 2018, el INGEMMET emitió 1 informe técnico.

- A) En octubre de 2018 se emitió el Informe Técnico N° A6837: Evaluación geológica y geodinámica del deslizamiento activo de Supayhuayco, en respuesta a la solicitud de la municipalidad distrital de Lucre mediante Oficios N°224-2018-A/MDL-Q y N°237-2018-A/MDL-Q. En este informe se determinó que el deslizamiento se encontraba activo con grietas tensionales de hasta 5m en la parte posterior de la corona.

### 1.3. Ubicación

El deslizamiento de Lucre (Supayhuayco), se ubica en el sector noroeste del distrito de Lucre, a 300 metros de la población del mismo nombre. El distrito de Lucre se ubica a 35km al sureste de la ciudad del Cusco, en la provincia de Quispicanchi, Región Cusco (figura 1).

Geográficamente se encuentra ubicada en las coordenadas: 13° 37' 41" Sur, 71° 44' 40" Oeste, y se encuentra a una altitud de 3350 msnm.

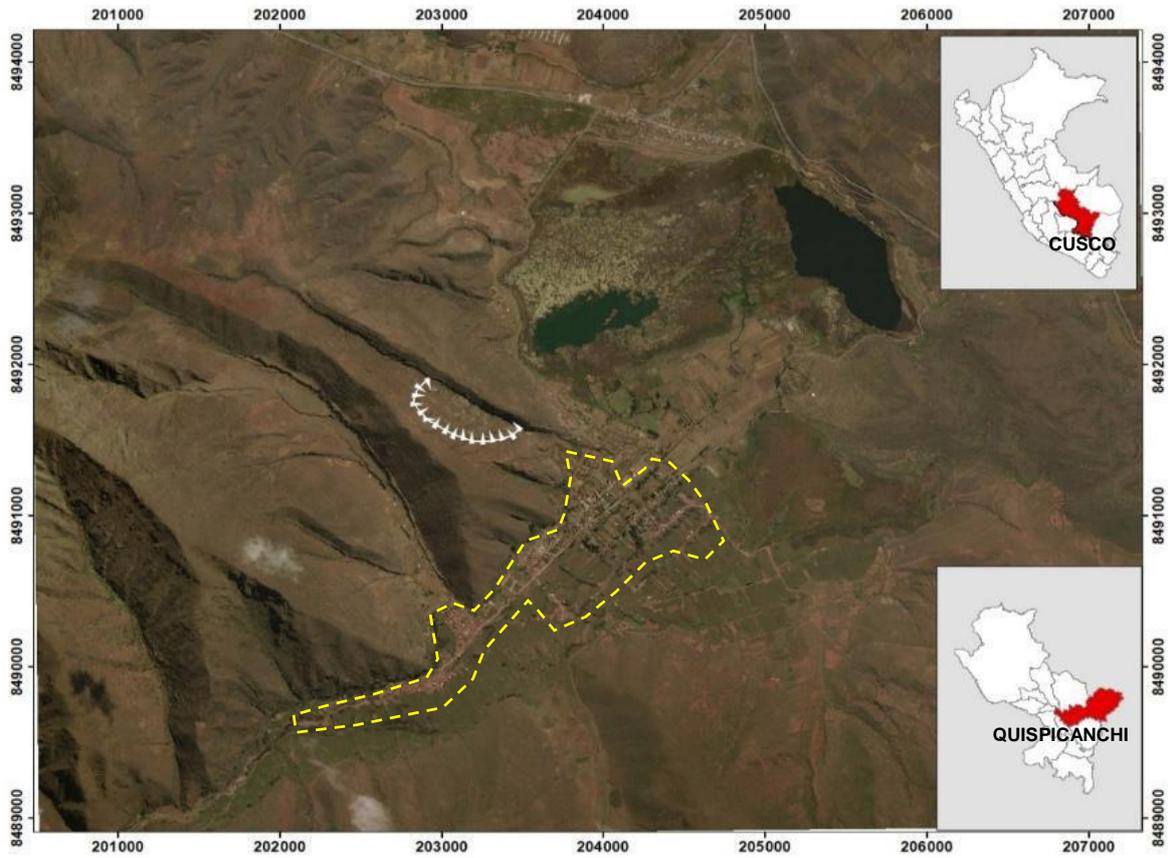


Figura 1. Imagen satelital (Google Earth). En línea blanca dentada, se ubica el deslizamiento de la quebrada Supayhuayco, distrito de Lucre (localidad de Lucre, polígono amarillo entrecortado), provincia de Quispicanchi, Cusco (Modificado de García et al. 2018).

## **2. ASPECTOS GEOLÓGICOS, GEOMORFOLÓGICOS Y GEODINÁMICOS**

Para desarrollar este capítulo se tomó como referencia el estudio de García et al. (2018).

### **2.1. Aspectos geológicos**

Según Carlotto et al. (1998) en el área de estudio afloran unidades geológicas que van desde el Cenozoico hasta el Cuaternario (Figura 2). La inclinación de las capas en la zona afectada muestra una orientación al noreste, lo que coincide con la formación de la corona principal.

Se tienen las siguientes unidades litoestratigráficas:

#### **2.1.1. GRUPO SAN JERONIMO**

Potente serie roja de origen continental de más de 6000 m de espesor (Córdova, 1986). En la zona de estudio ocupan gran parte de la cuenca en cuanto a extensión y espesor. Forman parte de este Grupo las formaciones Kayra y Soncco (Carlotto et al., 1997b, 1998-2002, 2005).

Formación Kayra: Aflora hacia la zona oeste del área de estudio y por encima de la zona afectada por el deslizamiento. Está compuesta por areniscas feldespáticas, intercaladas con lutitas rojas (Carlotto et al., 1998). Se presenta meteorizado y muy fracturado.

