

Informe Técnico N° A6819

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS DEL SECTOR CERRO PIEDRA PARTIDA / DIQUE RÍO GRANDE

Región, Provincia, Distrito de Cajamarca
Paraje Cerro Piedra Partida



LUIS ALBINEZ
SEGUNDO NÚÑEZ JUÁREZ

JULIO
2018

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

CONTENDIO

1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES	2
3. ASPECTOS GENERALES	2
3.1. Ubicación y accesibilidad	2
3.2. Características de la zona de estudio	3
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	4
5. ASPECTOS GEOLÓGICOS	6
6. PELIGROS GEOLÓGICOS	7
6.1. Deslizamientos y flujos	7
6.1.1 Sector Piedra Partida / Dique Río Grande	9
6.1.2 Sector Terreno del Sr. Alberto Herrera (771501.41 O; 9220857.29 N)	15
6.2. Reptación	17
6.2.1 Sector Noroeste del Embalse Río Grande	17
6.3. Estado actual del deslizamiento del cerro sector Piedra Partida / Dique Río Grande	18
CONCLUSIONES	20
RECOMENDACIONES	21
REFERENCIAS	24

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), el apoyo y/o asistencia técnica al gobiernos nacional, regional y locales; su alcance consiste en contribuir con entidades gubernamentales en el reconocimiento, caracterización y diagnóstico de peligros geológicos en territorios vulnerables, con la finalidad de proporcionar una evaluación técnica que incluya resultados y recomendaciones pertinentes para la mitigación y prevención de fenómenos activos en el marco de la Gestión de riesgo de desastre.

La Municipalidad Provincial de Cajamarca, mediante Oficio N°025-2018-LMLO-MPC, solicitó a nuestra institución, la participación en la evaluación técnica del deslizamiento de cerro sector Piedra Partida / Dique Río Grande – Caserío Cince las Vizcachas, Centro Poblado Tual, generado el pasado 18 de mayo del 2018.

El INGEMMET, a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico designó a los Ings. Luis Albinez Baca y Segundo Nuñez Juárez, para realizar la inspección técnica del área de influencia, el día 18 de junio del presente año, previa coordinación con personal de la PCM-Cajamarca, Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y autoridades locales, quienes nos presentaron la problemática de la zona y algunos planes de contingencia.

Para esta evaluación, se realizaron los siguientes trabajos: Recopilación de información y preparación de mapas de ubicación para trabajos de campo, toma de datos GPS, cartografiado y redacción de informe.

El presente informe se pone en consideración de Caserío Cince las Vizcachas - Centro Poblado Tual, Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI, municipalidad provincial de Cajamarca y autoridades competentes, para la ejecución de medidas de mitigación y reducción de riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

2. ANTECEDENTES

De acuerdo al informe de la Sub-Gerencia de Defensa Civil de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, el 28 de mayo del presente año, ocurrió un deslizamiento en el lado oeste del vaso de la represa del dique Río Grande, en el terreno propiedad del señor Matías Cueva Castrejón, a 15 metros de su vivienda, observándose surgencia de agua en la masa movilizada.

Parte de la masa generada por el deslizamiento ingresó al vaso de agua del embalse Río Grande, disminuyendo su capacidad de almacenamiento.

3. ASPECTOS GENERALES

3.1. Ubicación y accesibilidad

El área de estudio está ubicada en el cerro sector Piedra Partida / Dique Río Grande – Caserío Cince las Vizcacha, lado oeste del embalse Río Grande, distrito y provincia Cajamarca en la región Cajamarca (figura 1), a 3310 m.s.n.m., en el ámbito de las coordenadas WGS84 – 17S: 771855.87 O; 9220758.41 N.

Se accede a la zona de estudio desde Cajamarca, mediante la carretera de dirección norte hacia Yanacocha, tomando el desvío rumbo al dique Río Grande.

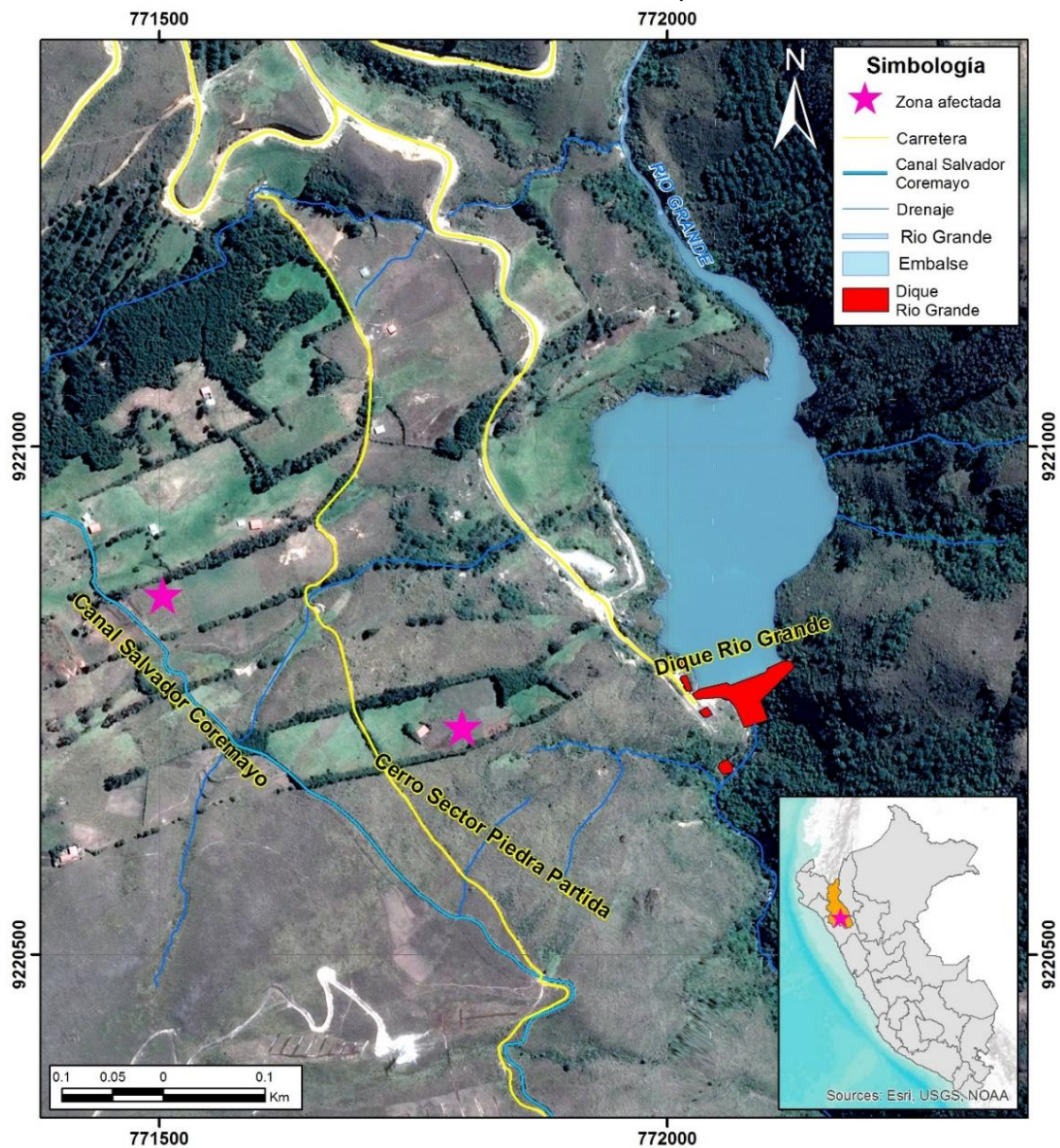


Figura 1. Ubicación de la zona evaluada.

3.2. Características de la zona de estudio

La zona afectada se encuentra en el flanco oeste del río Grande el cual fluye de norte a sur teniendo su origen en el cerro Quilish. Las aguas del río Grande son embalsadas por el dique del mismo nombre construido en el año 2004. Este dique fue inicialmente diseñado con la finalidad de controlar sedimentos. Sin embargo, en la actualidad sirve de almacenamiento de agua durante la época de lluvias (<http://www.yanacocha.com/diques-rio-grande-y-rio-rejo/>).

De acuerdo a la clasificación climática de Tornthwaite la zona tiene un clima semiseco, semifrío. Los datos de precipitaciones de la estación Porcón I, ubicada hacia el noroeste de Huanico (3120 m.s.n.m.), muestran precipitación acumulada anual es de 1559 mm.

La temperatura media anual registrada por esta misma estación, es de 9.6 °C. Cabe mencionar que los volúmenes de precipitación aumentan entre enero a marzo y decrecen básicamente de mayo a octubre, lo cual es coincidente con la estación de bajas temperaturas del invierno o estiajes. No obstante, las precipitaciones se pueden presentar como ligeras lluvias ocasionales de mayo a agosto (Sánchez & Vásquez, 2010).

