



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú



ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SUELOS ALREDEDOR DEL DESLIZAMIENTO DE SIGUAS

(Distrito de Majes y Sigwas, Provincia de Caylloma)

(Región de Arequipa)

Lima - Perú
Octubre, 2018

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SUELOS ALREDEDOR DEL DESLIZAMIENTO DE SIGUAS

(Distrito de Majes y Sigwas, Provincia de Caylloma)

(Region de Arequipa)

Isabel Bernal

Liliana Torres

Hernando Tavera

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SUELOS ALREDEDOR DEL DESLIZAMIENTO DE SIGUAS

Coordinador: Hernando. Tavera

Responsable: Isabel Bernal

Trabajos de campo: Wilfredo Sulla
Liliana Torres
Kelly Pari

Apoyo Administrativo: Roberth Yupanqui
Marisol Enríquez

RESUMEN

En este estudio se evalúa el comportamiento dinámico del suelo en la Irrigación Majes - Sigwas, mediante el uso de técnicas geofísicas como el método de resistividad eléctrica y razones espectrales, esta última sugiere que los suelos, responden a periodos menores a 0.0 segundos (bajos) y mayores a 0.6 segundos (altos). Los cortes geo-eléctricos, definen la presencia de dos capas, una superficial con baja saturación y otra a profundidades mayores a 60 metros con suelos altamente saturados. Los resultados obtenidos indican la existencia de tres capas, estando la intermedia saturada. Esta capa influye en la inestabilidad de los suelos en la zona de estudio. De acuerdo a sus características físicas y dinámicas, los suelos son de Tipo S1, S3 (suelos semirrígidos a flexibles) y S4, presentes en la zona de pendiente, que corresponden a suelos inestables, susceptibles a sufrir derrumbes ante la ocurrencia de sismos.

ÍNDICE

RESUMEN

1.- INTRODUCCIÓN

2.- DATOS Y METODOLOGÍA

2.1.- Análisis frecuencial

2.1.1.-Recolección de datos

2.1.2.-Procesamiento

2.1.3.-Interpretación

2.2.-Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

2.2.1.-Recolección de datos

2.2.2.-Procesamiento

2.2.3.-Interpretación

3.- RESULTADOS

3.1. –Análisis frecuencial

3.1.1. Periodos dominantes

3.2.-Método eléctrico

3.3.-Mapa de zonificación sísmica

4.- DISCUSIÓN

5.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO 1

1.- INTRODUCCIÓN

La zona de Sigüas, se ubica a 67 km al Oeste de la ciudad de Arequipa entre los distritos de Majes y San Juan de Sigüas, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa (Figura 1). Desde el punto de vista geológico, los suelos de la conocida “Pampa de Majes y Sigüas”, están cubiertos por depósitos aluviales, depósitos eólicos, asentados sobre estratos de la Formación Moquegua (dividida en Moquegua Inferior y Moquegua Superior) que litológicamente, está formada por areniscas, conglomerados con presencia de arcillas y yeso, además de secuencias volcánicas cuya característica principal es su alto grado de porosidad (Guisado, 1968; INGEMMET, 2017, 2016). Mientras que, al extremo NE, hasta la zona del deslizamiento se presentaría la Formación Millo, en la capa superficial, compuesta por conglomerados, con intercalaciones de tobas.

De acuerdo a la geomorfología del área de estudio, las pampas de Majes y Sigüas, se encuentran a aproximadamente 200 metros de altura respecto al río Sigüas. Este acantilado presenta materiales altamente erosivos, dando origen a continuos deslizamientos del tipo rotacional retrogresivo muy activo y siendo su movimiento lento y moderado lo que ha generado una escarpa circular de 14 metros de longitud (Figura 2), donde la litología que predomina presenta un alto grado de porosidad (INGEMMET, 2017), permitiendo que el agua percole y sature el medio.

Estos deslizamientos son considerados como los movimientos de masa más importante en el sector de Majes - Sigüas, siendo de alto riesgo para la población aledaña, el transporte, la actividad propia de la irrigación que serían afectados por el avance del deslizamiento hacia la Carretera Panamericana Sur y para el canal que cruza este sector. En el presente año, han ocurrido dos movimientos de masas en esta zona: el primero el 04 de marzo y el segundo, el 19 de setiembre, este último llegó hasta el canal de regadío; es decir a 20 metros de la carretera Panamericana Sur, próximo a la planta de Leche Gloria y del área donde se encuentra la Balanza electrónica.

Por otro lado, los resultados obtenidos del monitoreo de aguas subterráneas realizados por AUTODEMA en el 2016, indican que debido al desmesurado riego, se genera la percolación de aguas que se almacenan para recargar la capa acuífera presente en la formación Moquegua

Inferior. En abril del 2016, se deslizó un gran volumen de suelo en el sector El Zarzal, quedando al descubierto una escarpa de gran longitud que comprometió a la Parcela de El Alto, la Carretera Panamericana, líneas de transmisión eléctrica y de telefonías, el canal By-Pass, la Planta de Leche Gloria y áreas colindantes que involucra a la población.

Ante estos escenarios, el Gobierno Regional de Arequipa, solicitó al Instituto Geofísico del Perú (IGP), realizar el estudio de zonificación sísmica del suelo de Majes – Sigwas, específicamente en la zona de influencia del deslizamiento de Sigwas. En respuesta, el IGP realizó trabajos de campo entre los días 22 al 24 de Agosto del presente año, con el objetivo de recolectar información geofísica (registro de vibraciones ambientales y prospección eléctrica), que al ser procesada y analizada permite obtener el mapa de zonificación sísmica de los suelos de Majes-Sigwas. Ante la constante incidencia de sismos de moderada a gran magnitud en la región sur del Perú, esperamos que los resultados obtenidos en este estudio permitan realizar acciones que conlleven a reducir el riesgo al desastre.

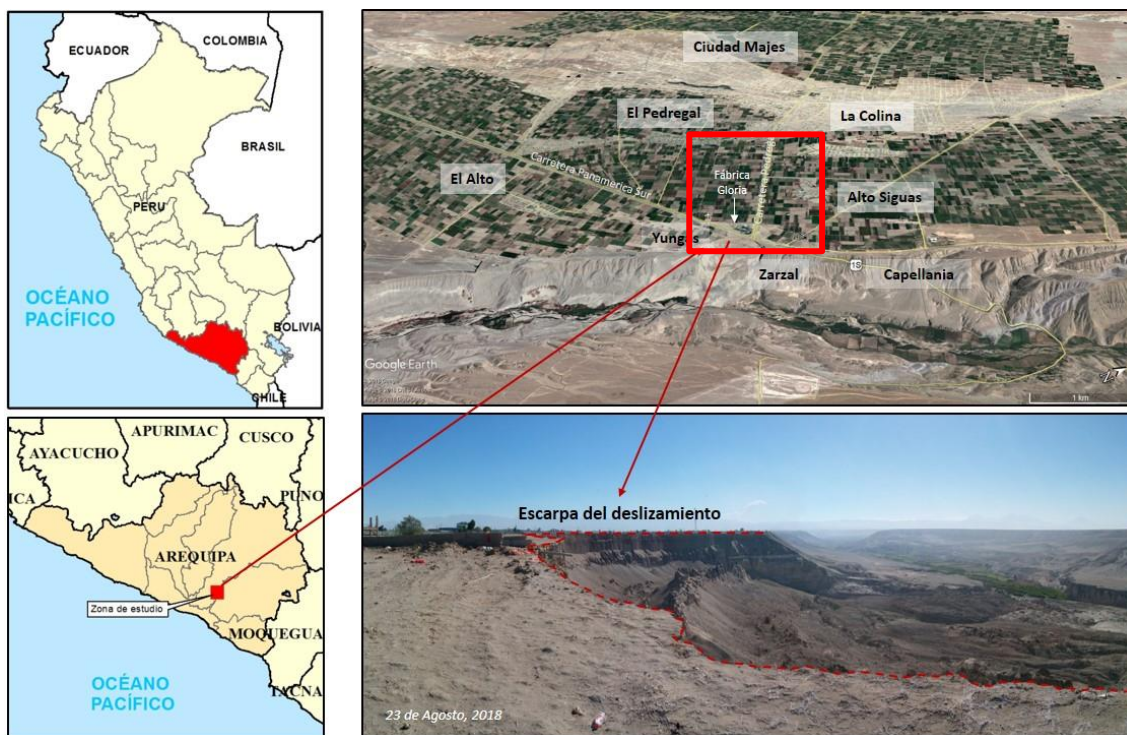


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio: Majes – Sigwas (cuadro rojo)

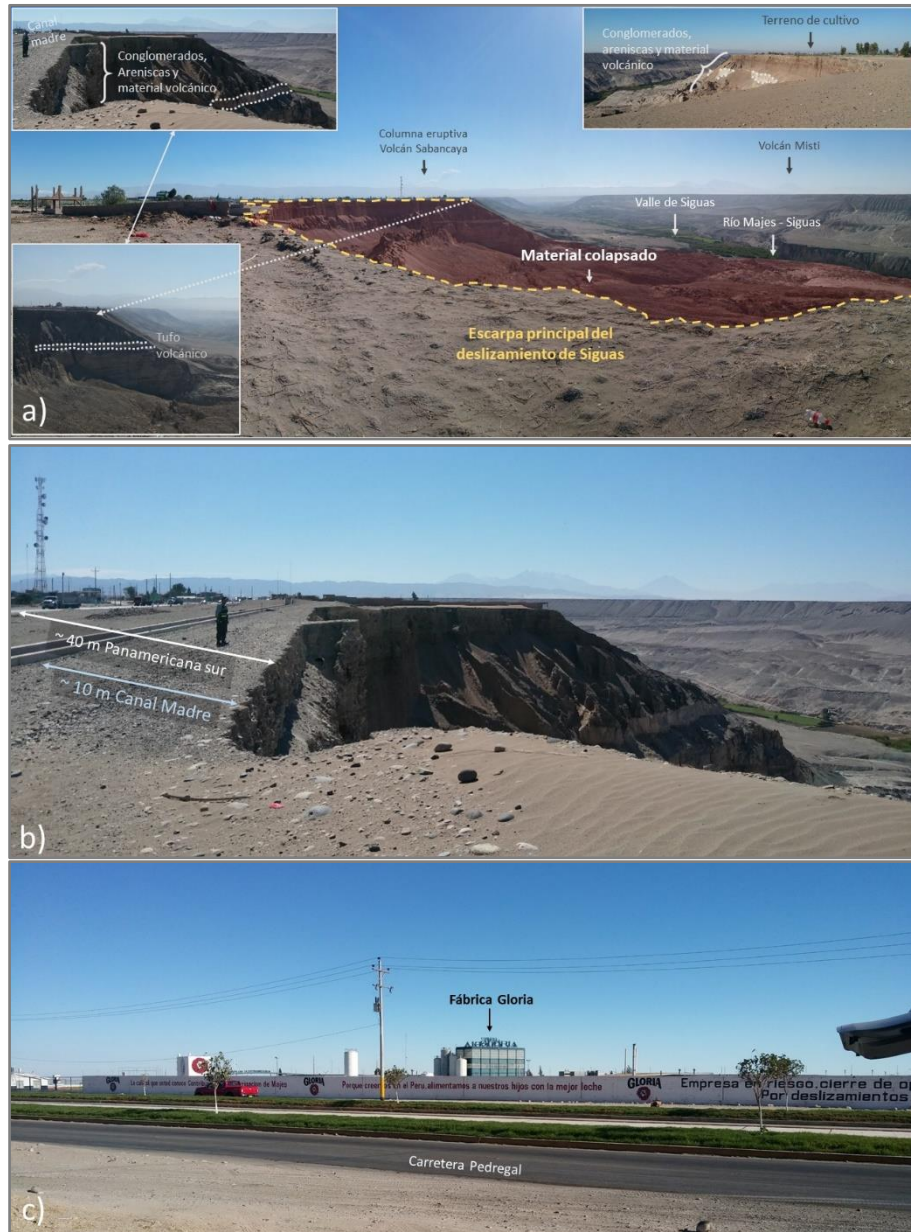


Figura 2. a) Deslizamiento de Siguas, b) Fabrica Gloria próxima a la carretera Panamericana Sur, c) Vista de la Fábrica Gloria próxima a la zona del deslizamiento.

