



ESTUDIO DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA EN LA COMUNIDAD DE RECORD CCONCCACCA

Distrito de Progreso, Provincia de Grau, Región Apurímac

Lima - Perú
Noviembre, 2019

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipión

Autor

Isabel Bernal y Fabiola Rosado

Personal de apoyo: Liliana Torres

Jorge Salas

Personal Logística: Robert Yupanqui

Personal administrativo: Marisol Enríquez

Este informe ha sido producido por:

Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz 169 Mayorazgo, IV Etapa – Ate

Teléfono (511)3172300

RESUMEN

A fin de determinar el nivel freático bajo el suelo de la comunidad de Record Cconccacca (región Apurímac), se aplicó el método de tomografía eléctrica y los resultados obtenidos, evidencian la existencia de un alto nivel freático que fluctúa entre los 5 y 60 metros de profundidad. Estas capas freáticas afectarían directamente a los suelos sobre el cual se encuentran las instituciones educativas de inicial, primaria y secundaria, llegando a generar la inestabilidad del terreno y, por lo tanto, incrementar la probabilidad de producirse deslizamientos en las zonas altas.

INDICE

RESUMEN

1.- INTRODUCCIÓN

2.-OBJETIVOS

3.-MARCO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

4.- METODOLOGÍA

4.1.- Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

5.- DATOS E INTERPRETACIÓN

5.1.- Adquisición de datos

5.2.- Procesamiento

5.3.- Interpretación

6.- RESULTADOS

7.-DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXO: Perfiles de tomografía de resistividad eléctrica

1.- INTRODUCCIÓN

La comunidad de Record - Cconccacca, ubicada en el distrito de Progreso, provincia de Grau en la región Apurímac (Figura 1), concentra a diversas Instituciones educativas (I.E.S. Juan Velasco Alvarado, I.E.P. N° 54414 y la I.E.I N°181), con la presencia de más de 200 alumnos y 20 docentes. En este escenario, las intensas precipitaciones que generalmente ocurren en este sector, entre los meses de septiembre a abril, tienden a incrementar la ocurrencia de deslizamientos en el cerro Sama; tal como ocurrió el 17 de marzo del 2018, y cuyo deslizamiento ocasionó daños en la infraestructura de la I.E. Juan Velasco Alvarado.

En general, los deslizamientos de tierra, se producen principalmente, por sacudimientos del suelo producido por sismos y por la saturación del terreno, construcción de obras en laderas o terrenos con pendiente, vibraciones producidas por explosiones o maquinarias y la desforestación. Para poder evitarlos o mitigarlos es indispensable comprender su origen y para ello, el primer paso es conocer el nivel freático y/o saturación del suelo utilizando métodos geofísicos de tomografía eléctrica.

Se ha realizado el estudio geofísico de tomografía eléctrica del suelo, en la comunidad de Record (Cconccacca), para conocer sus características físicas asociadas a la presencia de capas freáticas en el subsuelo.

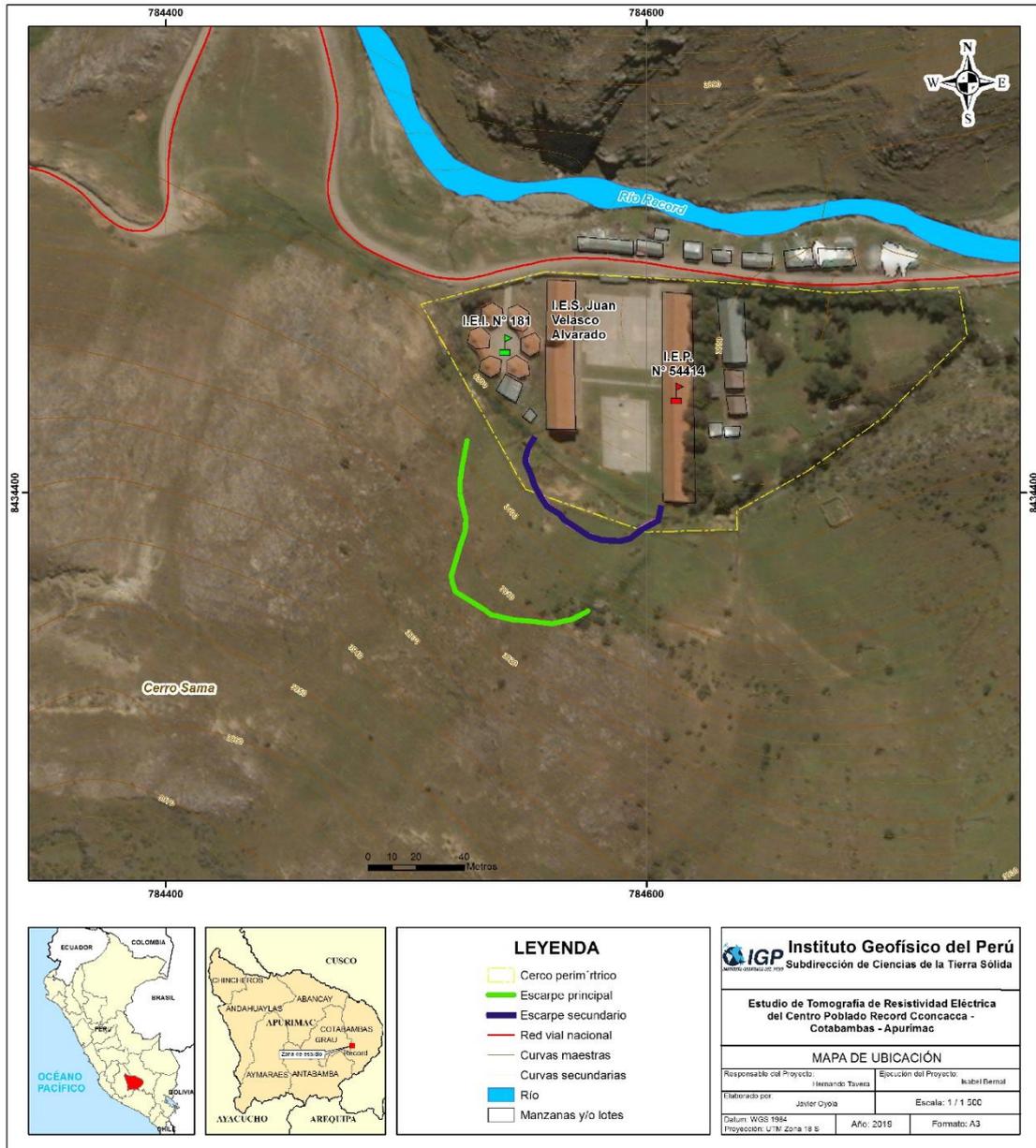


Figura 1. Mapa de ubicación de las zonas de estudio.