En relación a los usos y cobertura vegetal, los terrenos de la ladera oeste aledaña al embalse Río Grande, son utilizados como pastizales con fines pecuarios y agrícolas.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Las geoformas predominantes están relacionadas a procesos de carácter tectónico-degradacional y denudacional, ubicadas en la unidad geomorfológica de relieve montañoso o colinado en rocas volcánicas, modelados por procesos denudacionales (Zavala & Rosado, 2010).

Relieve montañoso o colinado en rocas volcánicas, modelados por procesos denudacionales. Las geoformas o paisajes de este tipo destacan en el lado occidental y sur de la región Cajamarca. Los alineamientos montañosos presentan acumulaciones de materiales volcánicos del tipo de derrames lávicos, piroclásticos o intercalaciones de ambos, que muestran diversos grados de erosión.

La zona afectada se emplaza sobre una ladera de colinda en roca volcánica (foto 1), con una pendiente que varían entre 20° y 35° (figura 2) y una pendiente promedio de 30° (figura 3).



Foto 1. Relieve montañoso o colinado modelado en rocas volcánicas en el cerro sector Piedra Partida.

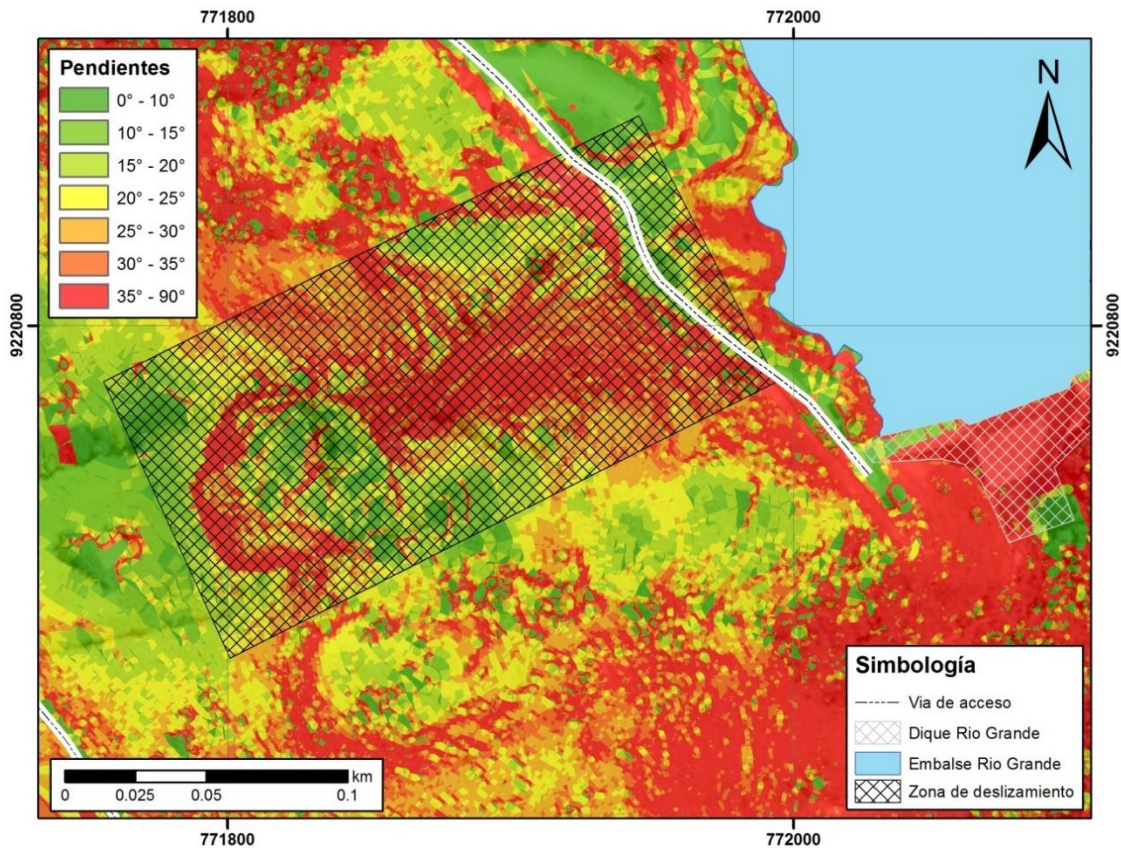


Figura 2. Mapa de pendientes. Generado a partir de topografía de detalle proporcionada por la División de Geotecnia de la Cia. Minera Yanacocha.



Figura 3. Pendiente promedio de la ladera de la zona deslizada.

5. ASPECTOS GEOLÓGICOS

Las unidades geológicas que constituyen la zona evaluada la conforman afloramientos volcánicos del Grupo Calipuy: Secuencia Volcánica Tual – Puruay y el Centro Volcánico Atazaico (Navarro, 2007) (figura 4).

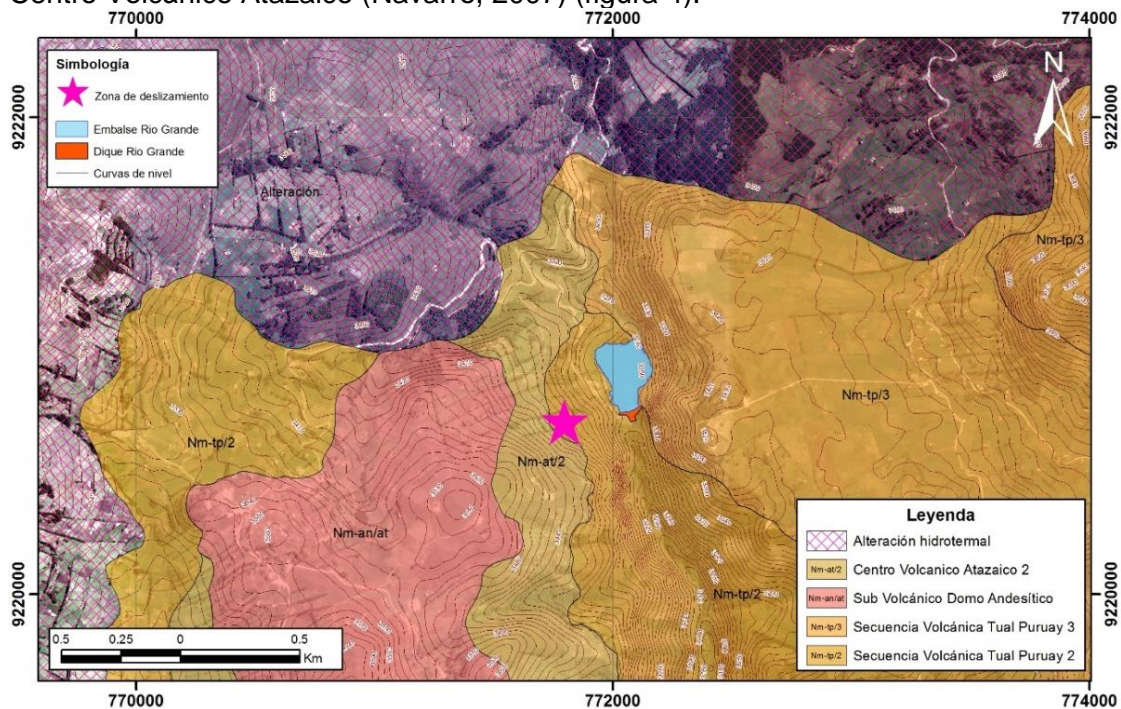


Figura 4. Mapa de geológico de la zona de estudio. Fuente: Navarro, 2007

Los afloramientos de la Secuencia Volcánica Tual – Puruay, que afloran en la zona de estudio, la conforman depósitos de flujos piroclásticos de pómez y cenizas, gris blanquecinas a rosáceas, ricos en cristales, de composición riolítica; se intercalan flujos de bloques y cenizas gris verdosos, fragmentos líticos andesíticos.

La roca se encuentra superficialmente muy meteorizada (figura 5), lo cual disminuye su calidad geotécnica. Estos materiales son susceptibles a la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa y peligros geohidrológicos (Gomez, 2017).