Formación Soncco: Sobreyace concordantemente a la Formación Kayra, se divide en dos miembros, en el área solamente aflora el Miembro I.

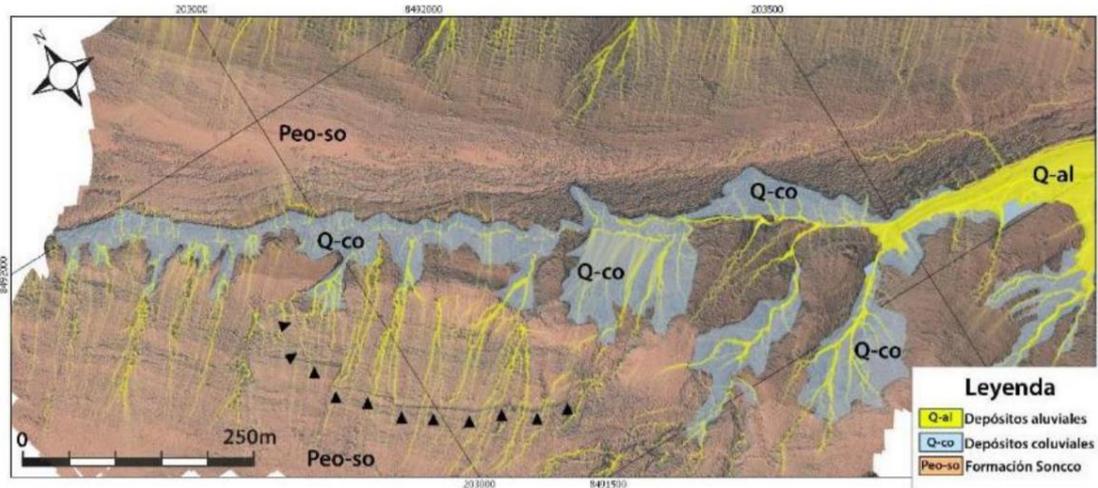
- Miembro I. Se encuentra en la parte central del área de estudio. Está compuesta por lutitas rojas, intercaladas con niveles de areniscas finas a medias y niveles de yeso, son de mala calidad. Sobre esta unidad se ha formado el deslizamiento.

#### **2.1.2. DEPÓSITOS CUATERNARIOS**

Depósitos lacustres (Q-la): A los alrededores del humedal Lucre-Huacarpay se evidencian depósitos lacustres que muestran el claro retroceso de este humedal. Está compuesta por arcillas y niveles de turba.

Depósitos aluviales (Q-al): Se encuentran principalmente dispuestos en conos de deyección en la desembocadura de las quebradas. Está conformado por bloques y gravas de areniscas, calizas, rocas volcánicas, etc. envueltos dentro de una matriz areno-arcillosa. Sobre estos depósitos se encuentra emplazado gran parte de la población de Lucre.

Depósitos coluviales (Q-co): Son depósitos caracterizados por tener fragmentos heterométricos, subangulosos y matriz limoarenosa. Se encuentran en las faldas de cerros y representan en muchos casos movimientos en masa antiguos.



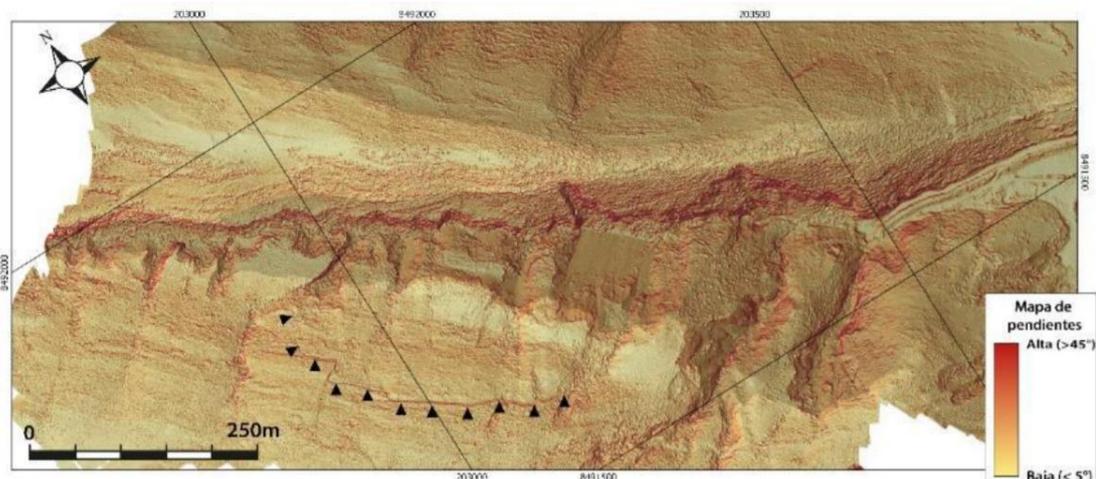
**Figura 2.** Mapa geológico local. En color marrón claro se representa a la Formación Soncco, en gris los depósitos coluviales y en color amarillo a los depósitos aluviales. Las flechas negras, marcan la corona del deslizamiento (García et al. 2018).

## 2.2. Aspectos Geomorfológicos

El movimiento en masa identificado se encuentra en la margen derecha de la quebrada Supayhuayco, en el cerro denominado Pucacasa. La quebrada es afluente por la margen izquierda del valle de Lucre.

### 2.2.1. PENDIENTES

Este factor en un movimiento en masa es muy importante, porque ayuda a acelerar o estabilizar un cuerpo inestable. En este caso, se presentan pendientes variadas a lo largo de toda la quebrada Supayhuayco, las laderas de los cerros muestran pendientes entre 30° a 45°, el pie del deslizamiento mayor a 10° (figura 3). En todo el cuerpo del deslizamiento se observó pendientes variadas de hasta de 45°. En general el cerro Pucacasa, donde se encuentra el deslizamiento en estudio, presenta pendientes comprendidas entre 35° a 45°.