2.- OBJETIVOS

El presente estudio tiene como objetivos identificar los niveles de profundidad en los cuales se encuentra el nivel freático y/o nivel de saturación del suelo en la comunidad de Record, Cconccacca; ubicada en el distrito de Progreso, provincia de Grau (región Apurímac). Para ello, se ha aplicado el método geofísico de Tomografía Eléctrica – 2D. Los resultados a obtenerse deben ser considerados por las autoridades en acciones de gestión del riesgo.

3.- MARCO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

Geológicamente, en el área de estudio se tiene el predominio de rocas sedimentarias y volcánicas, constituidas por arenas cuarzosas intercaladas de lutitas, tobas y clastos subangulosos. En la ladera del cerro Sama, se observa afloramientos rocosos y hacia la zona baja del mismo se tiene el predominio de depósitos aluviales constituidos por arenisca, limos, arcillas y material proveniente de la erosión de las rocas debido a la dinámica del flujo hídrico que domina en la zona.

Geomorfológicamente, la comunidad de Record se emplaza en la zona baja de la ladera de cerros donde muestra paquetes de rocas bastante fracturadas y diaclasadas, con pendientes que varían de 25° a 40°. Asimismo, se observan la presencia de terrazas fluvio-aluviales próximas al río Record, constituidas por gravas, arenas gruesas y un estrato altamente poroso que deja fluir el agua que proviene de la parte alta de la montaña, hacia el lecho fluvial (IGP, 2019).

Tectónicamente, próximo a la zona de estudio se evidencia la presencia de trazas de fallas que su mayoría tienen una orientación NO-SE y E-O, como la falla Record (Figura 2), incrementando el riesgo sísmico de la zona.

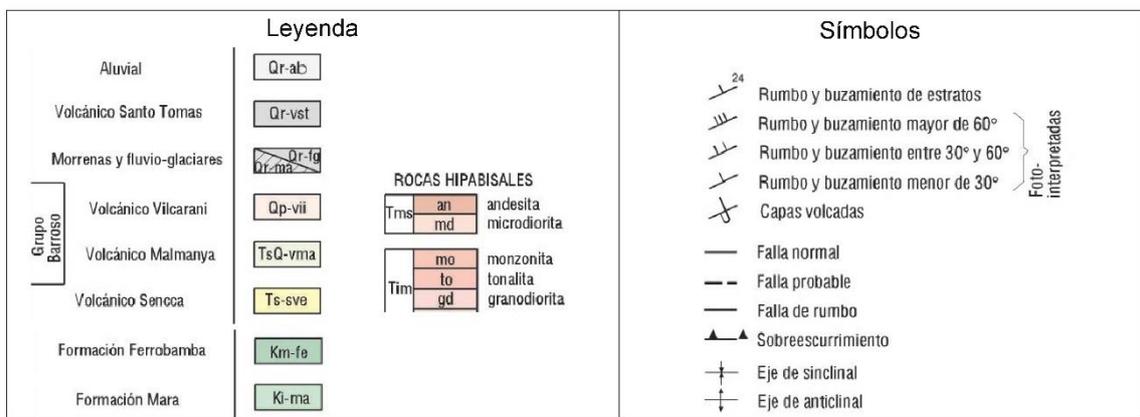
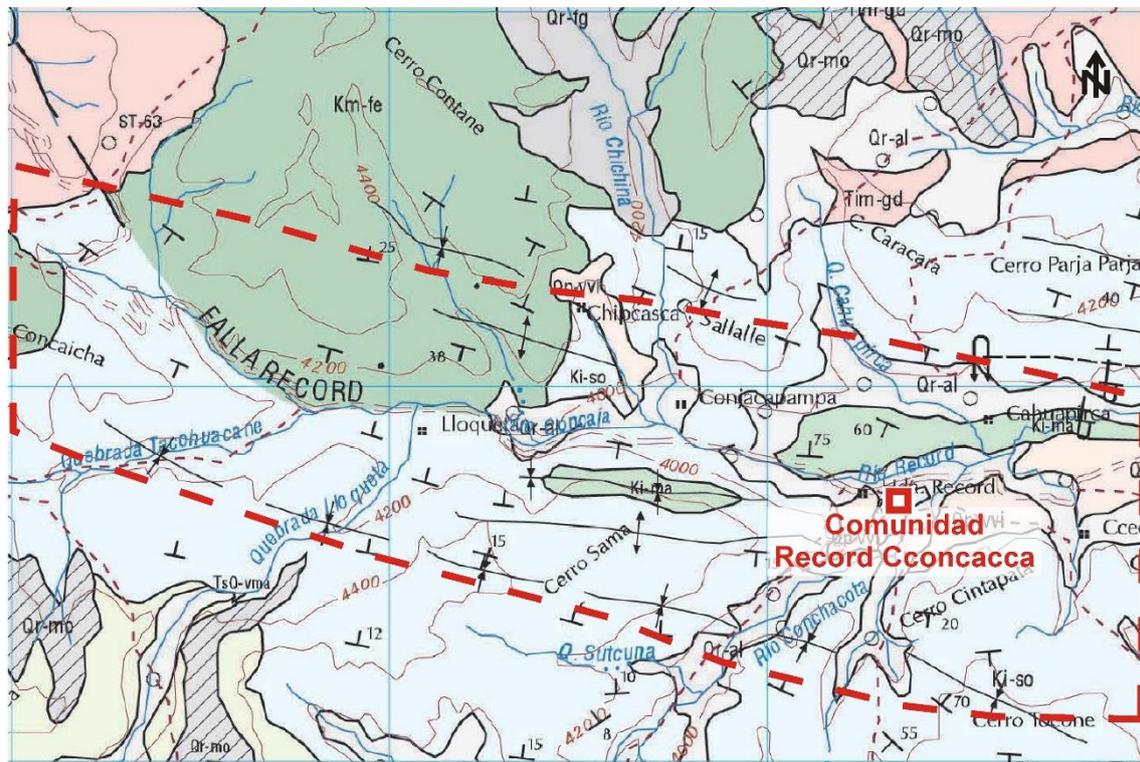


Figura 2. Mapa geológico y tectónico. Próximo a la comunidad de Record (Extremo Oeste) se observa la presencia de la falla Record.