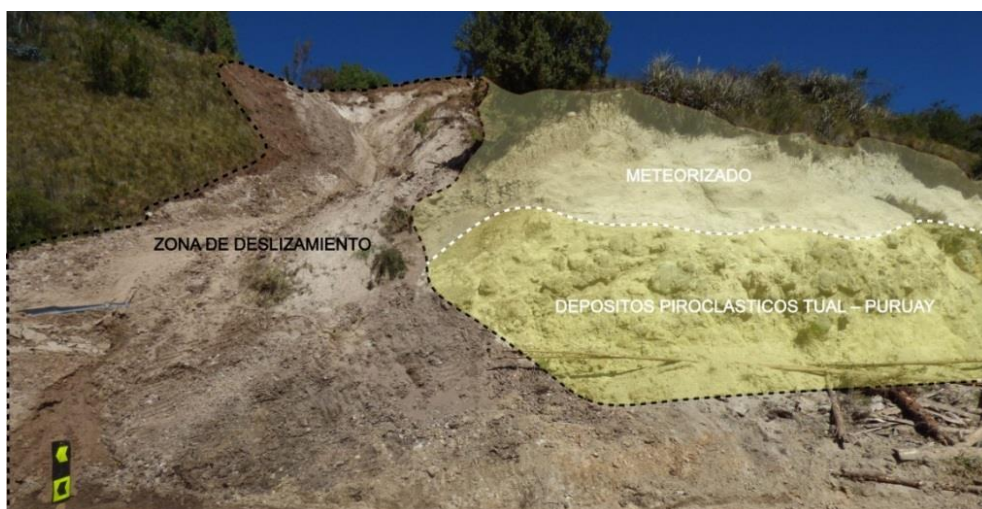


Figura 5. Zona meteorizada y niveles de suelo sobre Afloramiento de la Secuencia Volcánica Tual – Puruay, en talud del pie del deslizamiento.

6. PELIGROS GEOLÓGICOS

La zona de cerro sector Piedra Partida / Dique Río Grande no tiene registrada actividad geodinámica histórica, sin embargo, el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del INGEMMET (<http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>) y Zavala & Rosado (2010), muestran que la ladera oeste del embalse y dique Río Grande presenta susceptibilidad media.

Es importante mencionar que el canal Salvador Coremayo se encuentra en la parte alta de la ladera evaluada, este abastece el riego en los terrenos de la zona. Se encuentra revestido solo por cortos tramos, además en algunos sectores, el caudal excede su capacidad de conducción (foto 2).



Foto 2. Sector impermeabilizado de Canal Salvador Coremayo, rebalsando por exceso de agua.

Los trabajos de campo permitieron identificar zonas de deslizamientos, flujos y con procesos de reptación en la ladera oeste y flanco noroeste del embalse Río Grande (figura 6).

6.1. Deslizamientos y flujos

El **deslizamiento de tipo rotacional** (figura 7), se caracteriza porque su masa de desplazamiento se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava, la cabeza del movimiento deja un escarpe casi vertical, mientras que la superficie superior tiende a inclinarse hacia atrás en dirección al escarpe, típico de un deslizamiento rotacional. (PMA 2007), esto se observó en la zona inspeccionada.

El deslizamiento culminó como flujo de lodo y llegó a canalizarse por un drenaje natural (figura 6).

Los **flujos de tierra** son movimientos de tierra arcillosa plástica, este tipo es característico de rocas blandas meteorizadas y de materiales producto de la meteorización o erosión de estos depósitos, obedeciendo a un proceso de deformación plástica intermitente combinada con reptación interna, ayudada por fluctuaciones en la presión de poros, (Hungry *et al.*, 2001 en PMA 2007) saturados de agua. El evento ocurrido en el terreno del Sr. Alberto Herrera también muestra características de flujo no canalizado (PMA 2007) (figura 7).

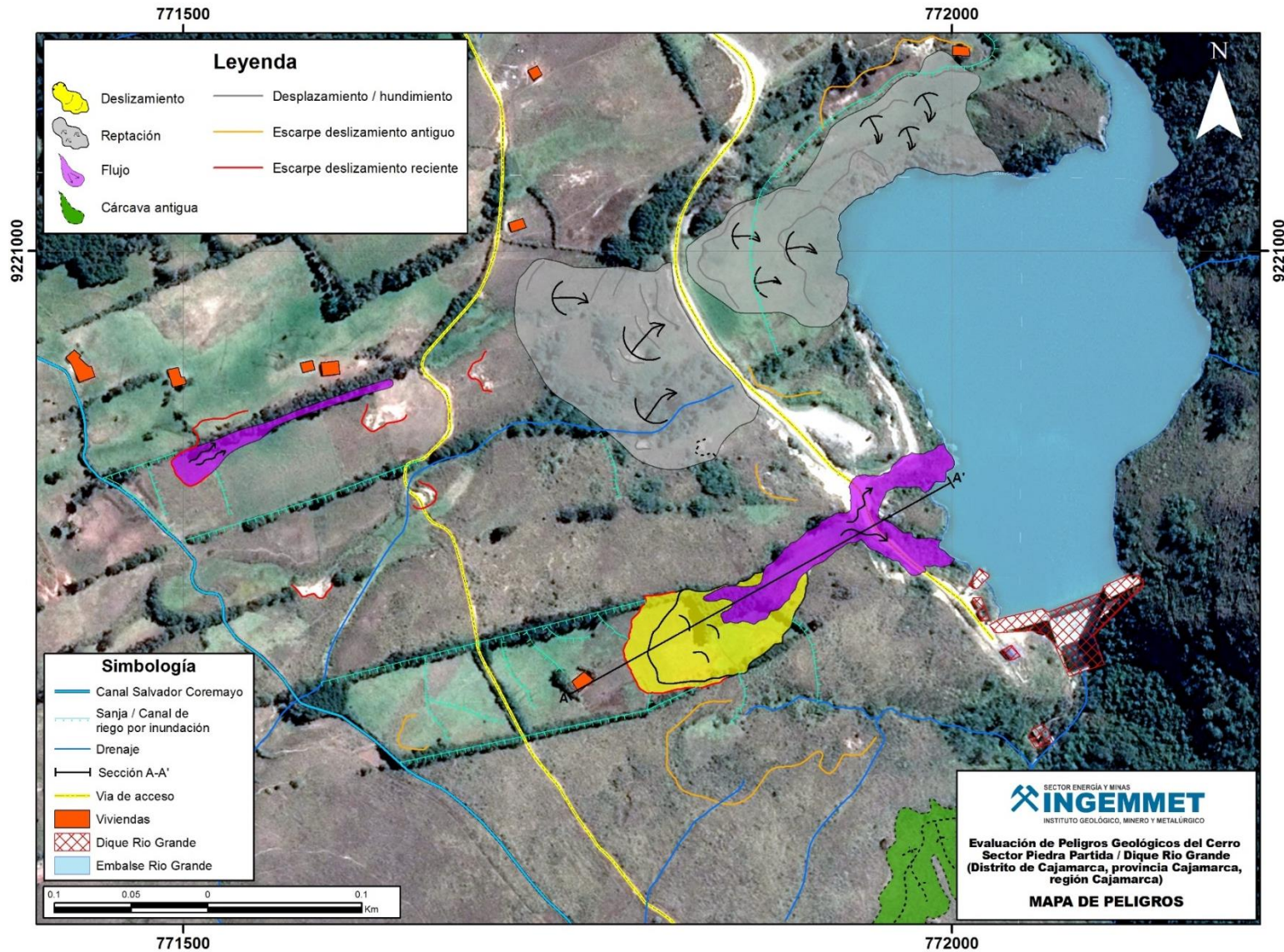


Figura 6. Mapa de peligros cerro Sector Piedra Partida / dique Río Grande.

