

Informe Técnico N° A6813

# **GEODINÁMICA, MONITOREO GEODÉSICO Y PROSPECCIÓN GEOFÍSICA DEL DESLIZAMIENTO DE PIE DE CUESTA – VÍTOR, AREQUIPA**

**Región Arequipa  
Provincia Arequipa  
Distrito Vítor**



**Gael Araujo  
Walter PARI  
HAMMER OJEDA  
JOSEPH HUANCA**

**MAYO  
2018**

 **SECTOR ENERGÍA Y MINAS**  
**INGEMMET**  
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

## INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	3
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	4
<b>2. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS</b> .....	5
<b>3. GEOLOGÍA</b> .....	6
<b>4. GEODINÁMICA</b> .....	8
4.1. Sector 1: Deslizamiento de Pie de Cuesta.....	10
<b>5. MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO</b> .....	13
5.1. Análisis y resultados .....	13
<b>6. GEOFÍSICA</b> .....	16
6.1. Método Geofísico de Resistividad: .....	16
6.2. Análisis y Resultados.....	17
6.2.1. Perfil LT-1 (SW - NE).....	17
6.2.2. Perfil LT-2 (SE - NW).....	20
6.2.3. Sección LT-3 (N - S).....	22
6.2.4. Sección LT-4 .....	24
6.2.5. Sección LT-5 .....	26
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	29
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	31

## RESUMEN

El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), en colaboración con el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD), mediante la actividad 5: Monitoreo Geofísico y Geodésico de Movimientos en Masa Activos, de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgos Geológicos, vienen realizando trabajos de monitoreo geodésico del deslizamiento Pie de Cuesta desde noviembre de 2017, con la finalidad de entender el comportamiento de uno de los fenómeno dinámicamente activo sobre el valle de Vítor . Para ello se cuenta con una red de monitoreo de 34 puntos de control GNSS distribuidos estratégicamente en la masa deslizante y alrededores, monitoreados trimestralmente (hasta la fecha se realizaron 3 campañas de reiteración de datos de monitoreo sobre el deslizamiento de Pie de Cuesta).

Se presenta este informe n respuesta a los oficios N° 317-2017-A-MDV; N° 335-2018-MP-1FPPD y 136-2018-MP-1FPPD, emitidos por la municipalidad distrital de Vítor, la comisión de regantes de Ramo Socabón, de Vítor, el Ministerio Público de Arequipa y el Gobierno Regional de Arequipa. Se realizaron trabajos de prospección geofísica aplicando el método de Tomografía Eléctrica sobre la zona inestable del movimiento, para identificar anomalías geofísicas que estén relacionadas a la presencia de filtraciones y/o saturación hídrica en profundidad y, como informe complementario al informe técnico A6722 “Evaluación geológica y geodinámica de deslizamientos en el flanco izquierdo del valle de Vítor” proporcionado por el INGEMMET en agosto del 2016.

El presente informe se pone a disposición de los interesados a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones para las medidas de mitigación y reducción de riesgo de las instituciones correspondientes.

## 1. INTRODUCCIÓN

El deslizamiento Pie de Cuesta está ubicado en el flanco izquierdo del valle de Vitor en la provincia y región Arequipa (figura 1), y constituye en la actualidad uno de los deslizamientos más activos en esta región. Este se inició el 6 de octubre de 1974, aunque un colapso mayor ocurrió el 9 de enero de 1975 sepultando el pueblo de Pie de Cuesta, obligando a que más de 12 familias sean reubicadas. Cubrió además unas seis hectáreas del área irrigada del valle (Ponce, V. 2008). Después de más de 40 años de iniciado este fenómeno, a mediados del año 2016 se hizo evidente el incremento de su aceleración con un avance notorio en la zona de acumulación del deslizamiento, enterrando cada vez más terrenos de cultivo y arrasando con la infraestructura a su paso.

Según reportes de los agricultores en la zona, actualmente el deslizamiento ya ha sepultado más de 40 hectáreas de cultivo.

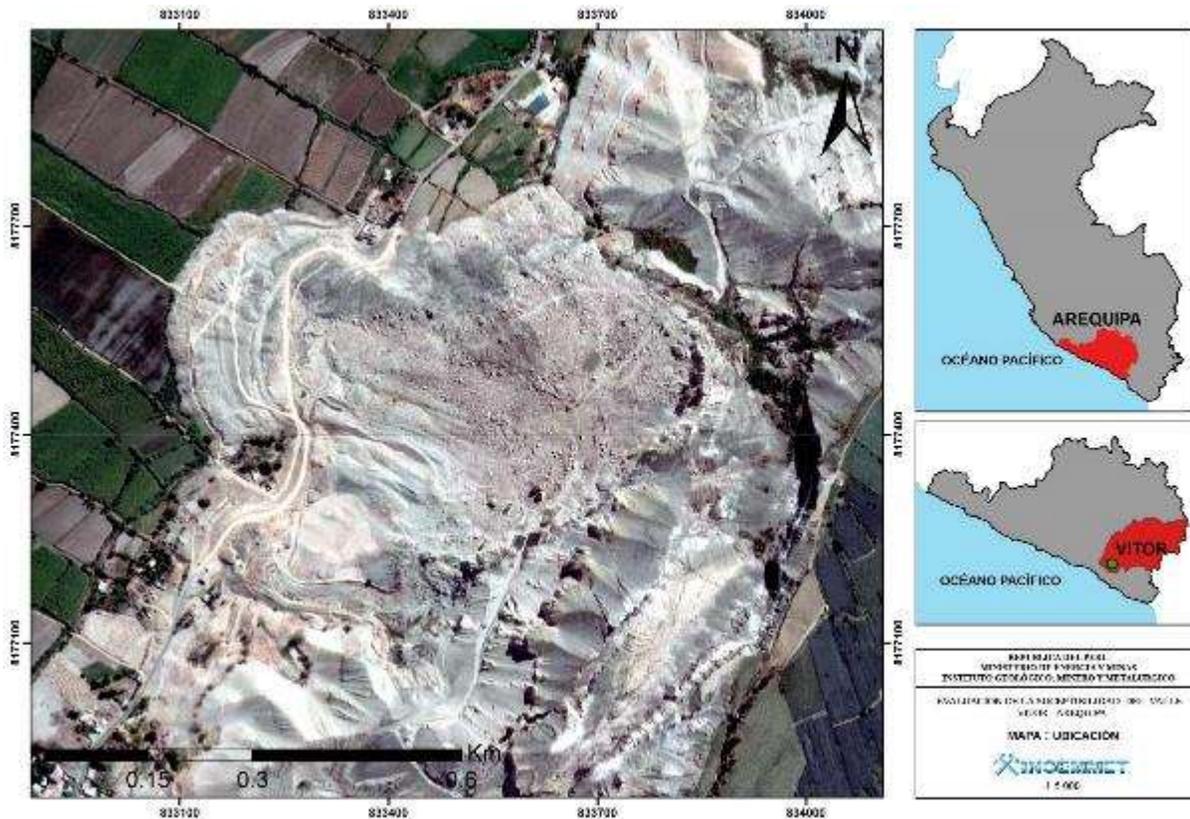


Figura 1. Ubicación del deslizamiento de Pie de Cuesta.

Aunque son muchos los factores que contribuyen en la inestabilidad de Pie de Cuesta, se le atribuye una causa prioritariamente antrópica por el exceso de agua de riego del canal de Irrigación La Joya y La Cano, además del mal uso de la técnica de irrigación sobre terrenos de cultivos en La Joya.

## 2. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Geomorfológicamente el área de estudio está formada por unidades de planicies y valles:

La planicie costanera se encuentra disectada por quebradas secas, anchas de fondo plano, poco profundas, además de los ríos principales que las cortan y que forman valles estrechos en forma de V con desniveles de 600 hasta 1000 m (Fidel *et al*, 2000).

El valle de Vítor de pendiente pronunciada está disectado por quebradas secas. En la parte baja del valle se observan terrazas fluviales de hasta un metro de altura. Los flancos de estos valles son empinados y escarpados suavemente inclinados a medida que se aproximan al litoral.

El mapa de pendientes mostrado en la figura 2, clasifica el área de estudio en tres unidades, diferenciadas según el grado inclinación del relieve (0° a +30°):

- 0° a 10°: Muestra los valores de pendiente baja de geformas como planicies y piso de valle de Vítor.
- 10° a 30°: Área de pendientes ligeramente empinadas, como laderas y quebradas secas
- > 30°: Representa la escarpa principal del deslizamiento de Pie de Cuesta, límites de valle y quebradas fuertemente empinadas.

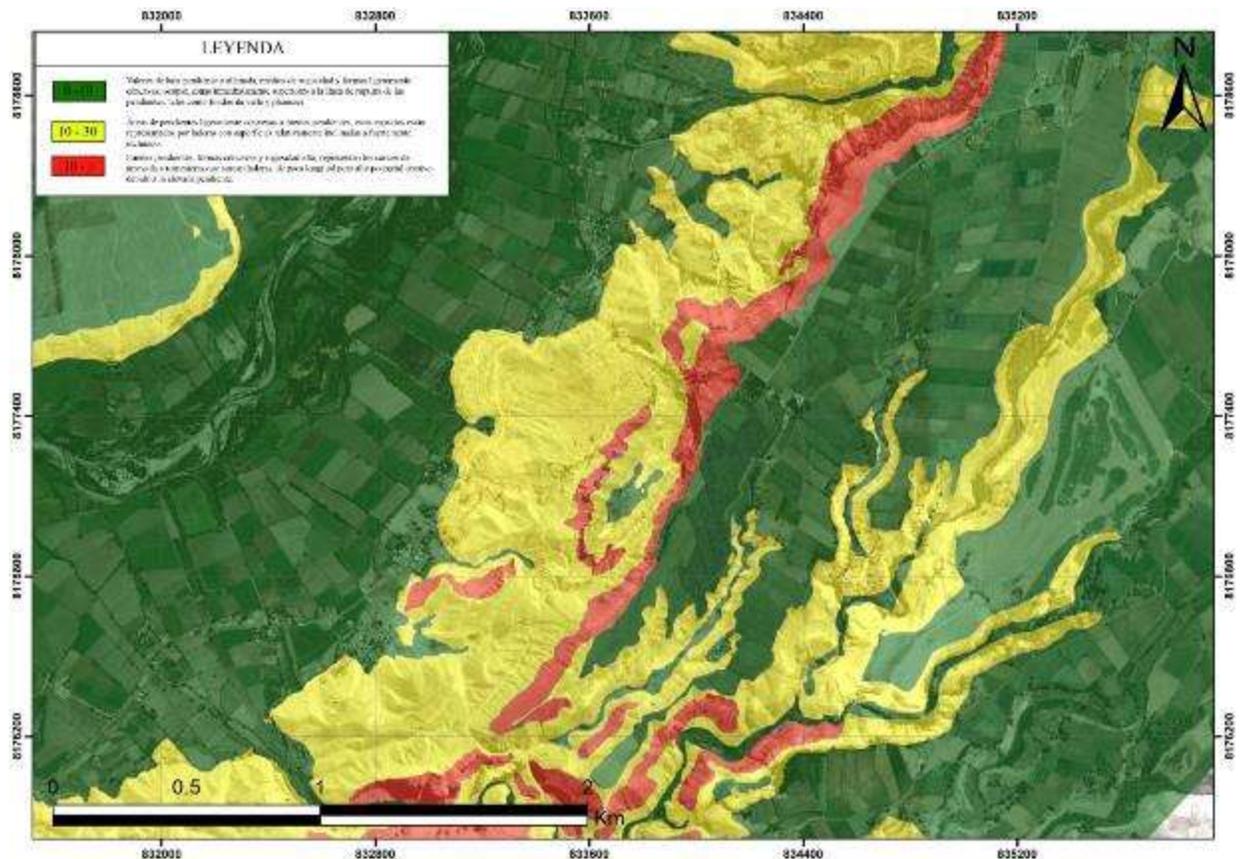


Figura 2. Mapa de pendientes del área de influencia del deslizamiento de Pie de Cuesta.