4.- METODOLOGÍA

La caracterización física del subsuelo, depende de la estructura y de la distribución de las diferentes capas en el subsuelo, y ella puede ser conocida a partir de su estratigrafía, geología y geomorfología superficial. Sin embargo, su dinámica puede ser conocida a partir de la aplicación de métodos geofísicos y así, identificar la presencia de suelos blandos y la presencia de niveles freáticos y/o contenido de agua, lo que hace a los suelos excepcionalmente flexibles ante la ocurrencia de lluvias y sismos, los cuales pueden deslizarse. Uno de los ensayos geofísicos que permite conocer la presencia de capas freáticas, es la tomografía eléctrica.

4.1- Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

Es una técnica geofísica aplicada a la ingeniería y en exploración de recursos naturales ya que permite determinar las variaciones de resistividad y conductividad eléctrica de las rocas y suelos. En general, los materiales que conforman el subsuelo muestran ciertos rangos de valores de resistividad (ρ) que dependen de su composición y su contenido de agua o de sales disueltas y presentes en las fracturas de las rocas o en la porosidad del suelo, ellas responderían de manera anómala al paso de la corriente eléctrica. El método de Tomografía Eléctrica es una técnica multielectródica, y su base teórica de su funcionamiento es análoga al de los métodos convencionales de resistividad (tetraelectródica), ver Figura 3. Actualmente, existen diferentes dispositivos eléctricos para la toma de datos en campo y en el presente estudio, se usó el dispositivo Polo-Dipolo.

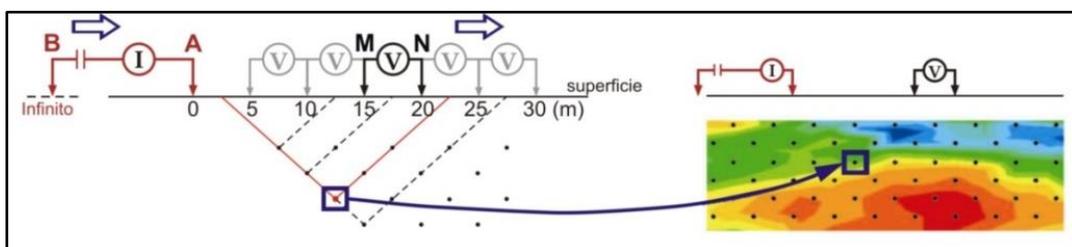


Figura 3. Representación simplificada de la técnica de tomografía de resistividad eléctrica para un arreglo polo-dipolo (Chávez et al., 2011).

5.- DATOS E INTERPRETACIÓN

En la comunidad de Record - Cconccacca, los datos recolectados en campo corresponden al registro de valores de resistividad obtenidos en 6 líneas de tomografía, distribuidas de manera equidistante sobre toda el área de estudio, ver Figura 4.

5.1.- Adquisición de datos

Para la adquisición de los datos de resistividad se utilizó el equipo de Resistividad/IP Syscal Pro de marca Iris Instruments y accesorios (cables multipolar, electrodos, combas, etc.). Los parámetros utilizados para el registro de los datos de resistividad se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1: Consideraciones para el registro de datos.

TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA				
Nombre de la Línea Eléctrica	Separación entre electrodos Número de Electrodo	Extensión de la línea (m)	Profundidad de investigación (m)	Orientación de la línea
LE01 -RD	20 m / 22 electrodos	400 m	80 m	NO -SE
LE02- RD	20 m / 22 electrodos	400 m	80 m	NO -SE
LE03- RD	20 m / 21 electrodos	380 m	80 m	SO - NE
LE04- RD	20 m / 20 electrodos	360 m	80 m	SO - NE
LE05- RD	20 m / 16 electrodos	280 m	80 m	SO - NE
LE06- RD	20 m / 16 electrodos	280 m	80 m	NO -SE

