



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



EVALUACIÓN GEOFÍSICA DE LOS ACANTILADOS DE LA COSTA VERDE -DISTRITO DE BARRANCO-

Informe Técnico N°030-2021/IGP CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA



Lima - Perú
Octubre, 2021

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Edmundo Norabuena

Director Ciencias de la Tierra Sólida: Juan Carlos Gómez

Informe Técnico

Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde - Distrito de Barranco

Autores

Isabel Bernal, Hernando Tavera y Fabiola Rosado

Participantes:

Evaluación Geofísica: Kelly Pari / Wilfredo Sullá / Isabel Bernal / Fabiola Rosado / Liliana Torres / Jorge Salas / Mijael Berduzco / Javier Oyola.

Cartografía: Javier Oyola

Geodinámica: Mariana Vivanco / Pilar Vivanco / Juan Carlos Gómez.

Apoyo técnico: Jesús Huarachi, Manuel Medina / Evelyn Arapa / Vilma Nina / Luz Arredondo / Henry Salas/ Ademir Cuya.

Apoyo logístico: Robert Yupanqui / Augusto Cárdenas / Miguel Nizama /Marco Gonzales / Carlos Montero.

Apoyo administrativo: Marisol Enríquez / Susana Huaccachi

Este informe ha sido producido por el Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169 Mayorazgo
Teléfono: 51-1-3172300

**EVALUACIÓN GEOFÍSICA
DE LOS ACANTILADOS DE LA COSTA VERDE**

DISTRITO DE BARRANCO

Lima - Perú
Octubre, 2021

RESUMEN

En el Acantilado de la Costa Verde (ACV) del distrito de Barranco, se ha determinado la estructura del subsuelo y su comportamiento dinámico aplicando diversos métodos geofísicos. Los resultados obtenidos muestran la existencia de tres capas de variado espesor y compuestas por material de diferente rigidez: a) La primera capa con espesores de 4 a 11 metros está constituida por material poco consolidado ($V_s=198-227$ m/s, $V_p=350-578$ m/s); b) La segunda capa con espesores de 7 a 18 metros, está constituida por material aluvial medianamente compacto ($V_s=327-408$ m/s, $V_p=578-1110$ m/s); y c) La tercera capa, de ~ 10 metros de espesor está constituida por materiales aluviales compactos ($V_s=445-765$ m/s $V_p=>1110$ m/s). Estos resultados coinciden con la profundidad de las interfaces identificadas en función de la densidad de los materiales (1.6 gr/cm³, 1.9 gr/cm³, 2.3 gr/cm³) a 3-9 y 2-10 metros.

A lo largo del acantilado, se ha identificado la presencia de suelos con moderado contenido de humedad en capas cuyos espesores varían de 30 a 40 metros, con una tendencia a disminuir su contenido de humedad hacia el extremo norte y de incrementarse hacia su extremo sur. Asimismo, a nivel superficial en diversas zonas, se ha identificado la presencia de suelos con alto contenido de humedad hasta profundidades de 10 metros. En estas zonas, existen áreas verdes con riego continuo lo que facilita la presencia en superficie de asentamientos y grietas en el terreno. En el Malecón Paul Harris y Malecón Souza, se presentan asentamientos y grietas en el suelo que alcanzan profundidades de hasta 1.5 metros.

El comportamiento dinámico de los suelos en los ACV del distrito de Barranco, ha permitido definir en superficie, el límite que separa los suelos estables de los inestables. Desde el acantilado hacia el área urbana, el límite se encuentra, a distancias que varían entre 15 a 80 metros hacia los

extremos norte y sur; mientras que, en la zona céntrica alcanzan distancias de 270 metros. Asimismo, ante la ocurrencia de sismos que generen elevados niveles de sacudimiento del suelo, las zonas con mayor riesgo sísmico son: la Bajada Los Baños, Malecón Souza, Malecón Paul Harris y Malecón Pedro de Osma.

CONTENIDO

RESUMEN

1.- INTRODUCCIÓN

- 1.1.- Objetivo del estudio
- 1.2.- Ubicación de la zona de estudio

2.- METODOLOGÍA, DATOS Y RESULTADOS

- 2.1.- Método de Refracción Sísmica
 - 2.1.1.- Adquisición de datos
 - 2.1.2.- Procesamiento y análisis
 - 2.1.3.- Resultados e interpretación
- 2.2.- Métodos MASW y MAM
 - 2.2.1.- Adquisición de datos
 - 2.2.2.- Procesamiento y análisis
 - 2.2.3.- Resultados e interpretación
- 2.3.- Método de Tomografía Eléctrica
 - 2.3.1.- Adquisición de datos
 - 2.3.2.- Procesamiento y análisis
 - 2.3.3.- Resultados e interpretación
- 2.4.- Método de Georadar
 - 2.4.1.- Adquisición de datos
 - 2.4.2.- Procesamiento y análisis
 - 2.4.3.- Resultados e interpretación
- 2.5.- Método de razones espectrales (H/V)
 - 2.5.1.- Adquisición de datos
 - 2.5.2.- Procesamiento y análisis
 - 2.5.3.- Resultados e interpretación

2.6.- Método de Gravimetría

2.6.1.- Adquisición de datos

2.6.2.- Procesamiento y análisis

2.6.3.- Resultados e interpretación

3.- CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL SUBSUELO Y SU COMPORTAMIENTO DINÁMICO

3.1. Estructura del subsuelo

3.2. Zonas de quebradas

3.3. Delimitación de zonas de mayor riesgo por sismo

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO

ANEXO I. Secciones de Refracción Sísmica

ANEXO II. Perfiles MASW y MAM.

ANEXO III. Tablas con parámetros sísmicos

ANEXO IV. Secciones geoelectricas

ANEXO V. Secciones de Radargramas

1.- INTRODUCCIÓN

En la costa central del Perú han ocurrido eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de sacudimiento del suelo, puestos en evidencia con los daños observados post-sismo en la región Lima (Silgado, 1978; Bernal et al., 2008; Tavera et al. 2016). Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que en el futuro, las mismas ciudades y/o áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos que generen los mismos o mayores niveles de sacudimiento del suelo. De ahí la importancia de conocer la estructura del subsuelo y evaluar su comportamiento dinámico ante la incidencia de las ondas sísmicas que, de acuerdo a la composición geológica y propiedades físicas, atenuaran o amplificaran los niveles de sacudimiento del suelo.

En Lima Metropolitana, uno de los accidentes topográficos más resaltantes y vulnerable ante la ocurrencia de sismos, es el Acantilado de la Costa Verde (ACV), que con una extensión de ~22.5 km une a los distritos de San Miguel, Magdalena del Mar, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos. Los ACV presentan una altura promedio de 50 metros sobre el nivel medio del mar y está conformado por una terraza fluvio-aluvial como parte del cono de deyección de los ríos Rímac y Chillón con presencia de quebradas perpendiculares al acantilado. Asimismo, en el tiempo, la parte baja de los ACV ha sido modelada por las aguas del Océano Pacífico y actualmente por obras de ingeniería para el mantenimiento de la denominada Vía Circuito de Playas (Figura 1).

Por otro lado, desde los años 1960, los ACV han soportado el crecimiento urbano de Lima Metropolitana, siendo sus áreas próximas al acantilado invadidas por viviendas y/o complejos habitacionales, llegando en muchos casos, a ganar terrenos con el uso de materiales de relleno sobre las cárcavas y quebradas. En muchos casos, estas zonas fueron destinadas a

parques, jardines y áreas deportivas, pero en su mayoría para la construcción de edificaciones.



Figura 1: Imagen panorámica de los ACV (Fuente: Revista Perú Construye).

En este escenario, en los últimos 10 años los ACV han sido afectados con la ocurrencia de más de 17 deslizamientos de tierra con variados volúmenes y/o caída de rocas que han causado daños y efectos en la Vía Circuito de Playas y a sus usuarios. (Figura 2). Es debido a esto que, en el año 2019, el INDECI convocó a las entidades técnico-científicas para elaborar el “Informe Técnico Consolidado sobre los Acanilados de la Costa Verde” y en base al mismo, se declaró el Estado de Emergencia por Peligro inminente ante nuevos derrumbes en los ACV de los distritos de San Miguel, Magdalena del Mar, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos. Luego mediante el Decreto Supremo N° 161-2019-PCM, el Estado de Emergencia fue extendido hasta la actualidad.

En febrero del año 2020, CENEPRED y la Municipalidad Metropolitana de Lima obtienen el financiamiento de FONDES para realizar los estudios antes indicados con la participación de instituciones técnicas, de investigación y de la academia. Entre estas instituciones se encuentran el Instituto Geográfico Nacional (IGN), el Instituto Geológico, Minero y

Metalúrgico (INGEMMET), la Universidad Nacional de Ingeniería (UNICISMID), la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN) y el Instituto Geofísico del Perú (IGP). Las coordinaciones finales para la ejecución de los estudios se dieron en el mes de noviembre del 2020, siendo el IGP encargado de los estudios Geofísicos y de Peligro Sísmico.



Figura 2. Deslizamiento ocurrido el 18 de diciembre de 2019 en el ACV del distrito de Barranco (Fuente: Diario Gestión).

Como parte del proyecto coordinado por CENEPRED, el IGP debe realizar trabajos de campo para la recolección in situ de datos geofísicos, para luego realizar su procesamiento e interpretación a fin de determinar la estructura del subsuelo en los ACV y su comportamiento dinámico ante la posible ocurrencia de sismos.

En este informe se presentan los resultados obtenidos del estudio geofísico realizado en los ACV del distrito de Barranco aplicando técnicas geofísicas como refracción sísmica (RS), análisis multicanal de las ondas superficiales (MASW) y el análisis multicanal de microtemores (MAM) para identificar espesores de capas y velocidades de ondas a diferentes niveles de profundidad; tomografía eléctrica (ERT) para conocer el contenido de humedad de los suelos; georadar para definir la presencia de estructuras superficiales como grietas; razones espectrales (H/V), para conocer el periodo de respuesta del suelo y estimar su factor de amplificación ante la ocurrencia sísmica y gravimetría, para definir la interface de los estratos a diferentes profundidades en función de la densidad de los materiales presentes en el subsuelo.

1.1.-Objetivo del estudio

El objetivo del presente estudio es conocer la estructura del subsuelo en los ACV del distrito de Barranco, así como evaluar su comportamiento dinámico a partir de la aplicación de diferentes métodos geofísicos (sísmica, eléctrica, gravimetría, razones espectrales y georadar). Asimismo, determinar en superficie, el límite que separa los suelos estables de los inestables; es decir, se delimita la zona de mayor riesgo ante la ocurrencia de sismos ya que se producirían asentamientos y deslizamientos de tierra y/o piedras de variado volumen.

1.2. Ubicación de la zona de estudio

Los Acanilados de la Costa Verde (ACV) se encuentran ubicados en el litoral costero de Lima Metropolitana, al extremo suroeste de la provincia de Lima y el Callao, comprendiendo los distritos de San Miguel, Magdalena, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos. A lo largo de estos distritos los ACV tienen una longitud de ~22.5 km, separados de la zona de playas por alturas promedios de 40 a 70 metros (siendo mayor en Miraflores) y pendientes mayores a 60°, principalmente en los distritos de Magdalena del Mar, San Isidro y Miraflores.

En el distrito de Barranco los ACV tienen una longitud de 1.5 km y alturas entre 36 a 70 metros con una inclinación de 36° a 58°. En la Figura 3, se presenta el mapa con la delimitación del área de estudio a escala 1:8,000 y sobre ella, con interlinea de color naranja se muestra el límite del acantilado en el año 1943 y con línea roja, el límite actual, observándose claramente que muchas áreas fueron urbanizadas. Asimismo, sobre el mapa se indica la ubicación de los puntos críticos identificados sobre la superficie, como áreas con depósitos antrópicos, grietas, asentamientos, desplazamientos de tierra y piedras.

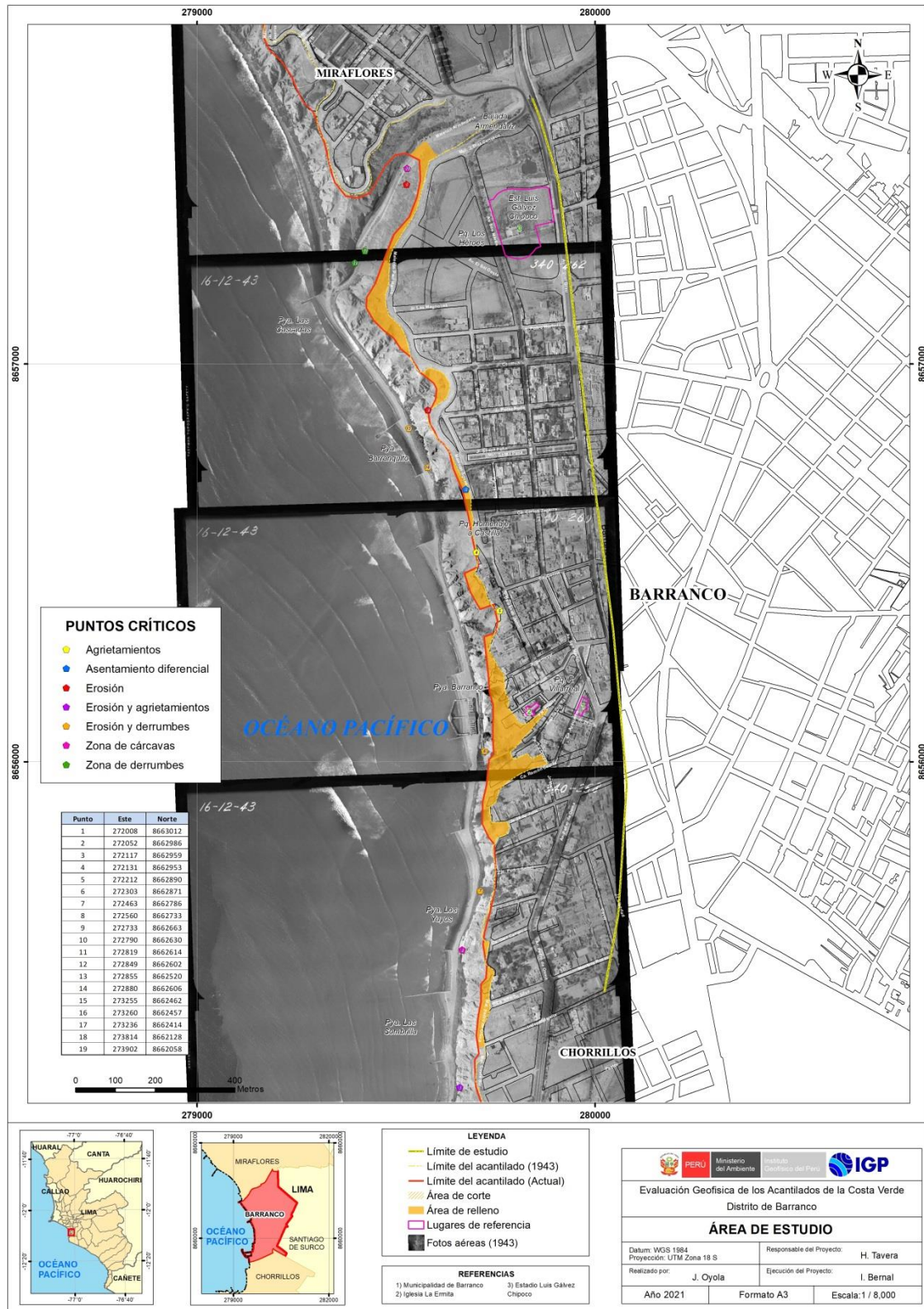


Figura 3. Mapa del área de estudio. La interlínea de color naranja indica el límite del acantilado en el año 1943 y la línea roja, el límite actual. Asimismo, se indica la ubicación de los puntos críticos identificados en el área de estudio (áreas de relleno, depósitos antrópicos, grietas, asentamientos, desplazamientos).