2.- DATOS Y METODOLOGÍA

En este estudio se ha realizado la aplicación de los siguientes métodos sísmicos y geofísicos: razones espectrales (H/V) y tomografía eléctrica. Todos tienen como principal objetivo conocer las propiedades físicas del subsuelo (periodos dominantes, resistividades del subsuelo, niveles freáticos, etc.) a efectos de lograr su caracterización geofísica. En la Figura 3, se presentan el mapa con la ubicación de los puntos donde se tomaron datos de vibración ambiental y los lugares donde se realizaron los arreglos de prospección eléctrica. Asimismo, se indica los puntos se tiene piezómetros instalados por el Gobierno Regional. A continuación, se describe el desarrollo de estos métodos y los principales resultados obtenidos para la zona de estudio.

2.1.- Análisis Frecuencial

Una de las variables que se consideran más relevantes, en cuanto a la respuesta dinámica de los suelos, son su frecuencia predominante o periodo dominante y su factor de amplificación; ambos definen las características físicas que hacen diferentes a los suelos. Para el cálculo de estos parámetros dinámicos, se hace uso de la transformada de Fourier y el método de Razones Espectrales H/V.

EL **método de Razones Espectrales H/V** descrito por Nakamura (1989), permite caracterizar la respuesta dinámica del sitio y en algunos casos, estimar la amplificación sísmica, haciendo uso de registro de vibración ambiental (ruido generado por la actividad humana). Estos parámetros, dependen de las condiciones geológicas, estratigráficas y geomorfológicas de los suelos en sus primeras decenas de metros por debajo de la superficie. Debe entenderse, que la variación de las propiedades físicas de cada capa estratigráfica superficial de diferente espesor, geometría y composición litológica, causaran o no, la amplificación de las ondas sísmicas incidentes, propiedades que son utilizadas para conocer las características físicas del suelo.

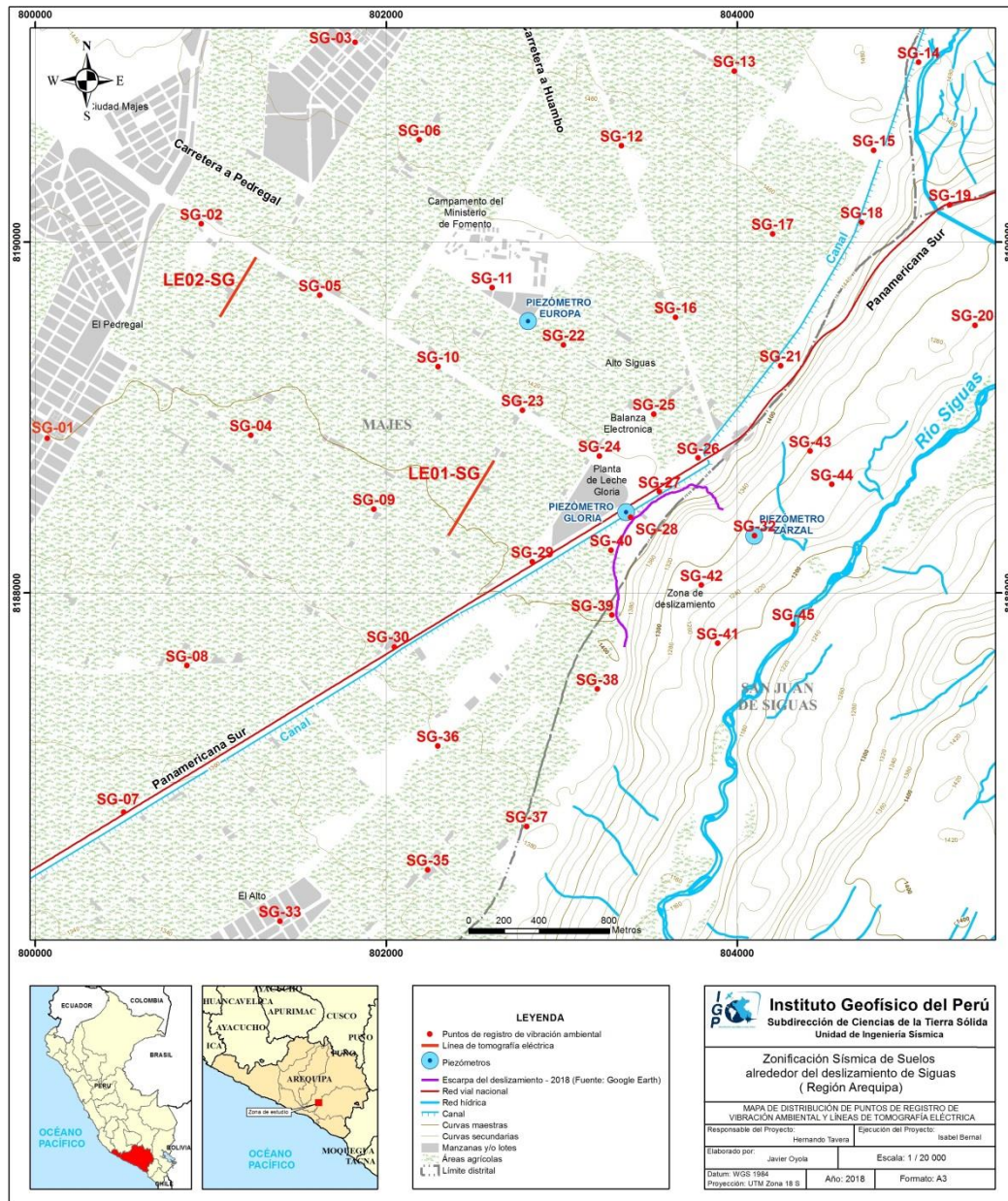


Figura 3: Distribución espacial de los puntos donde se adquirieron registros de vibración ambiental (SG-01,...SG-45), arreglos eléctricos (LE01-SG, LE02-SG). Los círculos, indican la ubicación de los piezómetros.

2.1.1.- Recolección de datos

Los datos recolectados en campo corresponden a 45 registros de vibración ambiental recolectados en El Alto, Pedregal, La Colina, Alto Sigüas, Balanza Electrónica, Fábrica Gloria, el Zarzal y el deslizamiento de Sigüas, tal como se observa en la Figura 3. Para el registro de vibraciones ambientales se ha usado sensores Lennartz y registradores CityShark II, ver Figura 4.

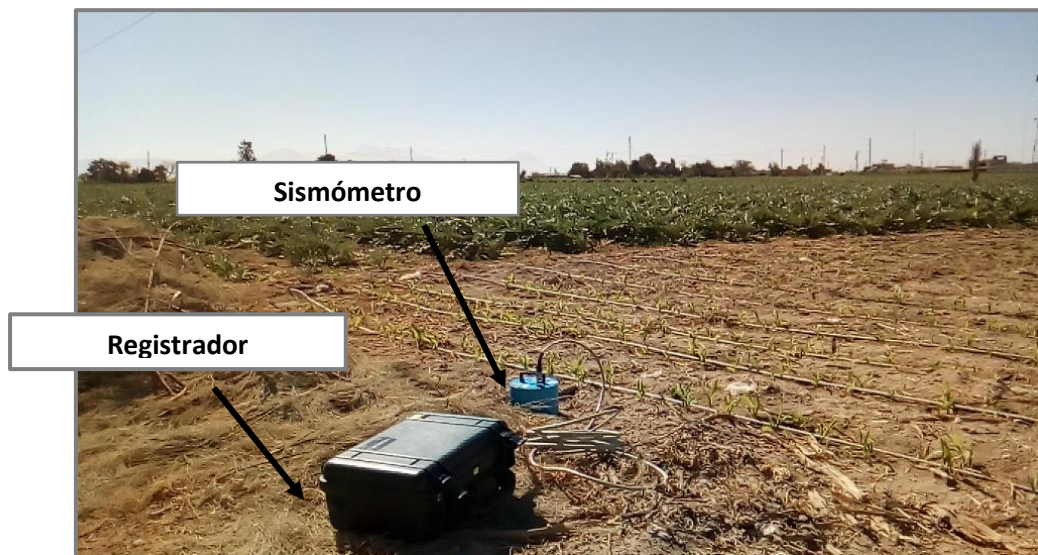


Figura 4: Equipo utilizado para el registro de vibración ambiental y disposición del equipo para la toma de datos.

2.1.2.- Procesamiento

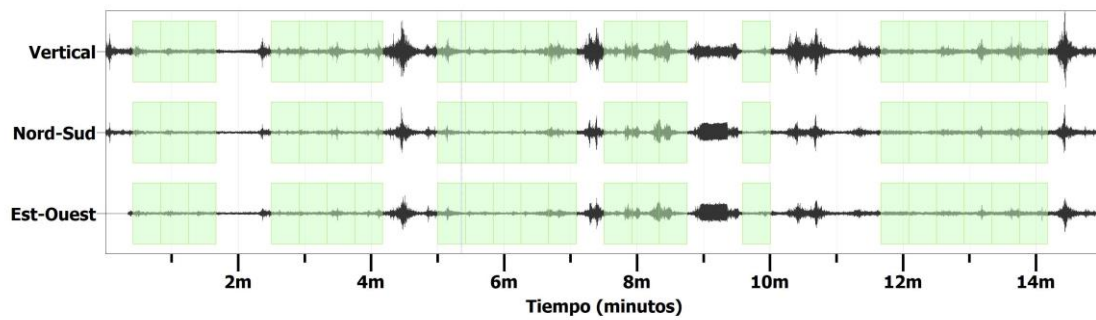
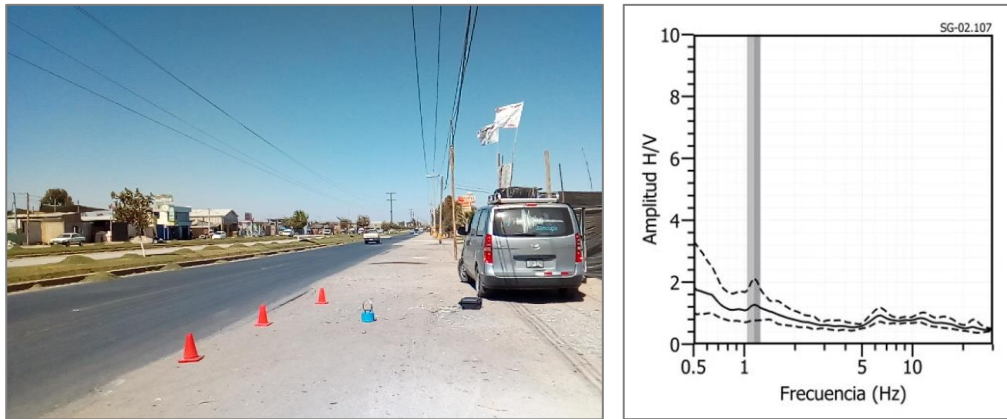
Para aplicar la técnica de razones espectrales H/V, los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas de 20 segundos, para luego usar la Transformada Rápida de Fourier a fin de obtener espectros para cada componente (E-O/N-S/V), las mismas que al relacionarse se estima H/V; es decir, la relación entre las componentes horizontales y la vertical. Para identificar la frecuencia predominante, se considera, el rango de interés que fluctúa entre 0.5 a 20 Hz y picos/rangos con amplificaciones relativas de al menos 2 veces. El registro de esta información, su análisis (razones espectrales) e interpretación, permite conocer el periodo natural de vibración del suelo y el factor de amplificación (Figura 5), parámetros que definen el comportamiento dinámico del suelo ante la ocurrencia de eventos sísmicos.

2.1.3.- Interpretación

Para la interpretación de los resultados obtenidos a partir de las razones espectrales, se considera lo siguiente: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar, y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos), 2) Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos 3) Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2006; Bernal, 2006) y 4) La frecuencia predominante considerando un rango de interés en este estudio fluctúa entre 0.5 a 20 Hz, además de picos/rangos con amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de “1” como punto de referencia).

Finalmente, para la presentación de los resultados, las frecuencias son convertidas a valores de periodos dominantes.