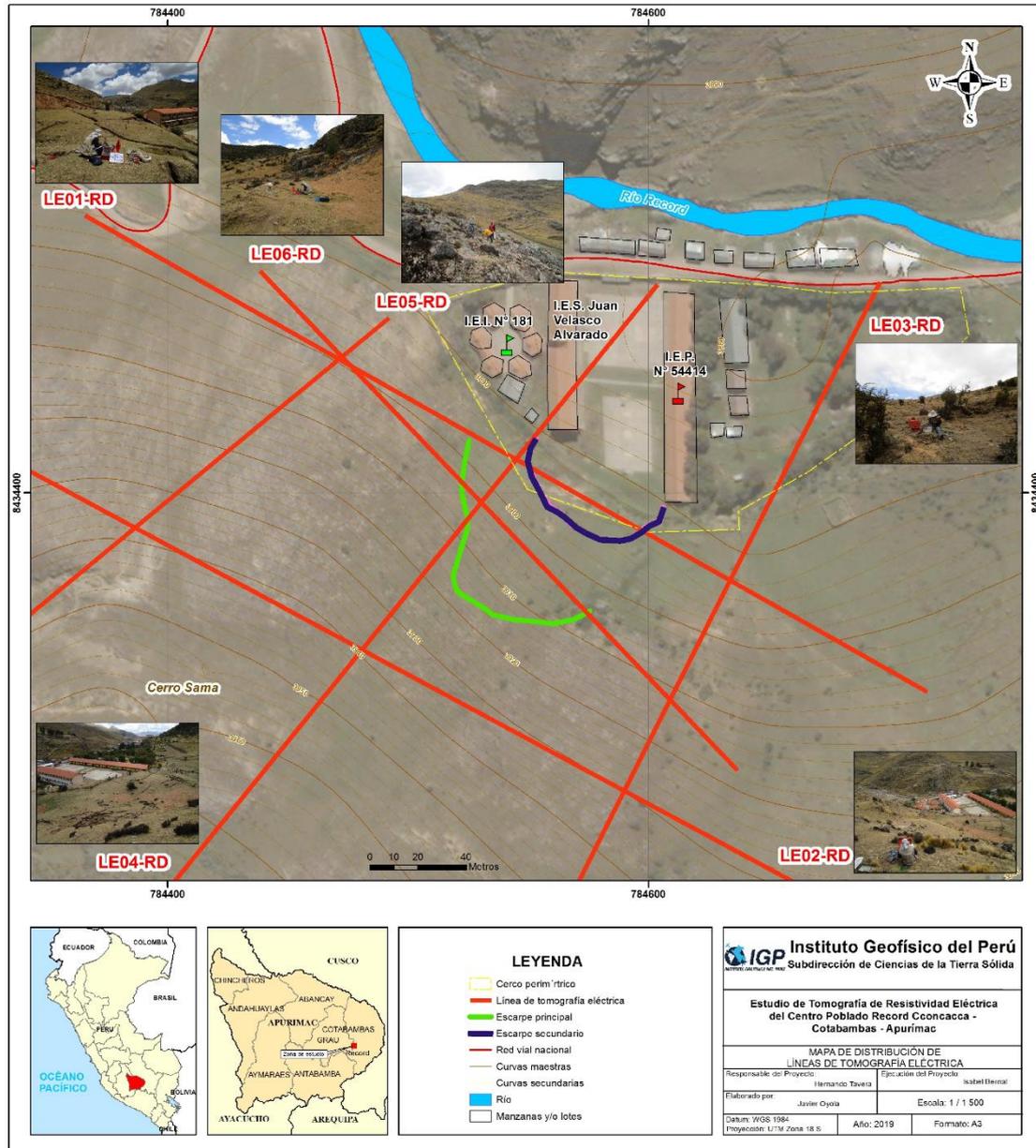


Figura 4. Distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica realizadas en el área de estudio.

La orientación de los equipos y los tendidos para la adquisición de los datos fueron orientados en dirección paralela y perpendicular al escarpe del deslizamiento, alcanzando en algunos casos longitudes de hasta 400 metros, desde la carretera principal que cruza la comunidad de Record (Figura 5).

Durante la adquisición de datos, en cada inducción de corriente se realiza las lecturas de diferencia de potencial entre los valores obtenidos en estaciones que se ubican posteriores a otros puntos de emisión. Durante la toma de datos, en todo momento, mediante la unidad central se verificó que todas las conexiones funcionen correctamente, y que la resistividad entre electrodo–suelo sea lo suficientemente baja, para garantizar buenos registros. Asimismo, se realiza un testeo de la respuesta del suelo y se evalúa con que voltaje se obtendrá respuestas confiables del suelo.

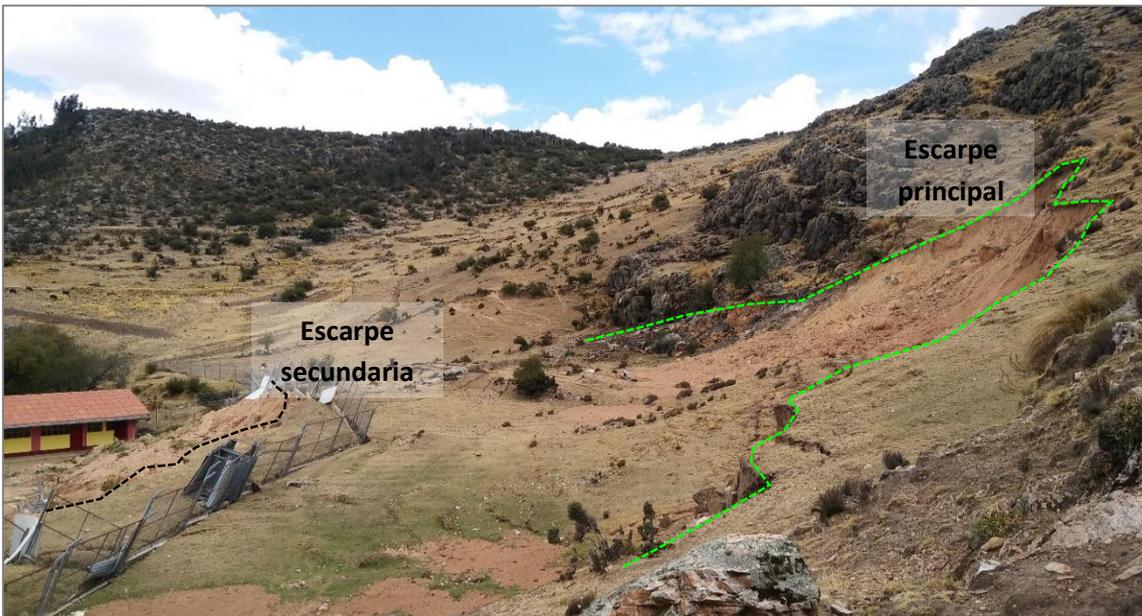


Figura 5. Vista de los escarpes del deslizamiento y la disposición de los equipos para la adquisición de datos de resistividad.

5.2.- Procesamiento

Para realizar el procesamiento de los datos recolectados en el campo, se procede a seleccionar los datos de mejor calidad sin presencia de ruidos que pueda alterar los resultados a obtenerse. Seguidamente, la información obtenida fue corregida por efectos de topografía usando algoritmos de inversión de datos geo eléctricos y de procesamiento de imágenes.

5.3.- Interpretación

Para realizar la interpretación de información obtenida, se debe tener en cuenta que son varios los factores que influyen en caracterizar los suelos (grado de saturación, porosidad y forma del poro, salinidad del fluido, tipo y composición de la roca, temperatura, procesos geológicos que afectan a los materiales); es decir, el incremento de fluidos en el terreno se verá reflejado en una disminución en los valores de resistividad. En la Tabla 2, se presentan algunos valores de Resistividad relacionados a los distintos tipos de suelos y rocas y ella será utilizada para la interpretación de los resultados obtenidos en este estudio.

Tabla 2. Valores de resistividad de algunos tipos de suelos, rocas y materiales presentes en la naturaleza (Loke, 2004).

Material	Resistividad (ohm.m)
Granito	$5 \times 10^3 - 10^6$
Basalto	$10^3 - 10^6$
Pizarra	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
Mármol	$10^2 - 2.5 \times 10^8$
Cuarcita	$10^2 - 2 \times 10^8$
Yeso	$10^4 - 10^6$
Arenisca	$8 - 4 \times 10^3$
Esquistos	$20 - 2 \times 10^3$
Caliza	$50 - 4 \times 10^2$
Arcilla	1 - 100
Aluvión	10 - 800
Agua dulce	10 - 100
Agua de mar	0.2

6.- RESULTADOS

A continuación, se describen los resultados obtenidos para cada perfil geoelectrónico, construido en el área de estudio:

a) Líneas orientadas en dirección NO-SE (Paralelo al escarpe del deslizamiento)