2.- METODOLOGÍA, DATOS Y RESULTADOS

Las características y propiedades físicas del subsuelo dependen de los materiales que lo conforman en sus diferentes capas y que pueden ser conocidas a través de la geología, estratigrafía y geomorfología. Sin embargo, su comportamiento dinámico está asociado a la ocurrencia de sismos, lluvias, movimientos de masa, entre otros, y puede ser conocida usando métodos geofísicos. En general, estos métodos permitirán, a partir del análisis e interpretación de los datos obtenidos directamente en el campo usando instrumentación especializada, conocer los espesores de las capas del subsuelo a gran profundidad, su composición, rigidez, contenido de humedad y en conjunto, su comportamiento dinámico ante la sollicitación sísmica. Por ejemplo, los suelos blandos compuestos por sedimentos saturados de agua o rellenos antrópicos, son susceptibles a generar deslizamientos ante la ocurrencia de sismos y/o fuerzas de gravedad.

Según la información geológica, los suelos del ACV en el distrito de Barranco, está conformado por depósitos aluviales provenientes del río Rímac; es decir, gravas (bolonería) soportadas en matriz areno limosa y lentes de limos (parte media de acantilado), tal como se observa en la Figura 4a. Asimismo, en los acantilados se ha identificado la presencia de asentamientos diferenciales del suelo, así como grietas con longitudes variables, las cuales han generado la formación de fisuras en algunas paredes de viviendas y en el pavimento del suelo, principalmente en las inmediaciones del acantilado (Figura 4b).

2.1.- Método de Refracción Sísmica

El método de Refracción Sísmica (RS) permite conocer los parámetros físicos de los suelos como su espesor y rigidez en base al contraste de velocidades por efecto de la propagación de las ondas sísmicas de compresión "P" en el subsuelo. Básicamente, la RS consiste en generar ondas



Figura 4: a) Vista de la estratigrafía de los ACV en el distrito de Barranco. Depósito aluvial, gravas sub redondeadas con intercalaciones de lentes de limos (Fuente PNUD, 2014).



Figura 4. b) Asentamientos del suelo y grietas en los ACV, a la altura del Malecón Souza, en el distrito de Barranco,

sísmicas a partir de una fuente artificial (martillo) y medir el tiempo requerido por las ondas para viajar en el subsuelo desde la fuente hacia una serie de geófonos, usualmente dispuestos en línea recta.

2.1.1.- Adquisición de datos

Para la aplicación del método de RS se ha utilizado un equipo sísmico Geometrics de 24 sensores o geófonos de alta frecuencia (14 Hz). Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs, ver Figura 5. Para este método se ha considerado tendidos lineales con espaciamiento entre geófonos de 5 metros, y frecuencia de muestreo de 4000 Hz (0.25 ms). La ubicación de cada RS fue variable ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio y de su accesibilidad.

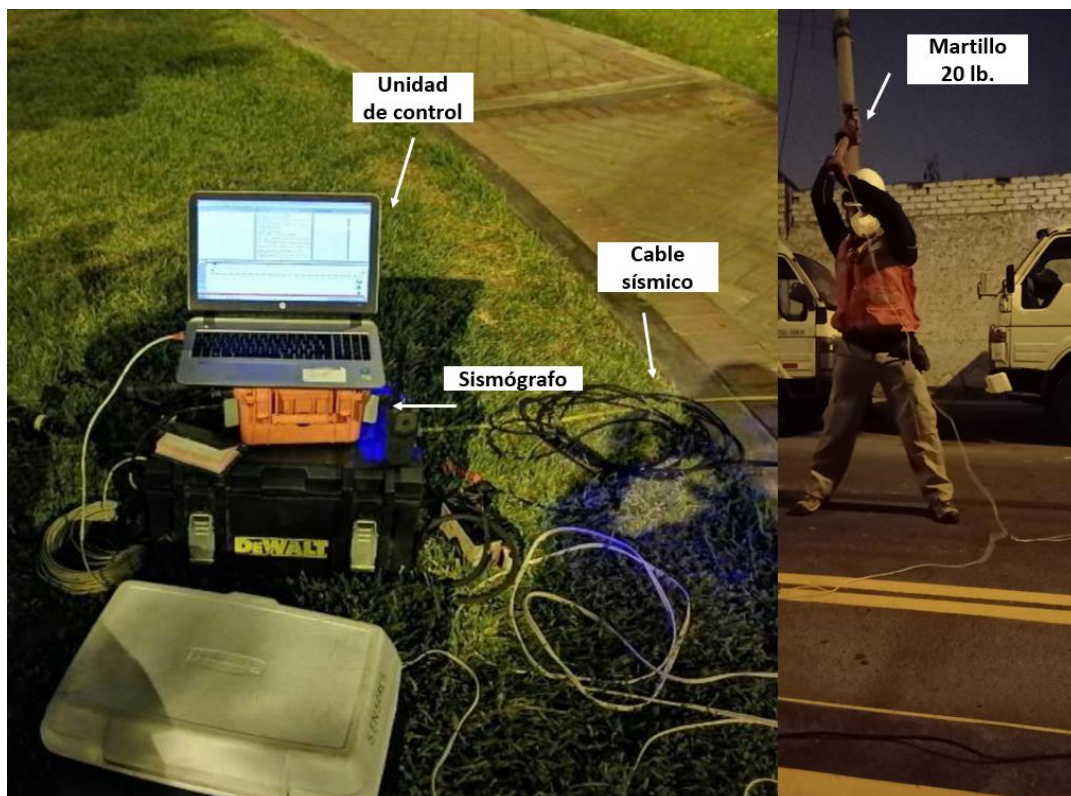


Figura 5. Equipos utilizados en la adquisición de datos de RS.

Tabla 1: Coordenadas y características de las líneas sísmicas.

Línea Sísmica	Coordenadas UTM – WGS84		Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
	Este (m)	Norte (m)			
RS					
RS01-BR	279446	8657113	50	5	335
	279572	8657426	67		
RS02-BR	279711	8655376	48	5	335
	280021	8655506	57		
RS03-BR	279489	8657086	65	4	92
	279545	8657013	65		
RS04-BR	279688	8656643	61	3	69
	279694	8656572	61		
RS05-BR	279823	8656147	61	4	92
	279900	8656198	61		
RS06-BR	279768	8655729	57	3	69
	279833	8655731	57		
RS07-BR	279707	8655352	41	3	69
	279710	8655281	41		
RS08-BR	279460	8657105	65	4	92
	279545	8657078	67		
RS09-BR	279558	8657010	66	5	115
	279639	8656931	65		
RS10-BR	279739	8656745	66	5	115
	279754	8656632	65		
RS11-BR	279738	8656514	63	5	115
	279776	8656405	62		
RS12-BR	279770	8656420	62	4	84
	279760	8656339	62		
RS13-BR	279788	8656068	52	5	115
	279879	8656141	56		
RS14-BR	279860	8656158	56	4	92
	279935	8656110	60		
RS15-BR	279756	8655946	57	5	115
	279859	8655997	59		
RS16-BR	279769	8655847	57	4	92
	279852	8655872	59		
RS17-BR	279743	8655639	52	5	115
	279734	8655520	55		

En el distrito de Barranco se realizaron, 02 líneas de RS con longitudes de hasta 335 m y 15 líneas con longitudes de entre 69 y 115 metros (Tabla 1). La distribución espacial de estas líneas debidamente codificadas se muestra en la Figura 6. Durante la toma de datos RS, el operador evaluó la calidad de los datos conforme eran adquiridos, indicando repeticiones, cambio de fuentes de energía o posición del equipo, según sea conveniente o necesario para el levantamiento geofísico.

La distribución de los ensayos sísmicos de RS fue en función de las zonas de interés de acuerdo al reconocimiento hecho en fotos aéreas antiguas del acantilado, investigaciones o estudios previos, así como la disponibilidad del espacio y las facilidades para el despliegue de los equipos geofísicos a utilizarse.

En la Figura 7, se muestra como ejemplo el punto de disparo para la línea sísmica RS01-BR que se inicia al borde del acantilado y continúa en dirección al Malecón Paul Harris. Así como el sismograma que contiene las señales sísmicas obtenidas para esta línea.

2.1.2.- Procesamiento y análisis

El procesamiento de los datos fue realizado con el programa Seislmager y se inició con el picado de los primeros arribos de la onda P en el registro, formando de esta manera curvas tiempo vs distancia (dromocronas), que después de un proceso de inversión permite obtenerse la sección RS respectiva. En la Figura 8, se muestra un ejemplo de las curvas tiempo vs distancia para la línea sísmica RS01-BR.



Figura 6. Distribución espacial de las líneas de RS, codificadas como RS01-BR,... RS17-BR.

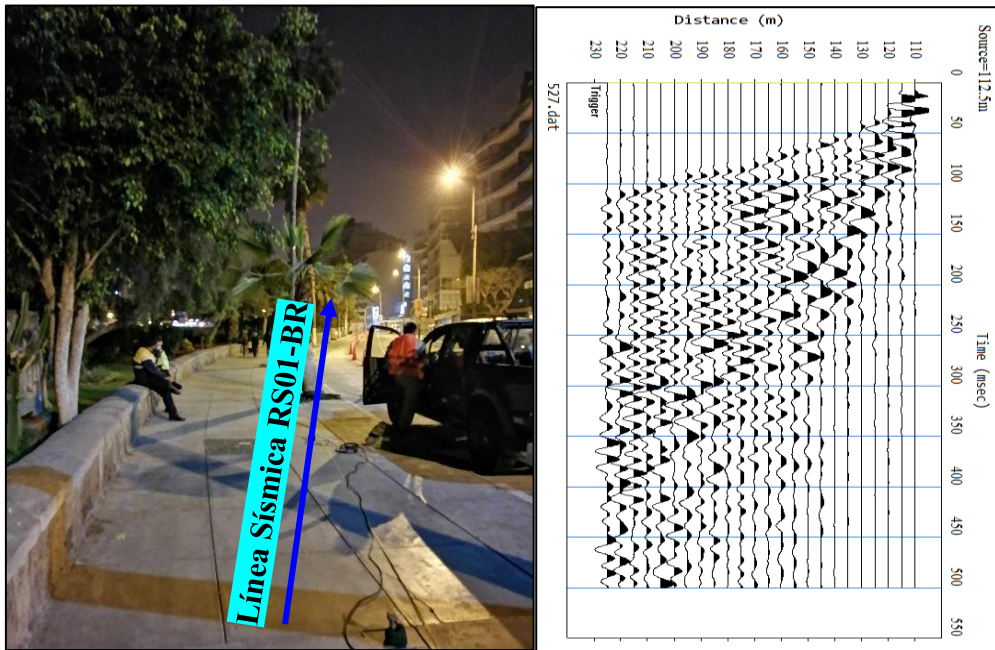


Figura 7. Disposición del equipo de adquisición de datos con la técnica de refracción sísmica (RS01-BR, Malecón Paul Harris) y registro sísmico obtenido.

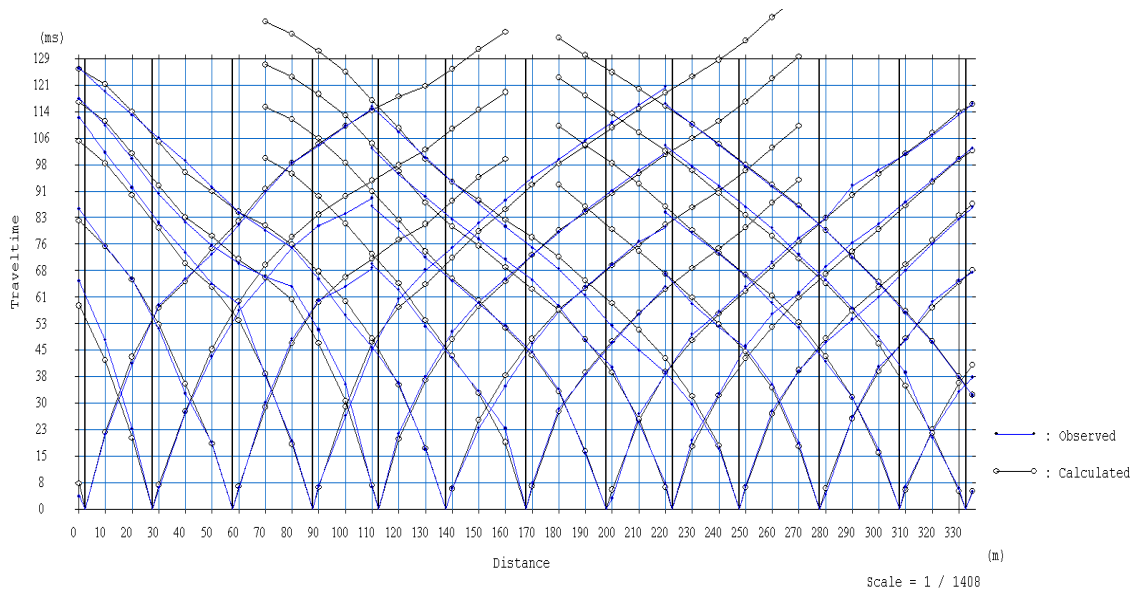


Figura 8. Curvas de tiempo - distancia obtenidas para la línea sísmica RS01-BR.

Para el análisis de los resultados e identificación del tipo de suelo en base a las velocidades de las ondas de volumen (V_p), se considera los valores propuestos por la ASTM-D5777, ver Tabla 2.

Tabla 2: Clasificación de perfiles de suelo según la ASTM-D5777.