Punto SG-02



Punto SG-27

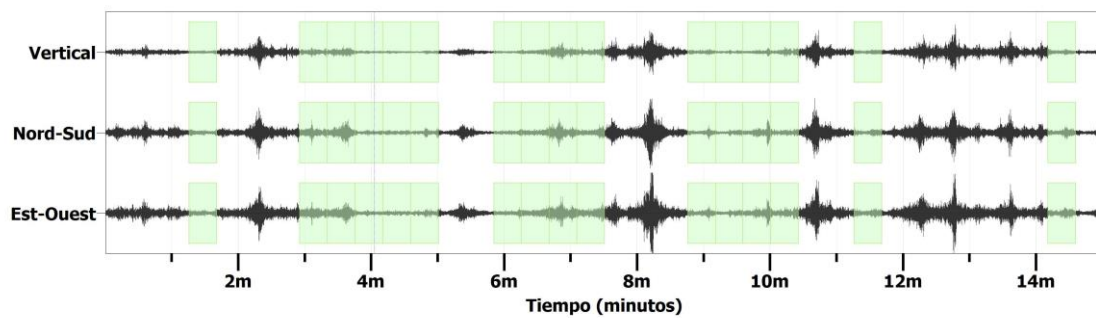
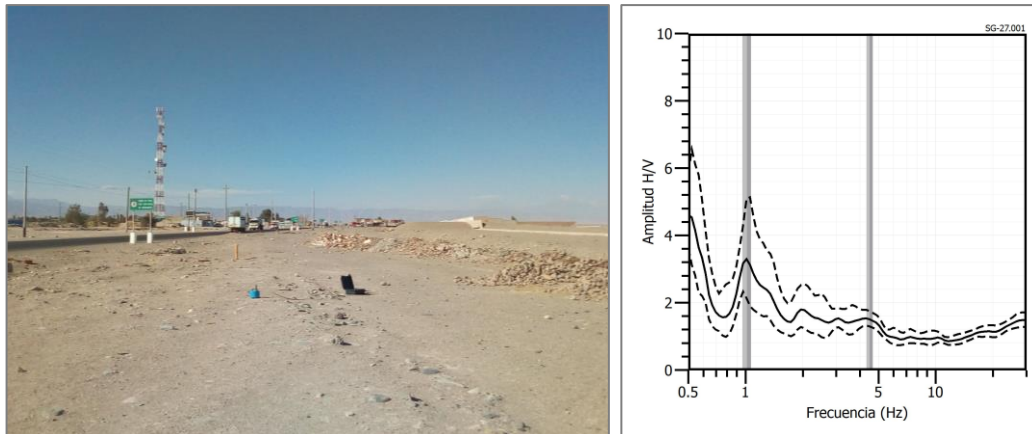


Figura 5: Registros de vibración ambiental obtenidos de puntos próximos a la zona urbana de El Pedregal (SG-02) y próximo al escarpe del deslizamiento (SG-27), con sus respectivas curvas promedio de las razones espectrales.

2.2.-Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

El método de ERT permite determinar, en el subsuelo, las variaciones de resistividad y conductividad eléctrica para conocer la ubicación de los niveles freáticos. En general, los materiales que conforman el subsuelo muestran ciertos rangos de valores de resistividad (ρ) que dependen de la composición del material, que al inducirle corriente continua, permiten registrar estos valores, siendo los mismos proporcionales al contenido de agua o de sales disueltas en las fracturas de las rocas (porosidad). Independientemente de que la ERT sea una técnica multielectródica, la base teórica de su funcionamiento es análoga al de los métodos de resistividad convencionales (tetraelectródica); sin embargo, se requiere considerar dispositivos eléctricos para la toma de datos en campo, en este caso el de Polo - Dipolo (Figura 6).

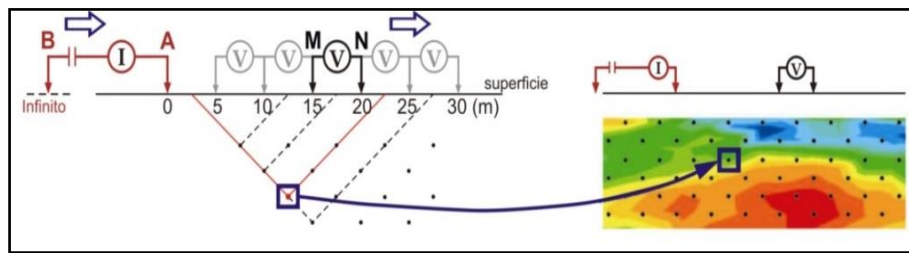


Figura 6: Representación simplificada de la técnica de tomografía de resistividad eléctrica para un arreglo polo-dipolo.

2.2.1.- Recolección de datos

Los datos recolectados en campo corresponden al registro de valores de resistividad a lo largo de 02 líneas de ERT; la primera ubicada próxima a la localidad El Pedregal (LE02-SG) y la segunda, próxima a la planta de la Leche Gloria (LE01-SG), ambas orientadas en dirección NE-SO, tal como se observa en la Figura 7. El instrumental utilizado en campo corresponde a un Equipo de Resistividad / IP Syscal Pro de marca Iris Instruments, cables y accesorios. Asimismo, en la Tabla 1, se detalla las características de las líneas de ERT realizadas en la zona de estudio.

Tabla 1: Características físicas de los tendidos de Tomografía de Resistividad.

TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA				
Nombre de la Línea Eléctrica	Separación entre electrodos Número de Electrodos	Extensión de la línea (m)	Profundidad de investigación (m)	Orientación de la línea
<i>Sigwas</i>				
LE01-SG	20 m / 30 electrodos	480 m	78 m	NE –SO
LE02-SG	20 m / 20 electrodos	380 m	78 m	NE –SO



Figura 7. Adquisición de datos de tomografía eléctrica realizada en el sector de Alto Sigwas.

2.2.2.- Procesamiento

Para realizar el procesamiento de la información recolectada en campo, se selecciona los datos con mejor calidad de registro; es decir, sin presencia de ruidos que pueda alterar los resultados a obtenerse. Seguidamente, se realiza la corrección de los datos por efectos de topografía usando algoritmos de inversión de datos geo eléctricos y de procesamiento de imágenes.

2.2.3- Interpretación

Para realizar la interpretación de la información obtenida se debe tener en cuenta que son varios los factores físicos y geofísicos que influyen en 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 la disminución en los valores de resistividad del suelo. En la Tabla 2, se presentan algunos valores de resistividad relacionados a los distintos tipos de suelos y rocas.

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

LOKE - 2014		Rangos de valores de Resistividad (Para este estudio)
MATERIAL	RESISTIVIDAD (ohm.m)	Material muy resistivo (>1500 ohm.m) Material resistivo (500 a 1500 ohm.m) Material medianamente resistivo (100 a 500 ohm.m) Material bajo resistivo (20 a 100 ohm.m) Material muy bajo resistivo (< 20 ohm.m)
Granito	$5 \times 10^3 - 10^6$	
Basalto	$10^3 - 10^6$	
Pizarra	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^9$	
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	

3.- RESULTADOS

La correlación entre los resultados obtenidos con los métodos de análisis espectral y prospección eléctrica para la localidad de Sigwas, permite considerar los siguientes resultados.

3.1. Análisis frecuencial

A partir de los valores extraídos de las razones espectrales H/V, se obtiene los valores de frecuencias predominantes para los 45 puntos distribuidos en la zona de estudio (Figura 8), siendo sus características las siguientes:

.- Las razones H/V obtenidas para los puntos SG-21, SG-27 y SG-39, ubicados próximos a la zona del deslizamiento, en el extremo NE próximo al Canal Madre, frente a la planta de Gloria y hacia el extremo Sur del escarpe principal del deslizamiento (Figura 9), sugieren el predominio de frecuencias de 1.0 Hz con amplificaciones de hasta 4 veces conforme se tiende hacia su extremo NE. Asimismo, en los dos primeros puntos, se identifica la presencia de un segundo pico de H/V, entre 4.0 y 5.0 Hz con bajas amplificaciones.

.- Las razones H/V para los puntos SG-42, SG-42, SG-45, ubicados en la zona baja del deslizamiento (terreno derrumbado), se observa el predominio de una banda de frecuencias entre 1.0-2.0 Hz, con bajas amplificaciones y gran dispersión. Asimismo, se observa mayor sensibilidad a 5 Hz y en el punto AG-42 a 18 Hz. La dispersión de estas curvas, se asocia a su las características de los suelos sobre el cual se registraron vibraciones ambientales, suelos heterogéneos y sueltos.

.- Para los extremos NE y SO de la zona del deslizamiento de Sigwas, se consideraron como representativos las razones H/V obtenidas para dos grupos de puntos [SG-15, SG-17, SG-18] y [SG-35, SG-37, SG-38]. En el primero se observa el predominio de frecuencias entre 2.5-4.0 Hz con amplificaciones de hasta 4 veces y para el segundo, entre 1.0-1.2 Hz con amplificaciones menores a 3 veces. Estos resultados evidencian que hacia el extremo NE del área de estudio, la respuesta del suelo tiende a frecuencias más altas y/o periodos pequeños, los cuales se asocian a la presencia de capas más superficiales.

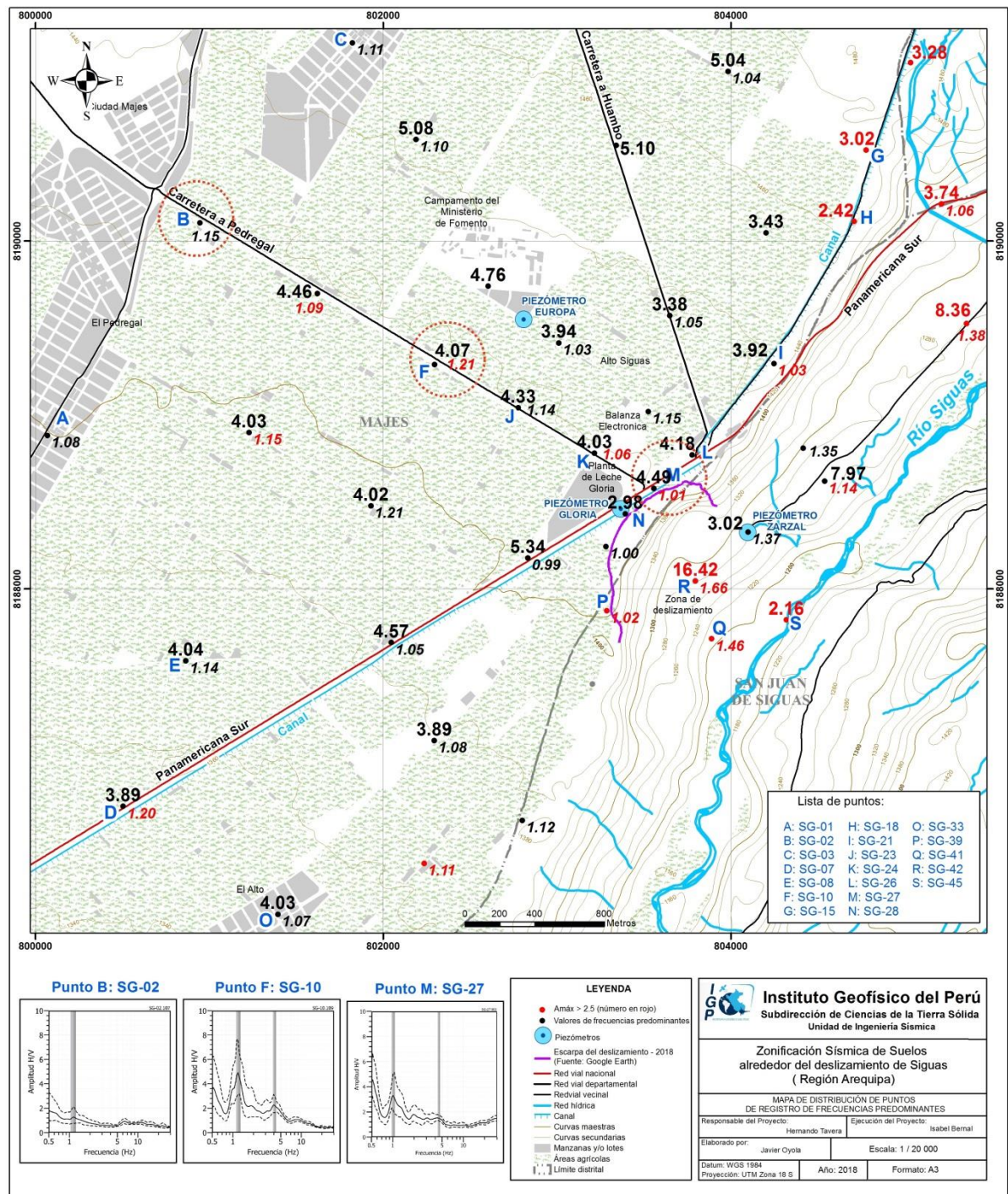


Figura 8: Mapa con la distribución espacial de frecuencias predominantes F_0 y F_1 . Las letras indican la ubicación de los gráficos H/V mostrados en la Figura 9. Asimismo, en la parte inferior se muestra las curvas H/V para los puntos B, F y M, todos representativos de los suelos en Pampa de Majes y Sigvas (círculos de líneas discontinuas).