- En la línea **LE01-RD** (Figura 6), se observa el predominio de valores medianamente resistivos ($> 100 \text{ ohm.m}$) y a partir de la mitad de la línea, en dirección SE, se presentan valores bajo resistivos ($> 100 \text{ ohm.m}$).
- En la línea **LE02-RD**, se observa el predominio de valores muy resistivos ($> 1500 \text{ ohm.m}$), asociados a la presencia de afloramientos rocosos a lo largo de la línea (Figura 7). Solamente en tres zonas se presentan, de manera puntual, valores muy bajo resistivos ($< 20 \text{ ohm.m}$) que pueden deber a la presencia de agua que discurre a través de las rocas fracturadas.
- En la línea **LE06-RD**, se tienen el predominio de valores medianamente resistivos ($> 100 \text{ ohm.m}$), y hacia la parte central, los valores se presentan bajo resistivos ($> 100 \text{ ohm.m}$).

b) Líneas orientadas en dirección NE-SO (Perpendicular al escarpe del deslizamiento)

- En la línea **LE03-RD**, se observa hacia su extremo SO, el predominio de valores medianamente resistivos ($> 100 \text{ ohm.m}$) y valores bajo resistivos ($< 100 \text{ ohm.m}$), en el centro y extremo NE del perfil. Estos valores tienden a disminuir conforme se acerca a la I.E.P. N° 54414.
- En la línea **LE04-RD**, se identifica el predominio de valores muy resistivos ($> 1500 \text{ ohm.m}$) debido a la presencia de rocas en la parte inicial de la línea (extremo SO) y desde la mitad de la línea hasta su extremo NE, se tiene valores bajos resistivos ($< 100 \text{ ohm.m}$).

- En la línea **LE05-RD**, se ha identificado el predominio de valores muy resistivos (> 1500 ohm.m). Por la presencia de rocas a lo largo de la línea. Asimismo, se observa la presencia puntual de valores muy bajo resistivos, debido al discurrir de agua en zonas muy fracturadas de la roca (Anexo).

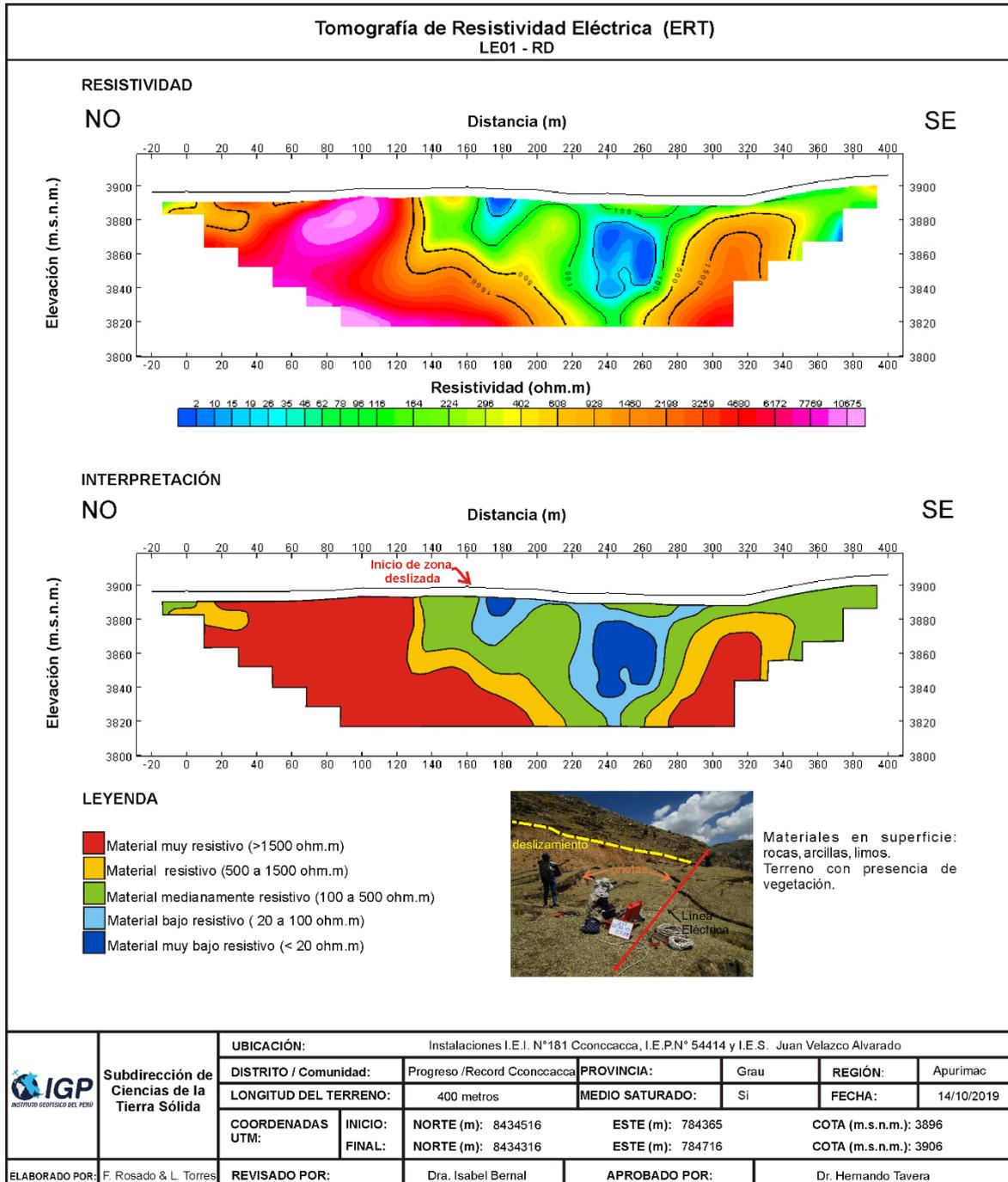


Figura 6. Resultados obtenidos mediante la técnica de tomografía eléctrica para la línea LE01-RD.



Figura 7. Presencia de afloramientos rocosos en la parte alta de la línea LE04-RD.

7.- DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos con la aplicación de la técnica de tomografía eléctrica se ha podido definir las características de los suelos, y la presencia de niveles freáticos en el subsuelo.

En la Figura 8, se muestra la distribución conjunta de las líneas LE03-RD, LE04-RD y LE05-RD, orientadas en la misma dirección del deslizamiento sobre el cerro Sama. La línea LE04-RD cruza el escarpe superior e inferior del deslizamiento. En general, se observa que los valores más resistivos (sin presencia de agua) se encuentran en dirección SO a una distancia de más de 100 metros del área de estudio y hacia el extremo NO, donde se observa afloramientos rocosos. Asimismo, los valores más bajos resistivos (presencia de suelos saturados de agua y/o alto nivel freático) se encuentran bajo el área de estudio, donde el material predominante, en los suelos, son limos acompañados de alto nivel freático con origen en los puquiales de agua presentes en las zonas alledañas, así como por su proximidad al río Record, que alimenta al acuífero hasta profundidades de 60 metros.