**Figura 3.** Mapa de pendientes de la quebrada Supayhuayco. La gama de colores rojos representa la pendiente en grados. En flechas negras se marca la ubicación del deslizamiento (García et al. 2018).

### 2.3. Movimientos en masa (García et al. 2018)

En la quebrada Supayhuayco se observan depósitos de una importante cantidad de movimientos en masa (figura 2). Sin embargo, el deslizamiento en estudio es el de mayor dimensión en el área.

A lo largo de la margen derecha de la quebrada se observó una importante cantidad de cárcavas, de distintas dimensiones; además se evidenció que el cuerpo del deslizamiento esta disectado por cinco cárcavas con profundidades de hasta 3 metros.

La erosión fluvial generó en el pie de los cerros de ambos lados de la quebrada, la desestabilización del talud, lo que provocó la caída a manera de deslizamientos y derrumbes a lo largo de toda la quebrada.

Por último, en la desembocadura de la quebrada se observó un cono aluvial, compuesto por bloques de hasta 1m de diámetro envueltos en matriz limo-arenosa.

#### 2.3.1. DESLIZAMIENTO DE SUPAYHUAYCO

El movimiento en masa en la quebrada Supayhuayco, inició su formación la segunda semana del mes de mayo del 2018. Según pobladores locales, el escarpe inicial tenía 1.20 m de altura, sin embargo, unos días después, exactamente el 18 de mayo ocurrió el movimiento más fuerte, alcanzando los 5 metros de alto.

Como se sabe la temporada de lluvias en la sierra sur inicia en el mes de diciembre y culmina en gran porcentaje en los meses de abril-mayo. El Senamhi registra en sus estaciones meteorológicas locales descensos en la cantidad de precipitaciones a finales del mes de marzo, sin embargo, los pobladores mencionan un re-incremento de estas precipitaciones a inicios del mes de abril de ese año.

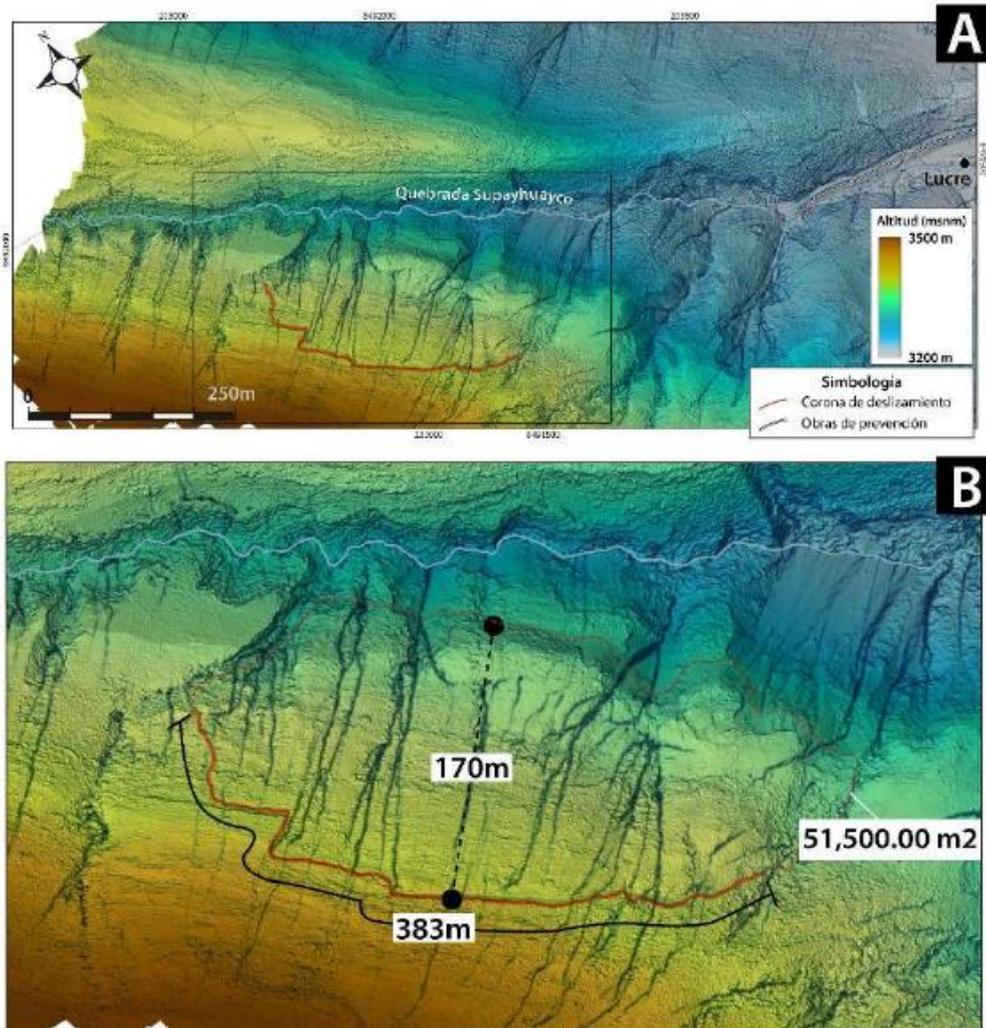
El deslizamiento de la quebrada Supayhuayco (figura 4) presenta las siguientes características (García et al. 2018):

- a) Corona semicircular y alargada con longitud de 383 m.
- b) Altura del escarpe principal 7.6 m.
- c) Distancia de la corona al pie del deslizamiento es de 170 m.
- d) Área del deslizamiento 52 900.00 m<sup>2</sup>
- e) Volumen estimado 128,750 m<sup>3</sup>