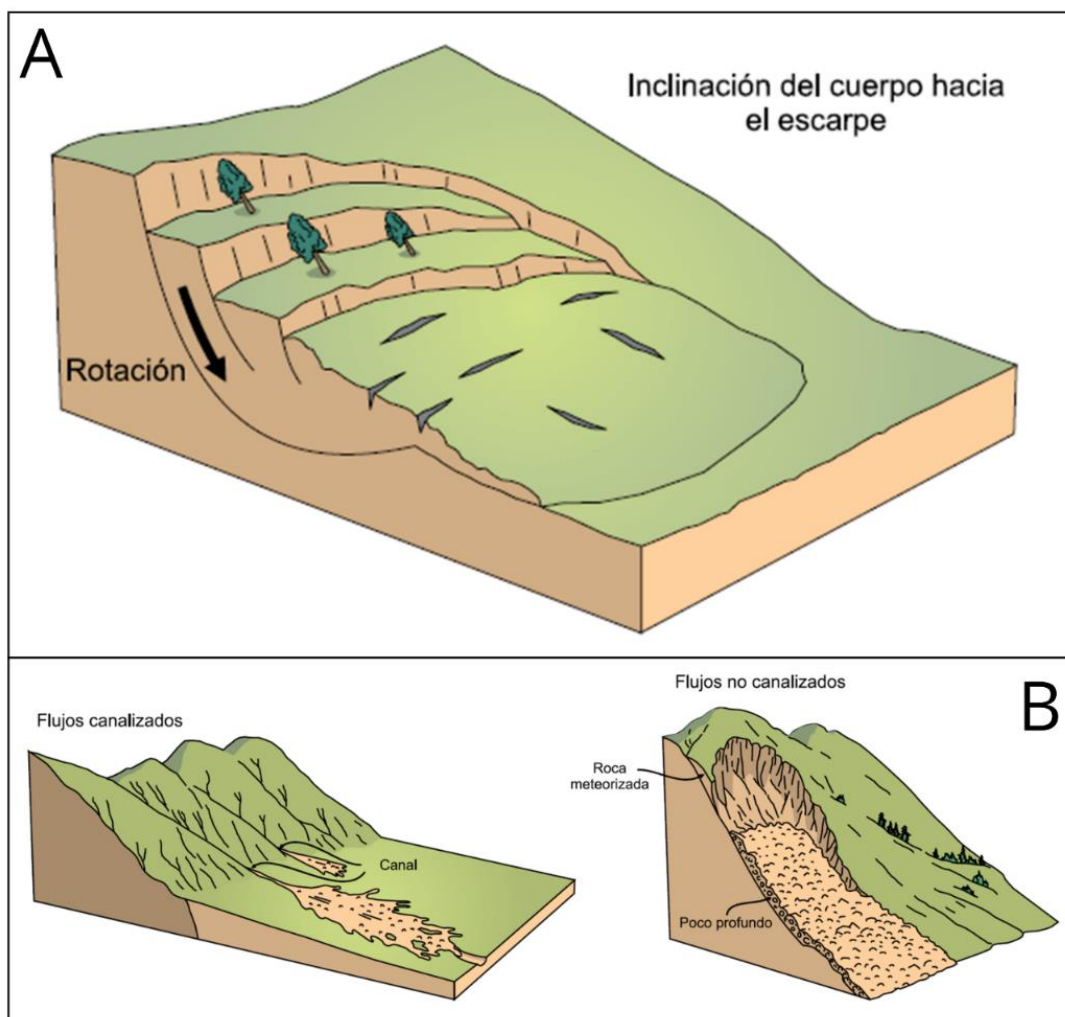


Figura 7. Esquemas deslizamiento rotacional (A), flujo canalizado y no canalizado (B), mostrando los rasgos morfológicos característicos (PMA 2007).

6.1.1 Sector Piedra Partida / Dique Río Grande

El día 18 de mayo del presente año, el cerro sector Piedra Partida, terreno del Sr. Matías Cueva Castrejón, colindante a la vía de acceso al dique Río Grande, fue deformado por un deslizamiento rotacional y posterior flujo (deslizamiento flujo) (figura 8).

El deslizamiento tiene una corona de aproximadamente 100 m, con un ancho de 65 m, escarpe principal de 15 m de salto y longitud estimada de 100 m (figura 9), se observan surgencias de agua en el lado izquierdo de la base del escarpe principal. La ladera donde ocurrió el evento tiene una pendiente de 30°.

El deslizamiento movilizó material rocoso meteorizado de la Secuencia Volcánica Tual – Puruay.

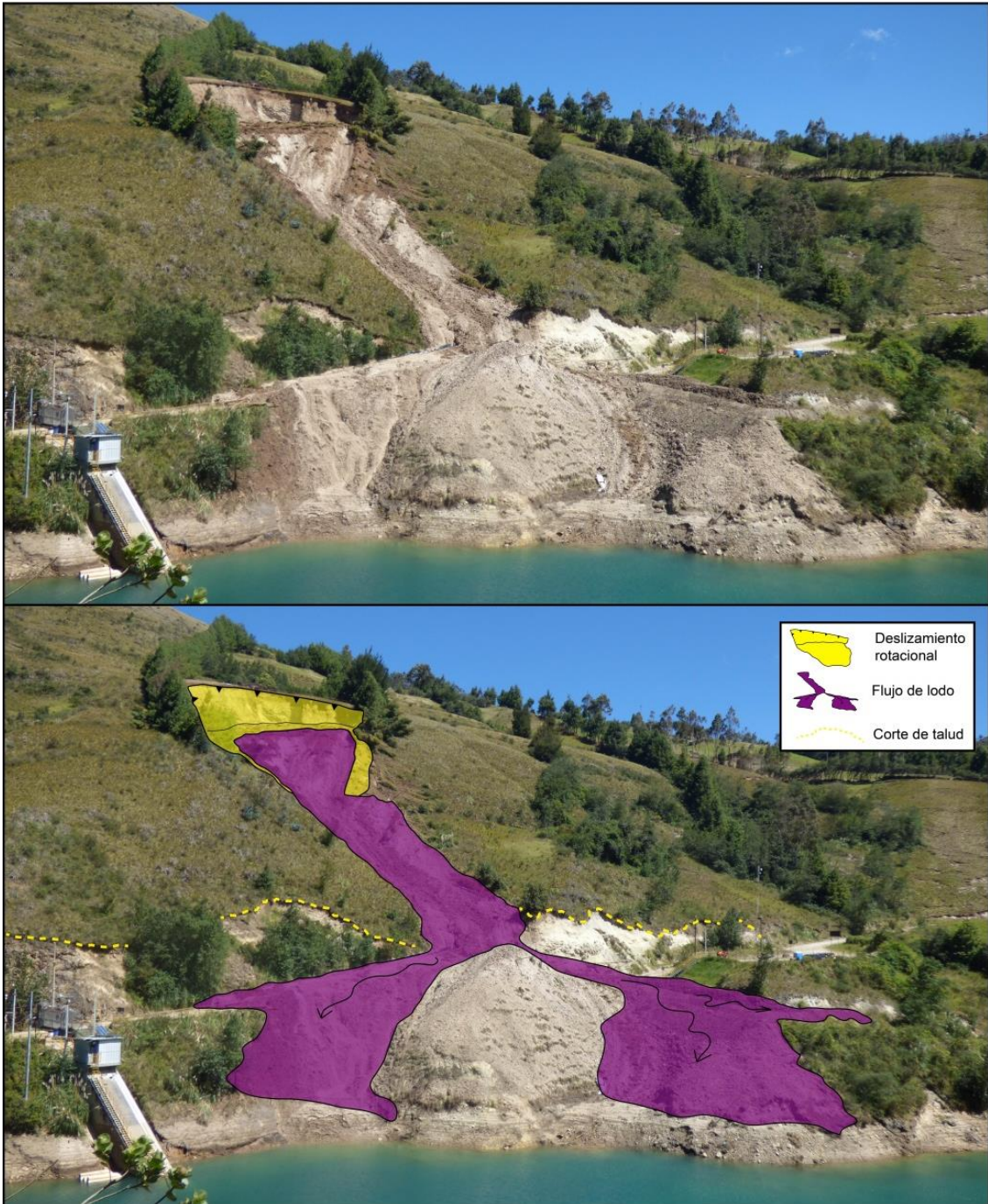


Figura 8. Deslizamiento y flujo en la margen derecha del embalse de Río Grande (foto inferior interpretada).

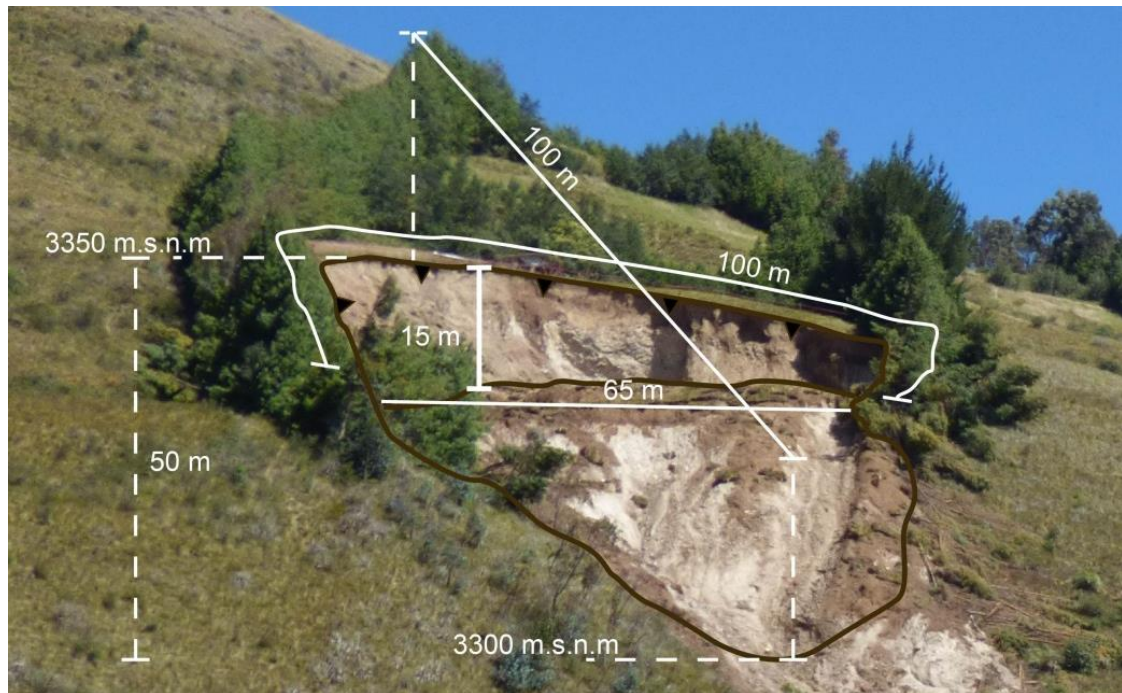


Figura 9. Dimensiones del deslizamiento.