En los puntos donde se tiene picos máximos de valores resistivos y no resistivos, se presentan con cambio brusco y de manera focalizada se observa la presencia de valores muy bajos resistivos, lo cual evidencia un alto nivel de saturación en los suelos, en dirección SO del escarpe del deslizamiento, a unos 40 metros de distancia y hasta una profundidad de 20 metros.

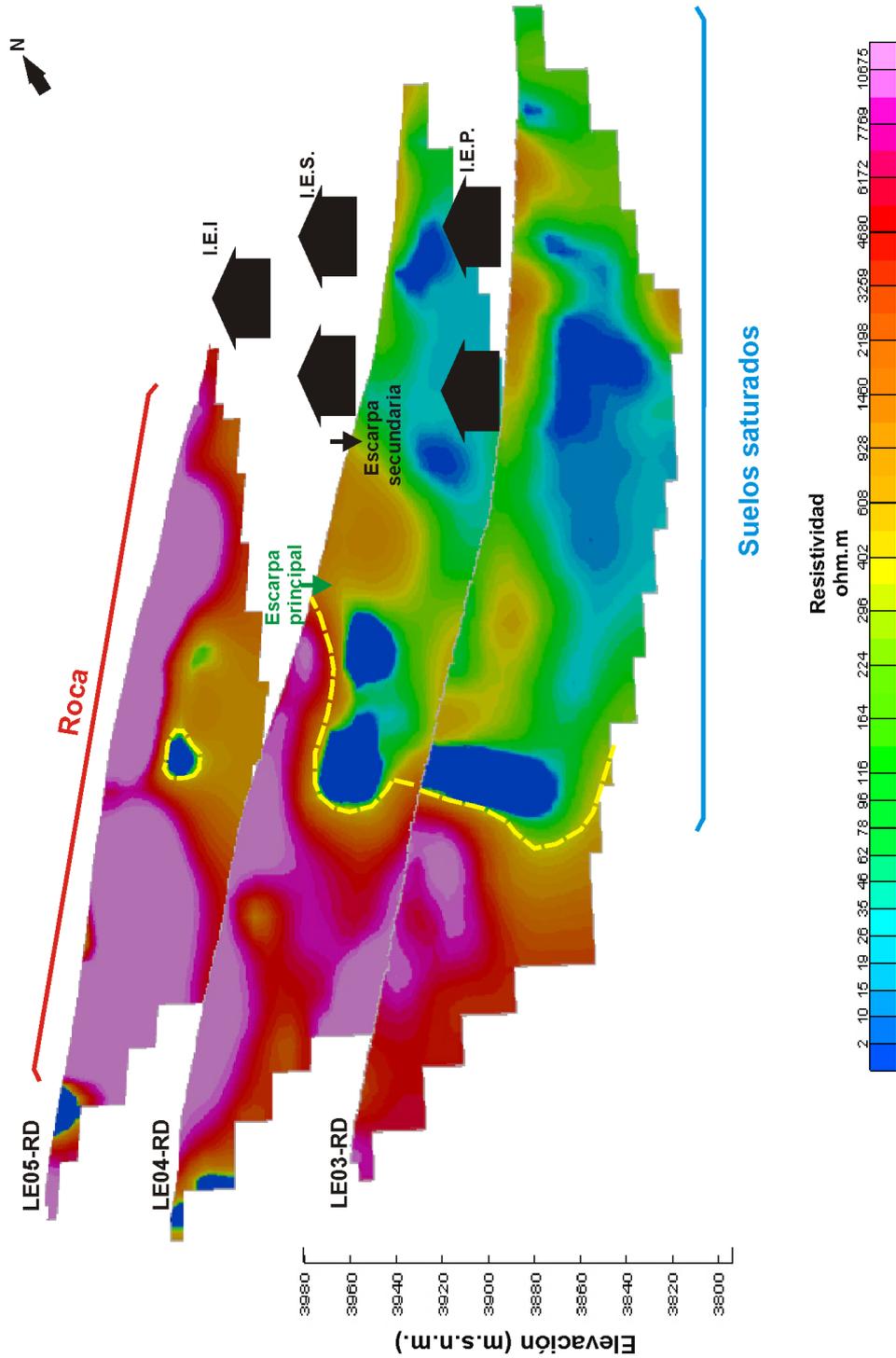


Figura 8. Los resultados obtenidos con tomografía eléctrica para las líneas LE03-RD, LE04-RD y LE05-RD.

En la Figura 9, se muestran los perfiles obtenidos para las líneas LE01-RD, LE02-RD y LE03-RD, todas orientadas perpendicularmente a la dirección del deslizamiento, sobre el cerro Sama. De acuerdo a estos perfiles, el medio saturado está presente en la parte central (delimitado por una línea amarilla), lugar donde existen limos con la capacidad de retener agua. Asimismo, conforme se avanza con dirección NO y SE de la zona céntrica los valores son muy resistivos debido a la presencia de afloramientos rocosos. La principal fuente del agua que satura estos suelos, son la contribución del agua de puquiales, lagunas y lluvia, y lo hace a través de fisuras presentes en las rocas fracturadas ubicadas en las partes altas de este sector, y filtraciones del agua del río Record.