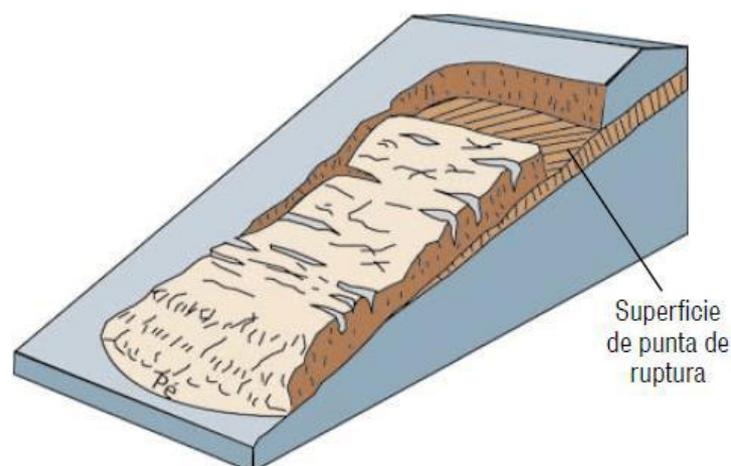
La inclinación de capas es a favor de la pendiente, por este factor geológico, la corona presenta cambios con ángulos rectos, cerca de 90° en algunos tramos.

El movimiento de este deslizamiento está relacionado con la inclinación de los estratos que presenta la roca, esto nos permite interpretar a este evento como deslizamiento traslacional (figura 5).

Un deslizamiento traslacional se caracteriza por moverse en una superficie plana u ondulada (PMA). Estos aprovechan diaclasas, planos de estratificación, fallas o planos de contacto y suelen ser superficiales (Cruden y Varnes, 1996). Las velocidades de estos deslizamientos pueden ser rápidos a muy rápidos (PMA).



**Figura 4.** A) Modelo de elevación digital de la zona de estudio. La línea roja representa la corona del deslizamiento. B) Detalle de la figura, la línea negra entrecortada marca la distancia de la corona al pie del deslizamiento (García et al. 2018).



*Figura 5. Block diagrama de un deslizamiento traslacional (PMA, 2007).*

### 3. MONITOREO MULTIPARAMÉTRICO

#### 3.1. Toma de datos

##### 3.1.1. MONITOREO GEODÉSICO

Para el monitoreo geodésico se utilizó el método GNSS diferencial RTK (cinemático en tiempo real). Este método utiliza dos receptores GNSS operando de manera simultánea (figura 6).

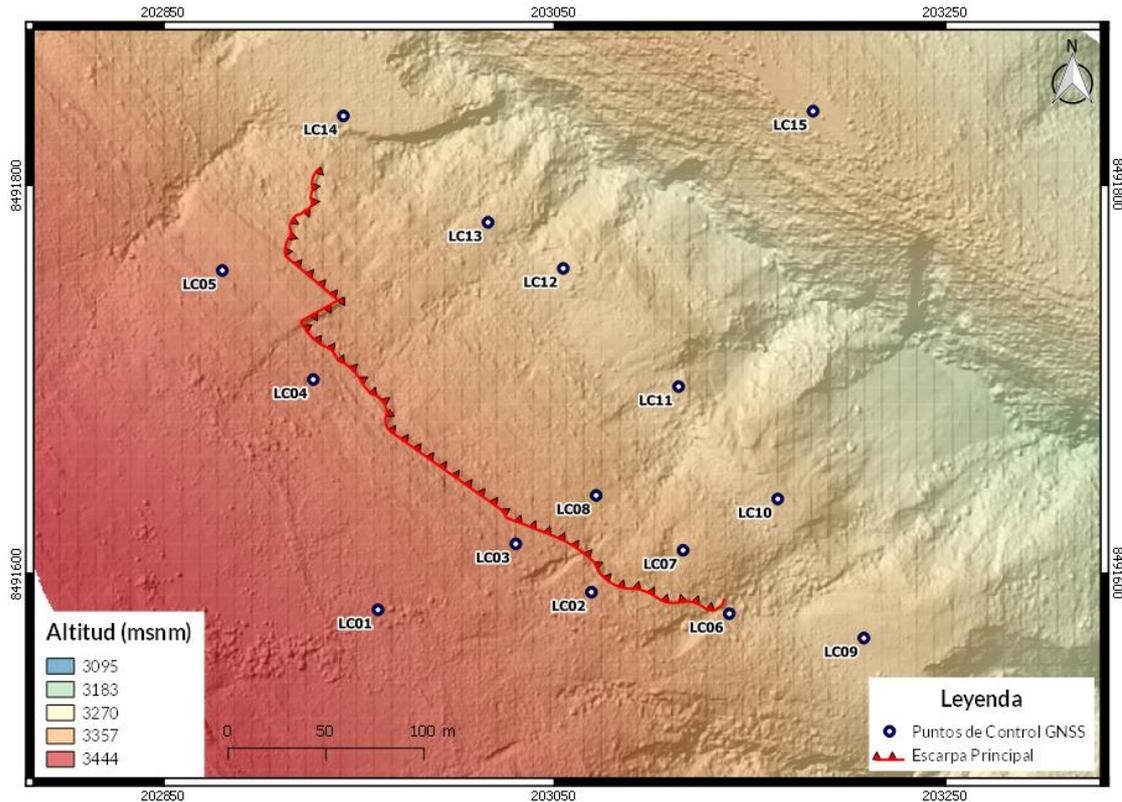


**Figura 6.** *Instalación de Equipos para Levantamiento GNSS RTK. Los valores de corrección se envían directamente por radio desde la estación base (A) al receptor móvil (B). De esta manera, con este último se puede registrar continuamente su posición relativa al punto de referencia con una precisión por debajo del decímetro.*

En cada campaña de medición, el receptor GNSS denominado estación base, ocupó el mismo punto de coordenadas conocidas ubicado en una zona estable (figura 4A), mientras que el otro, denominado receptor móvil (figura 4B), se utilizó para medir las coordenadas de los puntos de control (hitos de concreto empotrados en la masa deslizada) que forman parte de la red de monitoreo geodésico temporal del deslizamiento de Lucre (figura 7).