ASTM - D5777	
Velocidad Vp (m/s)	Descripción
240 - 610	Suelo intemperizado
460 - 915	Grava o arena seca
1830 - 1220	Arena saturada
910 - 2750	Arcilla saturada
1430 - 1665	Agua
1460 - 1525	Agua de mar
1830 - 3960	Arenisca
2750 - 4270	Esquisto, arcilla esquistosa
1830 - 3960	Tiza
2134 - 6100	Caliza
4575 - 5800	Granito
3050 - 7000	Roca metamórfica

2.1.3.- Resultados e interpretación

a) Resultados

En el área de estudio se realizaron 17 líneas de RS, de las cuales 02 presentan resolución hasta una profundidad de 50 metros (RS01-BR y RS02-BR) y el resto hasta los 30 metros. En la Figura 9, se presenta la sección de RS obtenida para la línea RS01-BR y en el Anexo I, para las líneas restantes, siendo sus características las siguientes:

Sección sísmica RS01-BR: Línea realizada desde el borde del acantilado hacia el Malecón Paul Harris y los resultados obtenidos, han permitido identificar la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1 - 5	350 - 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	7 - 14	578-1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS02-BR: Línea realizada desde el borde del acantilado hacia las calles Alfredo Silva y Montero Rosas y los resultados obtenidos, han permitido identificar la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	3 – 7	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	14 – 18	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS03-BR: Línea realizada en el Malecón Paul Harris, altura del Jr. Pedro Martinto y los resultados obtenidos, han permitido identificar en el subsuelo la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 – 5	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	10 – 13	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS04-BR: Línea realizada en el Malecón Souza, altura del parque Homenaje a Castilla y los resultados obtenidos, han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1 – 7	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	7 – 14	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

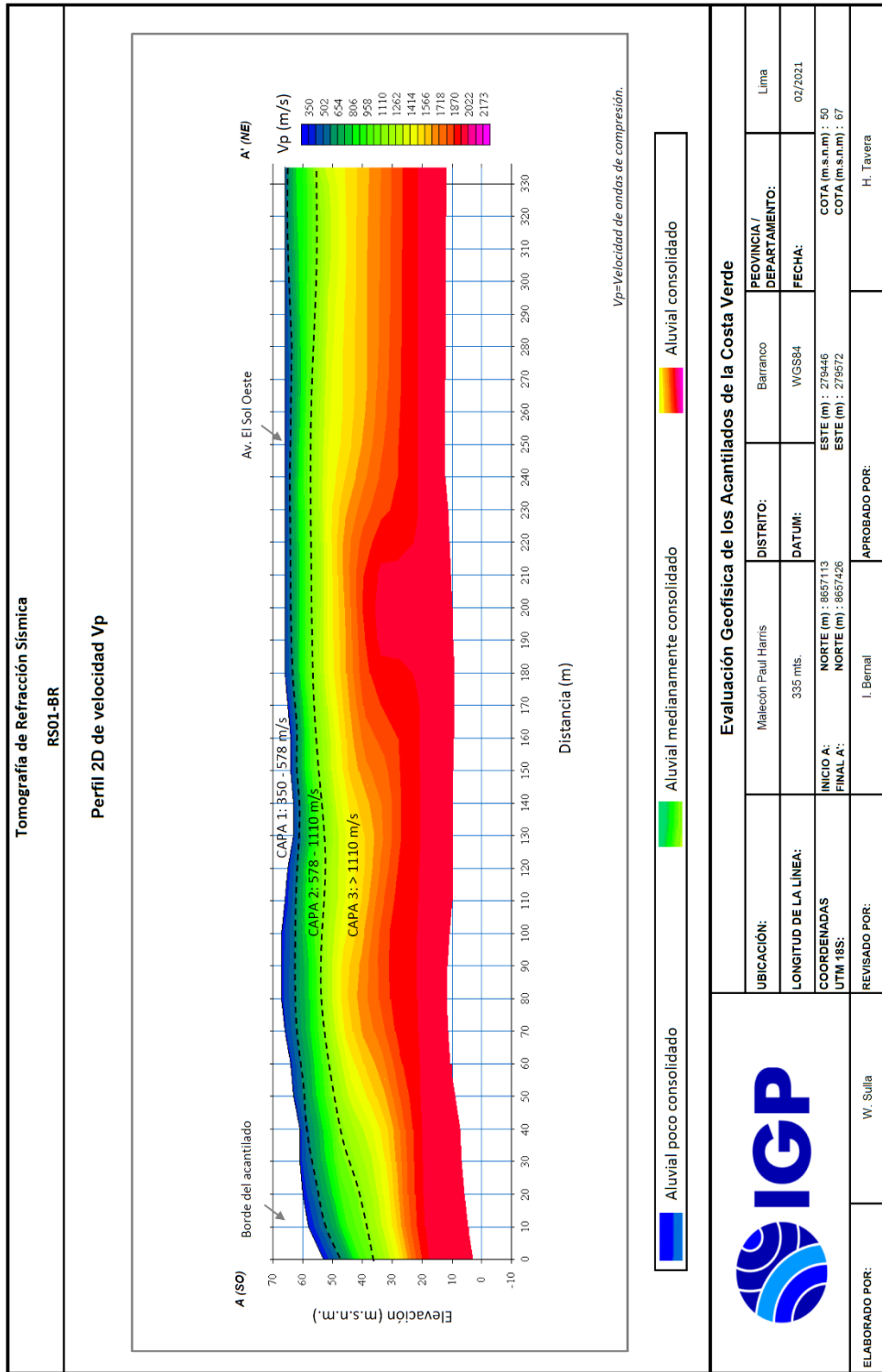


Figura 9. Resultados obtenidos con el método de refracción sísmica para la línea RS01-BR.

Sección sísmica RS05-BR: Línea realizada en el parque Federico Villarreal y los resultados obtenidos, han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características.

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 - 5	350 - 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	11 - 14	578-1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS06-BR: Línea realizada en el pasaje Pedro Solari y los resultados obtenidos, han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	7 - 8	350 - 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	8 - 11	578-1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS07-BR: Línea realizada en el Malecón Pedro de Osma a la altura de la calle Independencia y los resultados obtenidos, han permitido identificar la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 - 8	350 - 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	14 - 18	578-1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS08-BR: Línea realizada en el Malecón Paúl Harris altura del Jr. Pedro Martinto y los resultados obtenidos, han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	4 – 6	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	8 – 12	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS09-BR: Línea realizada en el Malecón Paúl Harris altura del Jr. Centenario y los resultados obtenidos, han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 – 8	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	10 – 16	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS10-BR: Línea realizada en el Pje. Tacna y los resultados obtenidos, han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 – 4	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	7 – 13	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS11-BR: Línea realizada en el Jr. Batalla de Junín altura de la calle Colina y los resultados obtenidos, han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 – 6	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	11 – 13	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS12-BR: Línea realizada en el parque de los Ingleses y los resultados obtenidos, han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 – 7	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	4 – 11	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS13-BR: Línea realizada en el Pje. Ermita / Mirador y los resultados obtenidos, han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 – 6	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	12 – 15	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS14-BR: Línea realizada en el Jr. Zepita y los resultados obtenidos, han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 – 5	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	6 – 13	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS15-BR: Línea realizada sobre la calle Ramón Castilla y los resultados obtenidos, han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	4 – 9	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	13 – 19	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS16-BR: Línea realizada en Jr. 28 de Julio y los resultados obtenidos, han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	5 – 8	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	13 – 18	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS17-BR: Línea realizada en el Malecón Pedro de Osma altura de la calle Diez Canseco y los resultados obtenidos, han

permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	5 – 7	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	15 – 18	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

b) Interpretación

Siete de las secciones de RS se inician en el borde del acantilado (RS01-BR, RS02-BR, RS05-BR, RS06-BR, RS13-BR, RS15-BR y RS16-BR) y se extienden en dirección noreste (área urbana) y las diez restantes se realizaron paralelas al acantilado. En las secciones, los suelos menos consistentes y de mayor espesor (suelos no consolidados a medianamente consolidados) están presentes en las proximidades del borde del acantilado. Estos suelos presentan espesores de 22 metros a la altura de la calle Alfredo Silva en el Malecón Pedro de Osma (Figura 10) y entre 14 a 18 metros hacia el extremo NE del Malecón Paul Harris.

En general, se observa que conforme se incrementa la profundidad, los suelos son más compactos. En las secciones paralelas al acantilado (análisis horizontal), los suelos presentes en el extremo sur y centro son menos consolidados en comparación con los suelos presentes en el extremo noreste del área de estudio.

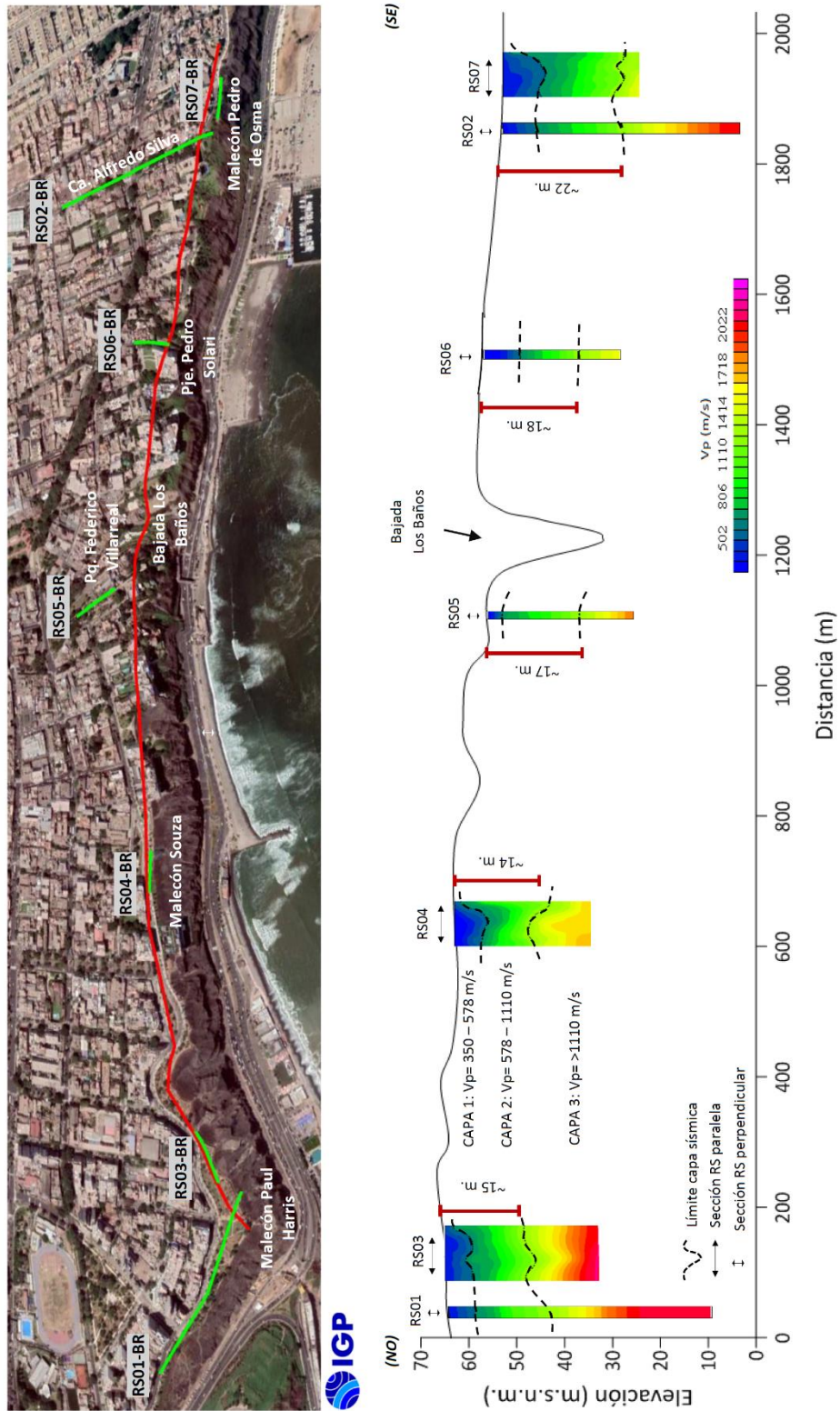


Figura 10. Correlación de los resultados obtenidos en cada sección de refracción sísmica e identificación de la estructura del subsuelo en los ACV del distrito de Barranco.

2.2.- Métodos sísmicos MASW y MAM

El ensayo de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto; es decir, conocer la velocidad de propagación de las ondas de corte Vs en el subsuelo a partir del análisis de la dispersión de ondas superficiales generadas por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de estaciones sísmicas.

El ensayo de Análisis Multicanal de Microtremores (MAM) o sísmica de Microtremores (Louie, 2001), es otro método para conocer la estructura del subsuelo a partir de la velocidad de ondas de corte, pero en este caso se hace uso del registro de ruido sísmico (vibración generada por la actividad humana), cuya contribución es principalmente en bajas frecuencias, lo que permite investigar a mayores profundidades. La combinación de los métodos MASW y MAM permite disponer de información del subsuelo a niveles superficiales y en profundidad.

2.2.1.- Adquisición de datos

Para el registro de señales sísmicas con la técnica MASW y MAM se ha utilizado un equipo sísmico Geometrics de 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Para la técnica MASW se usó como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, un martillo de 20 lbs (Figura 11). Los parámetros de registro, la geometría del tendido y el espaciamiento entre geófonos fueron variables, ya que dependió de la geomorfología y accesibilidad a la zona de estudio. La frecuencia de muestreo fue de 4000 Hz (0.25 ms) para una longitud de registro de 2 segundos.



Figura 11. Equipos utilizados en la toma de datos por el método de MASW.

En el distrito de Barranco se realizaron 18 arreglos lineales MASW y MAM. En la Figura 12, se muestra la distribución espacial de los arreglos en el área de estudio y en la Tabla 3 sus coordenadas.

Durante todo el proceso de adquisición de datos con la técnica MASW, las señales registradas fueron analizadas a fin de evaluar sus niveles de ruido y de ser necesario, repetir el proceso. Para mejorar la relación señal/ruido se realizó el apilamiento de las señales registradas (sumatoria de registros sísmicos) y generadas por más de cuatro golpes en cada punto (shot).

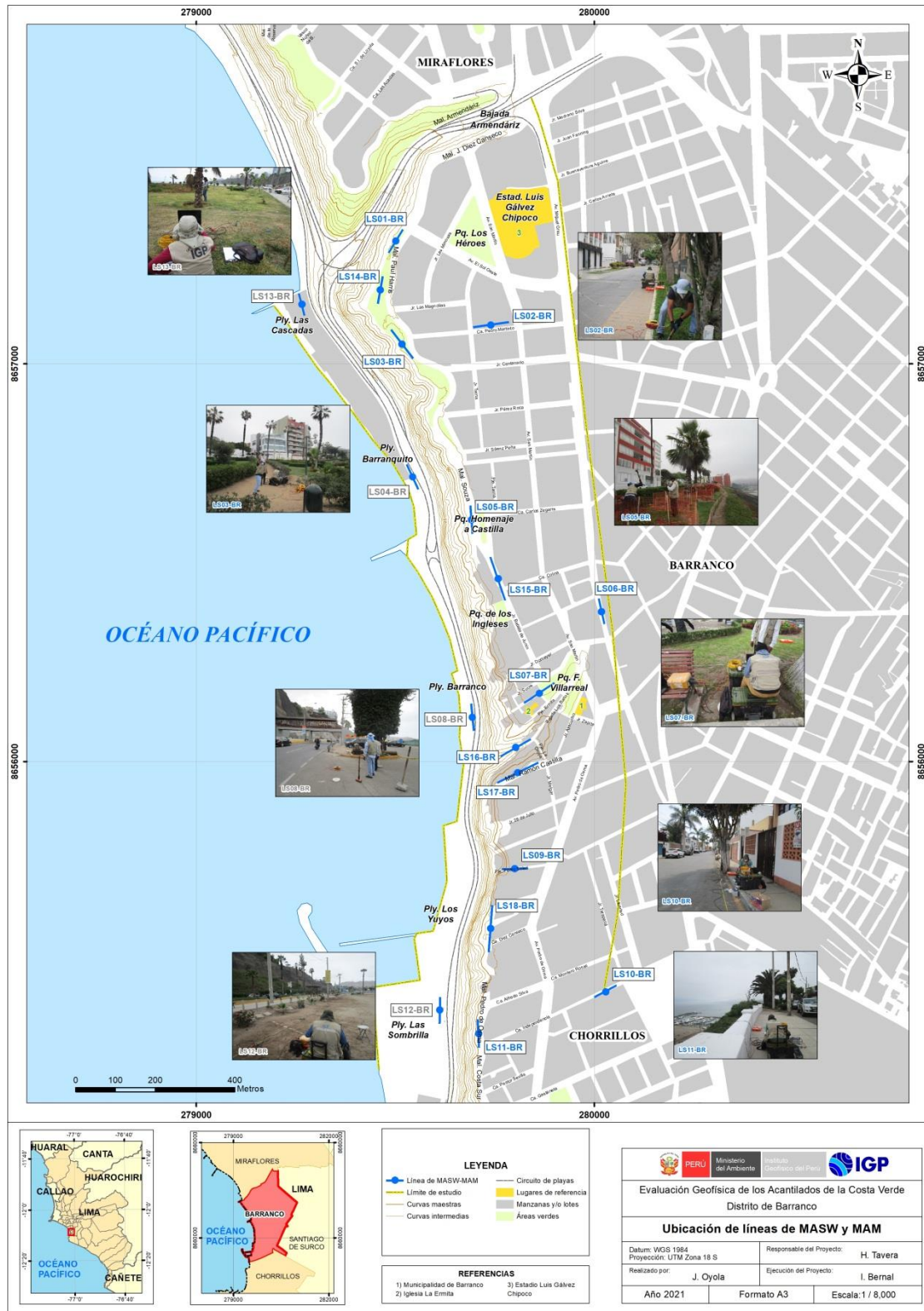


Figura 12. Distribución espacial de las líneas MASW y MAM, codificadas como LS01-BR,..., LS18-BR. Los códigos en gris, corresponden a líneas realizadas en la zona baja del acantilado.