### 3. GEOLOGÍA

Las unidades geológicas que afloran en el área de estudio tienen una edad geológica Paleoceno y Cuaternario, correspondiendo a las formaciones Sotillo, Moquegua, Millo, depósitos aluviales pleistocenos, depósitos aluviales holocenos de terraza y depósitos fluviales recientes. Se tiene además depósitos coluvio-deluviales originados por los deslizamientos (figura 3).

La Formación Moquegua infrayace a la Formación Millo y está constituida por depósitos areno-arcillosos, areno tobáceos y conglomerádicos ligeramente redondeados. La unidad inferior conocida como Formación Sotillo, la más antigua expuesta en la zona, se caracteriza por estar formada por areniscas y lutitas de color rojizo, areniscas arcósicas y conglomerados formados por clastos volcánicos, areniscas cuarzosas e intrusivas.

La Formación Millo aflora en gran extensión en la zona de estudio suprayace en discordancia y erosiva a la Formación Moquegua; en algunos casos marca el límite de escarpas secundarias de movimientos en masa antiguos. Litológicamente está constituida por conglomerados moderadamente consolidados con clastos medianamente redondeados de intrusivos, areniscas cuarzosas y volcánicos con matriz areno tobácea de grano grueso, areniscas tobácea grisáceas de grano medio a fino en bancos hasta de un metro de espesor.

La parte alta del sector Pie de Cuesta está formada por depósitos aluviales de edad Pleistocena (Galdos, 1977), constituidos principalmente por conglomerados con clastos volcánicos, sedimentarios y metamórficos de formas sub redondeadas a redondeadas; con diámetros entre 10-20 cm unidos por una matriz arenosa. El valle del río Vítor expone la superficie de corte de esta formación por el continuo avance de la escarpa de los deslizamientos ocasionados por inestabilidad.

El piso de valle del río Vítor está dispuesto por terrazas con depósitos cuaternarios aluviales, usados como terrenos agrícolas cultivables y para la construcción de viviendas. Los depósitos coluviales dispuestos al pie de las laderas con pendientes abruptas a moderadas, se formaron por la ocurrencia de movimientos de masa antiguos y recientes.

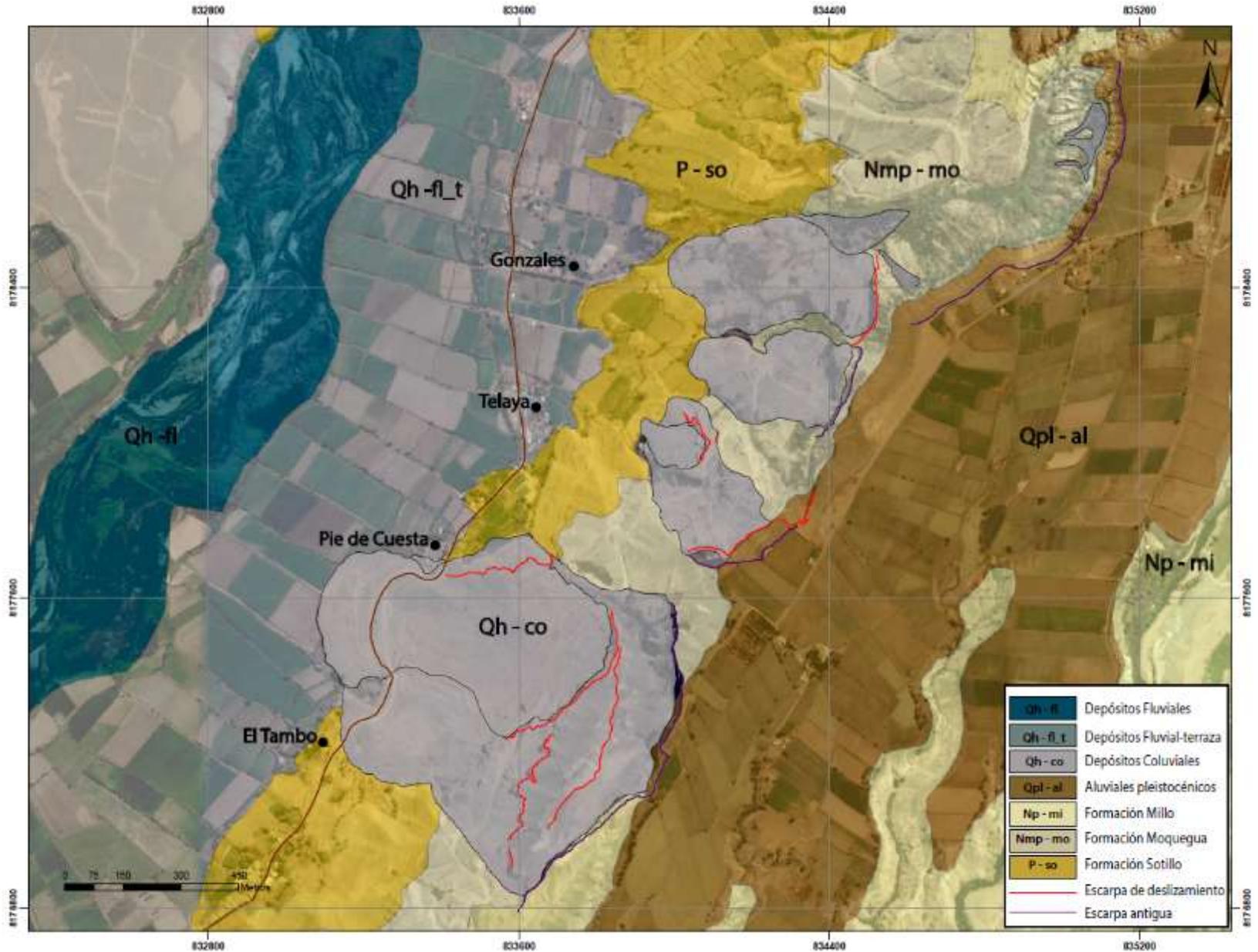


Figura 3: Unidades geológicas expuestas en el área de estudio.

## 4. GEODINÁMICA

El valle de Vítor es susceptible a la ocurrencia de movimientos en masa (principalmente deslizamientos y derrumbes), por saturación e infiltración hídrica permanente de secuencias conglomerádicas poco consolidadas del subsuelo, típico de la costa peruana.

Previo al uso de la técnica de monitoreo geodésico y geofísico para identificación de movimientos en masa, se realizó la elaboración de un mapa de susceptibilidad, fotointerpretación y cartografiado del valle de Vítor con la finalidad de obtener un panorama geomorfológico y geodinámico de las áreas más activas en el valle de Vítor.

- Los factores que condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos pueden ser extrínsecos como lluvias extremas, escorrentía, mala vegetación e intrínsecos como la geología, geomorfología, infiltración, nivel freático. Para la identificación del nivel de susceptibilidad por movimientos en masa en el valle Vítor expresada en grados cualitativos se utilizó el método heurístico basado en la categorización y ponderación de factores (figura 4). Las herramientas utilizadas para el análisis de susceptibilidad de movimientos en masa son los mapas de unidades de cobertura vegetal, uso de suelo, unidades hidrogeológicas, unidades geomorfológicas, unidades de pendiente del terreno y unidades litológicas.
- En la fotointerpretación y cartografiado de valle de Vítor se muestra de igual manera movimientos en masa antiguos y recientes como deslizamientos, flujos de detritos, derrumbes y desprendimientos (a menor escala); Además de geoformas como conos aluviales, zonas de erosión de laderas, cárcavas y lagunas de infiltración (figura 5).

La comparación de áreas de susceptibilidad alta en base a parámetros geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos, etc. muestra la disposición de características del terreno, resultados que corroboran la ocurrencia de movimientos en masa en el mapa geodinámico.

Los dos sectores dinámicamente más activos en el valle de Vítor son el deslizamiento Pie de Cuesta y el deslizamiento en Punillo. Sin embargo, hay otras zonas con susceptibilidad alta a muy alta que pueden terminar un movimiento masa, cuya ocurrencia está sujeta a factores antrópicos (uso actual de suelo, sistemas de irrigación), sísmica activa, etc.