Durante el año 2021, se realizó una campaña de medición, el 03 de junio. Para este informe también se consideró los datos de las campañas de medición del 2018 y 2019. Por lo tanto, el marco temporal en análisis comprende 2.7 años aproximadamente.

El equipo utilizado para el levantamiento corresponde al sistema GNSS integrado Trimble R6. Esta red se encuentra referenciada con Datum WGS 1984, Zona 19 S, y modelo geoidal EGM 08.



**Figura 7.** Red geodésica de monitoreo de deformación en el deslizamiento de Lucre (Supayhuayco).

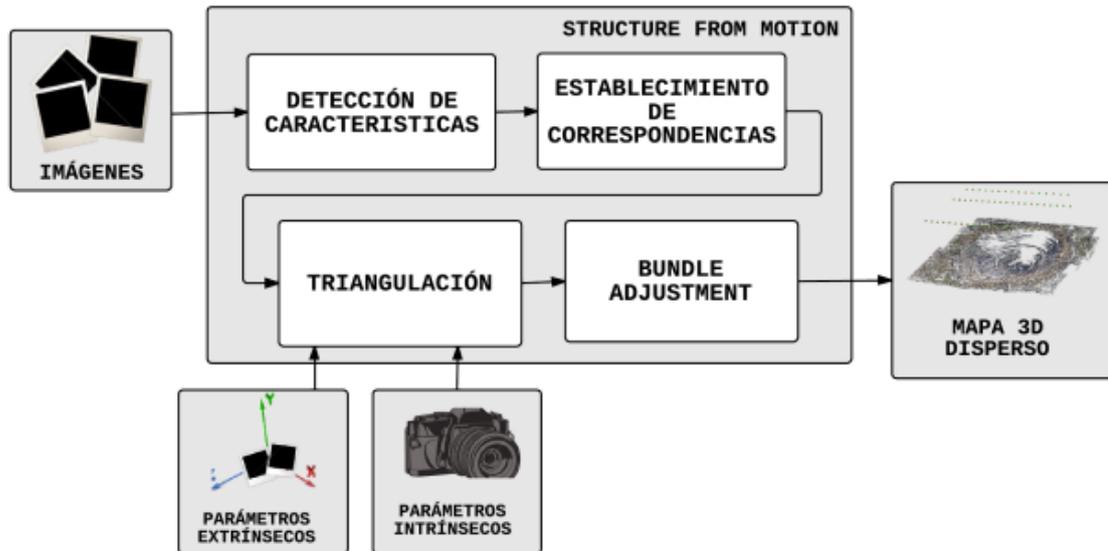
La información obtenida que comparó la posición de los puntos de control en diferentes campañas de medición permitió determinar los desplazamientos horizontales y verticales de los movimientos de la superficie del deslizamiento.

### 3.1.2. MONITOREO FOTOGRAMÉTRICO

Para el levantamiento fotogramétrico del deslizamiento de Lucre se utilizó el dron multirrotor Phantom 4 Pro. Para la georreferenciación de las fotos capturadas se utilizaron los mismos puntos de control tratados en el punto anterior (figura 7).

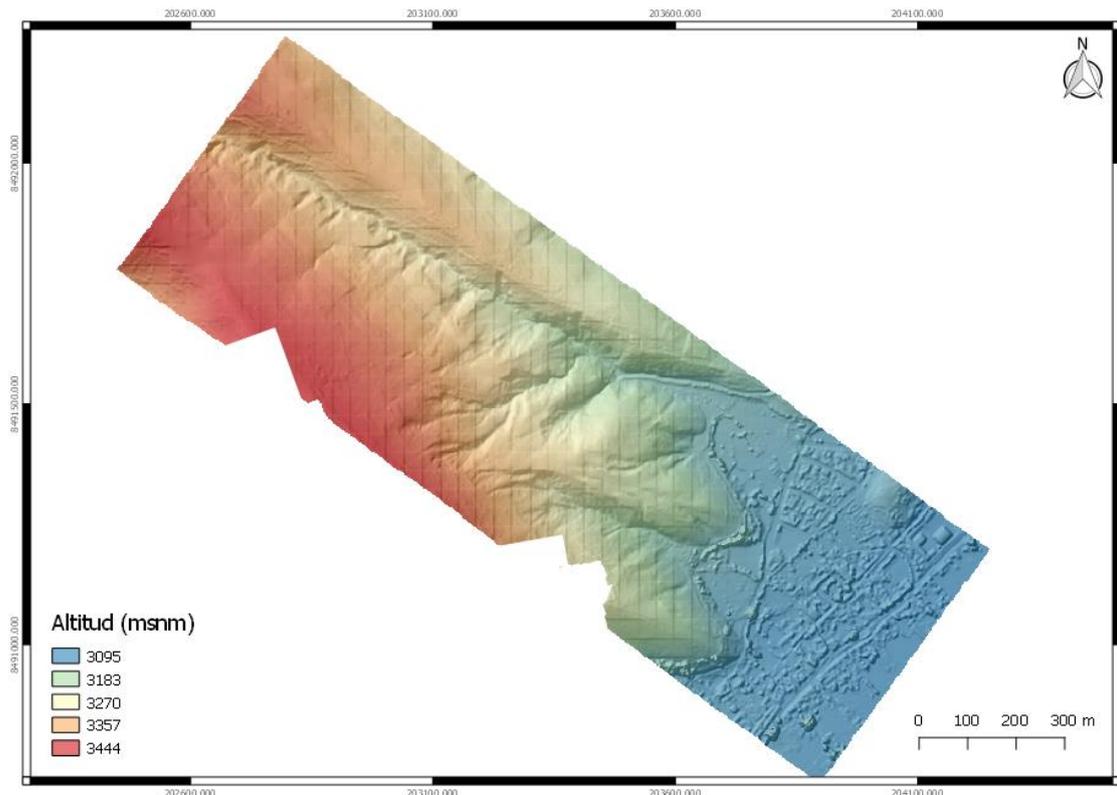
Durante el 2021 se realizó un levantamiento fotogramétrico en junio cubriendo aproximadamente 2.45 km<sup>2</sup> de terreno. El plan de vuelo se realizó con una altura promedio de 262 m. La resolución del terreno alcanzada fue de 6.6 cm/px.