Posteriormente, material del cuerpo, zona de acumulación y pie del deslizamiento, se desplazó como flujo de lodo ladera abajo, aprovechando y ensanchando un drenaje natural presente en la zona. La longitud estimada del flujo desde su zona de arranque es de 180 m. Se observó presencia de agua en la parte baja del canal del flujo. El flujo llenó la vía de acceso al dique Río Grande, transportando material hasta el embalse. Un afloramiento rocoso que se encuentra adyacente al embalse (figura 8), ladera debajo de la zona deslizada, dividió el flujo separando el material hacia sus lados. El perfil muestra características y dimensiones del evento (figura 10).

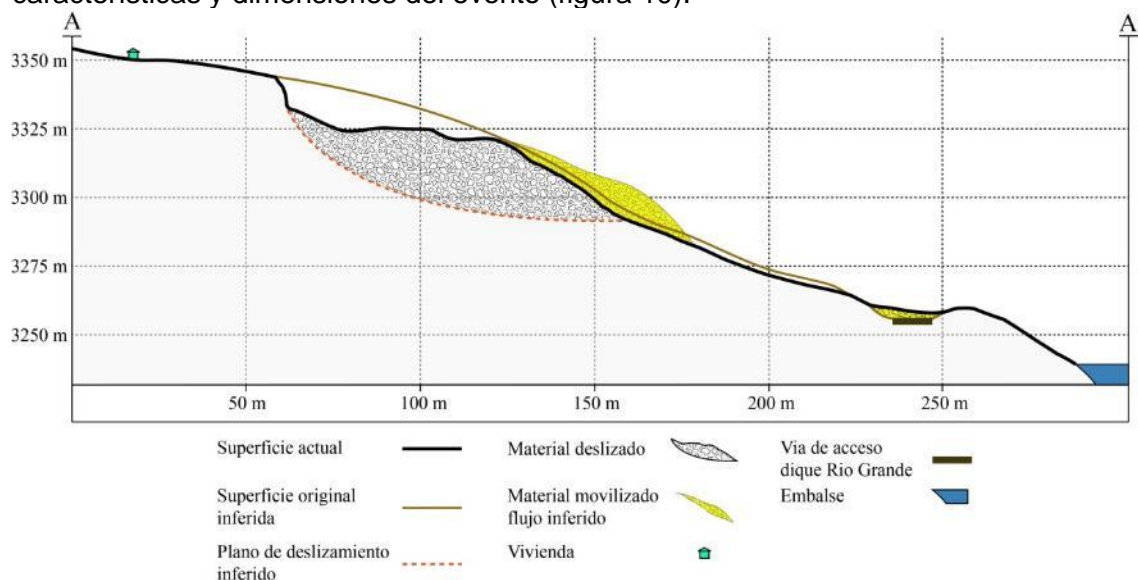


Figura 10. Sección transversal del deslizamiento de Río Grande.

Los trabajos de campo permitieron identificar canales rudimentarios cruzando el terreno del Sr. Matías Cueva Castrejón, además de canales entre los linderos de árboles, que captan agua del canal principal Salvador Coremayo. Dichos canales son utilizados para el riego (figuras 11 y 12). También se identificó un ojo de agua colindante al terreno, las

aguas de este manante se encuentran canalizada sin recubrimiento hacia zona deslizada.



Figura 11. Canal entre árboles de lindero.



Figura 12. Zanjas utilizadas para riego.

El análisis multitemporal de imágenes satelitales disponibles en Google Earth de los años 2005, 2009, 2014 y 2016 expone una zona de humedad presente en la parte baja del terreno del Sr. Matías Cueva Castrejón, del actual cuerpo del deslizamiento. Dicha zona podría encontrarse constantemente húmeda, por el desvío de agua proveniente del mamante colindante al terreno, los canales rudimentarios que confluyen en el lugar y la escorrentía natural (figura 13).

Las observaciones de campo no permitieron descartar la presencia de algún acuífero natural insitu.

Cabe mencionar que la ladera ubicada en el sector sur del terreno del Sr. Matías Cueva Castrejón y Dique Río Grande muestra procesos de erosión de laderas y deslizamientos

antiguos (figura 14), posiblemente relacionados a la presencia del ojo de agua y litología del lugar.

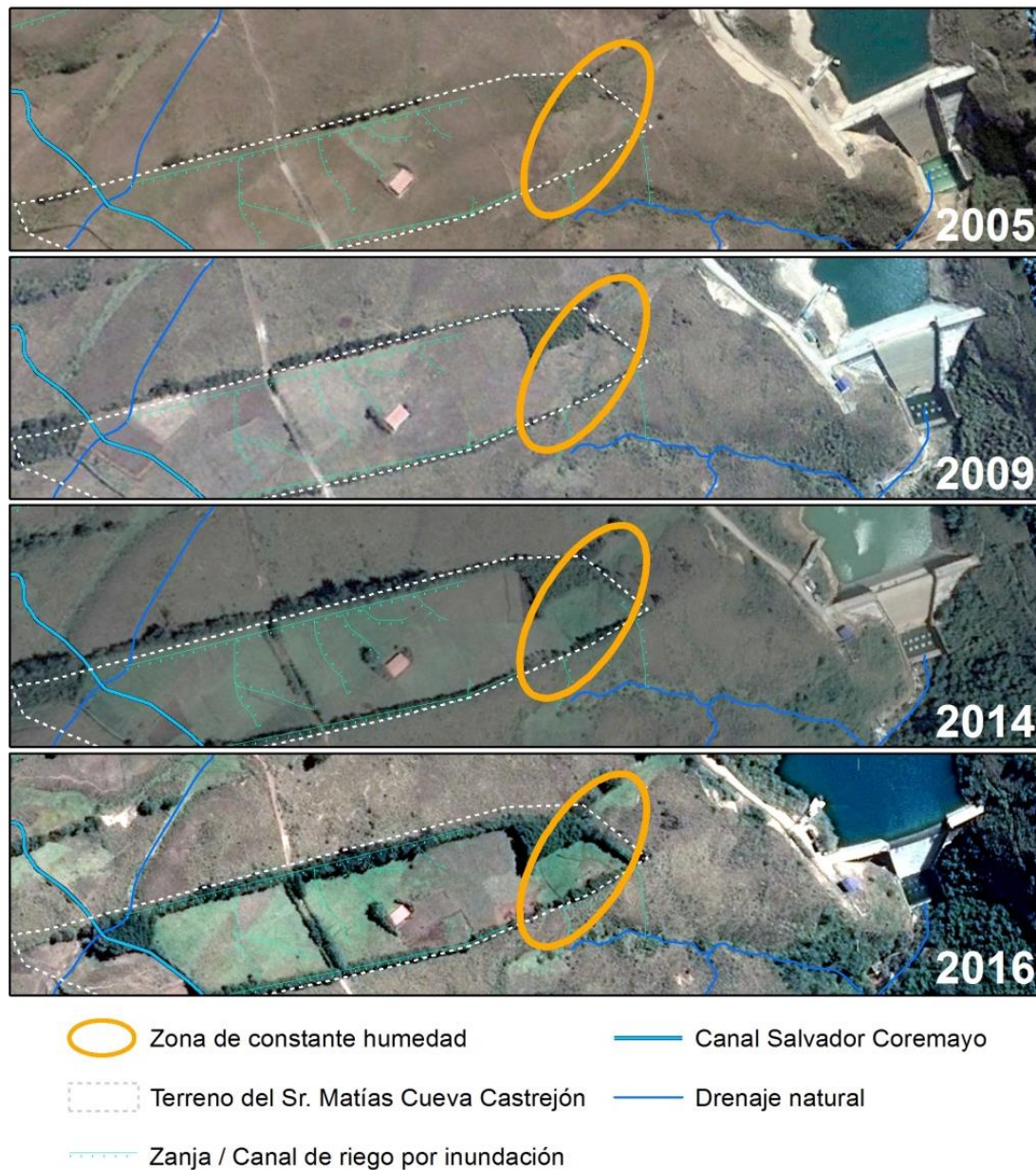


Figura 13. Imágenes multitemporales de Google Earth. Se observa la presencia de una zona húmeda en la parte baja de la zona deslizada.