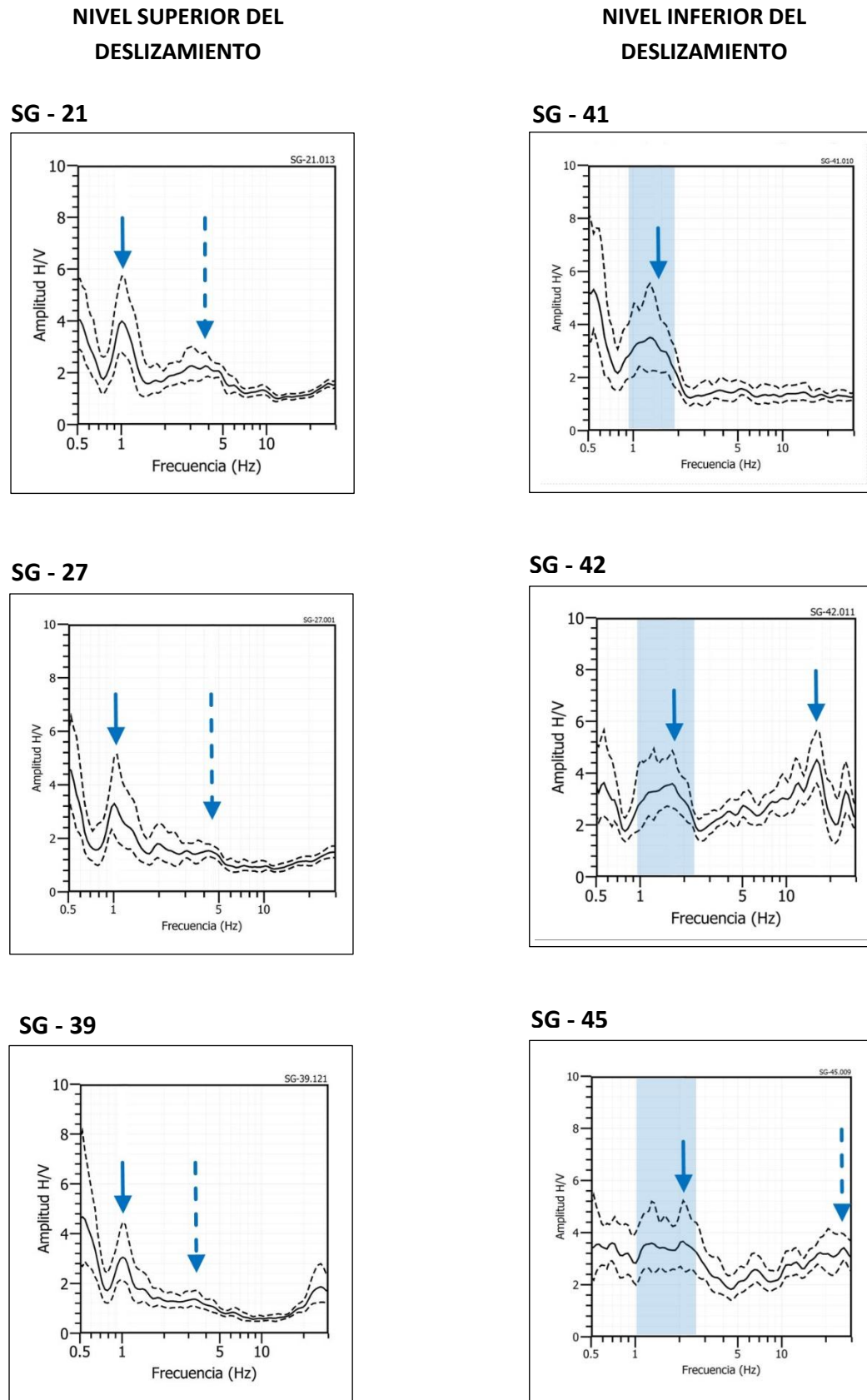


Figura 9: Ejemplos de razones espectrales (H/V) para los puntos SG-21, SG-27 y SG-39, ubicados en el nivel superior del deslizamiento; y para los puntos SG-41, SG-42 y SG-45 ubicados en el nivel inferior del deslizamiento. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen las bandas de frecuencia predominante; las flechas continuas, el pico predominante y las discontinuas, los picos de baja amplitud.

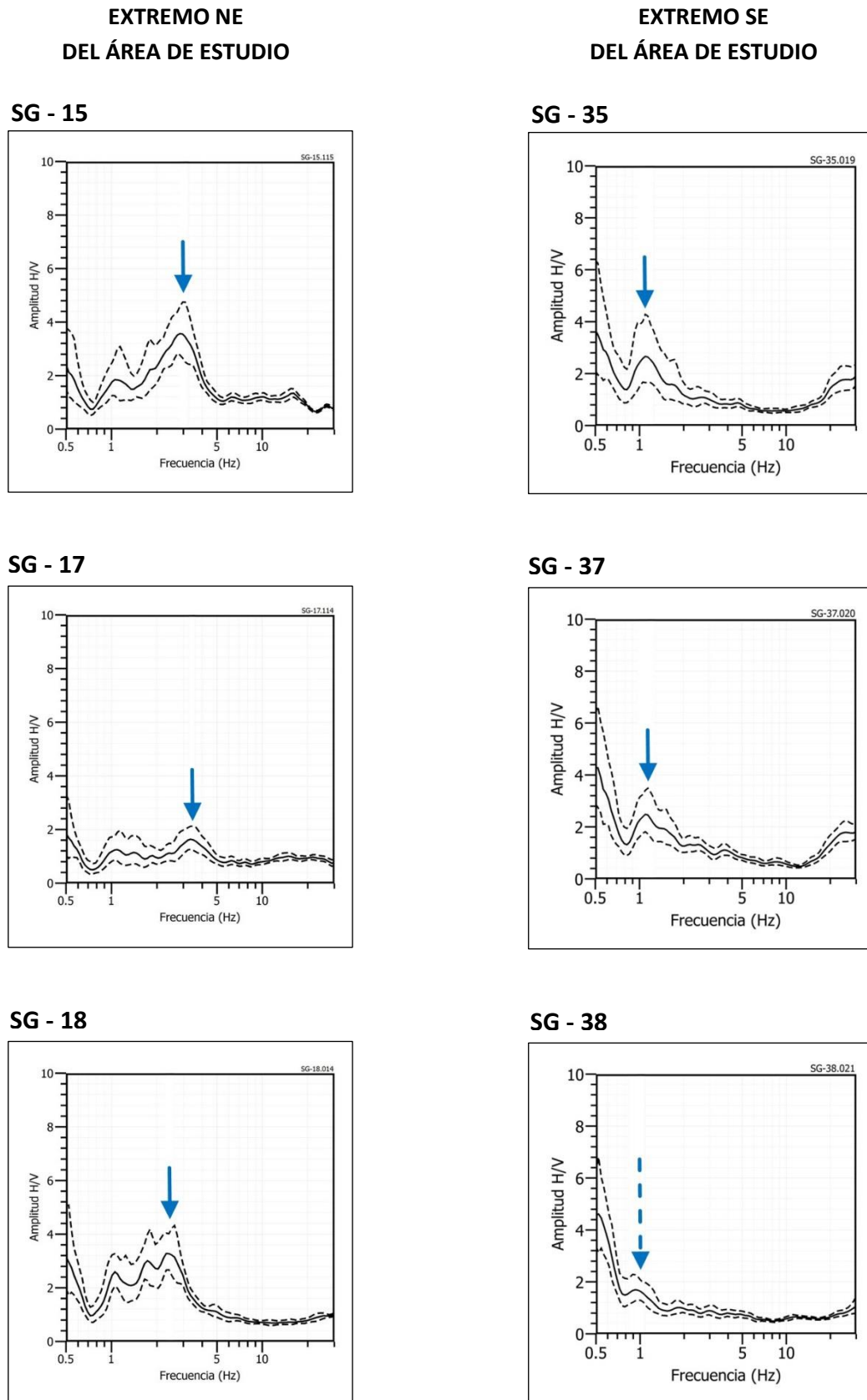
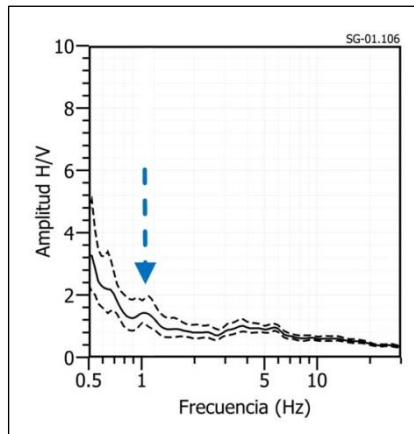


Figura 9: ...Continuación.../Ejemplos de razones espectrales (H/V) para los puntos SG-15, SG-17 y SG-18 ubicados en el extremo NE del área de estudio; y para los puntos SG-35, SG-37 y SG-38 ubicados en el extremo SE del área de estudio. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises definen las bandas de frecuencia; las flechas continuas, el pico predominante y las discontinuas, los picos de baja amplitud.

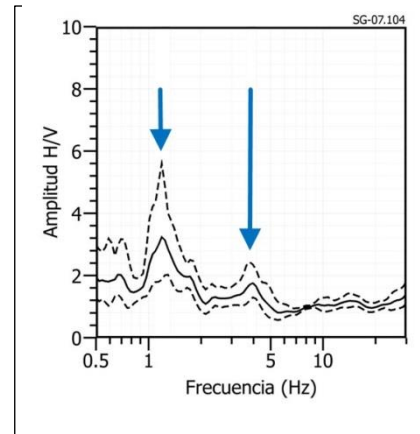
PRÓXIMO AL C.P. EL PEDREGAL

SG - 01

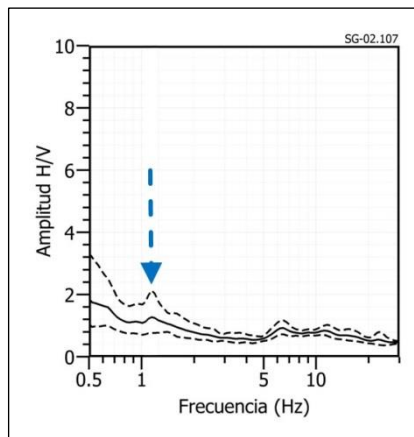


ZONA CÉNTRICA C.P. MAJES

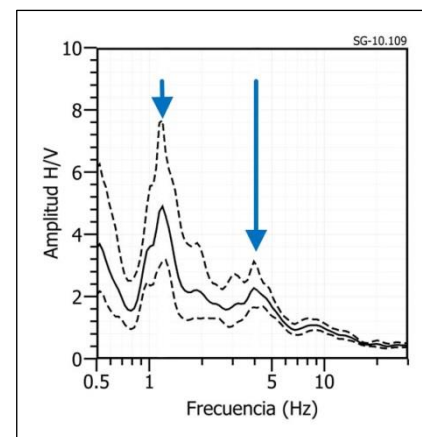
SG - 07 (NE)



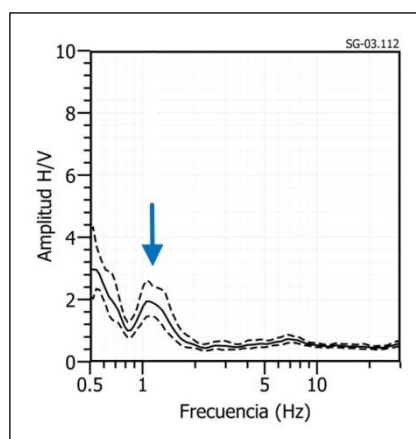
SG - 02



SG - 10 (CENTRO)



SG - 03



SG - 13 (SO)

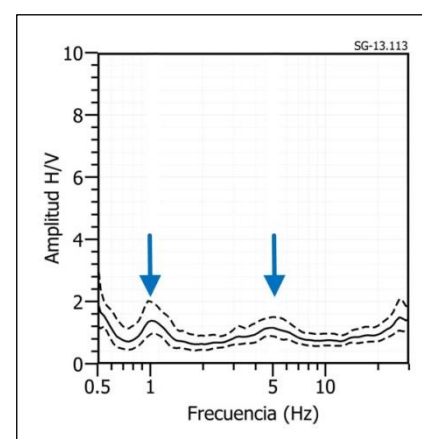


Figura 9: ...Continuación.../Ejemplos de razones espectrales (H/V) para los puntos SG-01, SG-02 y SG-03 ubicados próximos del C.P. El Pedregal; y para los puntos SG-07, SG-10 y SG-13 ubicados en la zona céntrica del C.P. Majes. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen las bandas de frecuencia; las flechas continuas, el pico predominante y las discontinuas, los picos de baja amplitud.