Para el proceso fotogramétrico se utilizó la técnica SfM (structure from motion) (figura 8) a través del software Agisoft Metashape obteniéndose una nube de puntos 3D dispersa y posteriormente una nube de puntos 3D densa. Finalmente se obtuvo el DEM y ortomosaico los cuales se exportaron en el formato .TIFF para su utilización en el Sistema de Información Geográfica QGIS.



**Figura 8.** Esquema general de generación de mapas de nube de puntos dispersa (Structure from Motion).

A partir de los mapas de nubes de puntos 3D densa, se obtuvieron un DEM (figura 9) y un ortomosaico (figura 10) georreferenciados con una resolución de 13.3 y 6.6 cm/pix respectivamente.



**Figura 9.** Modelo digital de elevaciones del deslizamiento de Lucre del 03/06/2021.



**Figura 10.** Ortomosaico del deslizamiento de Lucre del 03/06/2021.

## 3.2. Análisis de Datos

### 3.2.1. CINEMÁTICA DEL CUERPO

Los valores de desplazamiento acumulado de los hitos monitoreados entre octubre de 2018 y junio de 2021 ( $\approx 2.7$  años) se pueden apreciar en la tabla 1. Durante este periodo los puntos de control que presentaron mayor desplazamiento horizontal fueron LC07, LC08, LC10, LC11, LC12 y LC13 con longitudes de entre 0.26, y 0.61 metros. En promedio, en los últimos  $\approx 2.7$  años, la masa deslizada presentó un desplazamiento horizontal de 0.43 metros.

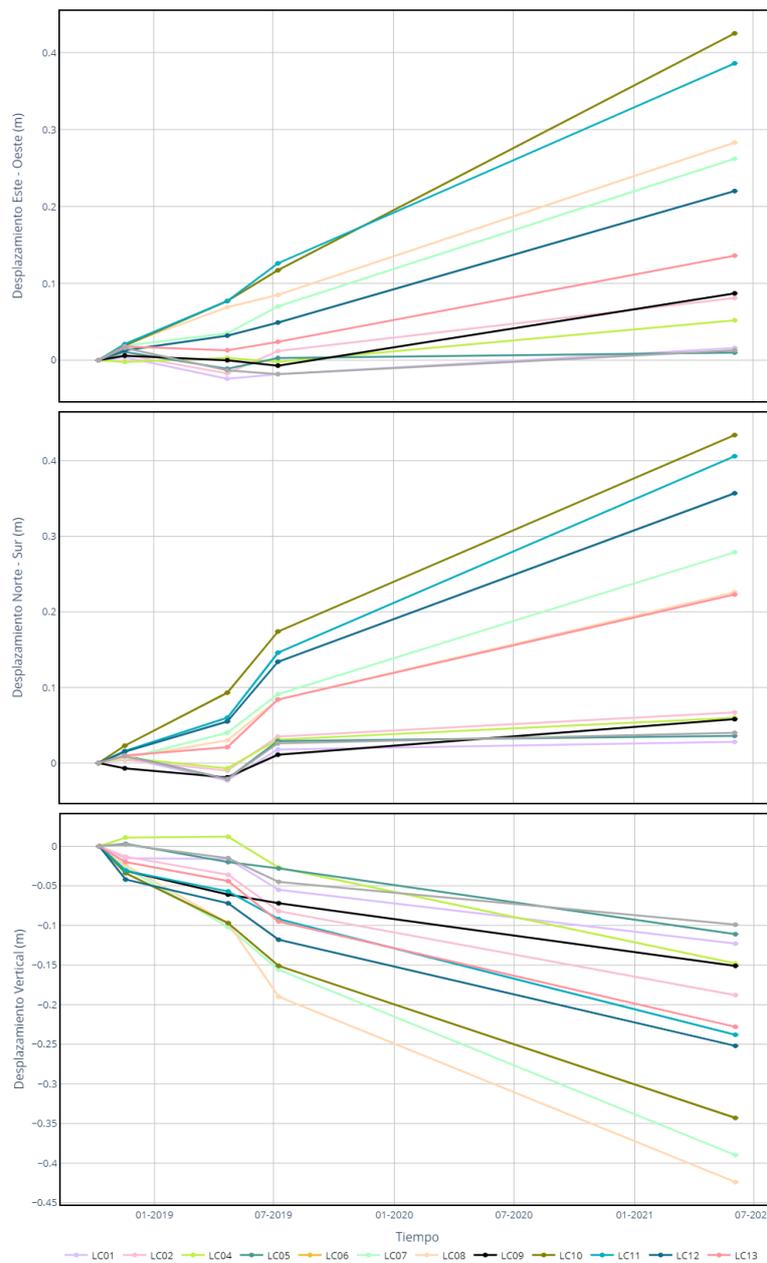
**Tabla 1.** Desplazamiento horizontal acumulado (2018-2021) de los puntos de control GNSS del deslizamiento de Lucre.