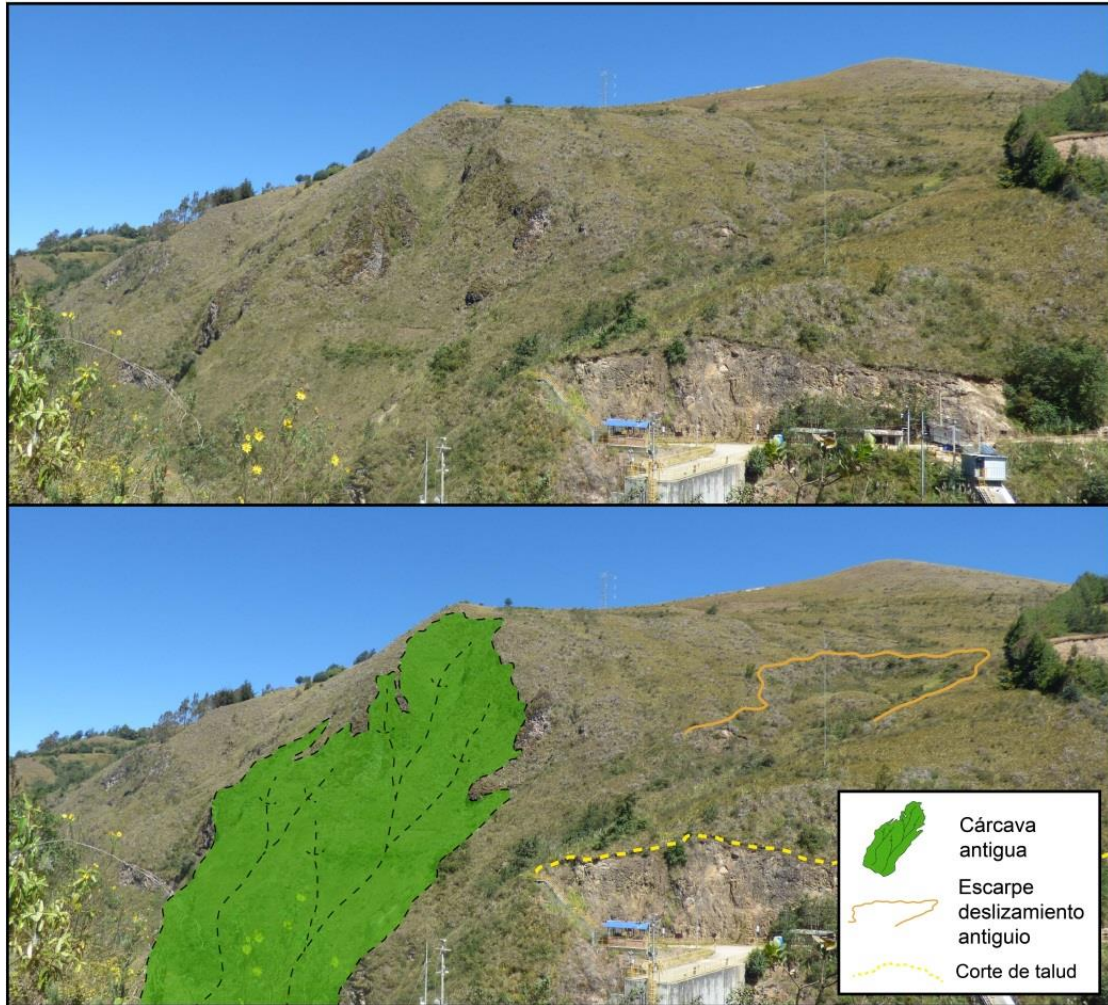


Figura 14. Cárcavas y deslizamiento antiguo en la ladera suroeste del dique Rio Grande (foto inferior interpretada).

De los trabajos de campo y análisis de datos se infiere que los factores condicionantes y detonantes de este movimiento en masa son:

Condicionantes:

- Suelos incompetentes, que permiten su saturación de agua, con ello aumento de peso.
- Substrato de roca volcánica altamente meteorizada.
- Presencia ojos de agua (puquiales) cercanos a la zona deslizada.
- Pendiente del terreno 30° a 35°.
- Morfología.
- Falta de recubrimiento y mala conservación del canal principal (Salvador Coremayo).

Detonantes:

- Infiltración de agua y saturación de terreno a consecuencia de inadecuadas prácticas de riego.
- Intensas precipitaciones pluviales.

6.1.2 Sector Terreno del Sr. Alberto Herrera (771501.41 O; 9220857.29 N)

La zona se ve afectada por un flujo de tierra que parte de una corona con altura de 2 m y 30 m de longitud (figura 15). El flujo se canalizó por el lado izquierdo del terreno, rozando el lindero de árboles, fluyendo 150 metros ladera abajo y disminuye su ancho hasta de 2 m. (figura 16). La zona presenta pendiente menor a 20°. El talud expuesto a causa del flujo, el suelo es de composición arcillo limosa. El substrato rocoso expuesto subyacente muestra estrías paralelas a la dirección del flujo. También es posible observar surgencias de agua en el lado izquierdo de la base del escarpe.

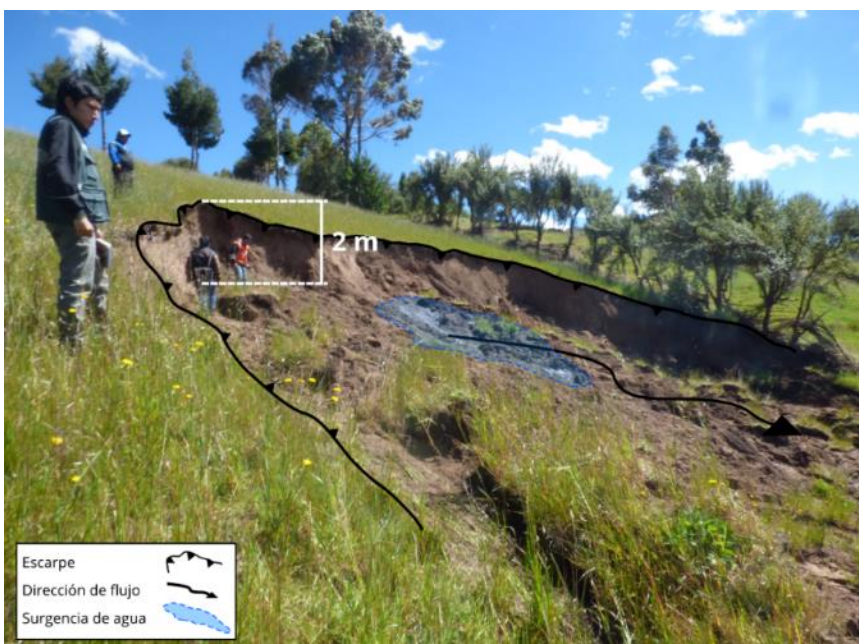


Figura 15: Flujo de tierra en el terreno del Sr. Alberto Herrera.



Figura 16: Alcance del flujo de tierra ladera abajo, en el terreno del Sr. Alberto Herrera (foto inferior interpretada).

En este sector se observó terrenos saturados de agua por las malas técnicas de irrigación (inundación).

A 40 metros ladera arriba de la zona de arranque del flujo, discurren las aguas del canal Salvador Coremayo, las cuales se utilizan para regar los terrenos de esta zona. La técnica de riego utilizada en las zonas de mayor pendiente es el riego por gravedad. Durante las observaciones de campo se pudo identificar pequeños canales de derivación cortando el canal principal (foto 3), los cuales se utilizan para su riego.



Foto 3. Pequeño canal derivando agua del canal Salvador Coremayo hacia el terreno afectado.

Cabe mencionar que el canal Salvador Coremayo está recubierto solo por cortos tramos, además el caudal excede su capacidad en algunos sectores. De acuerdo al Sr. Alberto Herrera, las mediciones de aforos realizados en este canal muestran una pérdida por infiltración de 18 l/s por segundo, en el tramo superior a su terreno y terrenos colindantes.

De los trabajos de campo y análisis de datos se infiere que los factores condicionantes y detonantes de este movimiento en masa son:

Condicionantes:

- Suelos incompetentes, que permiten su saturación de agua, con ello aumento de peso.
- Falta de recubrimiento y mala conservación del canal principal (Salvador Coremayo).
- Substrato de roca volcánica altamente meteorizada.
- Pendiente del terreno de 15 ° - 20°.
- Morfología.