Tabla 3: Coordenadas y características de las líneas sísmicas MASW y MAM.

Línea Sísmica	Coordenadas UTM – WGS84		Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
	Este (m)	Norte (m)			
MASW y MAM					
LS01-BR	279498	8657310	66	3	69
LS02-BR	279743	8657102	75	4	92
LS03-BR	279516	8657051	65	4	92
LS04-BR	279541	8656716	13	3	69
LS05-BR	279691	8656607	61	3	69
LS06-BR	280014	8656377	68	3	69
LS07-BR	279861	8656171	61	4	92
LS08-BR	279695	8656111	4	3	69
LS09-BR	279808	8655731	57	3	69
LS10-BR	280027	8655422	56	3	69
LS11-BR	279705	8655317	41	3	69
LS12-BR	279612	8655373	2	3	69
LS13-BR	279265	8657150	5	2.5	57.5
LS14-BR	279464	8657185	64	3	69
LS15-BR	279761	8656458	62	5	115
LS16-BR	279804	8656032	38	4	92
LS17-BR	279808	8655970	58	5	115
LS18-BR	279743	8655639	55	5	115

En la Figura 13, se muestra la disposición del equipo en el Malecón Paul Harris y el registro sísmico obtenido con el método MASW. El sismograma contiene las señales sísmicas con presencia de bajo ruido ambiental y punto de golpe ubicado a una distancia de 6 metros al final de la línea sísmica.



Figura 13. Disposición del equipo de adquisición de datos - MASW (Malecón Paul Harris) y el registro sísmico obtenido.

2.2.2.- Procesamiento y análisis

Los datos sísmicos recolectados fueron procesados con el programa Seislmager y se aplicó la Transformada Rápida de Fourier (FFT) para obtener la curva de dispersión que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia (Reynolds, 2011). Seguidamente, cada curva de dispersión perteneciente a un mismo arreglo (MASW y MAM), fue sometida a un proceso de inversión a fin de obtener los perfiles de velocidad Vs en una dimensión (1D) para el punto central de la línea, ver Figura 14.

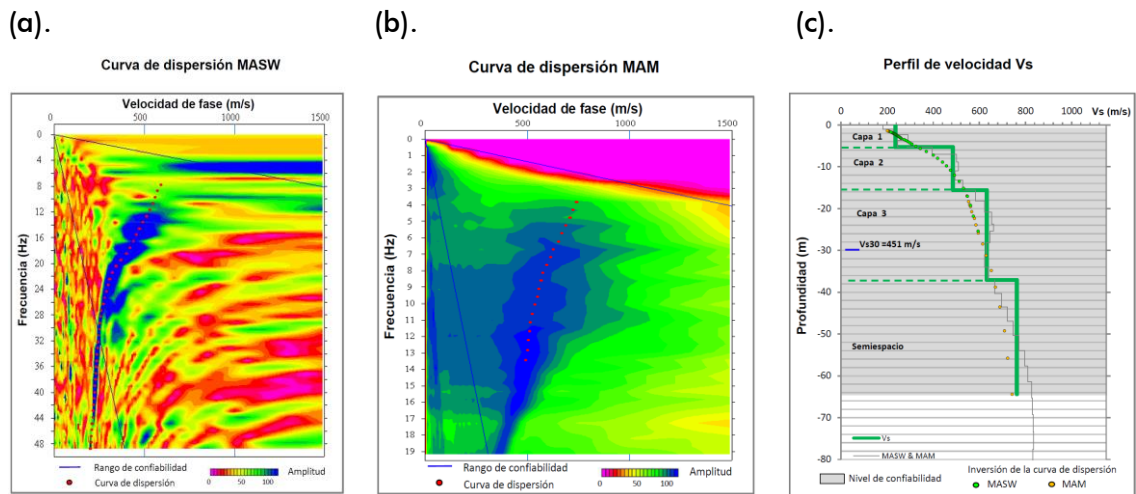


Figura 14. Curvas de dispersión obtenidas a partir de las técnicas MASW (a) y MAM (b) y el perfil de velocidad obtenido a partir de la combinación de ambos ensayos (c).

Para el análisis de los resultados obtenidos, se considera la clasificación de suelos propuesta por la Norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018). En este caso, el rango de velocidad de los perfiles del suelo S1 y S2 se subdividen a fin de analizar con mayor detalle las velocidades de ondas que caracterizan a los suelos identificados en la zona de estudio, tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de perfil del suelo a partir de la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente (2018).

Clasificación de los perfiles de Suelo				
N°	Vs (m/s)	Norma E.030		Descripción
1	< 180	S3	Suelo blando	Material aluvial suelto
2	180 a 350	S2	Suelo medianamente rígido	Material aluvial suelto a medianamente compacto
3	350 a 500			Material aluvial medianamente compacto
4	500 a 800	S1	Roca o suelo muy rígido	Material aluvial compacto
5	800 a 1500			Material aluvial muy compacto
6	> 1500	S0	Roca dura	Roca

2.2.3.- Resultados e interpretación

a) Resultados

En el área de estudio se realizaron 18 líneas sísmicas MASW y MAM con resolución promedio de ≈ 80 metros. Los resultados obtenidos para la línea LS01-BR se muestran en la Figura 15 y en el Anexo II, para las líneas restantes. El análisis realizado para cada línea sísmica es mostrado a continuación:

Línea sísmica LS01-BR: Realizada en el Malecón Paúl Harris, siendo la profundidad de resolución de 80 metros. Este perfil permite identificar la existencia en el subsuelo de tres (3) capas sísmicas: La

primera de 4 metros de espesor y velocidad V_s de 342 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; la segunda capa, con V_s de 490 m/s y espesor de 9 metros corresponde a material aluvial medianamente compacto y la tercera capa con velocidad V_s de 707 m/s y 34 metros de espesor sugiere material aluvial compacto. El semiespacio con velocidades $V_s > 850$ m/s, y correspondería a material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS02-BR: Realizada en el Jr. Pedro Martinto (Cuadra 2) con una profundidad de resolución de 64 metros. En este perfil se identifica la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 237 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; la segunda capa de 10 metros de espesor y velocidades V_s de 486 m/s corresponde a material aluvial medianamente compacto y la tercera capa, con V_s de 633 m/s y espesor de 22 metros junto al semiespacio con velocidad > 763 m/s, compuestos por material aluvial compacto

Línea sísmica LS03-BR: Realizada en el Malecón Paúl Harris (altura del Jr. Pedro Martinto), con una profundidad de resolución de 80 metros. En este perfil se identifica la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidades V_s 227 m/s y la segunda capa de 9 metros de espesor y velocidades de 333 m/s, ambas compuestas por material aluvial suelto a medianamente compacto. La tercera capa con velocidades V_s 610 m/s y 27 metros de espesor, estaría compuesta por material aluvial compacto. El semiespacio con velocidad $V_s > 838$ m/s sugiere la presencia de material aluvial muy compacto.

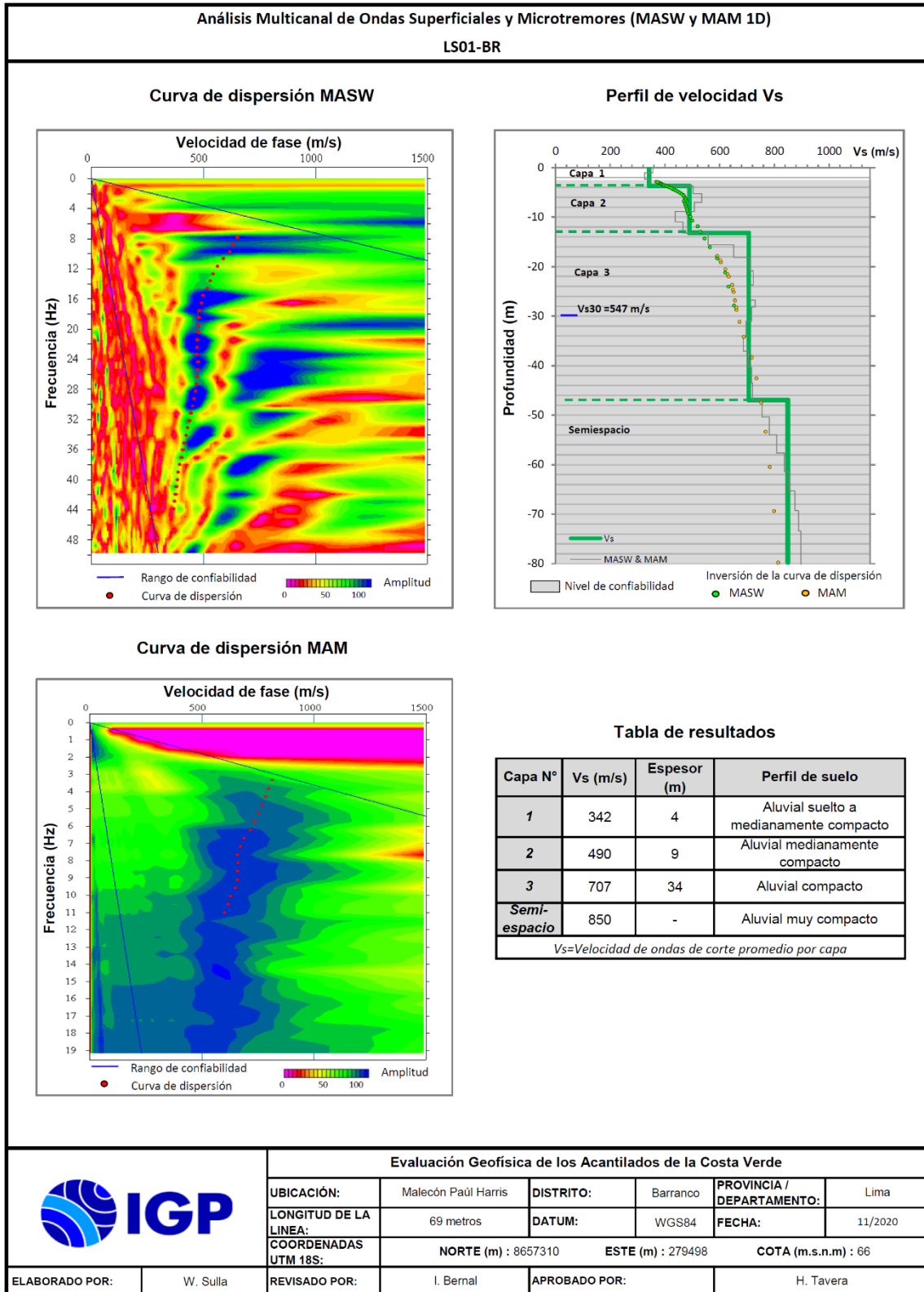


Figura 15. Resultados obtenidos con el ensayo MASW y MAM para la línea sísmica LS01-BR.

Líneas sísmicas LS04-BR: Realizada en el Circuito de playas (playa Barranquito) con una profundidad de resolución de 28 metros. En este perfil se identifica la existencia de dos (2) capas sísmicas: La primera, de 7 metros de espesor y velocidades de Vs 248 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto, y la segunda capa de 8 metros de espesor y velocidades de 553 m/s compuesta por material aluvial suelto compacto. El semiespacio con velocidades Vs > 991 m/s, sugiere material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS05-BR: Realizada en el Malecón Souza (parque Homenaje a Castilla) con una profundidad de resolución de 76 metros. En este perfil se identifica la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidades Vs de 223 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; la segunda capa de 7 metros de espesor y velocidad Vs de 408 m/s corresponde a material aluvial medianamente compacto. La tercera capa de 17 metros de espesor y la cuarta capa de 22 metros de espesor, ambas con velocidades Vs de 737 m/s estarían compuestas por material aluvial compacto. El semiespacio con velocidades Vs > 825 m/s, sugieren material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS06-BR: Realizada en la Av. Grau (cuadra 4) con una profundidad de resolución de 34 metros. En este perfil se identifica la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidades Vs de 219 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; la segunda capa de 9 metros de espesor y velocidad Vs de 372 m/s corresponde a material aluvial medianamente compacto. La tercera capa con 12 metros de espesor y velocidad de 535 m/s, que junto al semiespacio, con velocidades Vs > 761 m/s, estarían compuestos por material aluvial compacto.

Líneas sísmicas LS07-BR: Realizada en el parque Federico Villarreal con una profundidad de resolución de 76 metros. En este perfil se identifica la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidades de Vs 198 m/s y la segunda, de 7 metros de espesor y velocidades de Vs 332 m/s, ambas compuestas por material aluvial suelto a medianamente compacto. La tercera capa con velocidades Vs 445 m/s y 7 metros de espesor, corresponde a material aluvial medianamente compacto y la cuarta capa de 26 metros de espesor y velocidades Vs de 650 m/s, junto al semiespacio con velocidad Vs > 797 m/s, estarían compuestos por material aluvial compacto.

Línea sísmica LS08-BR: Ubicada en el Circuito de Playas (playa Barranco) con una profundidad de resolución de 30 metros. En este perfil se identifica la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera, de 2 metros de espesor y velocidades Vs de 189 m/s compuesta por material suelto a medianamente compacto; la segunda capa, con velocidades Vs de 433 m/s y espesor de 7 metros corresponde a material aluvial medianamente compacto. La tercera capa con velocidades Vs de 765 m/s y espesor de 9 metros sugiere material aluvial compacto. El semiespacio presenta velocidades Vs > 1169 m/s, lo cual indica la presencia de material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS09-BR: Realizada en el Pje. Pedro Solari con una profundidad de resolución de 70 metros. En este perfil se identifica la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidades Vs de 213 m/s y la segunda, de 7 metros y velocidades Vs de 323 m/s, ambas compuestas por material aluvial suelto a medianamente compacto. La tercera capa de 14 metros de espesor (Vs de 598 m/s), la cuarta capa de 12 metros de espesor (Vs de 550 m/s) y el semiespacio con velocidades Vs > 656 m/s compuestas por material aluvial compacto.

Línea sísmica LS10-BR: Realizada en la calle Independencia con una profundidad de resolución de 60 metros. En este perfil permite identificar la existencia de dos (2) capas sísmicas: La primera, de 5 metros de espesor y velocidad V_s de 214 m/s y sugiere material aluvial suelto a medianamente compacto; la segunda capa, con velocidad V_s de 412 m/s y espesor de 10 metros corresponde a material aluvial medianamente compacto. El semiespacio con velocidades $V_s > 520$ m/s, sugiere material aluvial compacto.

Línea sísmica LS11-BR: Realizada en el Malecón Pedro de Osma, con una profundidad de resolución de 66 metros. En este perfil se identifica la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 7 metros de espesor y velocidades de V_s 221 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; la segunda capa de 11 metros de espesor y velocidades de V_s 354 m/s que corresponde a material aluvial medianamente compacto. La tercera capa de 22 metros de espesor y velocidades V_s de 551 m/s que junto al semiespacio con velocidades $V_s > 689$ m/s, están compuestos por material aluvial compacto.