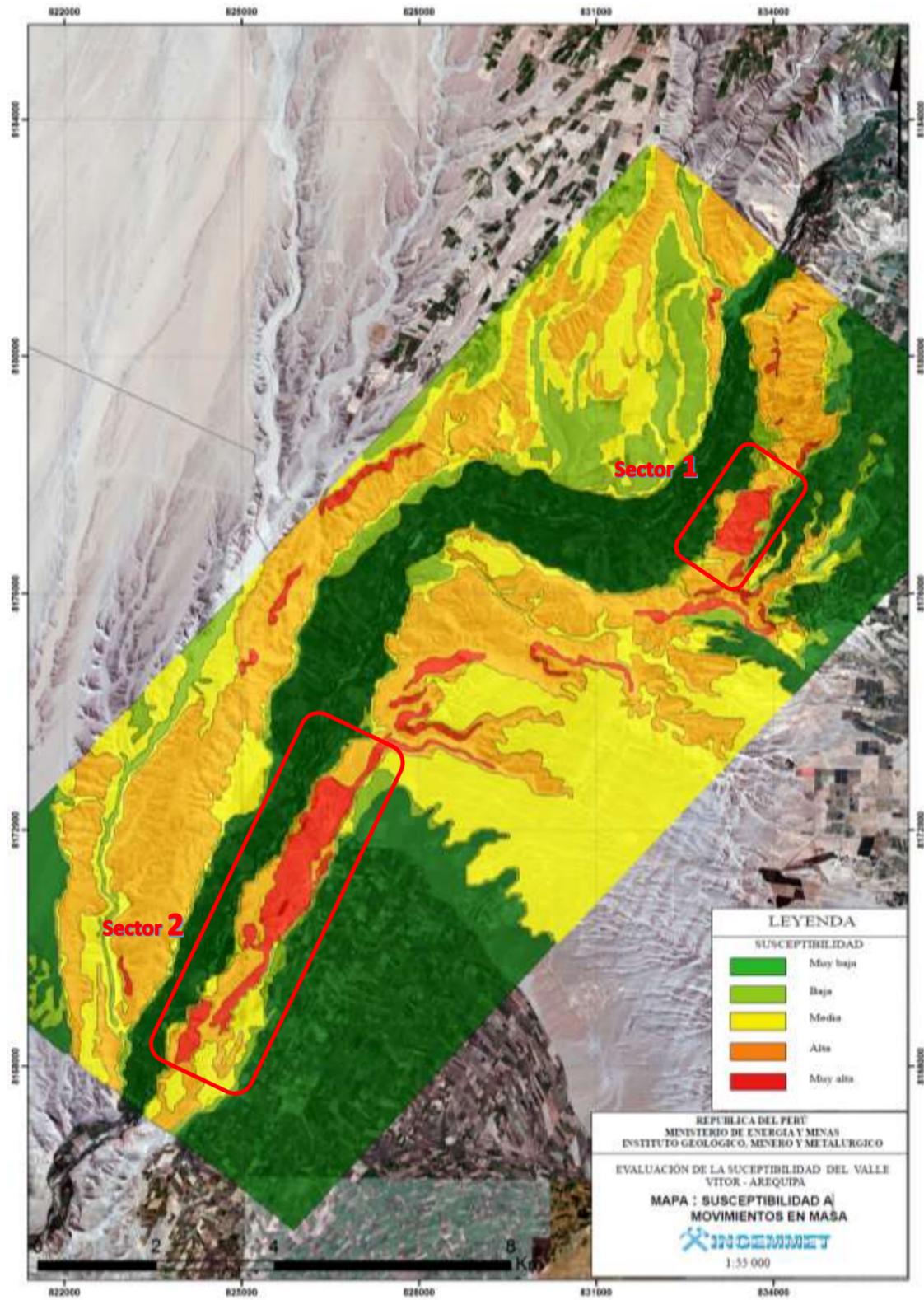


Figura 4: Susceptibilidad a movimientos en masa en el valle de Vitor

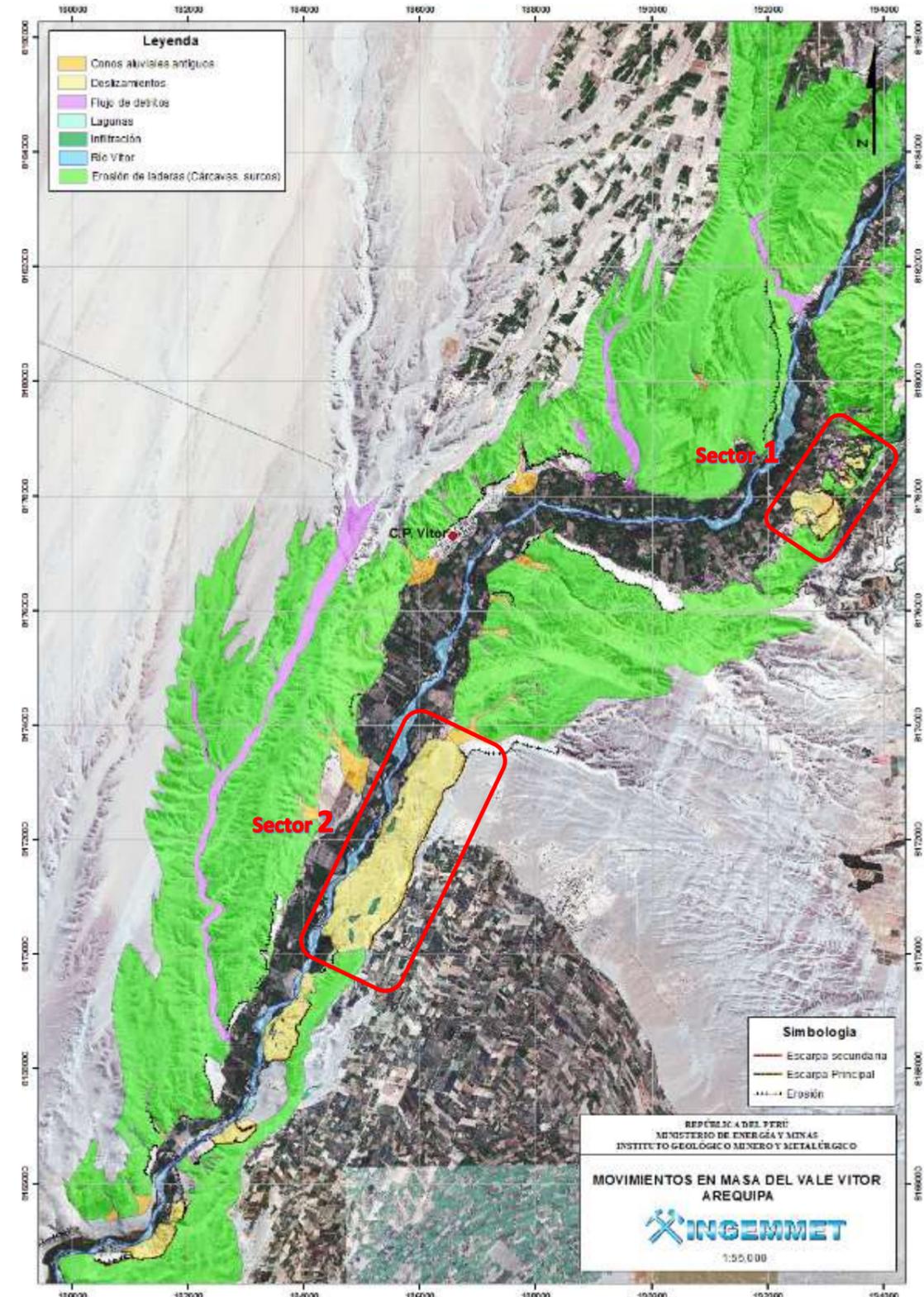


Figura 5: Movimientos en masa del valle de Vitor

#### 4.1. Sector 1: Deslizamiento de Pie de Cuesta

La margen izquierda del valle del río Vítor – sector Pie de Cuesta viene siendo afectada por la reactivación de deslizamiento con el mismo nombre, cuya causa principal son las filtraciones de agua provenientes de la Irrigación La Joya y La Cano.

Pie de Cuesta es un movimiento en masa de tipo deslizamiento complejo, su formación está asociada a la ocurrencia de flujo de detritos y caída de bloques posteriores al desencadenamiento del deslizamiento. Presenta una escarpa principal de ~1 km de longitud y 100 metros de salto, que coincide con el límite de flanco izquierdo del valle de Vítor, mientras que sus escarpas secundarias de 500 m de longitud están ubicadas a +150 metros por debajo de la escarpa principal (figura 6). La separación entre ambas escarpas está marcada por una depresión compuesta por materiales finos completamente agrietados.

Pie de Cuesta es una de las zonas de dinámica más activa en el valle de Vítor. El avance de su masa desplazada afecta parcelas de cultivo sobre el piso de valle de Vítor (foto 1).

Geológicamente está constituido por bloques de conglomerados, arcillas y arenas tobáceas, dispuestos en una matriz gravo arenosa con muchas grietas tensionales de aperturas mayores a 15 cm y 30 cm (foto 2 y 3), así como filtraciones en el límite entre los conglomerados y las areniscas tobáceas de la Formación Moquegua que origina sectores húmedos altamente inestables (foto 4).

Se presentan escarpas rotacionales secundarias con longitudes de 500 m a 700 metros de extensión dispuestos sobre el valle de Vítor.



Foto 1. Vista de las parcelas agrícolas del poblado Pie de Cuesta y del canal de irrigación (líneas rojas entrecortadas) afectados por el depósito del deslizamiento activo, se observa también desprendimiento de bloques de arenisca tobáceas y conglomerados.



Foto 2 y 3. Agrietamientos sobre la masa desplazada del deslizamiento



Foto 4: Filtraciones de agua entre el límite de los depósitos conglomerádicos y arenosos.

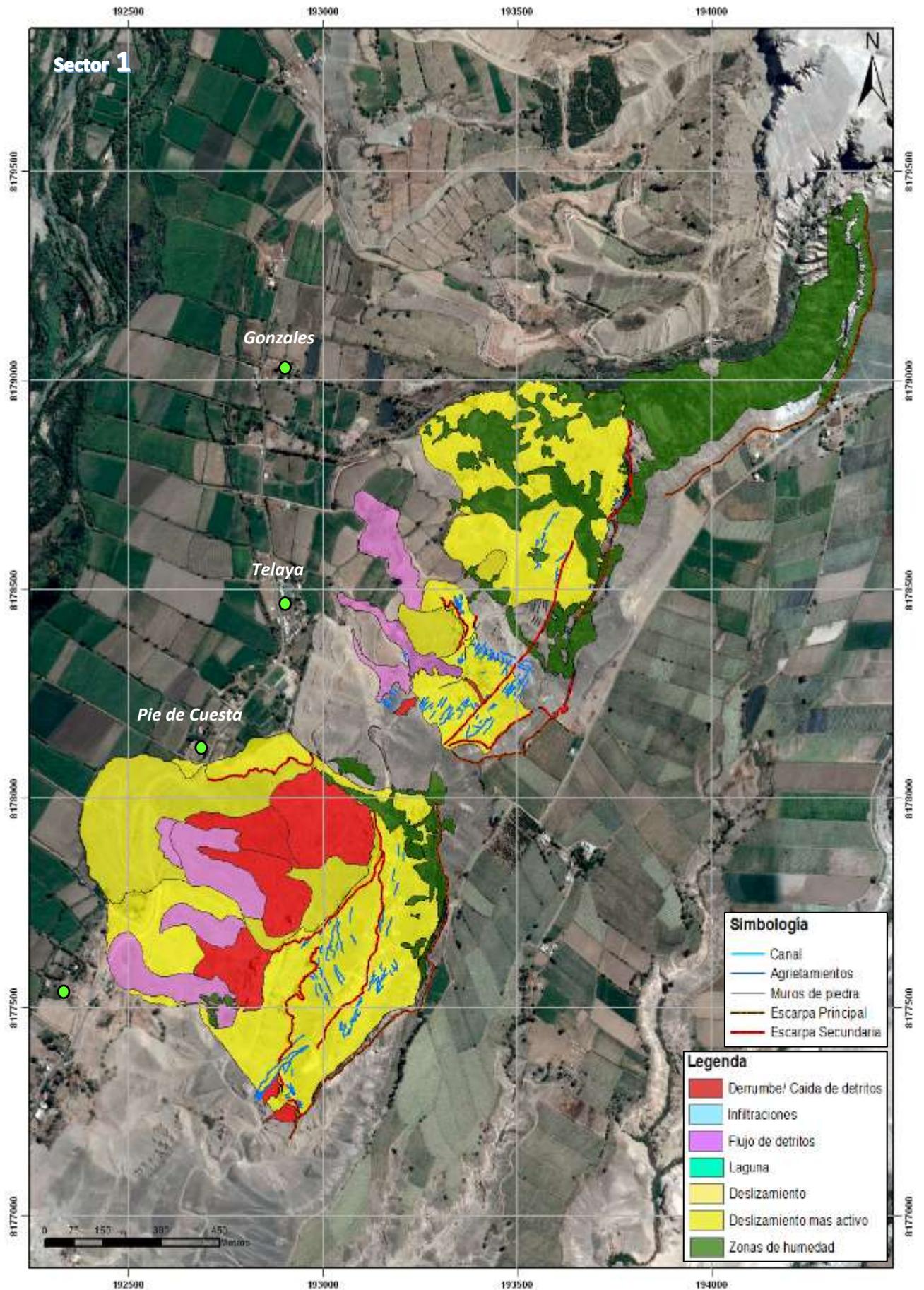


Figura 6: Mapa geodinámico en el área de estudio

## 5. MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO

Para el monitoreo temporal del deslizamiento de Pie de Cuesta se utilizó el método GNSS diferencial, empleándose para las observaciones, la técnica de medida RTK (cinemático en tiempo real). La metodología GNSS diferencial utiliza dos equipos GNSS operando de manera simultánea. Los equipos que se utilizaron pertenecen al sistema GNSS integrado Trimble R10, el cual permitió capturar datos con alta precisión (H: 8 mm +0.5 ppm, V: 15 mm +0.5 ppm) y eficiencia en el campo.

Los últimos meses de 2017 se realizó la instrumentación de 34 puntos de control estables para monitoreo de la masa desplazada del deslizamiento Pie de Cuesta. Estos puntos de observación corresponden a estaciones geodésicas materializadas sobre el terreno mediante hitos de concreto de 50 cm de altura empotrados en el suelo y otros con pernos metálicos anclados directamente en infraestructura preexistente (figura 7).



Figura 7. (A) Hitos de Concreto. (B) Instalación de hitos de concreto  
(C) Instalación de pernos metálicos.

Finalmente, se calculó la diferencia de las coordenadas para cada punto de control monitoreado en cada campaña de medida, con la finalidad de calcular los desplazamientos horizontales y verticales. Así mismo, se graficó un mapa de vectores para una mejor apreciación de la magnitud y la dirección de dichos desplazamientos.