Hacia el extremo NO de la zona del deslizamiento, se consideran los puntos SG-01, SG-02 y SG-03 todos próximos a la localidad El Pedregal y los puntos SG-07, SG-10 y SG-13 ubicados en la zona céntrica del área de estudio (entre El Pedregal y La Panamericana Sur). En el primer grupo predominan frecuencias entre 1.0 y 1,2 Hz con bajas amplificaciones y en el segundo, entre 1.0 y 1.3 Hz con amplificaciones de hasta 5 veces; además de un segundo pico a 4.0 Hz con amplificaciones de hasta 2 veces. Estos resultados se ven influenciados por frecuencias bajas y/o periodos altos que corresponderían a capas de suelo de gran espesor.

4.1.1. Periodos Dominantes

Para analizar los resultados obtenidos, los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes y para construir el mapa de periodos, se asignó a cada punto de medición un radio de confiabilidad de 10 metros, lo cual facilita los procedimientos seguidos para la zonificación de los suelos. En la Figura 10 se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes para el área de estudio.

En la zona de estudio se identificaron dos rangos de periodos, el primero con periodos menores a 0.4 segundos (baja amplificación), distribuidos de manera casi uniforme sobre toda el área de estudio. De manera focalizada, hacia el extremo NE del área de estudio, se concentran periodos de 0.3 segundos con amplificaciones máximas relativas de hasta 4 veces (Figura 10, línea discontinua verde). El segundo rango presenta periodos mayores a 0.6 segundos, todos distribuidos de manera uniforme sobre el área de estudio y con amplificaciones mínimas hacia el extremo Oeste y máximas hacia su extremo Este, conforme se tiende hacia la zona de deslizamiento (Figura 10, línea discontinua roja).

Los periodos dominantes que caracterizan los suelos de Sigüas, están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$, donde T_0 es el periodo dominante, H el espesor del estrato y V_s es la velocidad de onda de corte estimadas, de manera teórica, a partir de la inversión de las curvas de razones espectrales, y usando el algoritmo de Haskell. Para aplicar esta relación, se asume velocidades de 300 m/s, 200 m/s y 800 m/s para las ondas de corte (V_s) y un periodo de 0.8 segundos, valores que permiten estimar la existencia de una capa superficial con espesores de las de 60, 40 y 160 metros de espesor. Estos resultados sugieren, la presencia de una capa superficial de más de ± 60 metros de espesor y la interface suelo-roca fracturada, a profundidad de 160 metros aproximadamente.

En la zona de Sigüas, la distribución espacial de periodos con valores mayores a 0.6 segundos, sugiere la presencia en el subsuelo de una capa de gran espesor y los periodos menores, a una capa superficial de menor espesor, donde la primera influye moderadamente sobre la segunda. Por otro lado, se observa que los periodos altos con amplificaciones de más de 2.5 veces, se distribuyen principalmente al Este y Centro del área de Sigüas, sugiriendo que los suelos en estas zonas son más flexibles en comparación a lo observado en El Pedregal.

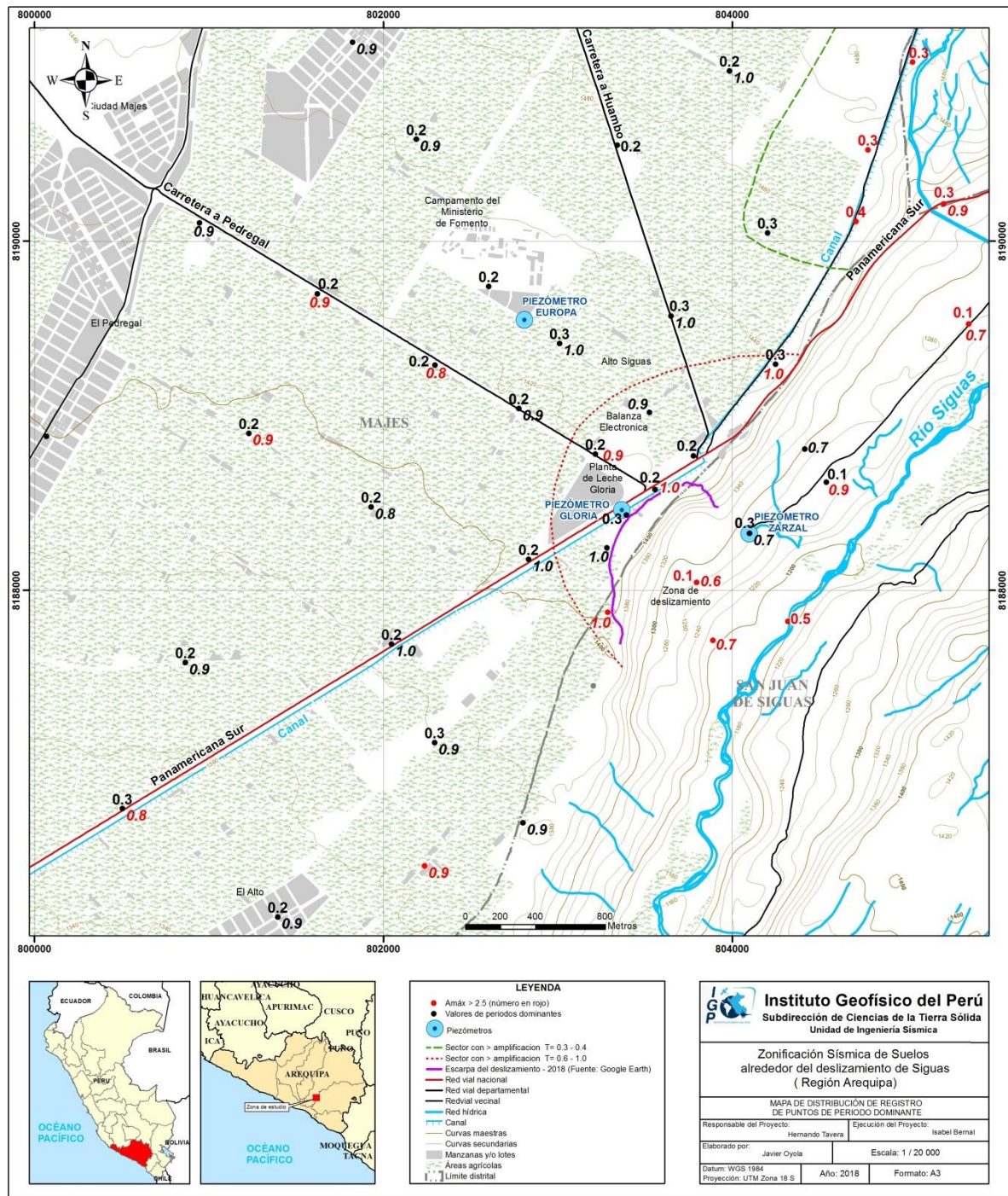


Figura 10. Mapa con la distribución de periodos dominantes en la localidad de Sigvas

3.2. Método eléctrico

Las líneas eléctricas LE01-SG y LE02-SG (Figura 11), muestran valores que definen la presencia de suelos medianamente resistivos (100 a 500 ohm.m), desde la superficie hasta los 60 metros de profundidad. A partir de estos niveles y en profundidad los suelos tienden a presentar valores bajos a muy bajos resistivos (< 20 ohm.m); es decir, que no se encuentran saturados en superficie.

La línea LE01-SG, ubicada a 500 metros aproximadamente de la carretera Panamericana Sur y de la Fábrica Gloria, sugiere que la capa superficial se extiende hasta una profundidad de 80 metros. Según la Figura 11, entre las estaciones 180 y 320, los suelos son más resistivos a profundidades de 25 a 50 metros, y por debajo al parecer los suelos tienden a estar saturados. La línea LE02-SG, ubicada próxima al sector el Pedregal, sugiere la existencia de material medianamente resistivo, presente desde la superficie hasta profundidades de 80 metros; sin embargo, presente valores resistivos en profundidad entre las estaciones 20 a la 40 y desde 60 a la 240; en ambos casos a profundidades de 5 metros hasta 45 metros. A mayor profundidad se observan la presencia de materiales bajo resistivo a muy bajo resistivo desde la estación 40 hasta la 260; y a niveles más profundos se observa la presencia de medios saturados, a partir de los 55 metros.

Los valores de resistividad sugieren la presencia de medios saturados en profundidad, lo cual contribuye a la inestabilidad de los suelos y como consecuencia al agrietamiento de las estructuras en superficie y a filtraciones en los canales de regadío, entre otros.

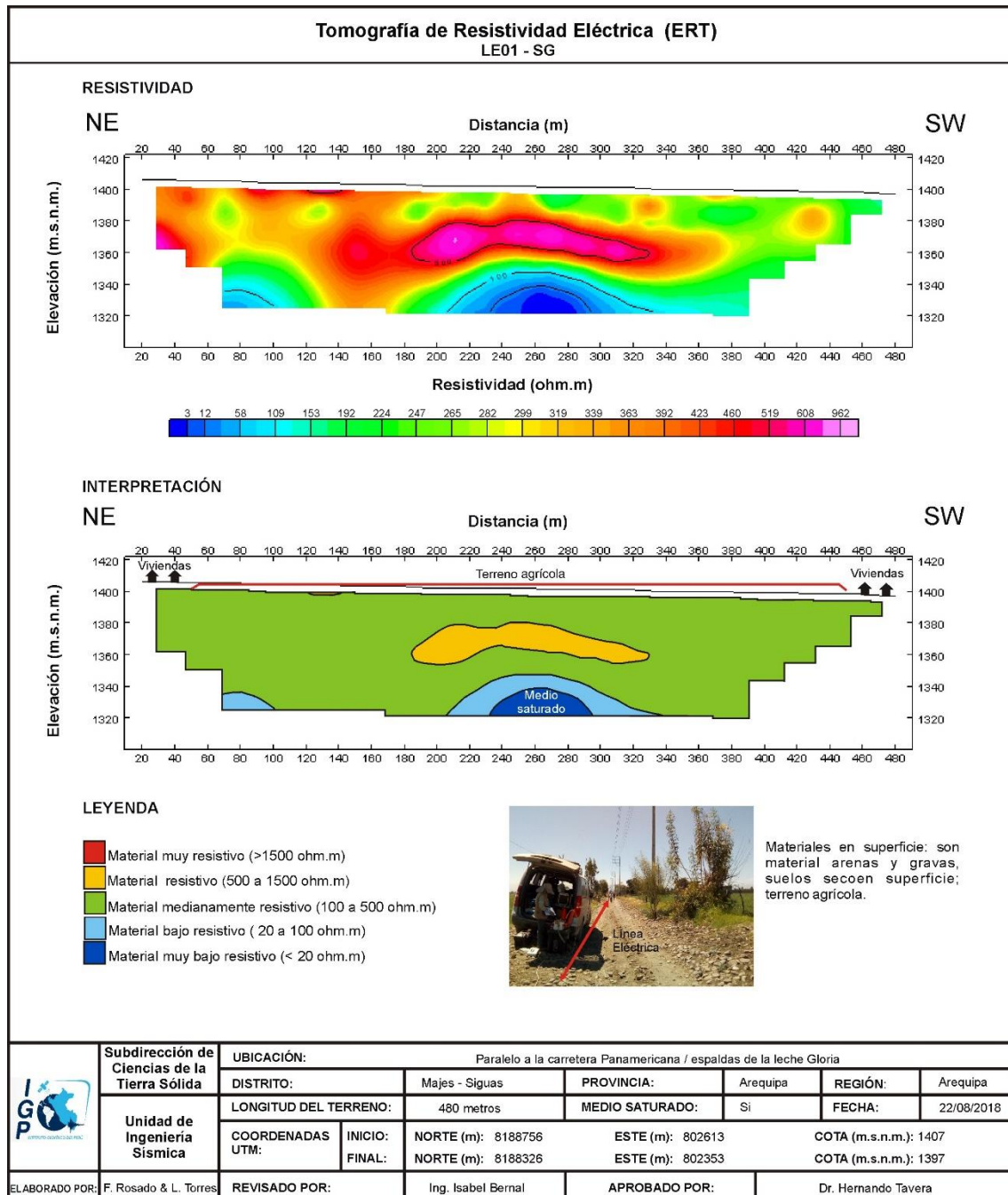


Figura 11. Resultados de la tomografía eléctrica para la línea LE01-SG.