Línea sísmica LS12-BR: Ubicada en el Circuito de Playas (playa Las Sombrillas) con una profundidad de resolución de 50 metros. En este perfil se identifica la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera, de 11 metros de espesor y velocidades V_s de 327 m/s compuesta por material suelto a medianamente compacto; la segunda capa con velocidades V_s de 661 m/s y espesor de 7 metros compuesta por material aluvial compacto. La tercera capa con velocidades V_s de 984 m/s y espesor de 10 metros que junto al semiespacio de velocidad V_s de 1183 m/s, estarían compuestas por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS13-BR: Realizada en el Circuito de Playas (playa Las Cascadas) con una profundidad de resolución de 28 metros. En este perfil se identifica la existencia de dos (2) capas sísmicas: La primera, de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 221 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; la segunda capa de 8 metros de espesor y velocidades V_s de 532 m/s que corresponde a material aluvial compacto y el semiespacio con velocidades de $V_s > 924$ m/s compuesta por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS14-BR: Realizada al borde del acantilado en el Malecón Paúl Harris altura del Jr. Magnolias, con una profundidad de resolución de 80 metros. En este perfil se identifica la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 268 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; la segunda, de 10 metros de espesor y velocidades V_s de 407 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto. La tercera capa de 22 metros de espesor y velocidades V_s de 683 m/s compuesta por material aluvial compacto. El semiespacio, con velocidades $V_s > 828$ m/s estaría compuesta por materiales aluviales muy compactos.

Línea sísmica LS15-BR: Realizada al borde del acantilado en el Jr. Batalla de Junín con la calle Colina, con una profundidad de resolución de 80 metros. En este perfil se identifica la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidades V_s de 261 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; la segunda, de 9 metros de espesor y velocidades V_s de 432 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto. La tercera capa de 12 metros de espesor y velocidades V_s de 549 m/s compuesta por material aluvial compacto y la cuarta capa, de 22 metros y velocidades V_s de 670 m/s compuesta por material aluvial

compacto. El semiespacio, con velocidades $V_s > 838$ m/s estaría compuesta por materiales aluviales muy compactos.

Línea sísmica LS16-BR: Realizada al borde del acantilado en la Bajada Los Baños con una profundidad de resolución de 34 metros. En este perfil se identifica la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 333 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; la segunda capa, con espesor de 8 metros y velocidades V_s de 589 m/s y la tercera de 10 metros y velocidades V_s de 549 m/s; ambas compuestas por material aluvial compacto. El semiespacio, con velocidades $V_s > 850$ m/s estaría compuesta por material aluvial muy compactos.

Línea sísmica LS17-BR: Realizada al borde del acantilado en la calle Ramón Castilla, con una profundidad de resolución de 80 metros. En este perfil se identifica la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 292 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; la segunda, de 10 metros de espesor y velocidades V_s de 439 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto. La tercera capa de 13 metros de espesor y velocidades V_s de 619 m/s y la cuarta, de 18 metros de espesor con velocidades V_s de 537 m/s; ambas compuestas por material aluvial compacto. El semiespacio, con velocidades $V_s > 839$ m/s, estaría compuesto por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS18-BR: Realizada al borde del acantilado en el Malecón Pedro de Osma altura de la calle Diez Canseco, con una profundidad de resolución de 80 metros. En este perfil se identifica la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 7 metros de espesor y velocidades V_s de 241 m/s compuesta por material aluvial suelto a

medianamente compacto; la segunda, de 11 metros de espesor y velocidades V_s de 408 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto. La tercera capa de 22 metros de espesor y velocidades V_s de 631 m/s compuesta por material aluvial compacto. El semiespacio, con velocidades $V_s > 825$ m/s corresponde a material aluvial muy compacto.

Finalmente, en la Tabla 5, se presenta el resumen de los valores de velocidades de ondas de corte (V_s) y espesores de capas obtenidas en cada uno de los perfiles de suelo (Tabla 4). Asimismo, en el Anexo III, se presenta los parámetros sísmicos identificados para cada uno de los perfiles de velocidad.

b) Interpretación

Los perfiles de velocidad de ondas de corte obtenidos en el distrito de Barranco, permiten identificar la presencia en el subsuelo de hasta 4 capas que presentan diferente grado de compactación, siendo mejor diferenciados en las cercanías del acantilado. Las características físicas y espesores de cada capa son discutidas a continuación:

-Variación lateral de las propiedades físicas de los suelos: A lo largo del acantilado los suelos son menos consolidados ($V_s < 500$ m/s) en comparación con los que se encuentran a mayores distancias hacia el área urbana. Estos suelos forman capas de 13 a 16 metros de espesor hacia el extremo noroeste del distrito (Malecón Paul Harris); mientras que, en dirección sur a la altura del Malecón Souza y en el Jr. Pedro Solari, el espesor de la capa poco consolidada disminuye a 11 metros. Por el parque Federico Villarreal (Bajada Los Baños), esta misma capa aumenta su espesor hasta los 18 metros; por lo tanto, incrementa su riesgo ante la posible ocurrencia de sismos, ver Figura 16.

Tabla 5. Valores de espesor y Vs de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie → Profundidad											
Línea Sísmica	N° DE CAPA										VS30 (m/s)
	1		2		3		4		Semiespacio		
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
LS01-BR	342	4	490	9	707	34	850	-	-	-	544
LS02-BR	237	5	486	10	633	22	763	-	-	-	451
LS03-BR	227	4	333	9	610	27	838	-	-	-	405
LS04-BR	248	7	553	8	991	-	-	-	-	-	507
LS05-BR	223	4	408	7	626	17	737	22	825	-	464
LS06-BR	219	4	372	9	535	12	761	-	-	-	415
LS07-BR	198	4	332	7	445	7	650	26	797	-	394
LS08-BR	189	2	433	7	765	9	1169	-	-	-	598
LS09-BR	213	4	327	7	598	14	550	12	656	-	414
LS10-BR	214	5	412	10	520	-	-	-	-	-	386
LS11-BR	221	7	354	11	551	22	689	-	-	-	414
LS12-BR	327	11	661	7	984	10	1183	-	-	-	529
LS13-BR	221	5	532	8	924	-	-	-	-	-	521
LS14-BR	268	5	407	10	683	22	828	-	-	-	447
LS15-BR	261	4	432	9	549	12	670	22	838	-	456
LS16-BR	333	5	589	8	549	10	850	-	-	-	533
LS17-BR	292	5	439	10	619	13	537	12	839	-	455
LS18-BR	241	7	408	11	631	22	825	-	-	-	401

	Aluvial suelto ($V_s < 180$ m/s)
	Aluvial suelto a medianamente compacto (180–350m/s)
	Aluvial medianamente compacto (350 – 500 m/s)
	Aluvial compacto (500 – 800 m/s)
	Aluvial muy compacto (800 – 1500 m/s)
	Roca ($V_s > 1500$ m/s)

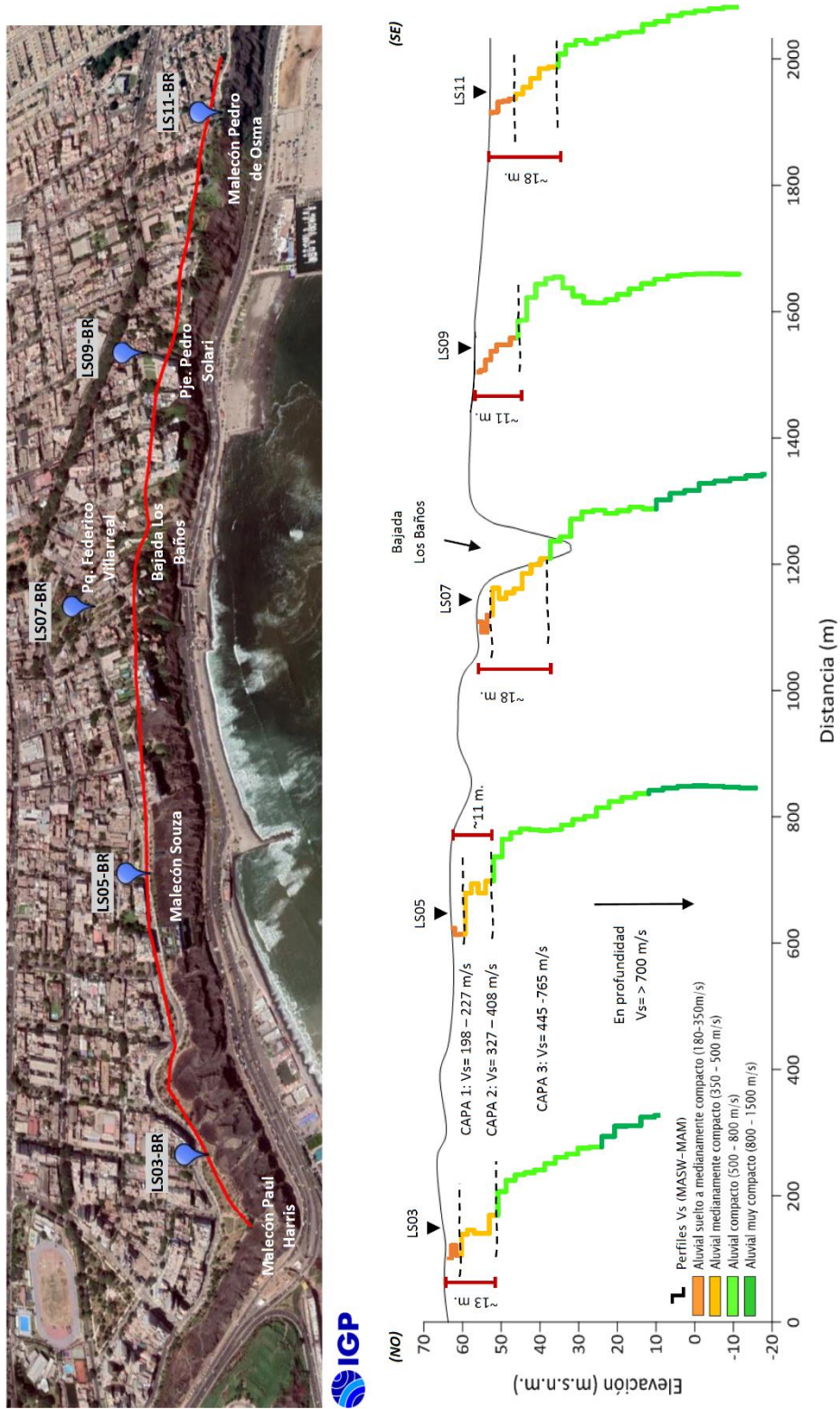


Figura 16. Correlación de los resultados obtenidos en cada perfil sísmico (V_s) e identificación de la estructura del subsuelo en los ACV del distrito de Barranco.

2.3.- Método de Tomografía Eléctrica

El método de tomografía eléctrica (ERT) permite determinar las variaciones de resistividad y conductividad eléctrica en las rocas y suelos para identificar la ubicación de los niveles freáticos en su estructura. En general, los materiales que conforman el subsuelo muestran diversos rangos de valores de resistividad (ρ) que dependen principalmente de la porosidad del suelo, conductividad de las partículas y del contenido de agua o de sales disueltas en las fracturas de las rocas.

2.3.1.- Adquisición de datos

Los datos recolectados en campo corresponden al registro de valores de resistividad obtenidos en 15 líneas de ERT distribuidas en el área de estudio, el instrumental utilizado en campo corresponde al equipo de Syscal Pro. En la Tabla 6 se detalla las características de las líneas ERT realizadas en los ACV del distrito de Barranco y su distribución espacial en la Figura 17.

2.3.2.-Procesamiento y análisis

Para el procesamiento de los datos recolectados en campo, fue necesario realizar la corrección por efectos de topografía usando algoritmos de inversión propios de métodos geoelectricos y de procesamiento de imágenes. Asimismo, para la interpretación de los resultados se debe tener en cuenta que son varios los factores que influyen en las propiedades físicas de 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 por una disminución en los valores de resistividad. En la Tabla 7, se presentan algunos valores de resistividad relacionados con los diferentes tipos de suelos y rocas.

Tabla 6: Parámetros físicos de los tendidos de tomografía eléctrica.

Línea Eléctrica	Coordenadas UTM – WGS84		Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
	Este (m)	Norte (m)			
LE01-BR	279422	8657163	44	20	340
	279584	8656884	49		
LE02-BR	279520	8657064	58	20	260
	279804	8657094	64		
LE03-BR	279580	8656884	48	20	380
	279703	8656514	53		
LE04-BR	279622	8656761	41	20	200
	279835	8656787	63		
LE05-BR	279786	8656122	52	20	200
	279952	8656243	60		
LE06-BR	279762	8655940	45	20	200
	279960	8656021	56		
LE07-BR	279724	8655416	33	20	240
	279701	8655168	31		
LE08-BR	279696	8655351	26	20	200
	279890	8655431	51		
LE09-BR	279435	8657128	49	20	280
	279550	8657408	61		
LE10-BR	279459	8655215	-6	20	220
	279629	8655383	9		
LE11-BR	279562	8657532	46	20	260
	279807	8657617	65		
LE12-BR	279831	8657602	68	20	260
	279894	8657349	73		
LE13-BR	279685	8657579	57	20	260
	279750	8657334	71		
LE14-BR	279420	8657271	32	20	260
	279536	8657502	41		
LE15-BR	279727	8655996	18	20	280
	279929	8656175	53		

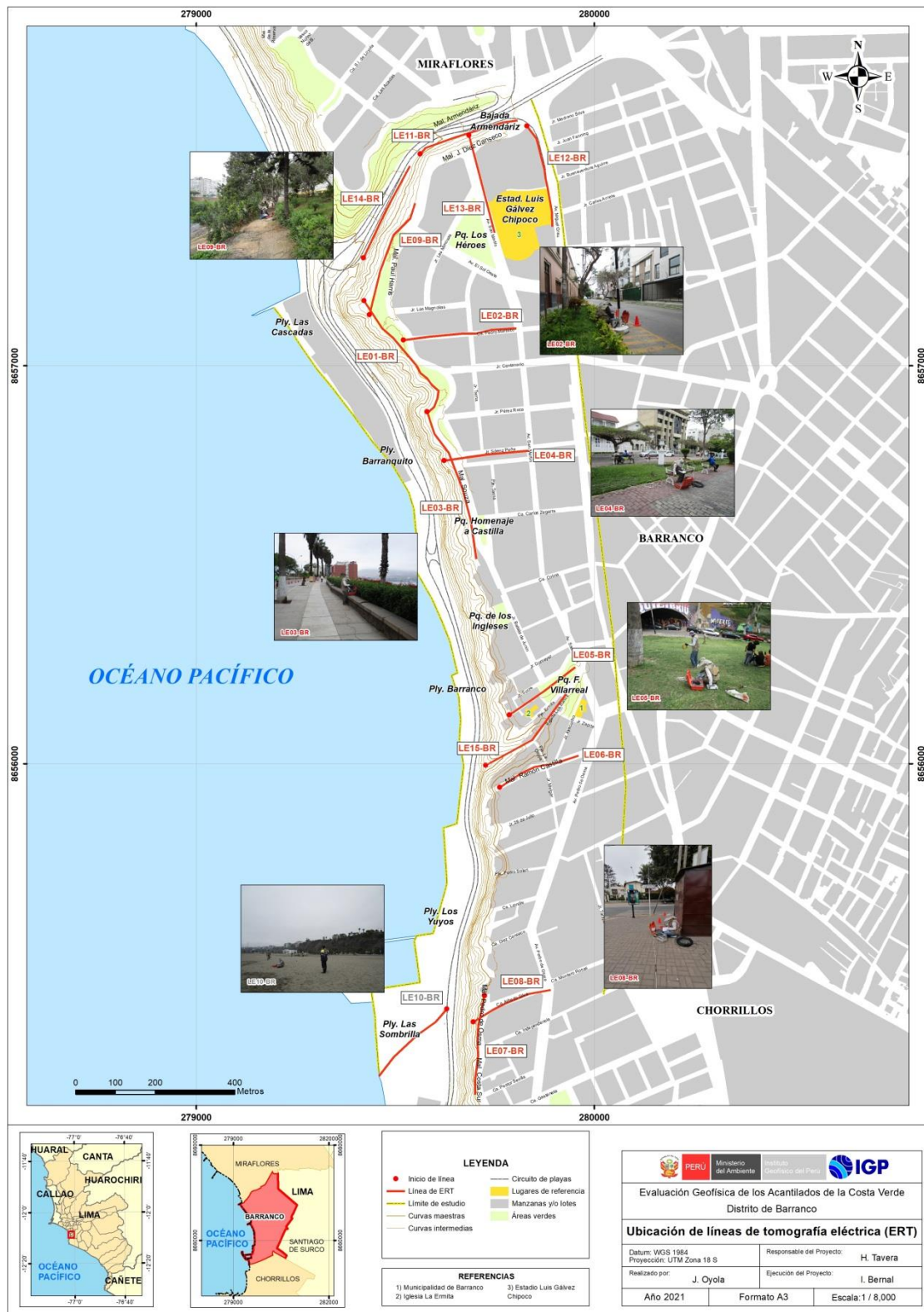


Figura 17: Distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica (ERT), codificados como LE01-BR,..., LE15-BR. Los códigos en gris, corresponden a líneas realizadas en la zona baja del acantilado.