### 5.1. Análisis y resultados

El procesamiento de resultados en el primer semestre de monitoreo del deslizamiento de Pie de Cuesta (noviembre de 2017 a mayo de 2018), muestra desplazamientos promedios mensuales máximos de ~6 m/mes (~37 metros de movimiento en 6 meses) en P29, punto de control ubicado en la parte central de la masa de deslizamiento. Mientras que los puntos ubicados en el frente de avance de la masa desplazada (P18 y P19) tuvieron un desplazamiento de 12 a 13 metros en el primer semestre de monitoreo (~2m/mes), promedios de desplazamiento que incrementaron el último trimestre de monitoreo en +50 cm (cuadro 1).

PUNTOS DE CONTROL GPS	DESPLAZAMIENTO SEMESTRAL			
	10/11/2017 AL 13/05/2018			
	Nov 2017 a Feb 2018	Feb 2018 a May 2018	Nov 2017 a May 2018	Nov 2017 a May 2018
	m/mes			m
PC01	0.019	0.006	0.008	0.048
PC02				
PC03	0.023	0.006	0.010	0.061
PC04	0.013			
PC05	0.021	0.009	0.015	0.090
PC06	1.228	1.554	1.390	8.528
PC07	0.194	0.348	0.271	1.665
PC08	1.031	0.208	0.543	3.332
PC09	0.065	0.093	0.078	0.481
PC10	0.055	0.066	0.059	0.361
PC11	0.032	0.033	0.029	0.181
PC12	0.067	0.086	0.077	0.470
PC13	0.023	0.014	0.018	0.108
PC14	0.017	0.004	0.011	0.065
PC15	0.012	0.005	0.006	0.037
PC16	0.023	0.002	0.010	0.063
PC17	0.802	1.110	0.956	5.864
PC18	1.734	2.437	2.085	12.789
PC19	1.839	2.550	2.194	13.460
PC20	0.013			
PC21				
PC22	0.023	0.003	0.010	0.063
PC23	2.661	3.478	3.069	18.824
PC24	3.691	5.204	4.447	27.276
PC25			4.400	26.989
PC26	3.339	4.641	3.989	24.468
PC27	3.902	5.092	4.496	27.578
PC28	4.566	6.455	<b>5.510</b>	<b>33.792</b>
PC29	4.635	12.355	<b>5.957</b>	<b>36.537</b>
PC30	0.176	0.055	0.203	1.246
PC31	0.171	0.800	0.194	1.187
PC32	0.020	-0.069	0.011	0.069
PC33	3.601	8.240	4.188	25.688
PC34	2.777	5.668	3.336	20.461

**Cuadro 1.** Resultados del monitoreo realizado durante dos campañas de campo.

\*Los puntos sin información en el cuadro, desaparecieron para la última campaña de monitoreo.

Los datos de desplazamiento se representan gráficamente en mapas de vectores de dirección y desplazamiento (figura 8), el cual muestra la disposición de hitos de reiteración permanente sobre el deslizamiento, con la finalidad de identificar las zonas con mayor actividad dentro de su posición de instrumentación. Las flechas mostradas en la figura 8 representan la magnitud y dirección del desplazamiento horizontal del deslizamiento.

El sector noroeste del deslizamiento, que está controlado por 10 hitos geodésicos, presenta la mayor tasa de deformación, con valores de desplazamiento horizontal que van desde los ~2 m/mes hasta los ~6 m/mes.

La dinámica más activa de movimiento es la parte central del deslizamiento (PC26, PC27, PC28, PC29, PC33, PC34). Sin embargo, las esto genera el empuje del frente de avance (PC18, PC19, PC23, PC24), material que se extiende sobre el piso de valle de Vitor destruyendo por completo terrenos de cultivo encontrados a su paso.

Por otro lado, los puntos de control ubicados sobre la escarpa y en los alrededores del cuerpo del deslizamiento corresponden a zonas con desplazamiento mínimos.

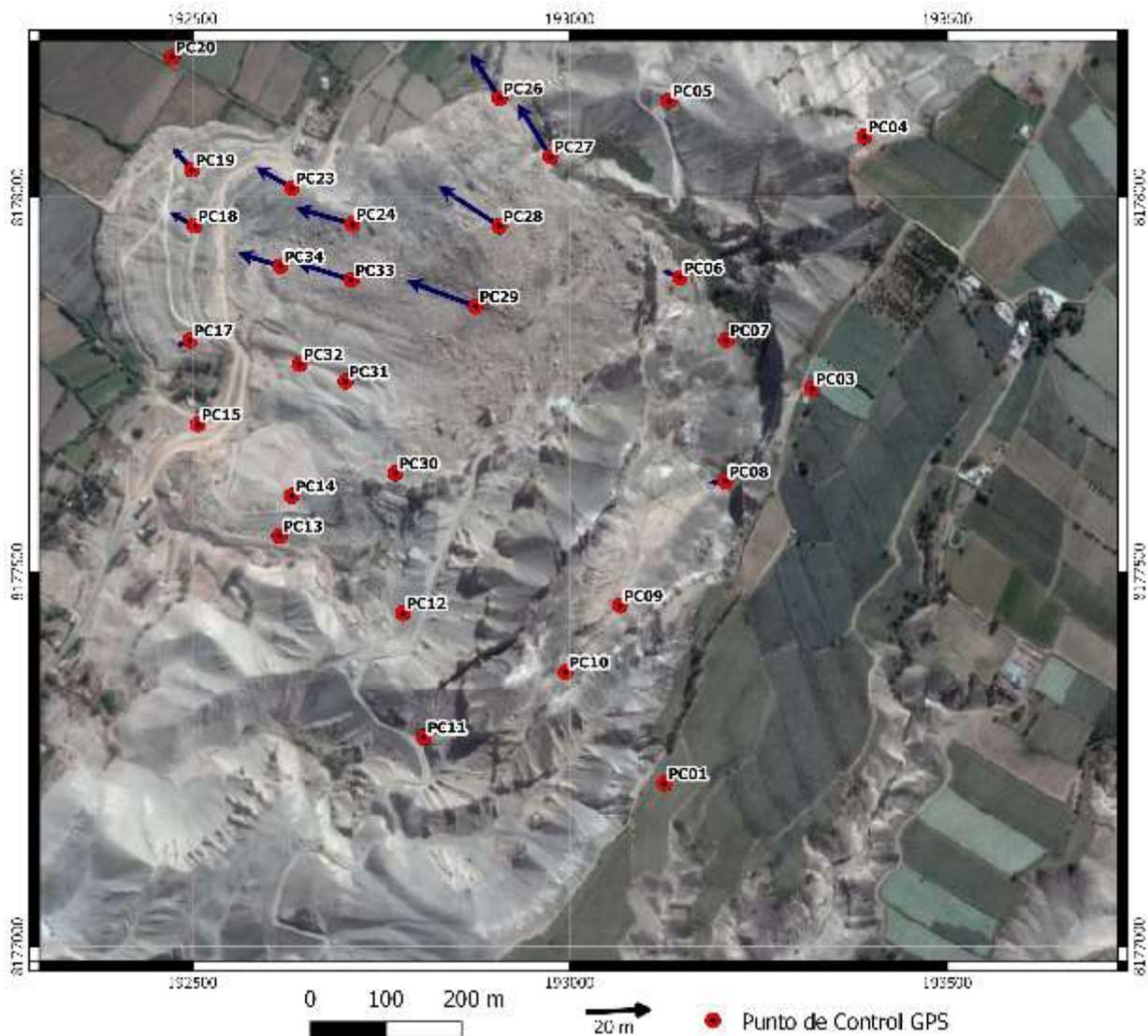


Figura 8. Mapa de Vectores mostrando la deformación horizontal del deslizamiento de Pie de Cuesta. Período 10/11/2017 – 13/05/2018 (≈6 meses)

## 6. GEOFÍSICA

Sobre el deslizamiento de Pie de Cuesta se desarrollaron trabajos de prospección geofísica aplicando el método de tomografía eléctrica para identificar valores de resistividad según las propiedades físicas del subsuelo, con la finalidad de determinar anomalías geofísicas que estén relacionadas a la presencia de filtraciones de agua y/o zonas de saturación en profundidad y su relación con la geodinámica del movimiento en masa.

### 6.1. Método Geofísico de Resistividad:

Este método geofísico consiste en determinar la distribución de la resistividad dentro de un ámbito espacial limitado, a partir de un número muy elevado de medidas realizadas desde la superficie del terreno. Las profundidades de penetración de los métodos eléctricos están directamente relacionadas con la configuración geométrica de la adquisición, número y separación de los electrodos y dependen de la resistividad del medio.

Cuando se requiere conocer la variación lateral de una formación geológica, la distribución de anomalías, oquedades, contactos verticales, etc., se recurre a la técnica de la tomografía eléctrica; los arreglos utilizables para este método son Dipolo-Dipolo, Polo Dipolo, Polo Polo, Wenner Shlumberger, etc. (Summer, 1972).

La Figura 9, muestra el principio fundamental de la medida de resistividad del suelo. Este consiste en inyectar una corriente continua entre el par de electrodos AB midiendo su tensión MN para un medio homogéneo de resistividad (Orellana, 1982):

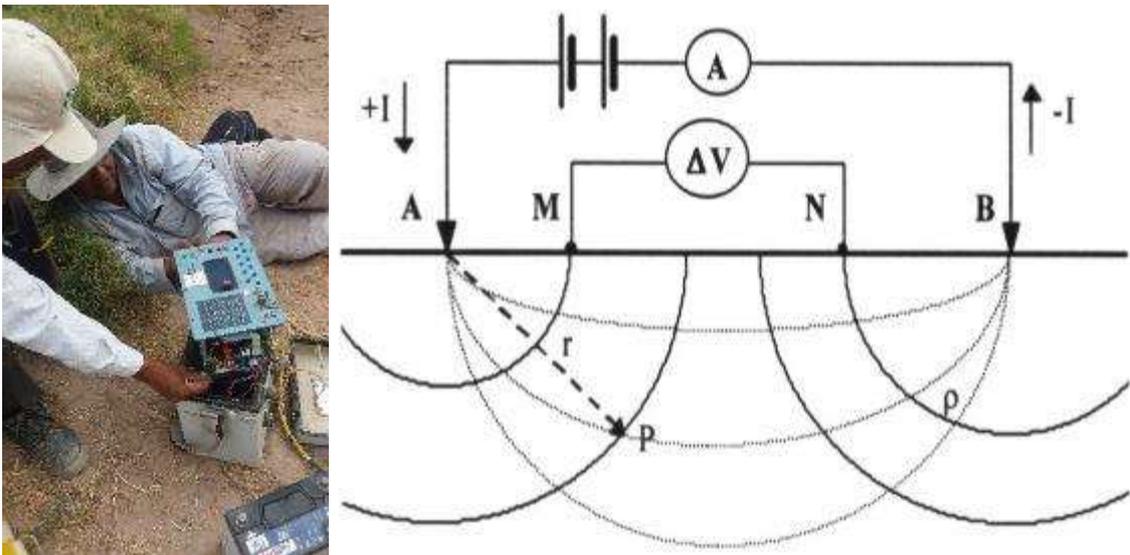


Figura 9: Dispositivo para la medida de la resistividad del suelo.

El método de Tomografía eléctrica alcanza mejor resolución en profundidad a fin de adquirir más área del subsuelo. Además de que permite coleccionar datos de resistividad en 2D, usando un sistema de adquisición para 10 canales.

Los trabajos de tomografía eléctrica dan como resultado una profundidad máxima de penetración de modelado de 110 metros. Las resistividades bajas están relacionadas a zonas permeables con presencia de agua y/o filtraciones, cuyos valores de resistividad son menores a 22.3 Ohm-m, mientras que los valores de resistividad que van entre 22.3 a 76.1 Ohm-m están relacionados a la presencia de limos y arcillas con baja humedad, los valores de resistividad entre 76.1 Ohm y 889 corresponde a gravas con matriz areno limosa. El material más compacto y con mayor contenido de fragmentos rocosos y/o conglomerados y matriz areno arcillosa tienen una resistividad mayor a 889 Ohm-m.