Detonantes:

- Infiltración de agua y saturación de terreno a consecuencia de inadecuadas prácticas de riego.
- Intensas precipitaciones pluviales.

6.2. Reptación

Es un movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla, causada por cambios de volumen en capas superficiales, combinados con el movimiento lento del material ladera abajo (PMA 2007). La zona noroeste del embalse Río Grande presenta este tipo de fenómenos.

6.2.1 Sector Noroeste del Embalse Río Grande

En este sector se observan desplazamientos y zonas de hundimiento de forma semicircular paralelos al límite del embalse. Los desplazamientos varían de 0.5 a 1 m, con longitudes hasta de 30 m, presentándose como escarpes locales antiguos. Todo el sector muestra presencia humedad.

También se observan desplazamientos ladera arriba del trazo carretero, estos escarpes semicirculares coinciden con la dirección de inclinación de la ladera.

Estos eventos podrían estar relacionados a saturaciones de agua en el terreno, substrato meteorizado, morfología de un deslizamiento antiguo, escorrentía natural o variaciones del nivel freático.



Figura 16. Desplazamientos y hundimientos en el sector noroeste del embalse Río Grande (foto inferior interpretada).



Figura 17. Desplazamientos y hundimientos en la ladera noroeste de la vía de acceso al dique Río Grande (foto inferior interpretada).

6.3. Estado actual del deslizamiento del cerro sector Piedra Partida / Dique Río Grande

A la fecha de la inspección, el deslizamiento del cerro sector Piedra Partida / Dique Río Grande presentaba material colgado a 50 m por encima de la vía de acceso al Dique, con permanente surgencia de agua canalizada en la parte baja (figura 18).

De no ser estabilizado, este material podría generar nuevos flujos, que volverían a obstruir la vía de acceso las instalaciones de operación del dique Río Grande.

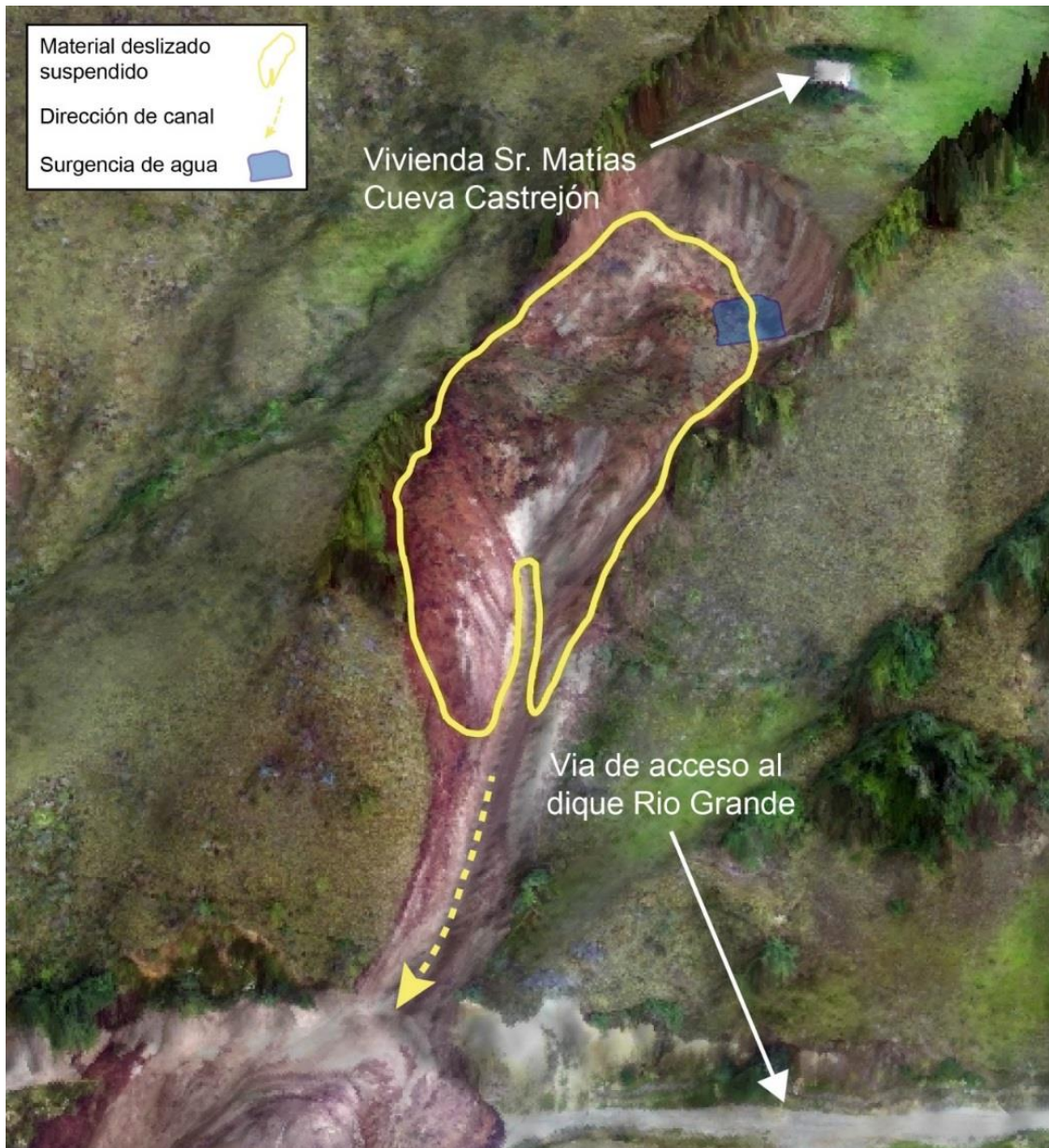


Figura 18. Vista 3D de material colgado del deslizamiento.

CONCLUSIONES

1. Geomorfológicamente la zona se caracteriza por presentar laderas con pendientes comprendidas entre 20° a 35°, en relieve montañoso o colinado en rocas volcánicas.
2. Se tienen afloramientos de depósitos de flujos piroclásticos del Grupo Calipuy, superficialmente muy meteorizados, generando suelos arcillosos.
3. El suelo se satura por las precipitaciones pluviales, malas prácticas de riego y filtraciones de agua. El canal Salvador Coremayo, el cual abastece el riego de los terrenos de la zona, se encuentra revestido solo por tramos y rebalsa por sectores. Lo cual permite la infiltración de agua al subsuelo.
4. La ladera oeste del embalse Río Grande presenta susceptibilidad media a ocurrencia de movimientos en masa. Los terrenos se usan como pastizales de fines pecuarios y terrenos de cultivo (alfalfa).
5. Los trabajos de campo permitieron identificar zonas de deslizamiento, flujos y procesos de reptación en la ladera oeste y flanco noroeste del embalse Río Grande.
6. El Sector Piedra Partida / Dique Río Grande, terreno del Sr. Matías Cueva Castrejón, presenta un deslizamiento rotacional y posterior flujo de lodo. El deslizamiento movilizó material de origen volcánico (meteorizado). Se observó surgencias de agua en el lado izquierdo de la base del escarpe principal. La zona aledaña al deslizamiento muestra evidencias de un deslizamiento antiguo y un ojo de agua que era derivado para el riego del terreno deslizado.
7. La interpretación de imágenes multitemporales de Google Earth, de los años 2005, 2009, 2014 y 2016 muestra una presencia de agua en la zona deslizada, en el Sector Piedra Partida / Dique Río Grande, terreno del Sr. Matías Cueva Castrejón
8. El deslizamiento y flujo afectaron el terreno de propiedad del Sr. Matías Cueva Castrejón y la vía de acceso al Dique Río Grande.
9. El terreno del Sr. Alberto Herrera presenta un flujo de tierra. El talud expuesto a causa del flujo, muestra procesos de meteorización y niveles de suelo de composición arcillo limosa. La zona expuesta muestra surgencias de agua. A 40 metros ladera arriba se encuentra el canal Salvador Coremayo el cual es derivado con pequeñas zanjas para regar estos terrenos. De acuerdo a versiones de los pobladores este canal estaría perdiendo agua 18 l/s por infiltraciones.
10. En el sector noroeste del embalse Río Grande se observó movimientos en masa de tipo reptación de suelos, con desplazamientos de forma semicircular paralelos al límite del embalse, con alturas que varían de 0.5 a 1 m, con longitudes hasta de 30 m. La causa principal es la humedad. Estos eventos podrían estar relacionados a saturaciones de agua en el terreno, substrato meteorizado, morfología de un deslizamiento antiguo, escorrentía natural, variaciones del nivel freático, intensas precipitaciones y mal uso del agua de regadío.
11. En la zona evaluada se tienen laderas con pendientes de 20° a 35° y condiciones geomecánicas de las secuencias volcánicas (substrato de mala calidad muy meteorizado, suelos potentes que cuando se saturan de agua se desestabilizan), favorables para la ocurrencia de peligros geológicos (carcavamiento) y movimientos en masa (deslizamientos, flujos y reptación).