Tabla 7: Valores representativos de resistividad (UNC, 2000).

*MATERIAL	RESISTIVIDAD (ohm-m)
Arcillas saturadas	5-20
Arcillas no saturadas	20-40
Limos saturados	20-100
Limos no saturados	100-200
Arenas saturadas	100-200
Arenas no saturadas	400-700
Grava saturada	300-500
Grava no saturada	500-2000
Roca fracturada saturada	100-2000
Roca fracturada	1500-5000
Roca sana	>5000

2.3.3.- Resultados e interpretación

a) Resultados

En el distrito de Barranco se realizaron 15 secciones geoeléctricas, con resolución hasta los 50 metros de profundidad. En la Figura 18, se presenta la sección geoeléctrica para la línea LE01-BR y en el Anexo IV, para las secciones restantes. El análisis realizado para cada sección geoeléctrica, y/o tomografía eléctrica, permite tener los siguientes resultados:

-Sección geoeléctrica LE01-BR: Realizada en el Malecón Paul Harris con una longitud de 340 metros y en dirección NO-SE (paralela al acantilado). En esta sección predomina un horizonte con depósitos de moderada resistividad (80 a 300 Ohm-m) debido a la presencia de materiales aluviales con moderado contenido de humedad. A nivel superficial, a la altura del Jr. Pedro Martinto y Jr. Centenario, se ha identificado depósitos con alto contenido de humedad hasta una

profundidad de 10 metros y conforme se tiende hacia el extremo SE, la sección alcanza mayor profundidad.

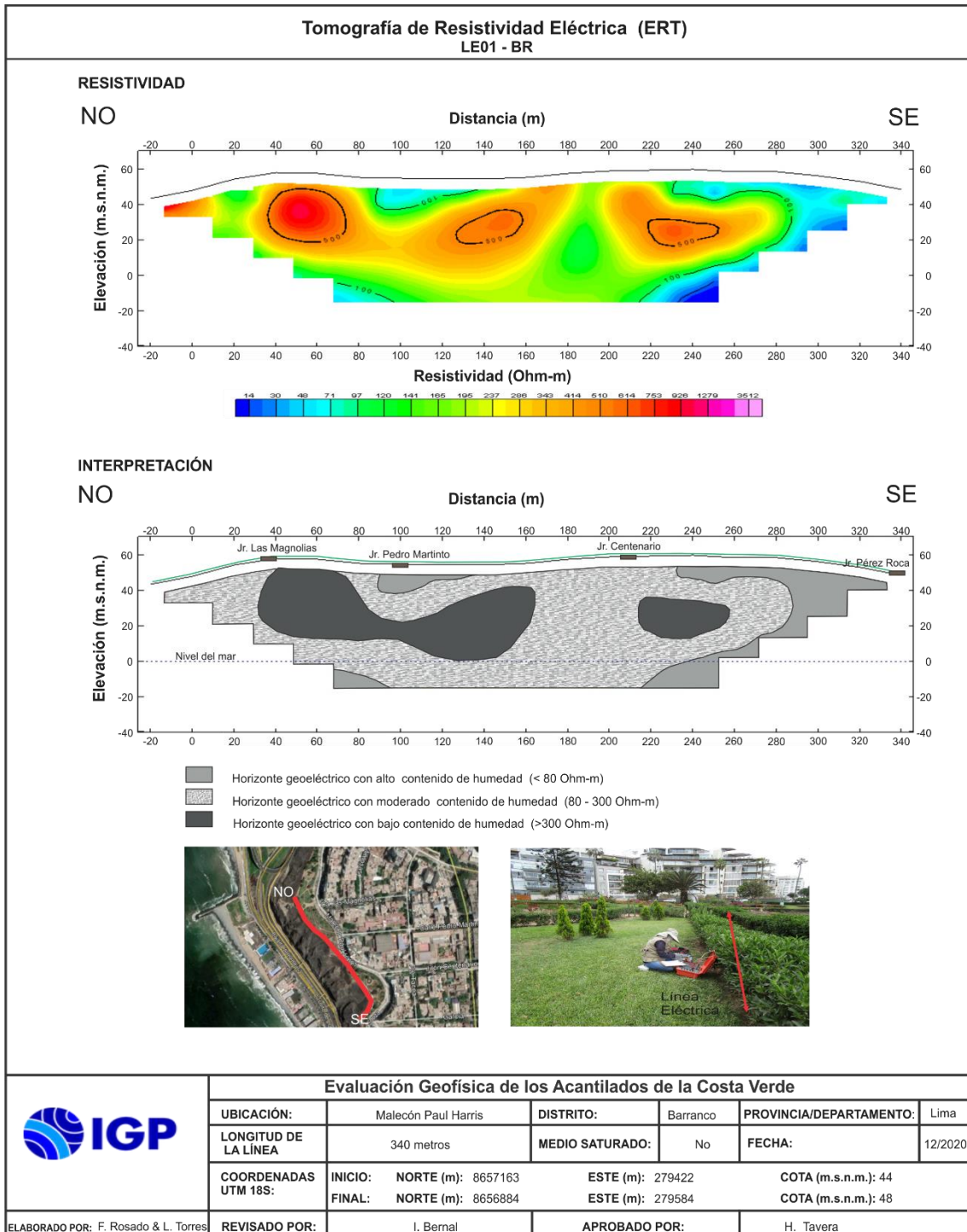


Figura 18: Resultado de tomografía eléctrica para la línea LE01-BR.

-Sección geoelectrica LE02-BR: Realizada en el Jr. Pedro Martinto sobre una longitud de 260 metros y en dirección O-E (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan materiales aluviales con moderado contenido de humedad. A nivel superficial, y hacia el tramo inicial y final de esta sección, en el Malecón Paul Harris y entre el Jr. Tacna - Av. San Martín, existen depósitos con alto contenido de humedad, que alcanzan espesores de hasta 20 metros, asociado probablemente al riego de áreas verdes.

-Sección geoelectrica LE03-BR: Realizada en el Malecón Souza sobre una longitud de 380 metros y en dirección NO-SE (paralela al acantilado). En esta sección predomina un horizonte con moderado contenido de humedad. A nivel superficial se ha identificado una zona anómala (a la altura del edificio Infinity) con alto contenido humedad (<80 Ohm-m) y espesores de hasta los 30 metros. Asimismo, a lo largo de la sección se observa la presencia de otras anomalías con bajo contenido de humedad (>300 Ohm-m) en capas de espesores de hasta 30 metros.

-Sección geoelectrica LE04-BR: Realizada en la Av. Sáenz Peña sobre una longitud de 200 metros y en dirección O-E (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan materiales con moderado contenido de humedad (>300 Ohm-m) y espesores de 10 a 40 metros. Asimismo, a la altura del Malecón Souza sobresalen anomalías en forma de elipses, que a nivel superficial indican la presencia de materiales con bajo contenido de humedad, y otras que contienen materiales con alto contenido de humedad a profundidades de 20 y 30 metros próximos al borde del acantilado.

-Sección geoelectrica LE05-BR: Realizada en el Jr. Sucre sobre una longitud de 200 metros y en dirección SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan depósitos de alta resistividad

(>300 Ohm-m) debido a la presencia de materiales aluviales con bajo contenido de humedad. A nivel superficial, sobresale una capa delgada de material con alto contenido de humedad hasta una profundidad de 10 metros, presente a la altura del parque Federico Villarreal y debido probablemente al riego del parque. Además, hacia el extremo final de la sección (extremo noreste), se ha identificado la presencia de depósitos con moderado contenido de humedad que se extienden a mayores profundidades.

-Sección geoelectrica LE06-BR: Realizada la calle Ramón Castilla sobre una longitud de 200 metros y en dirección SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan depósitos de moderada resistividad (80 - 300 Ohm-m) debido a la presencia de materiales aluviales con moderado contenido de humedad. A nivel superficial, se ha identificado la presencia de dos zonas anómalas de baja y alta resistividad. La zona de alta resistividad (>300 Ohm-m) se encuentra en el tramo central de la sección y se extiende en dirección suroeste (inicio de la sección). La zona de baja resistividad (<80 Ohm-m) alcanza una profundidad de 30 metros, entre la calle Ayacucho y la Av. Pedro de Osma.

-Sección geoelectrica LE07-BR: Realizada entre el Malecón Pedro de Osma y el Malecón Costa Sur, sobre una longitud de 240 metros y en dirección NE-SO (paralela al acantilado). En esta sección se ha identificado la existencia de un horizonte geoelectrico que a lo largo de toda la sección presenta moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m). Asimismo, a la altura de la calle Independencia se identifica la presencia de materiales con alto contenido de humedad (tramo central de la sección) hasta una profundidad de 5 a 8 metros.

-Sección geoelectrica LE08-BR: Realizada en la calle Alfredo Silva, sobre una longitud de 200 metros y con orientación SO-NE

(perpendicular al acantilado). En esta sección predominan depósitos de baja resistividad (<80 Ohm-m) debido a la presencia de materiales aluviales con alto contenido de humedad. Asimismo, en dirección de la Av. Pedro de Osma y Malecón Pedro de Osma, se ha identificado la presencia de materiales con moderado contenido de humedad.

-Sección geoelectrica LE09-BR: Realizada en el Malecón Paul Harris, sobre una longitud de 280 metros y con orientación SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección se ha identificado la existencia de 2 horizontes geoelectricos: El primero, contiene materiales con bajo contenido de humedad (>300 Ohm-m) hasta una profundidad de 30 a 50 metros, y que desaparece hacia el extremo SO de la sección. El segundo horizonte, presenta moderado contenido de humedad con espesores de 10 a 40 metros y que afloran hacia el extremo SO de la sección, a la altura del Jr. Las Magnolias

-Sección geoelectrica LE10-BR: Realizada en la playa Las Sombrillas, sobre una longitud de 220 metros y con orientación SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan materiales con alto contenido de humedad por la proximidad al mar. Sin embargo, conforme se tiende hacia el extremo SO de la sección, se identifica la presencia de materiales con moderado contenido de humedad hasta una profundidad de 30 metros.

-Sección geoelectrica LE11-BR: Realizada en la Bajada Armendáriz sobre una longitud de 260 metros y en dirección SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección se ha identificado la presencia de 3 horizontes geoelectricos: El primero de alta resistividad (>300 Ohm-m), presente en toda la sección hasta una profundidad que varía de 5 a 15 metros, presentándose la mayor profundidad a la altura de la Av. San Martín. El segundo horizonte, con moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m), presente en toda la sección con espesores que

varían entre 10 y 40 metros, dentro de este horizonte se presentan dos zonas anómalas de baja resistividad, distribuidas entre las avenidas Miguel Grau y San Martín. El tercer horizonte presenta un bajo contenido de humedad (>300 Ohm-m).

-Sección geoelectrica LE12-BR: Realizada en la Av. Miguel Grau sobre una longitud de 260 metros y en dirección NO-SE (paralela al acantilado). En esta sección predominan los depósitos de suelos con moderada resistividad (80 a 300 Ohm-m) debido a la presencia de materiales aluviales con moderado contenido de humedad. Sin embargo, a nivel superficial se presentan zonas anómalas con alto contenido de humedad, a la altura del Jr. Juan Fanning y Jr. Carlos Arrieta (próximo al estadio Luis Gálvez Chipoco). La zona de bajo contenido de humedad está presente, desde el inicio de la línea a la altura de Medrano Silva hasta una distancia de 80 metros en dirección NE, entre los 5 y 25 metros de profundidad, por debajo del Jr. Juan Fanning. En profundidad también se presentan zonas anómalas con alto contenido de humedad (desde los 10 metros de profundidad), a la altura del Jr. Buenaventura Aguirre.

-Sección geoelectrica LE13-BR: Realizada en la Av. San Martín sobre una longitud de 260 metros y en dirección NO-SE (paralela al acantilado). En esta sección se ha identificado la presencia de 4 horizontes geoelectricos: El primero define un horizonte delgado de material húmedo presente hasta una profundidad de 2 a 4 metros. El segundo constituido por material seco presente hasta una profundidad de 8 a 30 metros y con mayor espesor a la altura del malecón Diezcanseco. El tercer horizonte, con moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m), presenta espesores entre 10 a 30 metros, el mayor espesor se presenta a la altura del estadio Luis Gálvez Chipoco. El cuarto horizonte, con alto contenido de humedad (<80 Ohm-m), aflora a la altura del estadio Luis Gálvez Chipoco.

-Sección geoelectrica LE14-BR: Realizada en la Bajada Armendáriz sobre una longitud de 260 metros y en dirección SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan materiales aluviales con moderado a alto contenido de humedad; sin embargo, a nivel superficial desde los 70 metros de la sección hasta el final de la línea en dirección de la Av. Miguel Grau, existen depósitos con bajo contenido de humedad que se extienden hasta profundidades de 20 metros.

-Sección geoelectrica LE15-BR: Realizada en la Bajada Los Baños sobre una longitud de 280 metros y en dirección SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan los depósitos de baja resistividad (<80 Ohm-m) debido a la presencia de materiales aluviales con alto contenido de humedad. Sin embargo, a nivel superficial se presentan dos zonas anómalas con moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m) al inicio de la sección y entre los 80 -140 metros de distancia en dirección de la Av. San Martín.

c) Interpretación

En las secciones de tomografía eléctrica elaboradas en los ACV del distrito de Barranco, se ha identificado la presencia de capas de suelos húmedos y/o saturados con las siguientes características:

- **Hacia el extremo noroeste del distrito** (entre la Av. El Sol Oeste y la calle Carlos Zegarra), se ha identificado la presencia de una capa de suelos con bajo contenido de humedad y espesor de 40. Así mismo, a nivel superficial, se identifica la presencia de una capa delgada de suelos con alto contenido de humedad y espesor de 10 metros. Localmente, en el Malecón Souza, entre el Jr. Martinto y el Malecón

Paul Harris, esta capa alcanza espesores de hasta los 30 metros (Figura 19, Línea LE01-BR, LE03-BR y LE09-BR).

- Entre el Jr. Pedro Martinto y Jr. Sáenz Peña, perpendicular al acantilado y hacia su borde, se ha identificado la presencia suelos con moderado y alto contenido de humedad en capas de 30 metros de espesor. En el Jr. Sáenz Peña y al borde del acantilado, se ha identificado a nivel superficial suelos con bajo contenido de humedad en capas de 20 metros de espesor. Por debajo de esta capa se presentan suelos con moderado y alto contenido de humedad (Figura 19, Línea LE02-BR, LE04-BR).