PUNTOS DE CONTROL GNSS	09/10/2018 AL 03/06/2021 ( $\approx 2.7$ años)	
	D <sub>E-N</sub> (m)	D <sub>Z</sub> (m)
LC01	0.03	-0.12
LC02	0.11	-0.19
LC03	0.11	-0.21
LC04	0.08	-0.15
LC05	0.04	-0.11
LC07	0.38	-0.39
LC08	0.36	-0.42
LC09	0.10	-0.15
LC10	0.61	-0.34

LC11	0.56	-0.24
LC12	0.42	-0.25
LC13	0.26	-0.23
LC14	0.04	-0.10

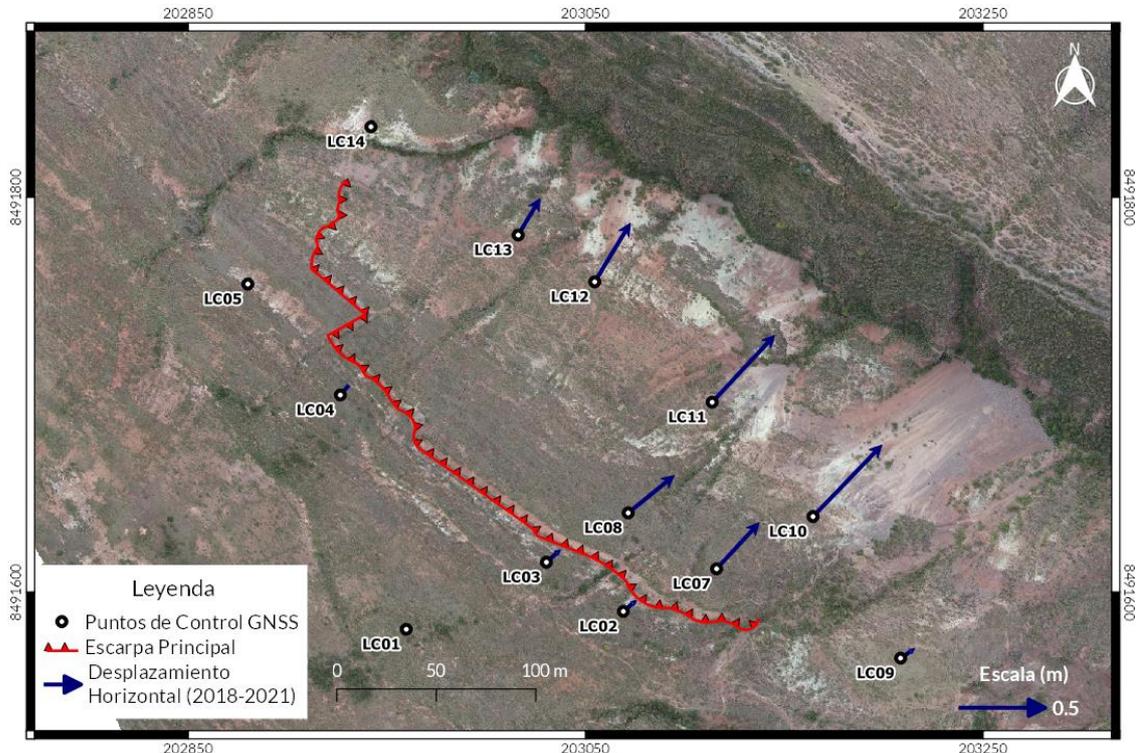
Nota.  $D_{E-N}$  = Desplazamiento Horizontal  
 (considerando las componentes Este y Norte),  
 $D_z$  = Hundimiento

La figura 11, muestra la evolución temporal (2018-2021) del desplazamiento horizontal (E, W) y vertical (Z) acumulado de los puntos de control GNSS en el área de estudio. En estas series temporales se observa un empuje de material en dirección al noreste y valores negativos en la componente vertical (hundimiento).



**Figura 11.** Series temporales de los desplazamientos de la componente E-W, N-S y Z de los puntos de control GNSS del deslizamiento de Lucre.

Así mismo, en la figura 12 se puede apreciar la representación gráfica de la magnitud y la dirección del desplazamiento horizontal de los puntos de control GNSS del área de estudio entre octubre de 2018 y junio de 2021. Se observa que los puntos con mayor desplazamiento se ubican en el cuerpo y pie del deslizamiento en dirección a la quebrada Supayhuayco.