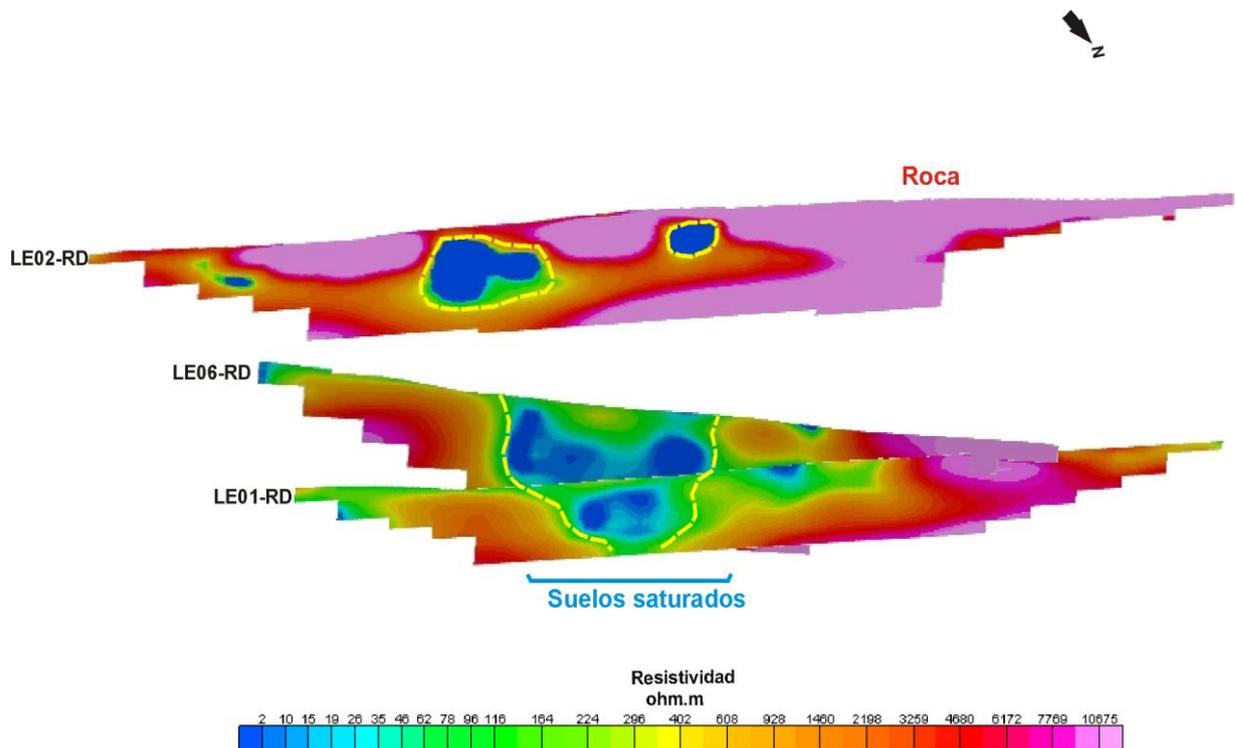


Figura 9. Resultados obtenidos de la tomografía eléctrica para las línea LE01-RD, LE02-RD y LE06-RD.

En la Figura 10, se presenta la correlación todos los perfiles de resistividad eléctrica y en ella se ha identificado los siguientes sectores:

-Sector 1, comprende el área delimitada por la traza del deslizamiento principal sobre el cerro Sama y el río Record. Aquí se ubican las instituciones educativas inicial, primaria y secundaria. Los suelos presentan grietas (Figura 11), alto nivel freático que fluctúa entre los 5 y 60 metros de profundidad.

-Sector 2, comprende una franja de terreno ubicada en dirección SO de la traza principal del deslizamiento. Asimismo, esta franja presenta aproximadamente 100 metros de ancho. Aquí los suelos presentan grietas con alto nivel freático ubicada a más de 10 metros de profundidad hasta aproximadamente los 50 metros, probablemente debido a la presencia de rocas fracturadas y por efectos de gravedad, el agua se infiltra hacia zonas bajas donde hay intercalaciones de lente de limo.

Hacia los extremos NO y SO de estos sectores, se obtienen valores altos de resistividad, lo que sugiere que los suelos son más compactos y/o rocosos, donde en superficie se observó afloramientos de roca.

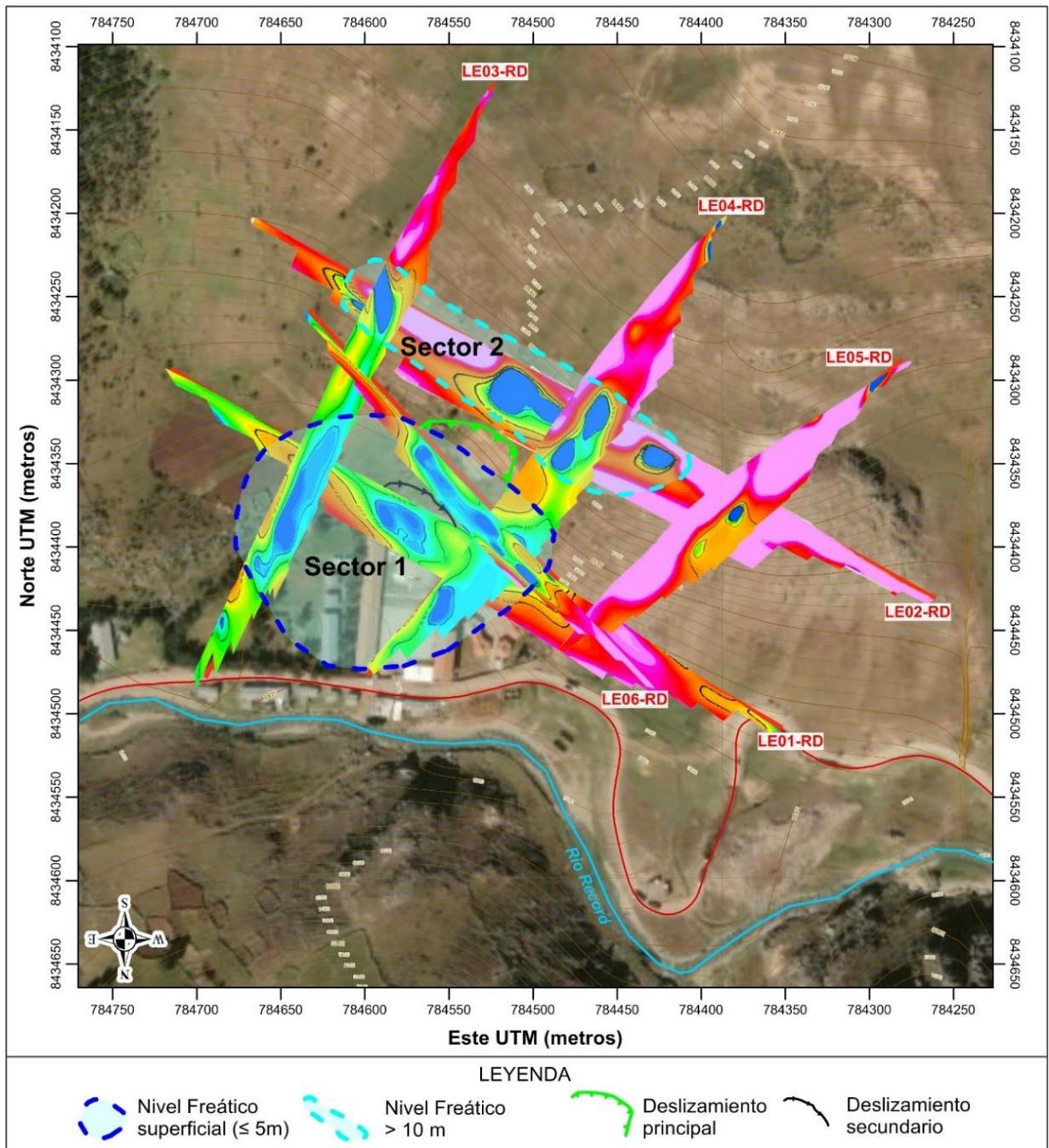


Figura 10. Limite inferido o probable de los niveles freáticos en la zona de estudio.