- **En la zona central del distrito** (calle Ramón Castilla), perpendicular al acantilado predominan suelos con bajo contenido de humedad en capas de hasta 40 metros de espesor. A nivel superficial, y hasta una profundidad de 10 metros sobresale una capa delgada de suelos con alto contenido de humedad. Conforme se tienden al área urbana, estos suelos presentan moderado contenido de humedad (Figura 19, LE06-BR).

- **Hacia el extremo sur del distrito** (Malecón Pedro de Osma), paralelo al acantilado, se ha identificado la presencia de suelos con moderado y alto contenido de humedad en capas de 5 a 30 metros de espesor. (Figura 19, Línea LE07-BR).

- Sobre la calle Alfredo Silva, perpendicular al acantilado, se ha identificado la presencia de suelos con moderado y alto contenido de humedad a lo largo de toda la sección que supera los 30 metros de espesor (Figura 19, Línea LE08-BR).

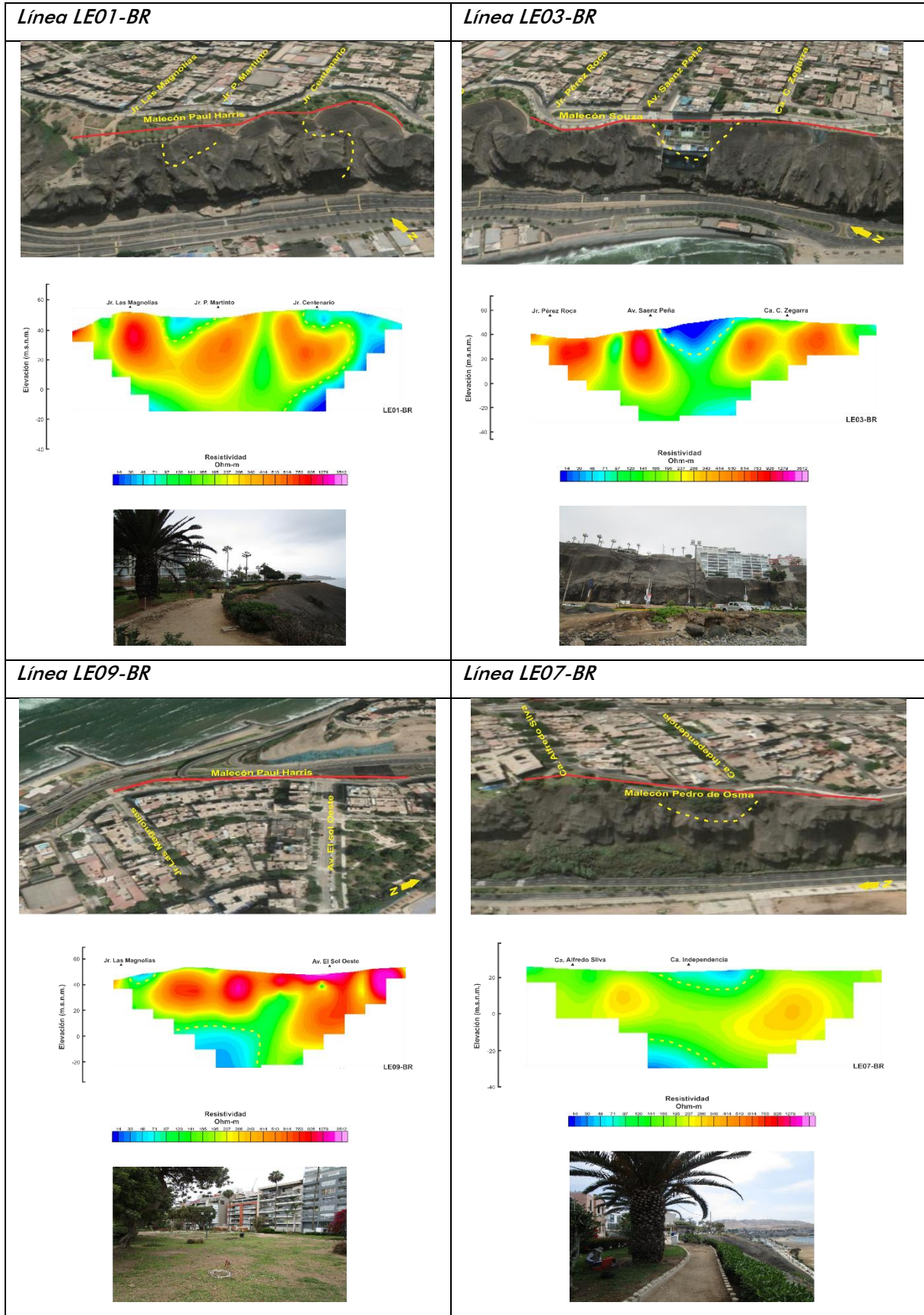


Figura 19. Ubicación y orientación de las líneas de tomografía eléctrica realizadas en el extremo NO (LE01-BR, LE03-BR y LE09-BR) y Sur (LE07-BR) de los acantilados de la Costa Verde. Las interlineas delimitan las zonas con mayor contenido de humedad en cada sección y su proyección en el perfil del acantilado.

De acuerdo a las secciones eléctricas realizadas próximas al borde del ACV, se ha identificado la presencia de suelos con alto contenido de humedad. Por ejemplo, en el Jr. Pedro Martinto y calle Alfredo Silva, se ha identificado la presencia de suelos con alto contenido de humedad en una capa que supera los 30 metros. De manera local, al borde del acantilado, los suelos con niveles altos de humedad se encuentran en capas de 5 a 10 metros de espesor distribuidas entre el Jr. Las Magnolias – Jr. P. Martinto, Jr. Centenario – Jr. Pérez Roca, Av. Sáenz Peña – Ca. C. Zegarra y entre Ca. Alfredo Silva-Ca Independencia. Estos niveles de humedad identificados sugieren que estos suelos representan un alto peligro a la ocurrencia de sismos.

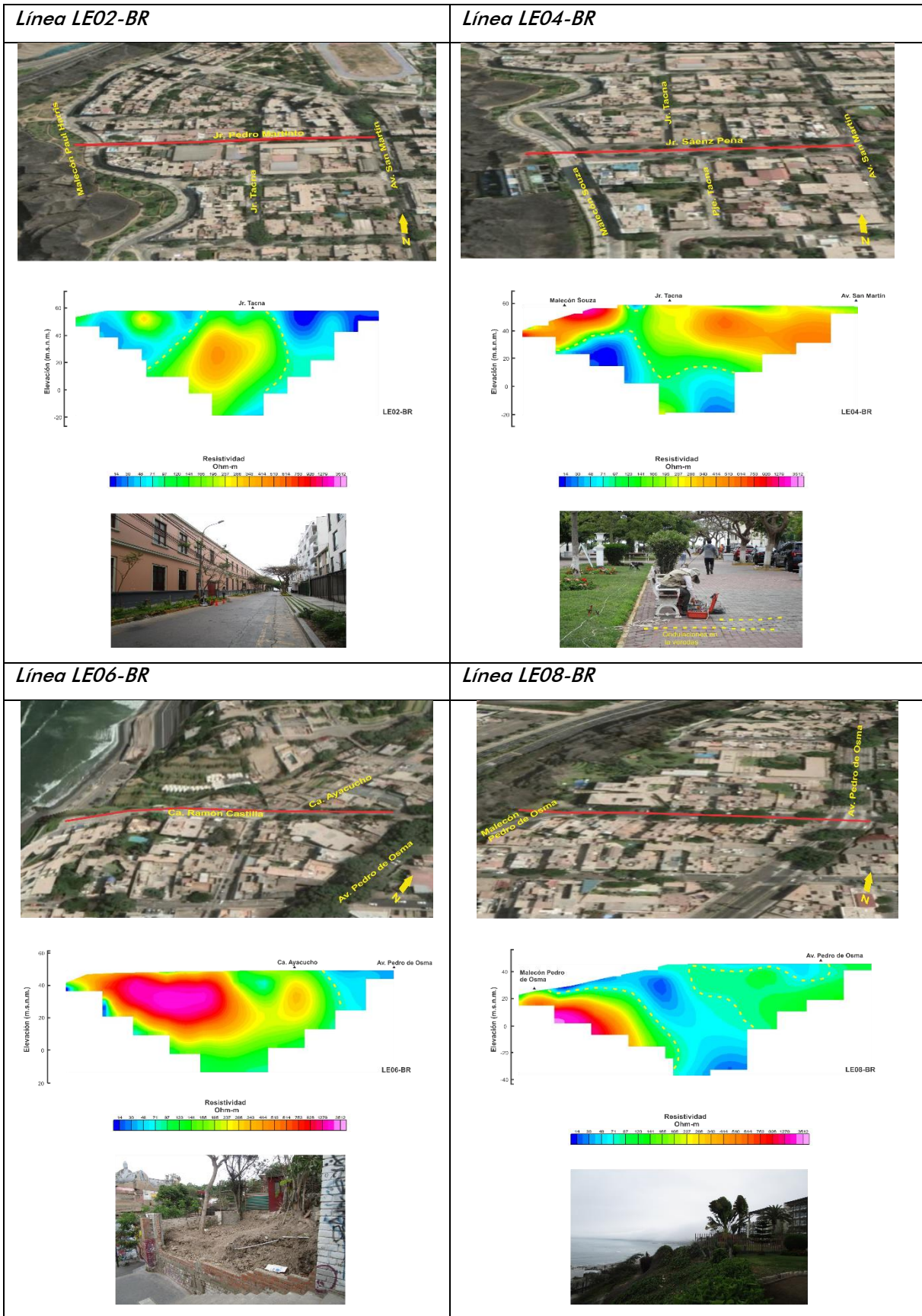


Figura 19. ...Continuación.../. Ubicación y orientación de las líneas de tomografía eléctrica realizadas en el extremo Norte (LE02-BR y LE04-BR), Central (LE06-BR) y Sur (LE08-BR) de los acantilados de la Costa Verde. Las interlíneas delimitan las zonas con mayor contenido de humedad en cada sección y su proyección en el perfil del acantilado.

2.4.- Método de Georadar

El georadar es una técnica no destructiva orientada al estudio del subsuelo a nivel superficial basado en la capacidad de las ondas de radar de baja frecuencia (10 MHz - 2,5 GHz) para propagarse a través de medios poco conductivos con diferentes propiedades electromagnéticas y de permeabilidad. El método emplea una antena emisora para dirigir pulsos electromagnéticos de 1-20 ns de duración hacia el interior del terreno. Este frente de ondas es parcialmente reflejado al encontrar una discontinuidad o un cambio de material en el subsuelo, pudiendo ser detectado en la superficie mediante una antena receptora dispuesta a tal efecto. Al ir desplazando el sistema sobre la superficie del terreno es posible registrar la historia de reflexiones detectadas en el subsuelo bajo la línea de desplazamiento del equipo (Biskup et al. 2005; Villela, 2013). De esta forma se obtienen los llamados radargramas (Figura 20), similares a los registros clásicos de sismica de reflexión, pero con la gran diferencia de que, en el caso del radar, la propagación de las ondas está condicionada por las características electromagnéticas del medio de propagación.

Este método permite determinar e identificar en base a las reflexiones, los límites de las interfaces de los diferentes horizontes con cierto grado de compactación, zonas de rellenos y anomalías relacionados a algún tipo de material distinto al contenido del suelo.

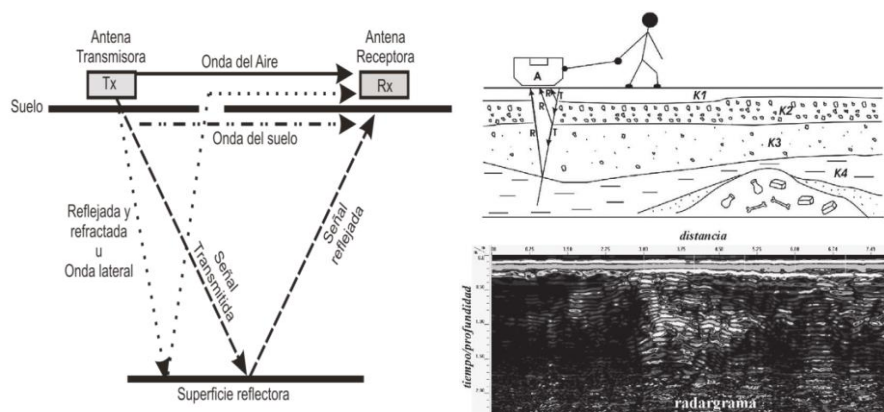


Figura 20. Esquema de la base del método de georadar y ejemplo del registro de un radargrama (Villela, 2013).

2.4.1.- Adquisición de datos

La exploración del subsuelo se realizó con un georadar GSSI y antenas de 350 MHz y 100 MHz. La capacidad de penetración de la onda electromagnética, que depende de las condiciones de conductividad y permisividad del subsuelo, fue de 6 y 20 metros respectivamente. Durante el trabajo de campo se utilizó una configuración de 512 muestras/escaneo, 50 scan/m. con ganancias manuales y automáticas para obtener mejores resultados (200scan/segundos) y una configuración por distancia de odómetro de 20 metros (Figura 21).

En el distrito de Barranco se realizaron 17 líneas de GPR (1 línea con la antena de 100 MHz y 16 líneas con 350 MHz) cuya distribución espacial puede verse en la Figura 22 y sus coordenadas en la Tabla 8.



Figura 21. Disposición del georadar utilizando la antena de 100 MHz y 350 MHz.

Durante los trabajos de campo, los datos registrados fueron visualizados en los radargramas, a fin de verificar la calidad de señal y el nivel de ruido. Para mejorar la relación señal/ruido fue necesario modular la ganancia en modo manual, así como aumentar la amplitud de los datos multiplicando cada muestra por un valor constante. Este procedimiento permitió amplificar las reflexiones más débiles para una mejor identificación.