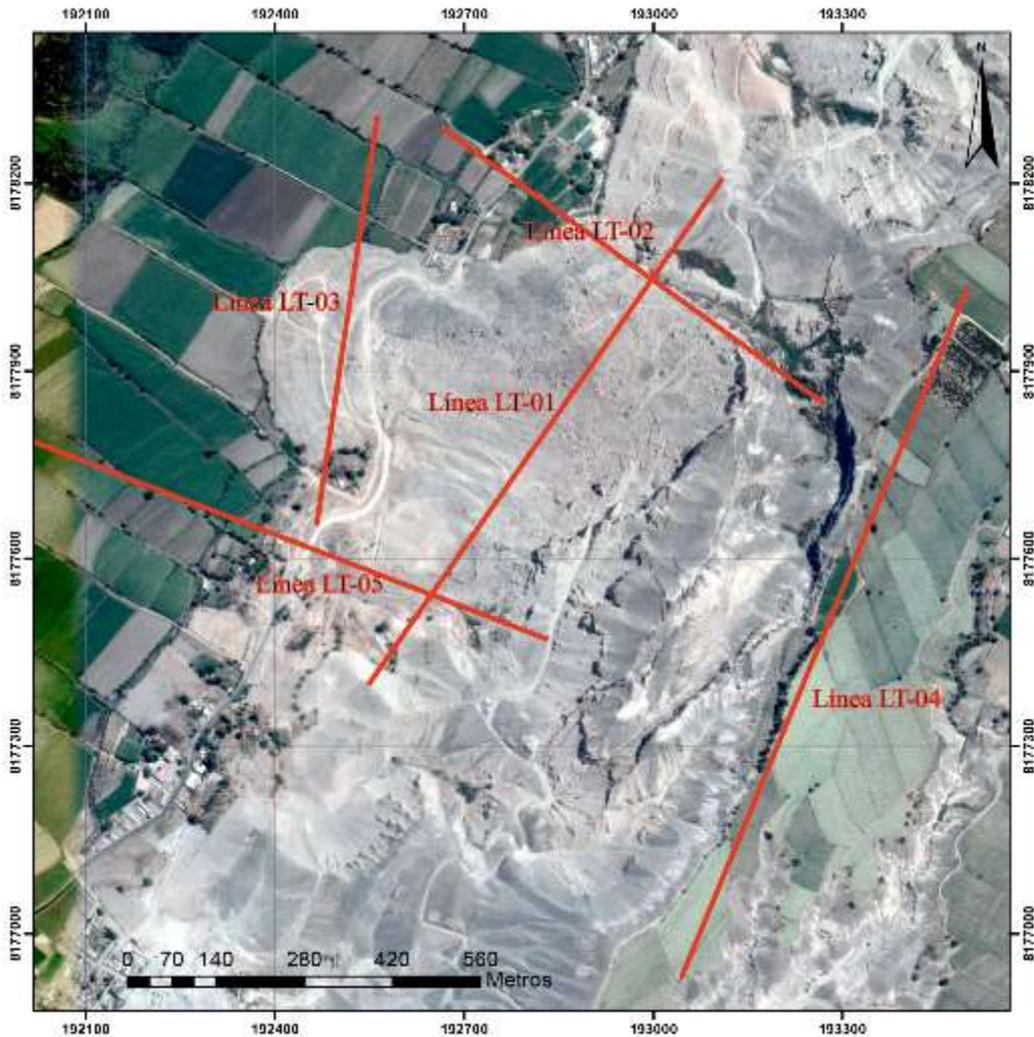


Figura 10: Perfiles sobre el deslizamiento de Pie de Cuesta

## 6.2. Análisis y Resultados

### 6.2.1. Perfil LT-1 (SW - NE)

El perfil LT-1 es transversal a la dirección de desplazamiento del deslizamiento de Pie de Cuesta, tiene una longitud de 960 metros, separados por electrodos cada 40 metros a lo largo de 10 canales. El tiempo de inyección de corriente fue de 1 segundo y un mínimo de 3 iteraciones repetidas en cada punto con el fin de obtener una desviación estándar <3% para cada valor de resistividad aparente.

Este sector geológicamente está formado por bloques de conglomerado e ignimbrita dispuestos en una matriz gravosa y arcillosa (foto 5), en la parte media del perfil los bloques de conglomerado e ignimbrita tienen un diámetro mayor a 2 metros (foto 6)

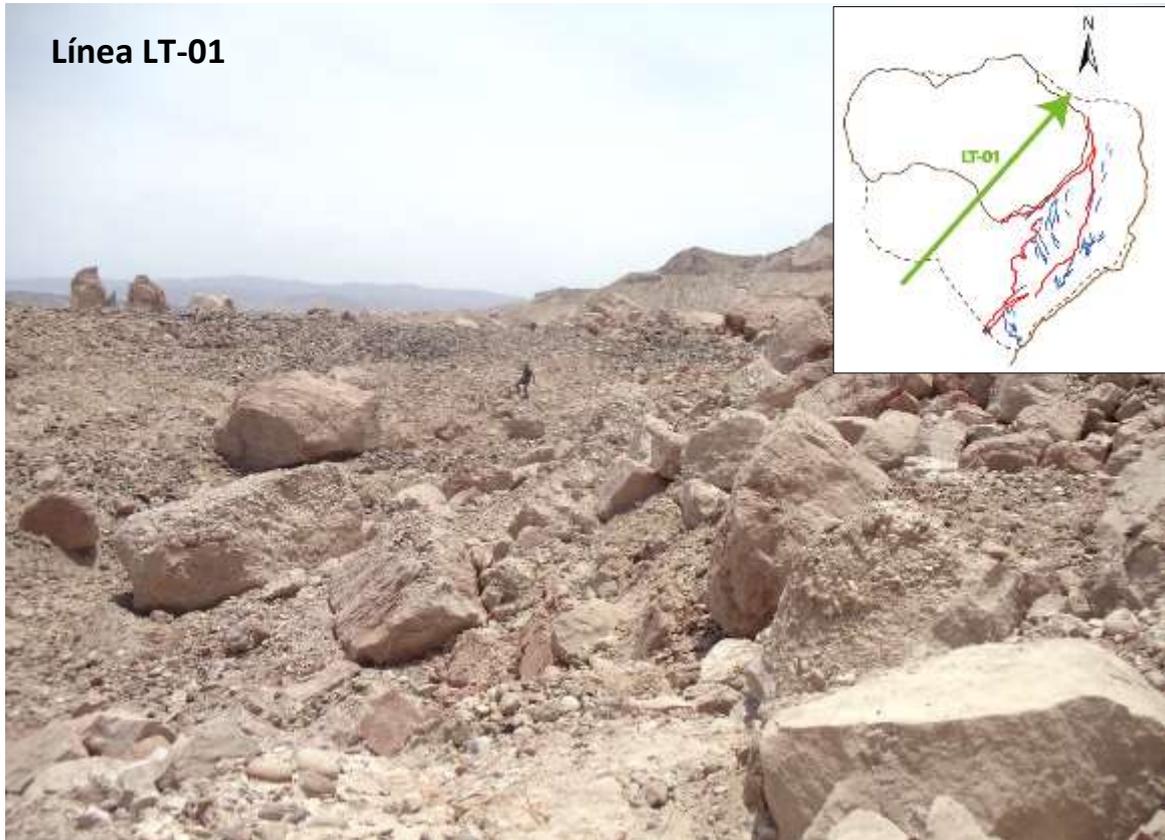


Foto 5: Bloques de conglomerado e ignimbrita sobre el corte del Perfil LT 01



Foto 6: Bloques con más de 2 metros de diámetro sobre la masa del deslizamiento

En el Perfil LT-1 se llega a caracterizar tres anomalías geoelectricas relacionadas a filtraciones de agua a profundidad (Zona de baja resistividad), las mismas que se encuentran ubicadas a ambos flancos del deslizamiento. La parte media del perfil tiene mayor resistencia a comparación de los flancos. Esta distribución marca dos zonas de discontinuidades geo eléctricas por el contacto diferencial de resistividades. Las zonas de saturación hídrica y/o filtraciones de agua, identificadas principalmente en el flanco derecho del deslizamiento (sector NE del perfil) están ubicadas entre los 5 a 20 m de profundidad (figura 11).

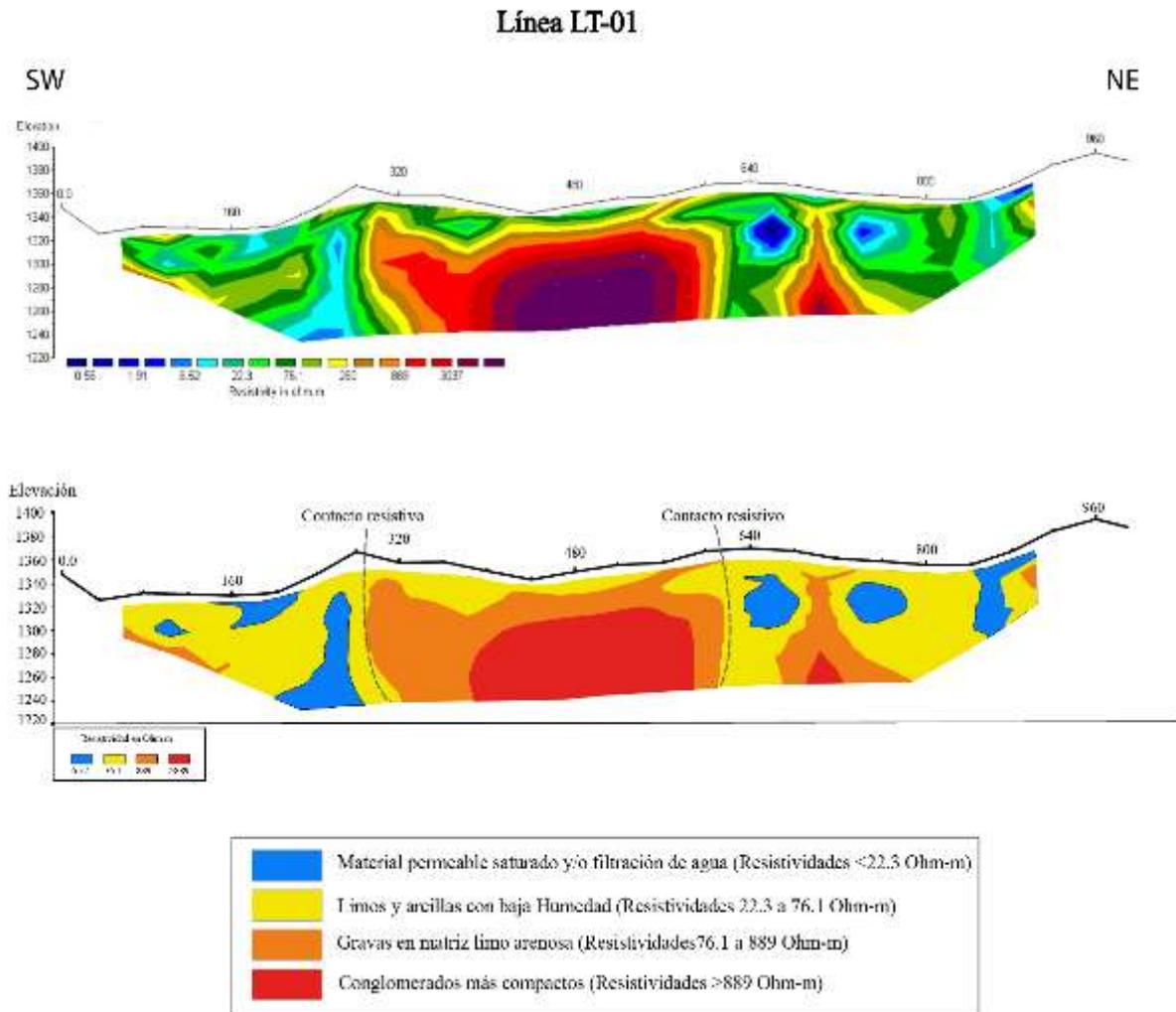


Figura 11: El lado NE del perfil LT-1 (flanco derecho del deslizamiento, con dirección al río), se observa resistividades bajas producto de saturación hídrica y/o zonas de humedad, en el extremo SW las áreas con presencia de humedad son menores a comparación del lado NE. Sin embargo, la parte media del perfil es altamente resistiva y se caracteriza por estar formada por materiales gravosos con matriz areno arcillosa.