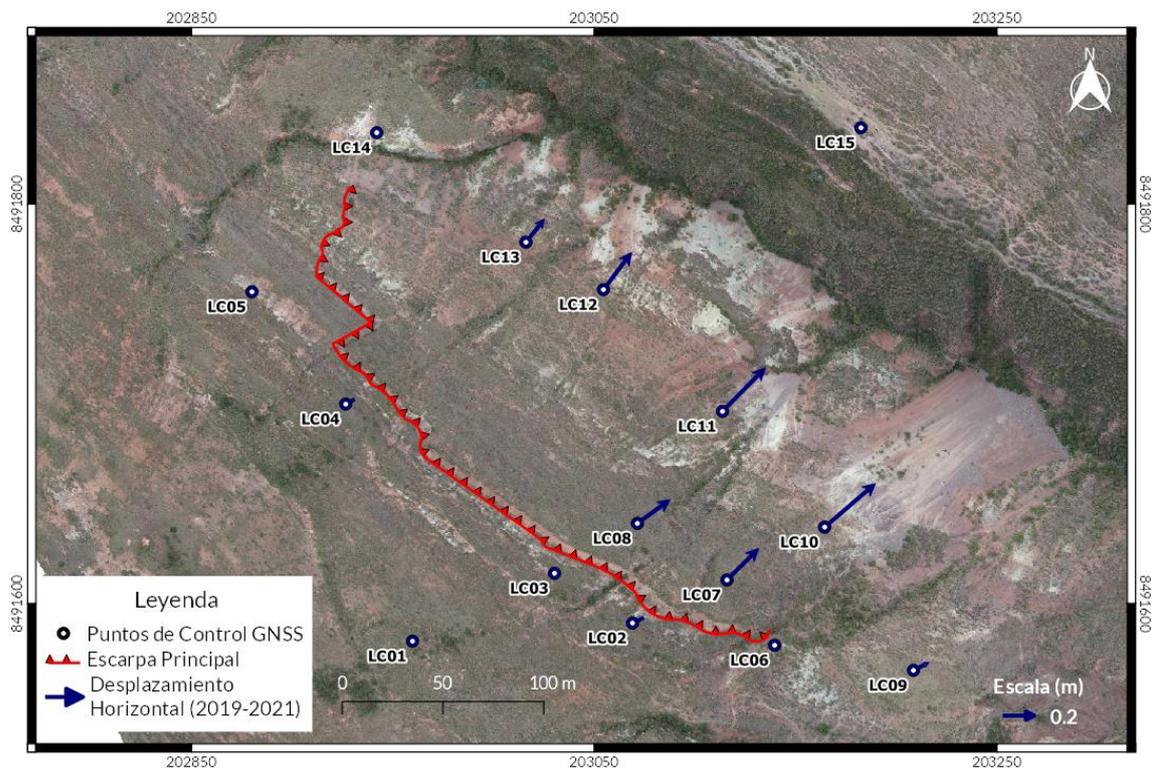
**Figura 12.** Vectores de desplazamiento horizontal acumulado del deslizamiento de Lucre. Periodo octubre 2018 – junio 2021 ( $\approx 2.7$  años).

Por otro lado, los valores de desplazamiento acumulado de los hitos monitoreados entre julio de 2019 y junio de 2021 ( $\approx 1.9$  años), que corresponden a las dos últimas campañas de medición, se pueden apreciar en la tabla 2. Durante este periodo los puntos de control que presentaron mayor desplazamiento horizontal también fueron los que se ubican en el cuerpo y pie del deslizamiento de Lucre (LC07, LC08, LC10, LC11, LC12 y LC13) (figura 13), con magnitudes entre 0.18 y 0.40 metros. En promedio, en los últimos  $\approx 1.9$  años, el cuerpo y pie del deslizamiento de Lucre (masa deslizada) presentó un desplazamiento horizontal de 0.29 metros.

**Tabla 2.** Desplazamiento horizontal entre las dos últimas campañas de medición de los puntos de control GNSS del deslizamiento de Lucre.

PUNTOS DE CONTROL GNSS	09/07/2019 AL 03/06/2021 (≈1.9 años)	
	D <sub>E-N</sub> (m)	D <sub>Z</sub> (m)
LC01	0.03	-0.07
LC02	0.08	-0.11
LC04	0.06	-0.12
LC05	0.01	-0.08
LC07	0.27	-0.23
LC08	0.24	-0.23
LC09	0.11	-0.08
LC10	0.40	-0.19
LC11	0.37	-0.15
LC12	0.28	-0.13
LC13	0.18	-0.13
LC14	0.03	-0.05

Nota. DE-N = Desplazamiento Horizontal (considerando las componentes Este y Norte),  
 DZ = Hundimiento



**Figura 13.** Vectores de desplazamiento horizontal del deslizamiento de Lucre. Periodo julio 2019 – junio 2021 (≈1.9 años).

#### 4. CONCLUSIONES

- a) De acuerdo a las mediciones GNSS, para el periodo entre octubre de 2018 y junio de 2021 ( $\approx 2.7$  años), el deslizamiento de Lucre presentó un desplazamiento horizontal máximo de 0.61 metros, en dirección a la quebrada Supayhuayco (noreste).
- b) Los resultados del monitoreo geodésico muestran que el deslizamiento de Supayhuayco CONTINUA ACTIVO, por tanto, persiste la situación de alto peligro para la población de Lucre, asentada en la desembocadura de la quebrada, ante un flujo de detritos de gran magnitud, detonado por lluvias intensas y/o prolongadas, originado con los depósitos provenientes de los derrumbes que ocurren en la parte frontal del deslizamiento. El peor escenario de peligro consiste en la obstrucción de la quebrada por el desplazamiento total o parcial del cuerpo del activo, detonado por un sismo de gran magnitud. De ocurrir en temporada lluviosa, se generaría un embalse y/o posterior ruptura de dique, ocurriendo flujos mayores que afectarían a la población de Lucre.

#### 5. RECOMENDACIONES

- A. Prohibir la construcción de viviendas en la desembocadura de la quebrada Supayhuayco.
- B. Continuar con el monitoreo multiparamétrico del deslizamiento de Lucre.
- C. Considerar las recomendaciones brindadas anteriormente en el informe técnico N° A6837: "Evaluación geológica y geodinámica del deslizamiento activo de Supayhuayco".



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ  
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO  
Ing. Luis Angel Albino Baca  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP 222658



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

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carlotto, V., Cardénas, J. & Carlier, G. (2011) - Geología del cuadrángulo de Cusco, hoja 28-s, escala 1:50,000. INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 138, 255 p., 6 mapas.

Córdova E (1986) Les couches rouges continentales de la région of Cusco. 3rd cycle Dr. Thesis, University of Pau, France

Cruden, D., Varnes, D. (1996), Landslide Types and Processes, Special Report , Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247:36-75

García, B.; Maquergua, E.; Meza, P. & Albinez, L. (2018). Evaluación geológica y geodinámica del deslizamiento activo de Supayhuayco, INGEMMET, 39p.

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.