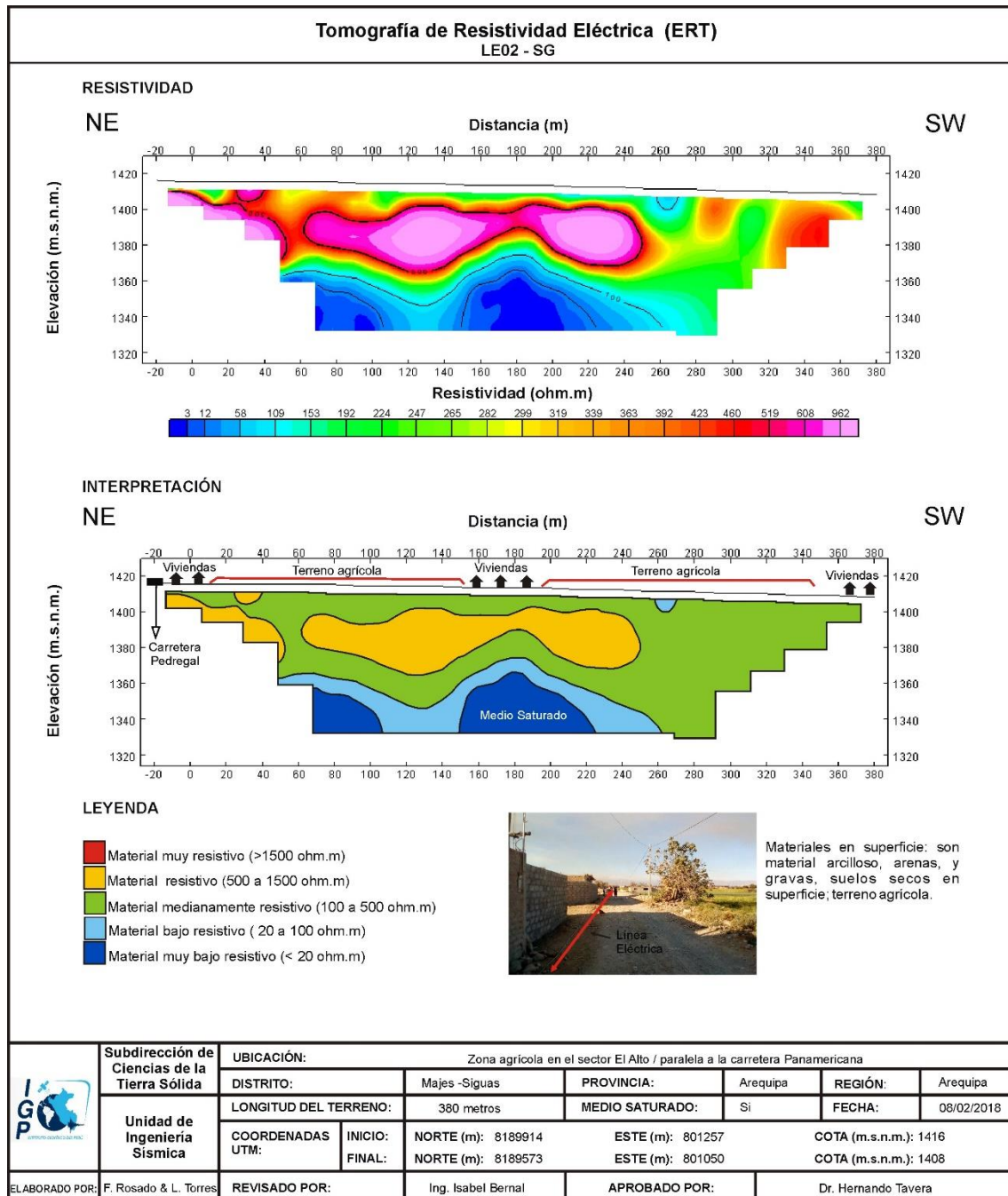


Figura 11....Continuación/ Resultados de la tomografía eléctrica para la línea LE02-SG.

3.3.-Mapa de zonificación sísmica

El mapa de Zonificación sísmica para el área de la irrigación Majes - Sigwas, considera el análisis, interpretación y correlación de los resultados geofísicos obtenidos en este estudio, con la geomorfología y geología local. Para el área de estudio, las características físicas y dinámicas del suelo han permitido identificar, de acuerdo a las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E-030, la existencia de suelos de Tipo S1, S3 y S4, este último considerado como excepcional, por el alto riesgo que representan. Según la Figura 12, para el área de la irrigación Majes - Sigwas, se propone la siguiente Zonificación Sísmica:-

- **ZONA I:** Comprende a suelos Tipo S1; es decir, suelos rígidos a semirrígidos, conformados por estratos de grava que se encuentran a nivel superficial cubiertos por un estrato de material fino. Los periodos dominantes en esta zona son de 0.2 y 0.3 segundos y corresponde a un área pequeña ubicada al NE del área de estudio.
- **ZONA II:** Comprende a suelos Tipo S2, no identificados en el área de estudio.
- **ZONA III:** Comprende suelos Tipo S3; es decir, suelos semirrígidos a flexibles conformados por estratos de conglomerados cubiertos por material aluvial y terrenos de cultivo de material areno limosos. Subyaciendo a estos estratos, se tiene una capa de suelos flexibles. Los periodos dominantes en esta zona son de 0.7 y 0.8 segundos y abarca toda el área de estudio.

En la Figura 12, las líneas inclinadas en verde, indican la zona con sensibilidad debido a la presencia de un segundo periodo (0.2 y 0.3 segundos) con mínimas amplificaciones relativas

Las líneas inclinadas en rojo, definen áreas de mayor amplificación próximas a la zona de pendiente alta y escarpe del deslizamiento de Sigwas.

- **ZONA IV:** Esta zona corresponde a suelos de Tipo S4, cuya respuesta dinámica es excepcional por presentar características físicas complejas. Son parte de la zona, el sector de pendientes, suelos saturados y/o terrenos inestables.

A pesar de presentar una zonificación casi uniforme, los suelos próximos al acantilado y zona de deslizamiento, muestra mayores amplificaciones relativas y la presencia de un estrato saturado a profundidad, evidenciando la complejidad en la respuesta dinámica de los suelos de este sector.

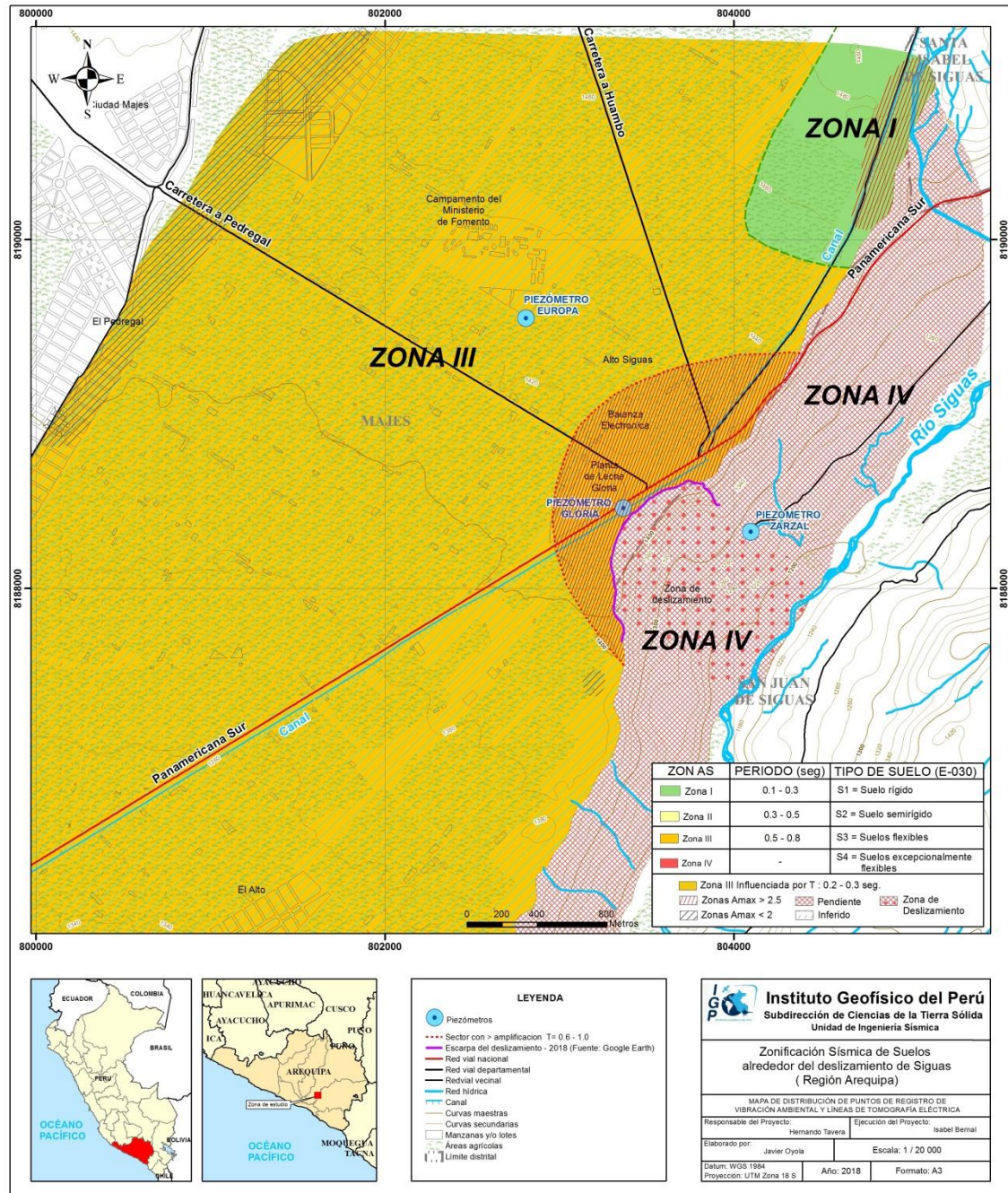


Figura 12. Mapa de Zonificación Sísmica del suelo de Majes-Sigüas (Región Arequipa)

4.-DISCUSIÓN

La correlación entre los resultados obtenidos con los métodos geofísicos y la geología local, han permitido definir las características físicas y dinámicas de los suelos alrededor del deslizamiento de Sigüas:

En la zona de estudio se ha identificado el predominio de dos rangos de periodos: menores a 0.4 segundos asociados a depósitos superficiales de consistencia media y de poco espesor, y mayores a 0.6 segundos asociados a la presencia de depósitos profundos de gran espesor. Estos resultados, correlacionados con los cortes geo eléctricos, permiten a priori definir la existencia de dos capas. La separación de los dos rangos de periodos y el alto contenido de humedad a profundidades mayores a los 60 metros, sugiere que entre la capa superior e inferior, hay una capa intermedia saturada, que correspondería a una capa intermedia compuesta por roca blanda.

En la Figura 13, se presenta el esquema con un corte NO-SE, paralelo a la carretera El Pedregal, donde se muestra como varían la forma las curvas de las razones espectrales a lo largo del perfil. Las curvas H/V próximas al Pedregal, indican que los suelos responden a periodos de 0.8 segundos con bajas amplificaciones, en la zona céntrica los suelos responden a periodos de 0.2 y 0.8 segundos y próximo a la zona de derrumbe, los suelos responden a periodos de 0.8 segundos con mayores amplificaciones. Esta variedad de valores a lo largo del perfil evidencia un cambio en las características dinámicas de los suelos, lo cual define la existencia de un *“probable límite de inestabilidad o cambio de respuesta del suelo (LI)”*.

Asimismo, y tal como se observa en los espectros obtenidos en la zona baja del deslizamiento, se evidencia que la respuesta dinámica de estos suelos es más compleja al no responder a un único periodo, sino en una banda de periodos (banda de frecuencias). En comparación, los suelos superficiales se evidencian con la presencia de un pico a 0.1 segundos con grandes amplificaciones.