### 6.2.2. Perfil LT-2 (SE - NW)

El perfil LT-2 de dirección SE a NW, ubicado en el flanco derecho del deslizamiento Pie de Cuesta (en dirección del río Vítor), tiene una longitud de 640 metros y está separado por electrodos cada 40 metros (foto 7).

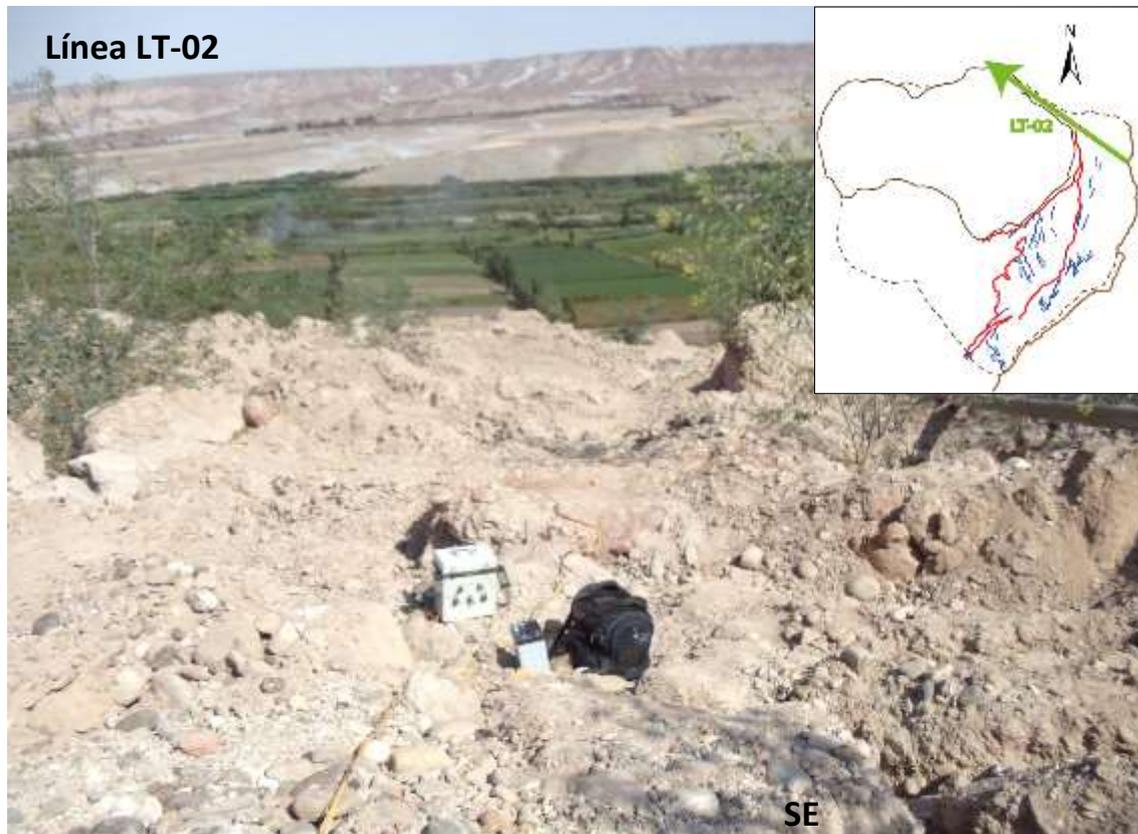


Foto 7: Vista SE – NW del perfil LT-02

La tomografía da como resultado una profundidad máxima de modelado de 110 metros.

En la figura 12 se muestra una variación lateral en la profundidad de la resistividad. A partir de los 80 m hasta los 200 y entre 480 metros hasta el final del perfil se puede observar una cobertura de material limo arenoso con gravas con resistividades bajas moderadas, el perfil está conformado por material limo arcilloso con cierto grado de humedad y fragmentos rocosos con resistividades bajas (22 Ohm-m a 76 Ohm-m).

Las zonas de filtraciones de agua superficial y subterránea se localizan entre los 30 a 300 metros de la longitud del perfil (parte alta del perfil, sector SE); Asimismo se observan ligeras zonas de saturación en superficie entre los 330 a 470 m del corte del perfil.

### Línea LT-02

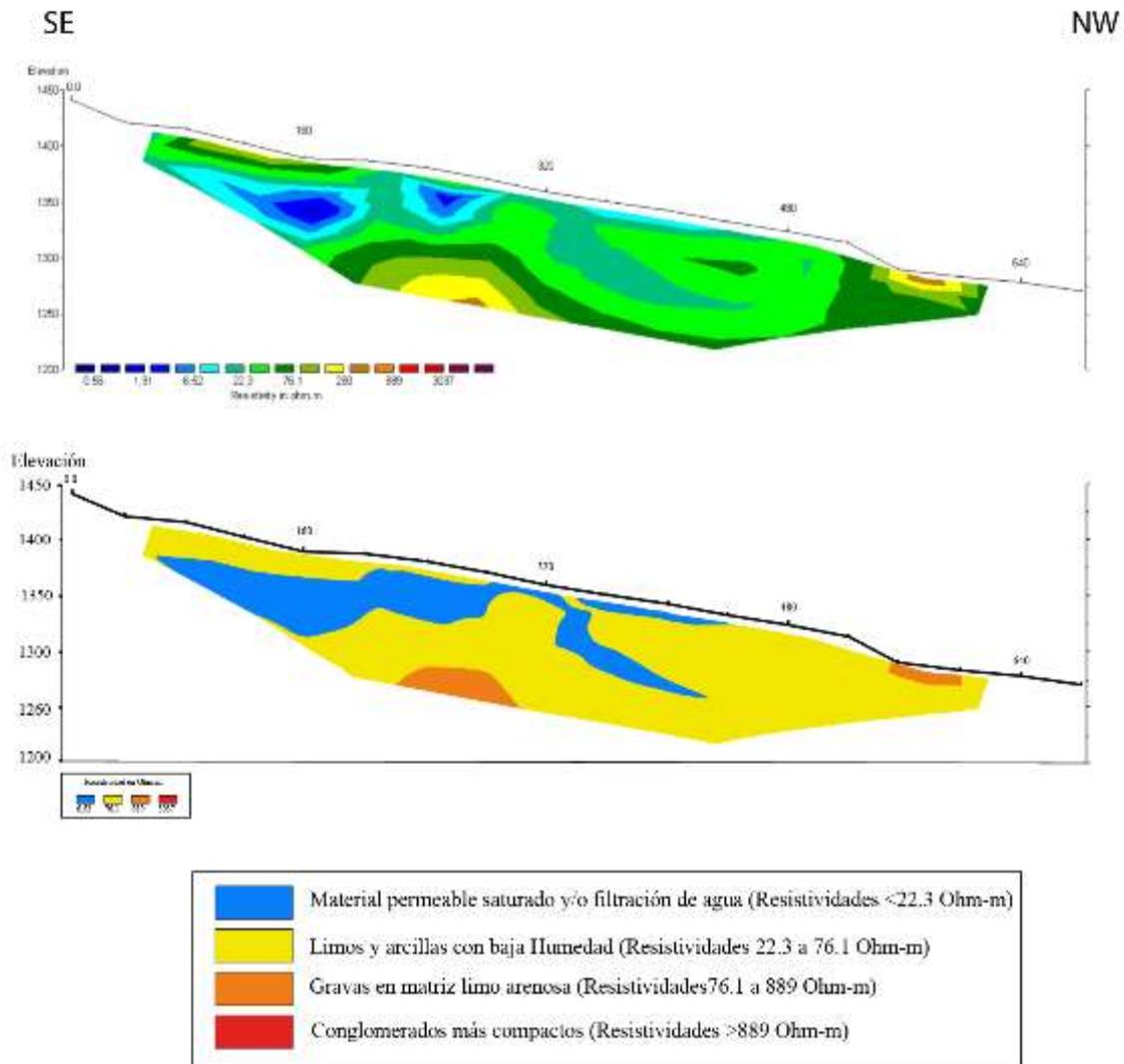


Figura 12: El lado SE del perfil LT-2 (parte alta del deslizamiento), se observa resistividades bajas producto de saturación hídrica y/o zonas de humedad a 50 metros de profundidad, mientras que en la parte baja del perfil hay zonas de saturación superficial, corroboradas con filtraciones superficiales en la masa desplazada del deslizamiento.

La municipalidad de Vítor colocó tubos de plástico para el drenaje de filtraciones sobre el movimiento. Sin embargo, las rupturas y falta de mantenimiento de los mismos continua con el desfogue del agua sobre la masa desplazada del deslizamiento de Pie de Cuesta (fotos 8 y 9).



Fotos 8 y 9: ruptura de drenajes precarios sobre la masa desplazada del deslizamiento

### 6.2.3. Sección LT-3 (N - S)

Se realizó una sección longitudinal al drenaje del río Vitor utilizando la componente dipolo-dipolo (D-D). La longitud total de la sección de 560 metros, separando los electrodos cada 40 metros (foto 10). El tiempo de inyección de corriente fue de 1 segundo y un mínimo de 3 iteraciones repetidas en cada punto con el fin de obtener una desviación estándar <3% para cada valor de resistividad aparente.

El perfil LT-3 de dirección N -S, es transversal a la dirección de desplazamiento y está ubicado en el frente de avance del deslizamiento Pie de Cuesta, tiene una longitud de

560 metros y está separado por electrodos cada 40 metros. La presencia de gravas clasto soportadas en una matriz arcillosa y bloques de conglomerado con presencia de agrietamientos en el terreno son característicos en el área del corte del perfil.