12. El deslizamiento del Sector Piedra Partida / Dique Río Grande, afectó la vía de acceso al dique Río Grande, cubriendo un tramo con material del flujo subsecuente. No se observó daño en la estructura principal del dique.
13. Actualmente, en Sector Piedra Partida / Dique Río Grande, terreno del Sr. Matías Cueva Castrejón, se observó material colgado a 50 m por encima de la vía de acceso al Dique, con permanente surgencia de agua, y canalizada en la parte baja de la ladera. De no ser estabilizado, este material podría generar nuevos flujos, que volverían a obstruir la vía de acceso las instalaciones de operación del dique Río Grande.
14. Por las condiciones actuales, debido a la presencia de este material suspendido, así como por la evidencia de eventos antiguos colindantes, se considera como una **Zona Crítica en Peligro Inminente de muy Alto Peligro por movimientos en masa**, principalmente con la presencia de lluvias periódicas.

RECOMENDACIONES

I. Para el Sector Piedra Partida / Dique Río Grande / Terreno Sr. Matías Cueva Castrejón

1. Delimitar y restringir el acceso a la zona deslizada con cintas de seguridad. Además, se recomienda al Sr. Matías Cueva Castrejón no pernoctar en su vivienda.
2. La vivienda ubicada a 25 m ladera arriba de la zona deslizada, no debe ser habitada hasta terminada la correcta estabilización del deslizamiento. De generarse un avance retrogresivo rápido del deslizamiento, deberá ser reubicada.
3. Inhabilitar los canales rudimentarios y restringir el riego en los terrenos de cultivo, hasta estabilizar el deslizamiento. Una vez estabilizado el deslizamiento se podrá usar riego tecnificado, de preferencia usar cultivos que no necesiten mucha agua.
4. Impermeabilizar (con geomalla, entubado u otros) el tramo del Canal Salvador Coremayo, ubicado ladera arriba de la zona deslizada, para prevenir la posible infiltración de agua.
5. Drenar el agua de la surgencia presente en el cuerpo del deslizamiento mediante un sistema de drenaje tipo Espina de Pescado (u otros), este sistema conduce las aguas colectadas fuera del material inestable, también puede utilizarse para evacuar el agua que se acumula y evitar la formación de un ojo de agua temporal. Esta medida debe ser complementada con la construcción de banquetas en el cuerpo del deslizamiento suspendido.
6. Construir un canal de coronación en la parte superior al deslizamiento, para impedir la infiltración de aguas de escorrentía superficial y pluviales hacia el cuerpo del deslizamiento.
7. Retirar el material del deslizamiento que ocupa la vía de acceso al dique Río Grande.
8. Considerar el diseño y soluciones geotécnicas para los trabajos de estabilización del deslizamiento. Estos deben ser ejecutados por profesionales con conocimiento y experiencia en el tema.

9. Implementar un sistema de monitoreo de la zona deslizada (fuera y encima del cuerpo de deslizamiento) y laderas colindantes, que permita conocer si existe mayor deformación e inestabilidad en el sector. Puede ser visual, topográfico y de ser posible instrumental.
10. Para prevenir futuros eventos geodinámicos es recomendable arborizar la zona afectada e inmediaciones, no permitir el riego por inundación (gravedad).

II. Para el Terreno del Sr. Alberto Herrera (17L - 771501.41 O; 9220857.29 N)

1. Delimitar y restringir el acceso a la zona deslizada con cintas de seguridad.
2. Inhabilitar los canales rudimentarios y restringir toda práctica de riego en la zona deslizada e inmediaciones, para evitar mayor inestabilidad. Utilizar solo riego tecnificado, de preferencia para cultivos que no necesiten mucha agua.
3. Impermeabilizar (con geomalla, entubado u otros) el tramo del Canal Salvador Coremayo, ubicado ladera arriba de la zona deslizada y adyacentes, para prevenir la infiltración de agua.
4. Drenar el agua de la surgencia presente en el cuerpo del deslizamiento mediante un sistema de drenaje tipo espina de pescado, este sistema conduce las aguas colectadas fuera del material inestable.
5. Construir un canal de coronación en la parte superior de la zona deslizada, para impedir la infiltración de aguas de escorrentías superficiales y pluviales hacia el material movilizado.
6. De presentarse indicios de actividad geodinámica (grietas o desplazamientos) en el terreno colindante al flujo, se procederá a la reubicación de las viviendas que se encuentran ladera abajo.
7. Implementar un sistema de monitoreo de la zona afectada y laderas colindantes, que permita conocer si existe mayor deformación e inestabilidad en el sector. Este puede estar constituido por estacas de madera o varillas de fierro, las cuales deben estar colocadas tanto dentro de la zona inestable e inmediaciones, como también en una zona estable (fuera de la zona de flujo), realizándose medidas de la distancia entre estacas, cada cierto tiempo, aumentando la frecuencia de medidas durante periodos de lluvia. De detectarse movimientos rápidos, se informará a los habitantes de las viviendas cercanas para que pueda realizar la evacuación.

III. Sector noroeste del embalse Río Grande

1. Implementar un sistema de monitoreo de la zona y laderas colindantes, que permita conocer si existe mayor deformación e inestabilidad en el sector. Puede ser visual, topográfico y de ser posible instrumental. De detectarse movimientos rápidos, se informará a los habitantes para que pueda realizar la evacuación.

IV. Generales

1. Realizar estudios de estabilidad de taludes de la ladera oeste del embalse y dique Río Grande con el fin prevenir futuros eventos geodinámicos en esta zona.

2. Realizar estudios geofísicos y geotécnicos en la ladera oeste del Dique y embalse Río Grande, con el fin de conocer los niveles de suelo, capas de agua y potencia de material meteorizado.
3. Realizar estudios hidrogeológicos para conocer el comportamiento de las aguas subterráneas y la variación de los niveles freáticos circundantes al embalse Río Grande, priorizando las zonas que presentan actividad geodinámica. Estos trabajos servirían para determinar si es necesario impermeabilizar el embalse.
4. Ampliar la capacidad y revestir el canal Salvador Coremayo.
5. Capacitar y concientizar a la población sobre adecuadas técnicas de riego relacionadas con las actividades locales.
6. Prohibir el riego por gravedad e implementar sistemas de riego tecnificado más adecuados (aspersión o goteo entre otros), para no degradar los terrenos de las inmediaciones del embalse y Dique Río Grande
7. Evaluar conjuntamente con las instituciones competentes, pobladores y entes involucrados, el cambio de tipo de cultivo (pasto o alfalfa), por siembras que requieran poca agua, en las laderas adyacentes al embalse.
8. Arborizar o forestar con plantas autóctonas, las zonas afectadas por actividad geodinámica y sus inmediaciones, para estabilizar y detener el avance de estos eventos.
9. Dada la importancia del embalse y dique Río Grande, para el abastecimiento de agua de la ciudad de Cajamarca, debe evaluarse, conjuntamente con las instituciones competentes, pobladores y entes involucrados, la futura arborización o forestación con plantas autóctonas de las laderas circundantes al embalse, como se observa en la ladera este, que no muestra actividad geodinámica reciente. Esta medida ayudaría a prevenir la degradación del terreno y la generación de eventos geodinámicos de mayor magnitud, que puedan afectar el dique y embalse Río Grande.

REFERENCIAS

- Gómez, D. (2017) - Peligros por deslizamiento en el sector de Lluscapampa. INGEMMET, Informe Técnico, Geología Ambiental y Riesgos Geológicos Pag. 23
- <http://www.yanacocha.com/diques-rio-grande-y-rio-rejo>
- Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M., y Hutchinson, J.N., (2001) - Review of the classification of landslides of the flow type: Environmental and Engineering Geoscience, v. 7, p. 22–238.
- Navarro, P. (2007) - Mapa geológico del cuadrángulo de Cajamarca, Hoja 15-f-I, 1 : 50 000. INGEMMET, Dirección de Geología Regional, Carta geológica Nacional.
- 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.
- Sánchez A. & Vásquez C. (2010) - Mapa Climático Departamento de Cajamarca. Gobierno Regional de Cajamarca, ZEE-OT, 33 p.
- Zavala, B. & Rosado, M. (2010) - Riesgo geológico en la región Cajamarca. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 44, 396 p., 19 mapas.