Por otro lado, en la zona de estudio AUTODEMA tiene instalado 3 piezómetros denominados Europa, Gloria y Zarzal, que registran el nivel freático y los resultados obtenidos de su análisis permiten considerar lo siguiente:

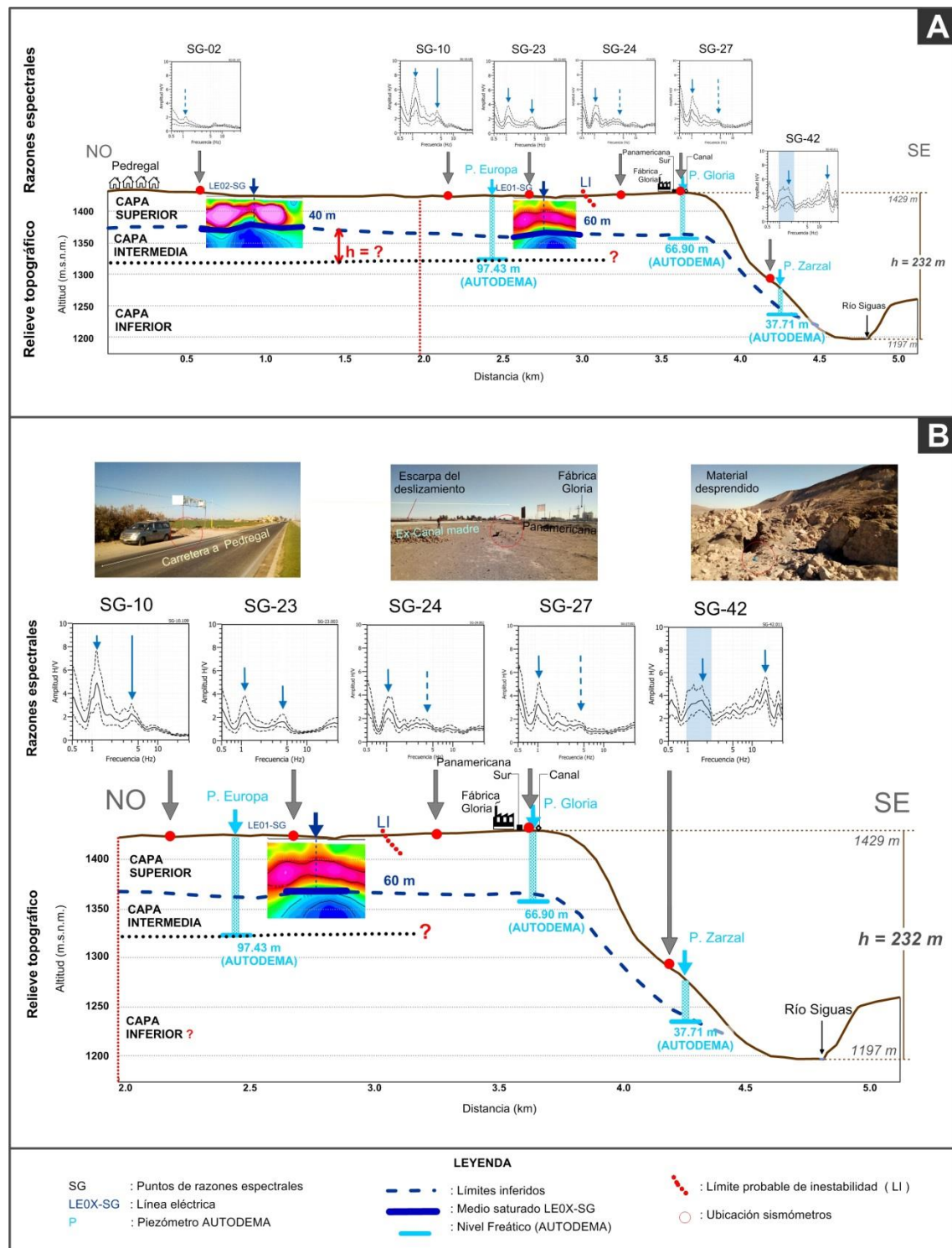


Figura 13. Corte topográfico sobre el área de estudio, con una orientación NO-SE, paralelo a la carretera el Pedregal. Las curvas de razones espectrales evidencian un cambio entre los puntos SG-23 y SG-24 sugiriendo el cambio en las características dinámicas del suelo. LI, indica el posible límite de inestabilidad de suelo. Los cortes geo eléctricos indican el nivel de saturamiento del suelo y los pozos de AUTODEMA, indican el nivel freático.

- En la zona céntrica, el nivel freático está a 97 metros de profundidad (P. Europa)
- En la zona alta del deslizamiento, está a 66 metros de profundidad (P. Gloria).
- En la zona media del deslizamiento, está a 37 metros de profundidad (P. Zarzal).

Estos resultados evidencian que hacia el extremo SE, el nivel freático es más superficial y con clara correspondencia con los cortes geo-eléctricos, que indican que el nivel de saturación del suelo se incrementa a partir de los 40 y 60 metros de profundidad. De acuerdo a estos resultados y su correlación con los niveles de la capa freática, (piezómetros), se evidencia la presencia de una capa intermedia de menor consistencia con alto nivel freático, que ante la ocurrencia de un sismo aumentaría el riesgo en la zona.

En el último mes, el IGP reportó la ocurrencia de dos sismos con epicentros próximos a la irrigación Majes – Sigüas: 14 de setiembre del 2018 con magnitudes de 4.5 y 5.5 ML (Figura 14), siendo probablemente el detonante para que se produjera un nuevo deslizamiento de tierra que afectó al Canal Madre que cruzaba por dicha zona y quedando, a tan solo 20 metros de la Carretera Panamericana (Figura 15).



Figura 14. Mapa de la región sur con la ubicación de los sismos ocurridos en setiembre-2018, que produjeron efectos secundarios en superficie como el deslizamiento de Sigüas.

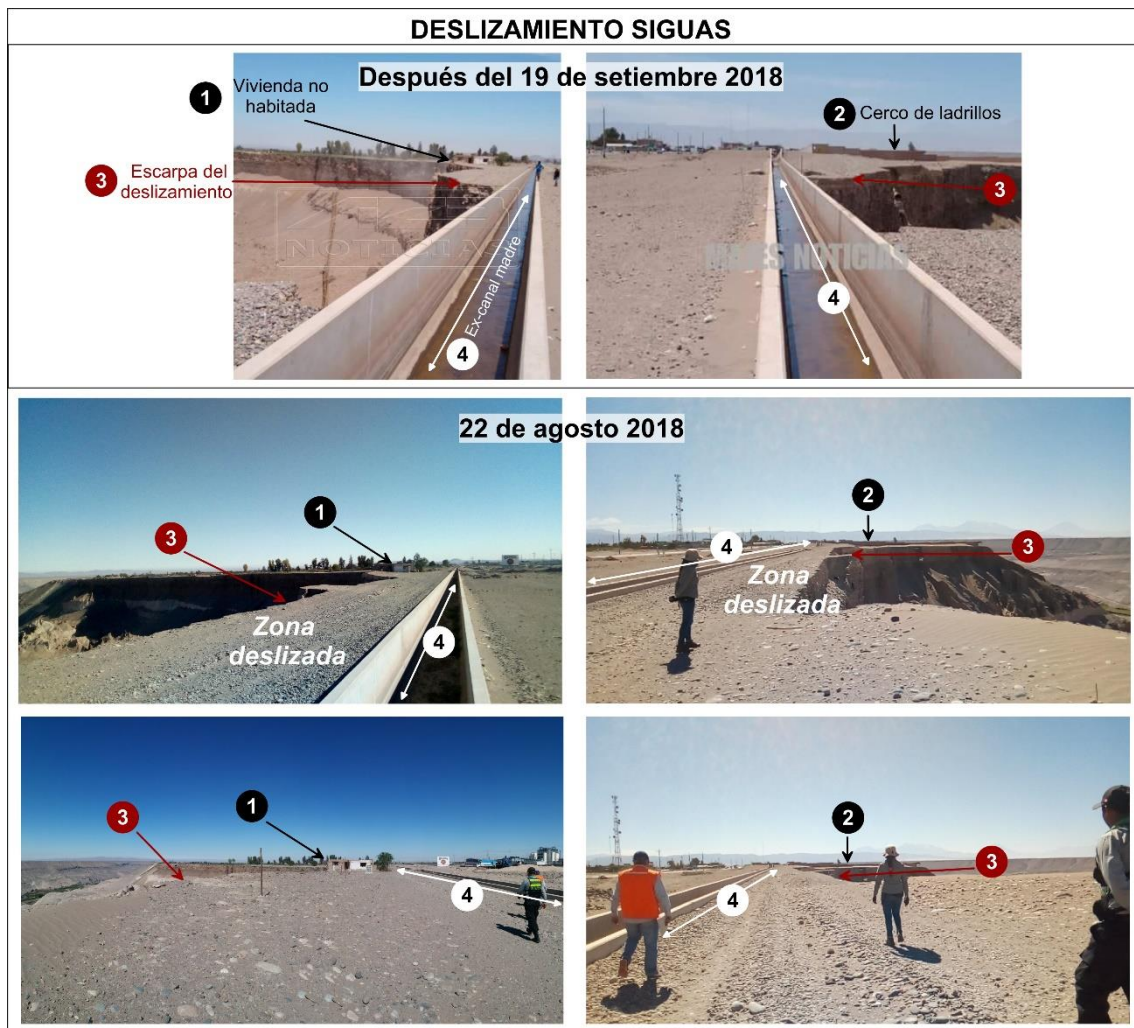


Figura 15. Vista comparativa del reciente deslizamiento de Siguas ocurrido el 19 de setiembre de 2018.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio de zonificación sísmica de suelos alrededor del deslizamiento de Sigwas, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

-En la zona de Sigwas los suelos responden a dos rangos de periodos: menores a 0.4 segundos asociados a depósitos superficiales de consistencia media de poco espesor y mayores a 0.6 segundos, asociados a depósitos profundos de gran espesor. La diferencia entre estos valores de periodos permite sugerir la presencia de un estrato intermedio.

-En la zona céntrica de la pampa de Majes-Sigwas, los suelos responden a periodos de 0.2 a 0.8 segundos y próximo a la zona de derrumbe, los suelos responden a periodos de 0.8 segundos; diferencias que evidencian un cambio en las características dinámicas de los suelos entre estos sectores. Por tanto, se define la existencia de un probable límite de inestabilidad que podría desencadenarse en el deslizamiento de un gran volumen de tierra.

-Para el área de estudio, las características físicas y dinámicas del suelo han permitido identificar, de acuerdo a las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E-030, la existencia de suelos de Tipo S1, S3 y S4. Siendo S4 considerado como suelos excepcionales, hipótesis validada por ser de gran pendiente.

-Los cortes geo eléctricos, sugieren la presencia de dos capas: la primera superficial con baja saturación y la segunda a profundidades mayores a los 60 metros, donde los suelos presentan alta saturación. Los piezómetros indican que el nivel freático se encuentra entre 60 y 80 metros de profundidad.

La existencia de un probable límite de inestabilidad de suelos, puesto en evidencia a partir de la variación en los valores de periodos dominantes, así como la presencia de capas superficiales saturadas de agua identificadas con tomografía eléctrica; además de la profundidad de la capa freática de acuerdo a los valores medidos con los piezómetros; permiten proponer para el área de estudio, la existencia de tres capas estratigráficas con diferentes propiedades:

Capa 1: Capa superior o superficial con espesores alrededor de los 60 metros y compuesta principalmente por material poroso.

Capa 2: Capa intermedia de menor espesor, compuesta por material blando a semirrígido, con propiedades que permiten el saturamiento y almacenamiento del agua filtrada (impermeables).

Capa 3: Capa Inferior o profunda compuesta por material semirrígido a roca fracturada

RECOMENDACIONES

- Mejorar las técnicas y tipo de riego, para evitar incrementar la saturación de los suelos, que al ser conglomerados y areniscas en las capas superiores estas percolarán hasta alcanzar la capa impermeable profundas.
- Implementar un plan de medidas de mitigación de riesgos ante la ocurrencia de futuros deslizamientos.
- Las estructuras a construirse en este sector deberán considerar los resultados de este estudio, a fin de evitar efectos de resonancia entre el suelo-estructura.