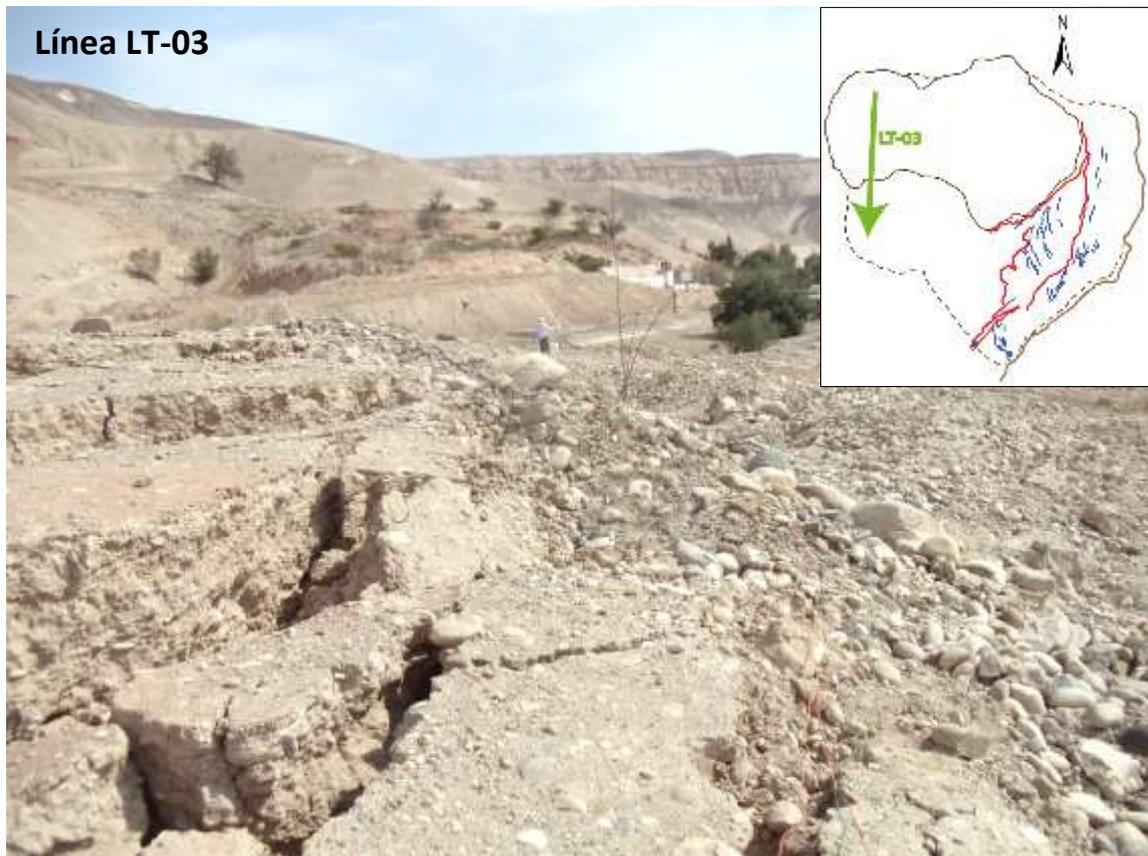


Foto 10: Vista del material poco consolidado y agrietado sobre el corte del perfil LT-03.

La tomografía da como resultado una profundidad máxima de penetración de modelado de 110 metros. La figura 13, muestra una variación vertical y lateral de la resistividad. A partir del punto 240 m hasta los 520 metros se puede observar un cuerpo de alta resistividad que corresponde a los conglomerados y/o material más consolidado, a 40 m de profundifas.

Las resistividades más bajas y bajas están relacionadas a zonas con presencia de agua y/o filtraciones de agua con valores menores a 22.3 Ohm-m, mientras las que van entre 22.3 a 76.1 Ohm-m están relacionadas la presencia de material limo arenosa con poca humedad. El material inconsolidado con mayor proporción en toda la sección corresponde material areno limosa con incrustación de gravas y boloneras de todo tamaño, tienen una resistividad de entre 76.1 a 889 Ohm-m.

Se llega a caracterizar cuatro anomalías geoelectricas, relacionadas a material saturado de 12 a 22 m de profundidad a ambos extremos del perfil.

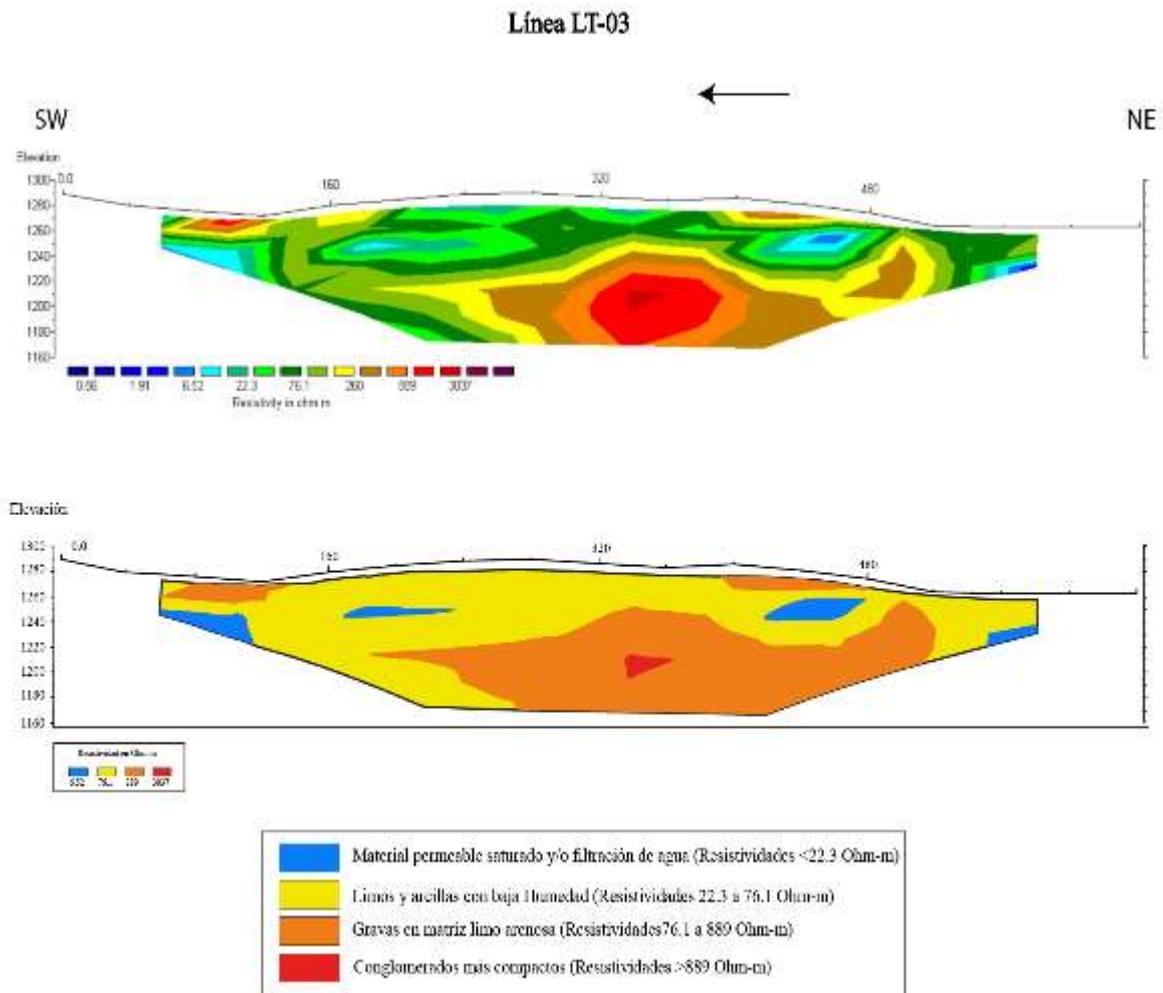


Figura 13: En la parte superficial del perfil 3 se muestra saturación de material.

#### 6.2.4. Sección LT-4

El perfil 04 se realizó en la parte superior del deslizamiento (sector estable, a 05 metros de la escarpa principal del deslizamiento de Pie de Cuesta). La longitud total de la sección es de 1160 metros, separando los electrodos cada 40 metros (foto 11). El tiempo de inyección de corriente fue de 1 segundo y un mínimo de 3 iteraciones repetidas en cada punto con el fin de obtener una desviación estándar <3% para cada valor de resistividad aparente.

Este sector está caracterizado por estar constituido por materiales finos propios de terrenos agrícolas por encima de conglomerados consolidados pertenecientes a la formación Moquegua superior.



Foto 11: Vista del área de influencia del perfil 4, parte alta del deslizamiento de Pie de Cuesta (flanco izquierdo del valle de Vítor).

La tomografía eléctrica sobre el perfil 4 a partir de los 80 m a 1120 muestra en subsuelo cobertura de material areno limoso con gravas de resistividades bajas a moderadas conformando la mayor proporción litológica con grosores de entre 10 m hasta 110 m, Asimismo el material húmedo conforma la gradiente resistiva creciente en los halos de las anomalías de menor resistividad, llegándose a caracterizar a profundidad siete anomalías geo eléctricas relacionadas a saturaciones, filtraciones de agua y/o zona de mayor humedad a profundidades de 30 a 90 m (figura 14).

Línea LT-04

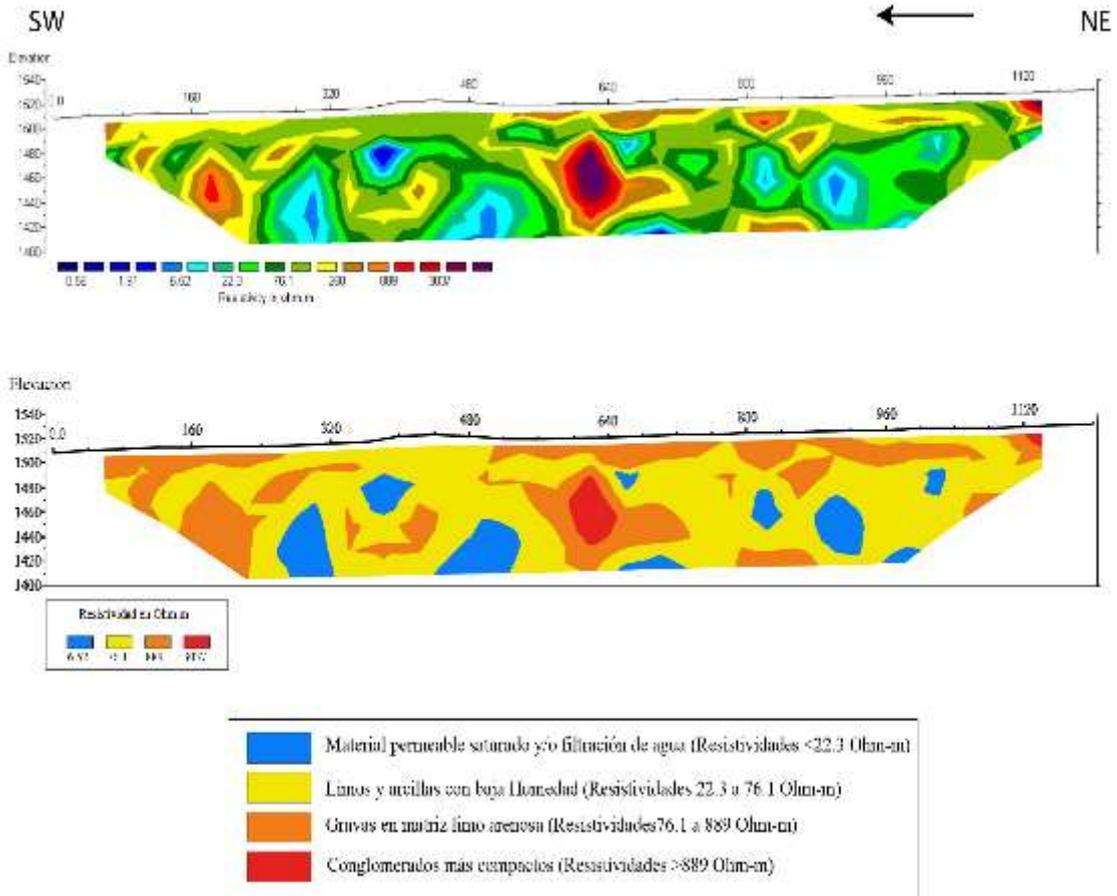


Figura 14: Distribución de resistividades en el perfil 4 (parte estable del deslizamiento de Pie de Cuesta).

### 6.2.5. Sección LT-5

Se realizó una sección transversal al drenaje del río Vítor utilizando la componente dipolo-dipolo (D-D). La longitud total de la sección de 800 metros, separando los electrodos cada 40 metros (foto 12). El tiempo de inyección de corriente fue de 1 segundo y un mínimo de 3 iteraciones repetidas en cada punto con el fin de obtener una desviación estándar <3% para cada valor de resistividad aparente.

El perfil LT-5 de dirección SE -SW, es transversal a la dirección de desplazamiento y está ubicado en flanco izquierdo del deslizamiento Pie de Cuesta, tiene una longitud de 800 metros y está separado por electrodos cada 40 metros.