Figura 11. Zona de grietas en el Sector 1.

CONCLUSIONES

El estudio geofísico realizado en la comunidad de Record Cconccacca (Región Apurímac), ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

● *Los suelos del área de estudio, presentan alto nivel freático a profundidades que fluctúa entre los 5 y 60 metros. En diversos sectores existen grietas, que afectarían directamente la estabilidad de los suelos sobre el cual se construyeron las instituciones educativas inicial, primaria y secundaria. Según lo indicado, las condiciones del terreno, incrementan la probabilidad de sufrir deslizamiento de las zonas altas.*

● *A cotas mayores, respecto al deslizamiento principal, se identifica un área de aproximadamente 100 metros de ancho, donde los suelos presentan grietas a niveles superficiales; además de un alto nivel freático presente entre los 10 y 50 metros de profundidad. La moderada pendiente y presencia de roca fracturada, permite la filtración del agua hacia zonas bajas.*

● *Los suelos bajo la I.E.I. N°181, superficialmente presentan poco espesor, y son depositados sobre material competente y/o roca del cerro Sama; por lo tanto, es poco probable que sea afectado por deslizamientos.*

● *La principal fuente del agua que satura estos suelos, provienen de puquiales, lagunas y lluvias, para luego infiltrarse al subsuelo por medio de las fisuras presentes en rocas fracturadas, para ser almacenadas y canalizadas hacia las zonas bajas. Asimismo, por su proximidad, el río Record contribuye al saturamiento de estos suelos.*

● *La presencia de material saturado, por encima de la escarpa principal indica que, frente a lluvias intensas, los suelos pueden sobre saturarse y producir un nuevo deslizamiento acarreado las rocas que se ven en superficie. Asimismo, este proceso se aceleraría si se realiza cortes al cerro, sin considerar la estabilización del mismo, ya sea usando barreras vivas (árboles) o utilizando construcciones ingenieriles (muros de contención, banquetas, etc.).*

RECOMENDACIONES

- Evitar realizar cortes directos al cerro, sin considerar la estabilización del mismo mediante barreras vivas (árboles) o utilizando construcciones ingenieriles (muros de contención, banquetas, etc.).
- Se recomienda la estabilización del talud mediante banquetas unidas por canaletas de drenaje y/o la colocación de gaviones contra la caída de rocas (Figura 12).

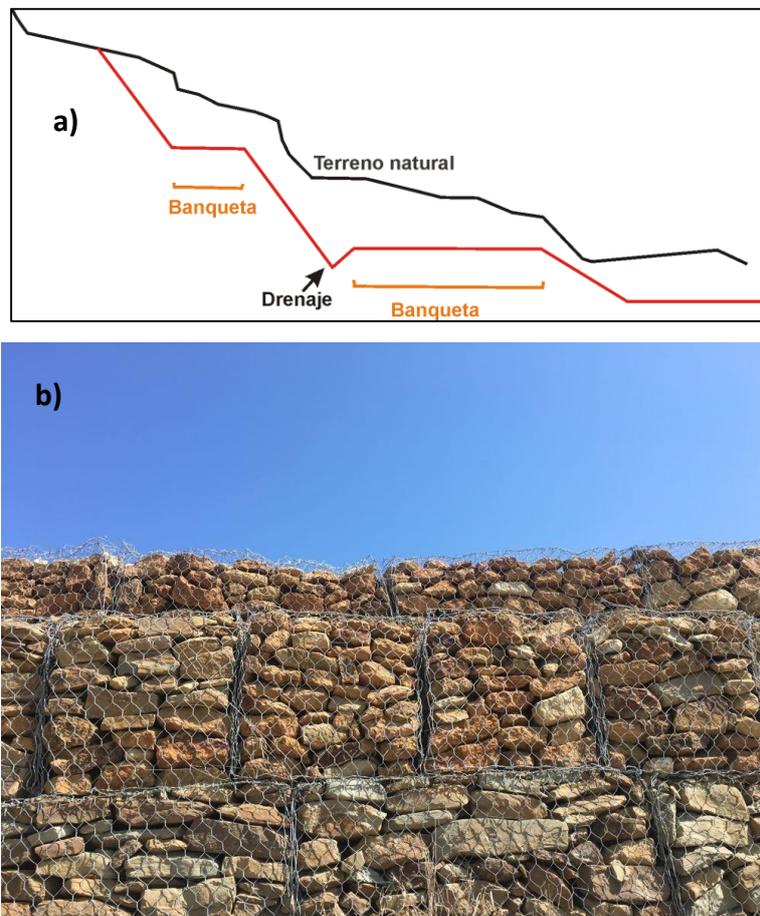


Figura 12. a. Ejemplo de banqueta para la estabilización de talud b. Ejemplo de gaviones.

REFERENCIAS

- Chávez, G., 2011, Modelamiento 3D de datos de tomografía de resistividad eléctrica (TRE) con arreglo tipo "L". Tesis de Maestría. Instituto de Geofísica UNAM.
- Pecho, L., (2001). Geología del cuadrángulo de Santo Tomas. Hoja 29-r. Boletín N°31, INGEMMET, Sector de Energía y minas.
- Loke, M.H. (2004). Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys.
- Cantos-Figuerola (1974). Tratado de Geofísica Aplicada 2ª edición.
- Udías, A., Mézcua, J. (1986). Fundamentos de Geofísica 1ª edición.
- IGP, 2019. Evaluación geológica, geodinámica y geotécnica del de la comunidad de Record Cconccacca, distrito Progreso, Provincia Grau, Región Apurímac (versión preliminar). Informe técnico, 46pp.

ANEXO

Perfiles de Tomografía de Resistividad Eléctrica