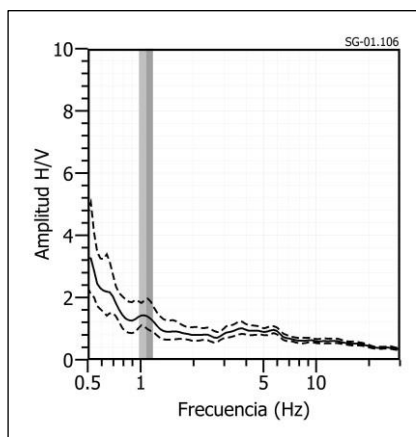
REFERENCIAS

- AUTODEMA (2016).** Monitoreo de impactos negativos en el valle de Sigüas por efecto de las aguas de filtraciones de la irrigación Majes. Informe técnico. 23 pág.
- Araujo, G., Taipe, E.; Miranda, R. y Valderrama, P. (2017)** Dinámica y monitoreo del deslizamiento de Sigüas, Región Arequipa. Informe Técnico N° A6748. INGEMMET.
- Bard, P-Y. (1995)** Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323
- Bernal, I. (2002)** Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, México. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pág. 130.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a).** Are microtremors useful in site response evaluation?, Bull. Seism. Soc. Am. 84, 1350-1364 pp.
- Nakamura Y. (1989).** A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quarterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30.
- Quintana A. (2013)** Aplicación de la Tomografía Eléctrica en la Caracterización del Deslizamiento de Doña Mencía. Tesis de grado para optar el título de maestría en Geofísica y Meteorología. Universidad de Granada, España.
- Reynolds, J.M. (2011).** An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Richards B.G. (1985).** "Geotechnical aspects of Residual Soils". Southeast Asian Geotechnical Society, Scorpion Press, Hong Kong.
- Toledo, H. y Ticona, J. (2007)** Plan de mitigación de los deslizamientos producidos por efectos de la saturación en los terrenos de la irrigación Majes. Tesis de grado UNSA. 106 PP.
- Vargas, L. (1990),** Geología del cuadrángulo de Arequipa. INGEMMET, Boletín, N°24:78p.

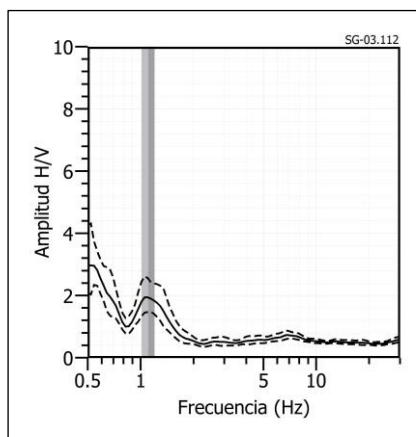
ANEXO 1.

***Ejemplo de razones espectrales con su respectiva foto
(Agrupados según su ubicación)***

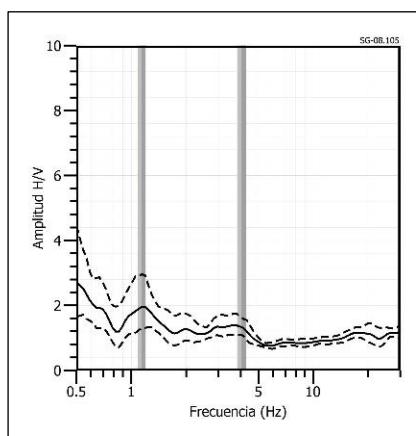
SG - 01



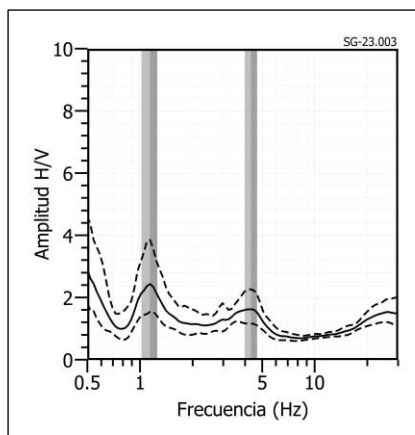
SG - 03



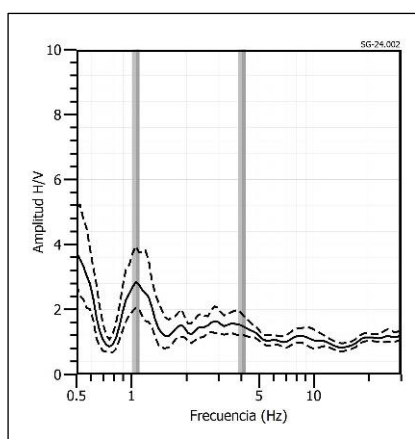
SG - 08



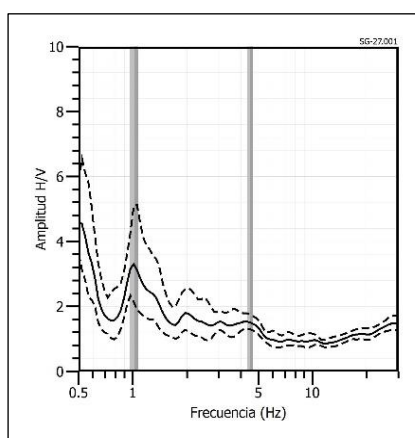
SG - 23



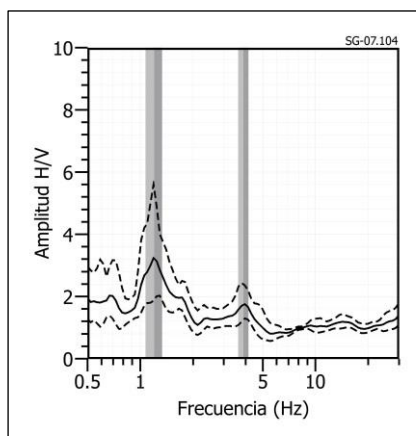
SG - 24



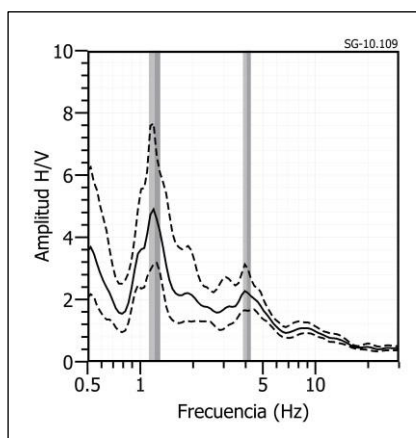
SG - 27



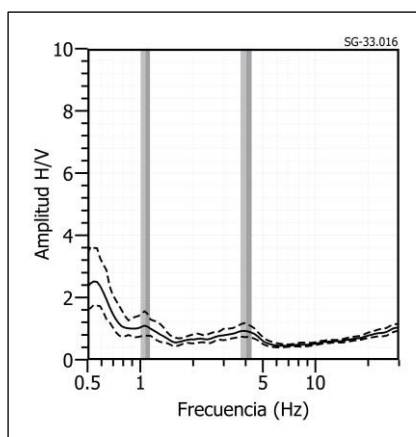
SG - 07



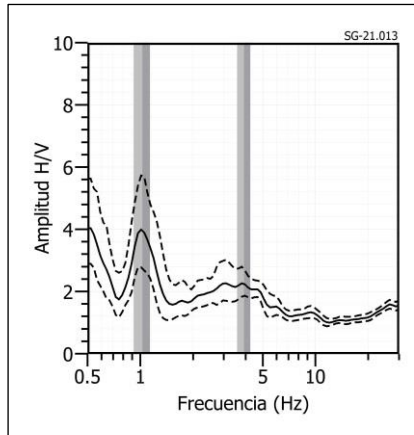
SG - 10



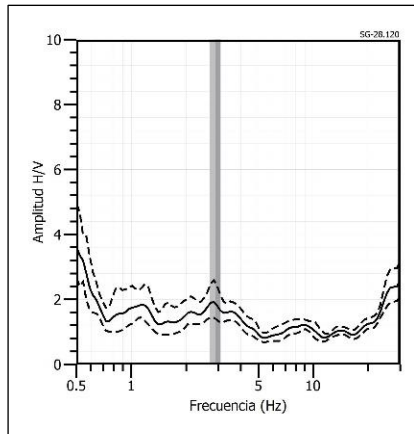
SG - 33



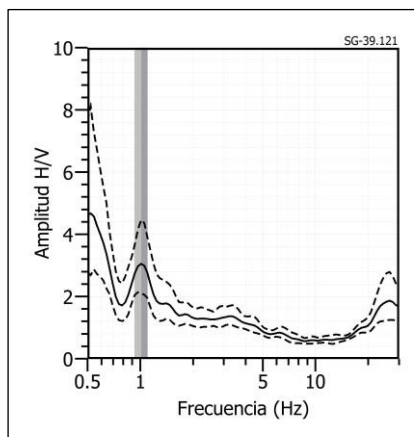
SG - 21



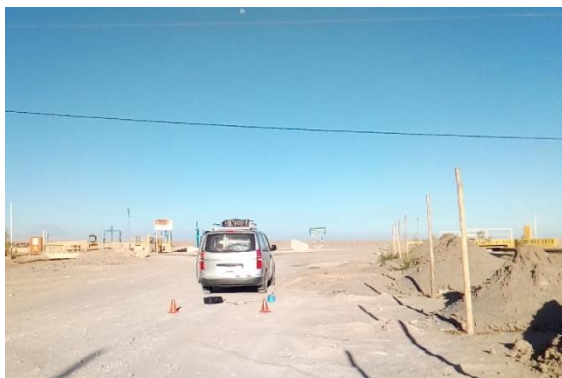
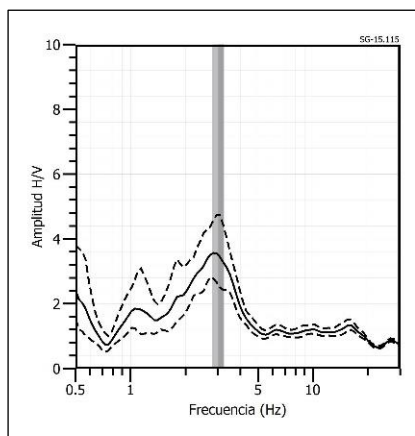
SG - 28



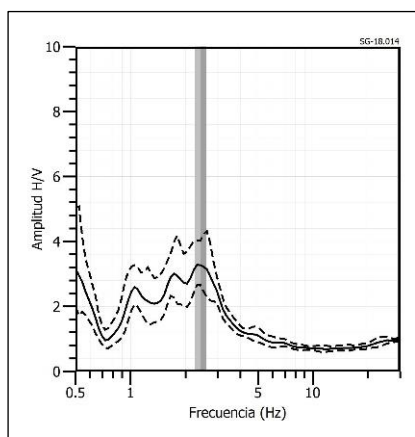
SG - 39



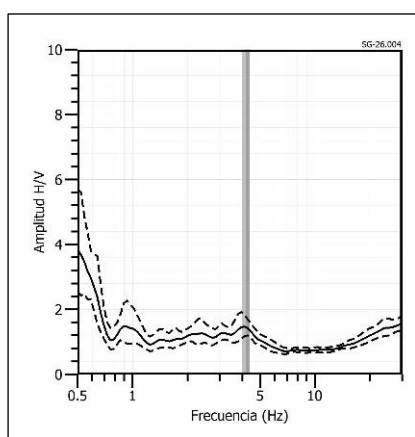
SG - 15



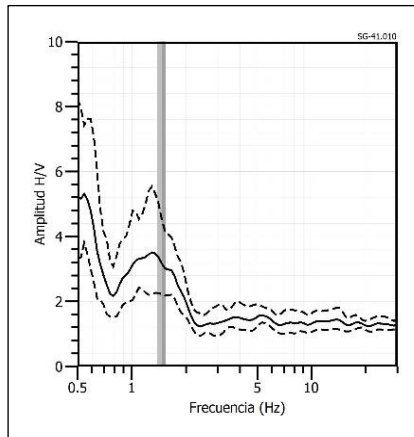
SG - 18



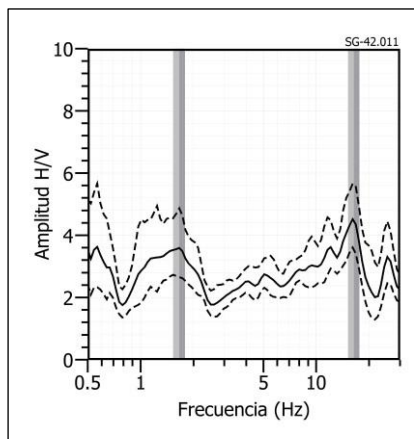
SG - 26



SG - 41



SG - 42



SG - 45