## Línea LT-05



Foto 12: Vista del flanco izquierdo del deslizamiento de Pie de Cuesta (perfil LT-05).

La tomografía da como resultado una profundidad máxima de penetración de modelado de 110 metros. La figura 15, muestra una variación vertical y lateral de la resistividad. A partir del punto 180 m hasta los 350 metros se puede observar un cuerpo de alta resistividad que corresponde a los conglomerados y/o material más consolidado.

Las resistividades más bajas y bajas están relacionadas a zonas con presencia de agua y/o filtraciones de agua con valores menores a 22.3 Ohm-m, mientras las que van entre 22.3 a 76.1 Ohm-m están relacionadas la presencia de material limo arenosa con poca humedad. El material inconsolidado y saturado, ubicado en la parte inferior, parece estar relacionado a la saturación de agua del río Vítor (acuífero libre).

En el perfil se diferencian tres anomalías geoelectricas a profundidad, relacionadas a material permeable saturados de agua a profundidades someras de 2 a 30 m (figura 15).

Línea LT-05

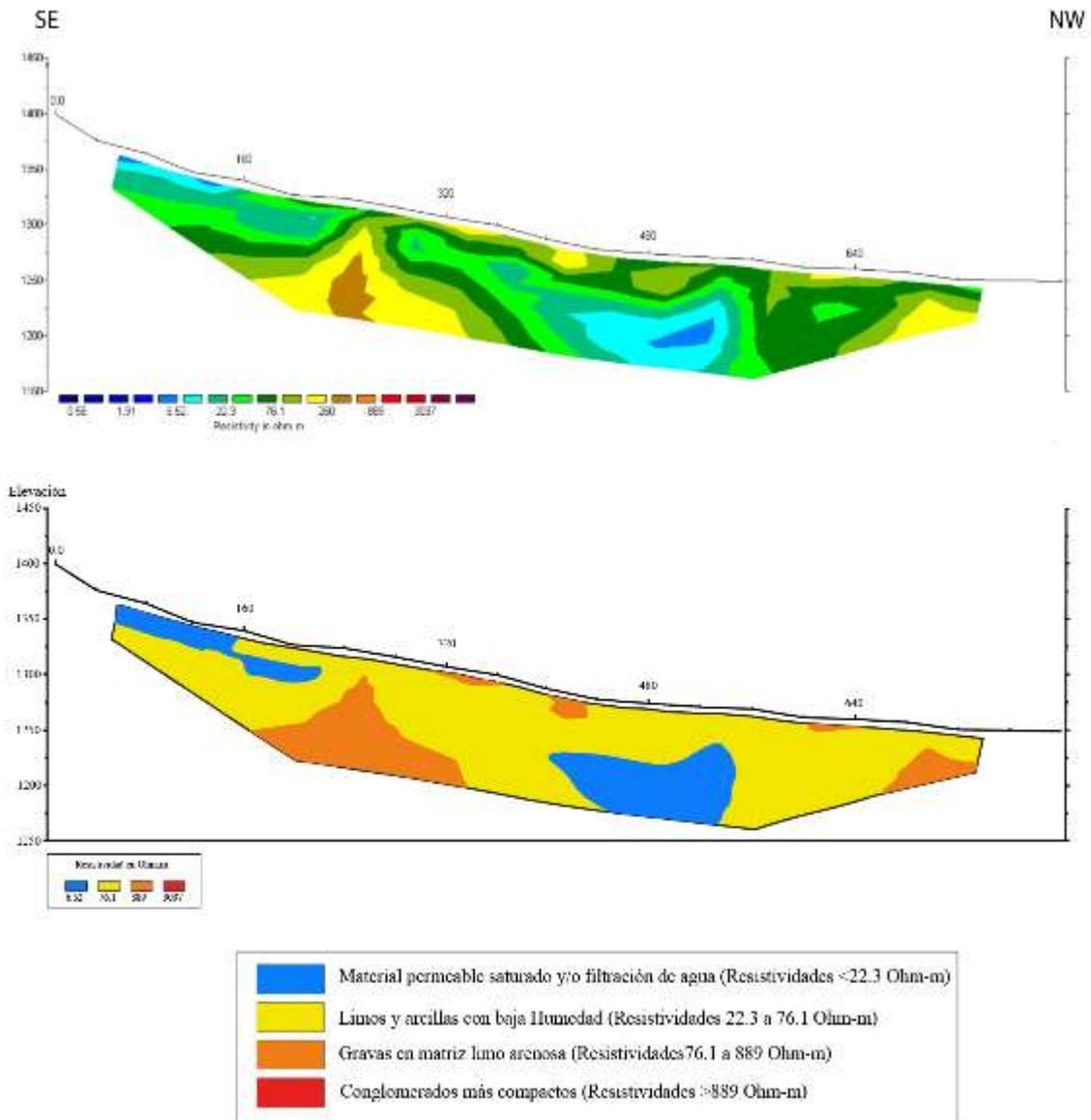


Figura 15: Configuración Dipolo-Dipolo. Arriba: Perfil de tomografía eléctrica donde se observan resistividades que caracterizan los diferentes materiales con aparente variación lateral y donde existe tres zonas de muy baja resistividad, relacionada a la presencia probable de filtraciones de agua.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. La inestabilidad en los taludes del valle de Vítor, se debe a:
  - a) Secuencias de estratos conglomerádicos no litificadas o poco consolidadas que permiten la infiltración hacia el subsuelo. Los niveles o secuencias limoarcillosas retienen el agua infiltrada.
  - b) Pérdida de cohesión y aumento en la presión de poros en el material saturado por efecto de las filtraciones de las irrigaciones La Cano y La Joya.
  - c) Pendiente del terreno, que permite que el material pierda estabilidad.
2. Geológicamente el área de estudio está constituida por afloramientos de la Formación Moquegua, que contiene secuencias de conglomerados, areniscas arcósicas y tobáceas y arcillas.
3. En base al cartografiado y mapa de susceptibilidad, el deslizamiento de Pie de Cuesta es uno de los fenómenos geodinámicos más activos del valle de Vítor; por sus características de reactivación, es un movimiento de **Alto Peligro**, cuyo avance afecta hectáreas de terreno agrícola sobre las extensiones del valle del Vítor.
4. Siendo una zona de alta susceptibilidad a los movimientos en masa, debido a las características del material que conforman las laderas, si no se cambian las técnicas de riego, así como el tipo de cultivos en las pampas de La Joya, con menor cantidad de uso de agua, estos eventos seguirán produciéndose originándose a la vez un avance retrogresivo hacia la cabeza de los deslizamientos con pérdida de terrenos agrícolas.
5. El deslizamiento de Pie de Cuesta muestra tasas de desplazamiento horizontal de hasta ~37 metros en el primer semestre de monitoreo (10/11/2017 al 13/05/2018), localizándose como zona de mayor actividad la parte media y baja del deslizamiento.
6. El último trimestre de monitoreo (10/11/2017 al 10/02/2018), el promedio de las tasas de desplazamiento incrementó en +6 m en la parte media y +50 cm en la parte baja del deslizamiento.
7. En los trabajos de geofísica se han identificado cuatro horizontes de bajas a altas resistividades, que reflejan las propiedades geoelectricas del subsuelo, identificando saturación hídrica y/o infiltración superficial y subterránea, terrenos inestables y consolidados asociados a la dinámica de movimiento del deslizamiento de Pie de Cuesta:
  - El primero con bajas a muy bajas resistividades menores a 22.3 Ohm-m, estaría constituido por la presencia de material de alta conductividad, anomalías que probablemente estén relacionados a la presencia de filtraciones de agua y/o con saturación de agua. Fue identificado en las cinco líneas levantadas.
  - Se ha identificado un material limo arcilloso con poca humedad con resistividades de 22.3 Ohm-m a 76.1 Ohm-m que bordean a las zonas de baja a

muy baja resistividad; Asimismo se ha determinado un material areno limoso con gravas y boloneras con resistividades de entre 76.1 a 889 Ohm-m.

- Se presentan cuerpos y/o zonas de alta resistividad constituidos por los conglomerados y boloneras en matriz areno limosa poco más compactos con valores de resistividades mayores a 889 Ohm-m.
8. La distribución de anomalías encontradas en los perfiles longitudinales y transversales a la dirección de desplazamiento del deslizamiento de Pie de Cuesta, muestra la presencia de abundante saturación hídrica sobre su masa, factor que acelera su tasa de desplazamiento.
  9. El perfil geofísico LT-04, ubicado en la parte estable de la escarpa principal del deslizamiento de Pie de Cuesta, muestra saturación hídrica posiblemente asociada al nivel freático del sector a +80 metros de profundidad.
  10. La reactivación de movimientos en masa en el área de influencia del deslizamiento de Pie de Cuesta es de riesgo alto por la presencia de cicatrices recientes, activaciones de deslizamientos y caídas de rocas en las laderas del valle de Vítor.
  11. Debido al comportamiento muy activo del deslizamiento Pie de Cuesta, se recomienda la evacuación de los pobladores cuyas viviendas o terrenos de cultivo se encuentran afectados por el avance de la masa del fenómeno activo.
  12. Se recomienda continuar con el monitoreo geodésico ya que nos permite contar con un registro histórico de datos de desplazamientos, los cuales pueden servir como base para validar cuantitativamente una futura medida de estabilización.
  13. Se ratifica las observaciones y recomendaciones del informe técnico del INGEMMET, A6722 “Evaluación Geológica y Geodinámica de deslizamientos en el flanco izquierdo del Valle de Vítor, sectores Pie de Cuesta, Telaya, Gonzales y Socabón” (Araujo G. & Miranda R., 2016).

## 8. BIBLIOGRAFÍA.

- Araujo, G. y Miranda, R. (2016). Evaluación geológica y geodinámica de deslizamientos en el flanco izquierdo del valle de Vitor, sectores Pie de Cuesta, Telaya, Gonzales y Socabón. Distrito Vitor y la Joya, Región Arequipa, Provincia de Arequipa. Informe técnico A6722 – INGEMMET.
- Asencio I., et al. (2015). Como realizar un mapa de uso actual de suelos, Universidad Politecnica de Valencia, España, p 62.
- Evans, I. S. y Chorley, R. J. (1972). Spatial Analysis in Geomorphology, General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics, pág 17 -90.
- Iris Instruments (2006). “Resistivity Imaging Magnetic Resonance, Induced Polarization, Electromagnetics, Data Loggers” en Catálogo Environmet engineering groundwater mineral exploration. Orleans. France. p 45.
- Loke, M. H. 2001. Tutorial: 2-D y 3-D electrical imaging surveys. Geotomo Software, Malasia
- Orellana, E. 1982. Prospección geoeléctrica en corriente continua. Madrid.
- Pari P., W. (2014). “Prospección Geofísica aplicando el Método de Tomografía Eléctrica en el área del distrito El agustino, Lima” – Informe Técnico de la DGAR del INGEMMET. Lima. 2014. p 17.
- Ponce, V. (2008). Impacto hidrológico y ambiental de las irrigaciones de La Joya y San Isidro-La Cano en el Valle de Vitor, Arequipa, Perú.
- Portuguez H., et al. (2015). Mapa nacional de Cobertura vegetal, Ministerio del Ambiente, p 108.
- Vargas V. L. (1970). “Geología del Cuadrángulo de Arequipa”. Servicio de Geología y Minería. Boletín N°24 – Carta Geologica Nacional- Serie “A”- Instituto Geológico Minero y metalúrgico. p 73. Lima-1970.
- Zavala, B., Nuñez, S., Gomez, D. (2012). Estudio Geoambiental en la cuenca Quilca-Vitor-Chili (Región Arequipa). Reporte preliminar de zonas críticas por peligro geológico – INGEMMET