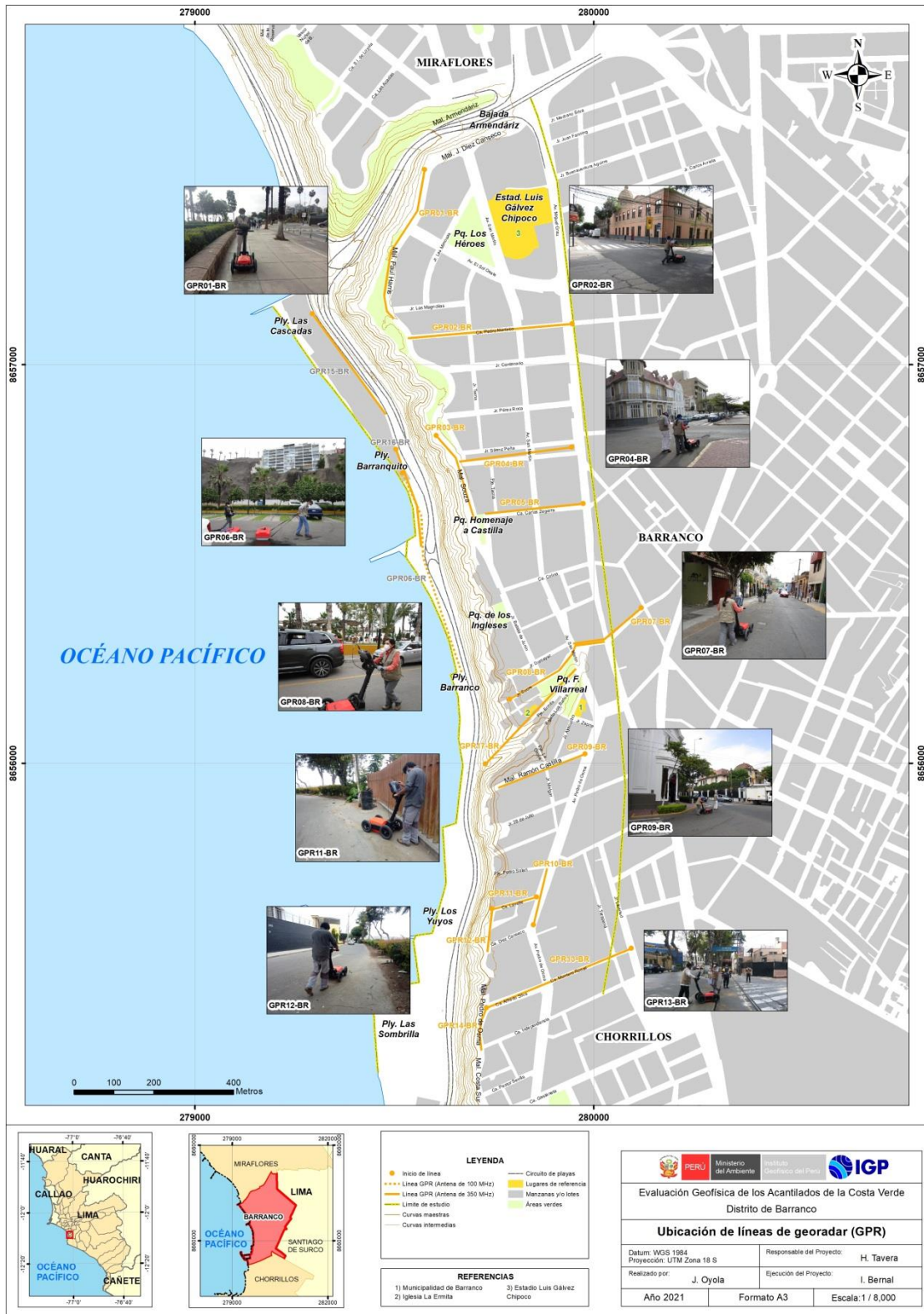


Figura 22. Distribución espacial de las líneas de GPR, codificadas como GPR01-BR,..., GPR17-BR.

Tabla 8. Coordenadas y características de las líneas de GPR.

Línea GPR	Coordenadas UTM-WGS84		Cota (m.s.n.m.)	Longitud total (m)	Antena (MHz)
	Este (m)	Norte (m)			
GPR01-BR	279576	8657489	67	404	350
	279498	8657116	67		
GPR02-BR	279946	8657102	76	426	350
	279534	8657066	69		
GPR03-BR	279605	8656822	61	232	350
	279700	8656612	62		
GPR04-BR	279945	8656793	71	281	350
	279662	8656757	62		
GPR05-BR	279973	8656651	73	257	350
	279727	8656626	65		
GPR06-BR	279520	8656727	6	537	100
	279670	8656223	7		
GPR07-BR	280119	8656389	71	203	350
	279948	8656300	67		
GPR08-BR	279789	8656161	60	288	350
	280027	8656305	68		
GPR09-BR	279978	8656023	61	237	350
	279760	8655938	58		
GPR10-BR	279849	8655594	56	163	350
	279883	8655736	58		
GPR11-BR	279856	8655664	55	109	350
	279739	8655631	51		
GPR12-BR	279745	8655635	51	113	350
	279733	8655526	51		
GPR13-BR	280094	8655535	57	405	350
	279733	8655387	52		
GPR14-BR	279731	8655386	52	112	350
	279718	8655279	52		
GPR15-BR	279294	8657127	17	310	350
	279478	8656875	15		
GPR16-BR	279503	8656786	15	260	350
	279567	8656543	15		
GPR17-BR	279728	8655997	31	320	350
	279955	8656236	64		

2.4.2.-Procesamiento y análisis

El procesamiento de los radargramas se realizó con el programa RADAN 7 y el uso de filtros para la remoción del ruido de fondo, ganancia automática, pasa bandas, substracción de la media y filtro exponencial de ganancia. Debido a que las características físicas de los suelos son diferentes en cada línea de exploración, los valores de cada filtro fueron diferentes para cada perfil. También, en caso de que la señal perdiera su intensidad o no mejorará la respuesta en profundidad, se eliminó algunos de los filtros.

La interferencia de altas frecuencias provenientes de torres de transmisión de telefonía celular o de radio, campos electromagnéticos provocados por cableados eléctricos de alta tensión, estructuras metálicas cercanas, etc., fueron removidos por los filtros. En este sentido, para la identificación en los radargramas de los diferentes tipos de suelos con presencia o no de humedad, se considera los valores de la constante dieléctrica, indicados en la Tabla 9.

Tabla 9. Valores de la constante dieléctrica para diferentes materiales (GSSI).

Material	Constante dieléctrica	Material	Constante dieléctrica
Aire	1	Granito húmedo	6.5
Suelos arcillosos / arcillosos secos	2.5	Travertinos	8
Arcilla seca	4	Caliza húmeda	8
Arenas secas	4	Basalto húmedo	8.5
Asfalto	5	Hormigón húmedo	12.5
Granito seco	5	Arenas húmedas	15
Hormigón seco	5.5	Suelos arenosos húmedos	23.5
Caliza seca	5.5	Arenas saturadas	25
Arena & grava seca	5.5	Arcilla húmeda	27
Mineral seco / suelos arenosos	6	Suelo orgánico (saturado)	64
Agua de mar	81	Arenisca húmeda	6

Para proceder con la interpretación de los radargramas se define la existencia, en la zona de estudio, de tres tipos de anomalías: **a)** Anomalías de tipo hiperbólico, que se evidencian por reflectores hiperbólicos con base

angosta y ancha, la primera es asociada a materiales metálicos enterrados (tuberías, cables) y la segunda a grandes bloques de roca, cavidades y túneles; **b)** Anomalías de tipo lineal, de grande y pequeña extensión, la primera se asocia a interfaces entre dos medios con diferentes propiedades electromagnéticas (nivel freático, fracturas y fallas) y la segunda, a hoyos, cavidades y zonas de asentamiento; **c)** Anomalías puntuales, cuyos reflectores se proyectan de manera vertical y se asocian a la presencia de buzones, tapas de medidores y otros similares vistas en superficie (Figura 23).

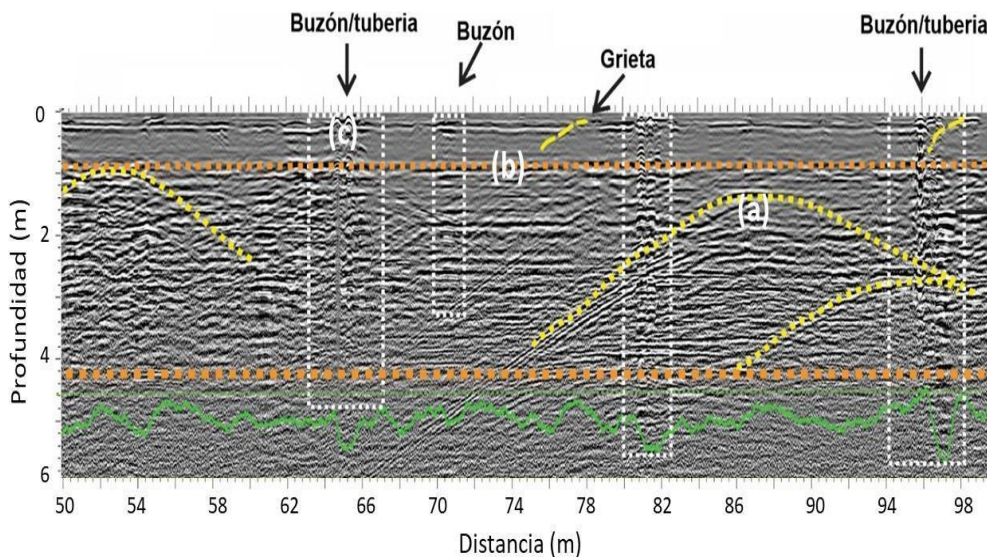


Figura 23. Radargrama, con los diferentes tipos de reflectores asociados a anomalías de tipo hiperbólico (a), lineal (b) y puntuales (c).

2.4.3.- Resultados e interpretación

a) Resultados

En el área de estudio se realizaron 17 líneas de GPR, con resolución hasta los 6 metros (350 MHz) y 20 metros (100 MHz) de profundidad. Los resultados obtenidos para la línea GPR03-BR se muestran en la Figura 24 y en el Anexo V, para las líneas restantes. El análisis realizado para cada línea GPR permite tener los siguientes resultados:

Línea GPR01-BR: Realizada en el Malecón Paul Harris, con longitud de 404 metros, orientada en dirección NE a SO, paralela al acantilado. En esta línea se identifica la presencia de una capa de 2 metros de espesor conformado por material heterogéneo con la presencia de anomalías en forma de pliegues a lo largo del perfil debido a la existencia de grietas hasta una profundidad de 1.5 metros sobre la 3ra cuadra del Malecón, próximo a la Av. el Sol Oeste.

Línea GPR02-BR: Realizada en el Jr. Pedro Martinto con una longitud de 426 metros y orientada en dirección E a O, perpendicular al acantilado. En esta línea se identifica la presencia de una capa de 3 metros de espesor conformada por material heterogéneo con algunas variaciones en sus propiedades físicas a la profundidad de 1 metro y la presencia de posibles fisuras o grietas distribuidos a lo largo de todo el perfil hasta profundidades de ~1.5 metros. Asimismo, se observan anomalías puntuales a lo largo de la segunda cuadra del Jr. Pedro Martinto asociadas a la presencia de buzones y asfaltos deteriorados.

Línea GPR03-BR: Realizada en el Malecón Souza con una longitud de 232 metros y orientada en dirección NO a SE, paralelo al acantilado. En esta línea se identifica la presencia de una capa de 1 metro de espesor conformado por material heterogéneo; además anomalías en forma de pliegues de gran amplitud a lo largo del perfil debido a la existencia de grietas sobre la primera 1ra cuadra del Malecón Souza hasta profundidades de 1 metro. Asimismo, se identifica la existencia de una anomalía desde 90 hasta 140 metros de distancia del punto inicial de la sección, asociada a la presencia de un espacio vacío que corresponde a la presencia de un estacionamiento subterráneo.

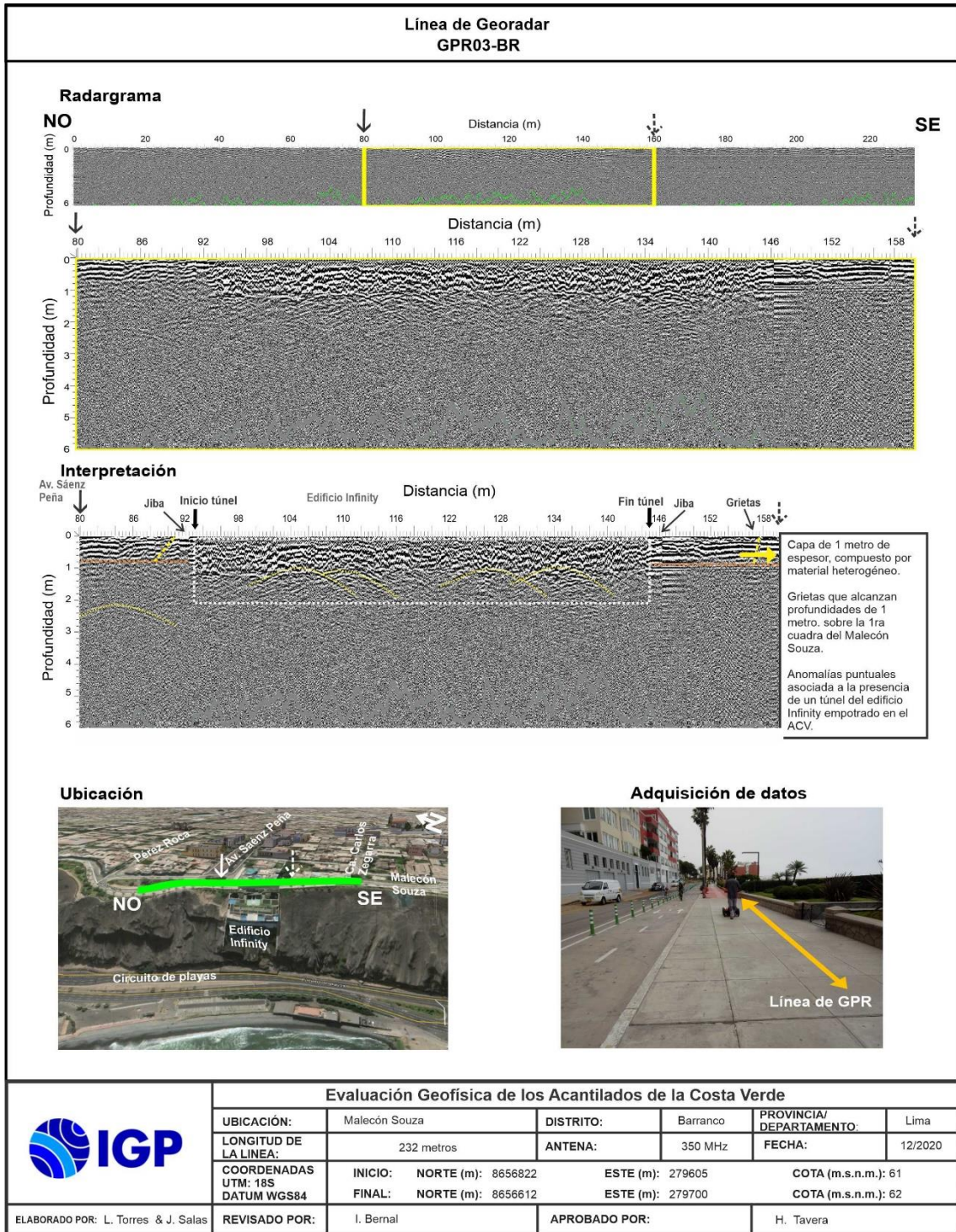


Figura 24. Resultados obtenidos con la técnica del georadar para la línea GPR3-BR.

Línea GPR4-BR: Realizada en la Av. Sáenz Peña con una longitud de 281 metros y orientada en dirección E a O, perpendicular al acantilado. En esta línea se identifica la presencia de una capa de 3 metros de espesor conformado por material heterogéneo y la existencia de anomalías en forma de pliegues a lo largo del perfil debido a la existencia de grietas y desniveles sobre la 2da cuadra de la Av. Sáenz Peña hasta profundidades de 1 metro. Asimismo, se identifica la existencia de anomalías puntuales a lo largo de la línea debido a la presencia de tuberías, buzones, entre otros.

Línea GPR5-BR: Realizada en la calle Carlos Zegarra, con una longitud de 256 metros y orientada en dirección Este a Oeste, perpendicular al acantilado. En esta línea se observa la presencia de una capa de 3 metros de espesor conformado por material heterogéneo con un cambio en sus propiedades físicas a la profundidad de 1.0 metro; además de la presencia de anomalías en forma de pliegues a lo largo de todo el perfil debido a la existencia de grietas y desniveles sobre la 2da cuadra de la calle Carlos Zegarra. Asimismo, se identifican anomalías puntuales asociadas a la presencia de tuberías, buzones, entre otros.

Línea GPR6-BR: Ubicada en el Circuito de Playas (entra las playas Barranquito y Barranco) con una longitud de 537 metros y orientada en dirección Norte a Sur, paralela al acantilado. Para la exploración en esta línea se utilizó una antena de 100 MHz y se llegó a identificar a la altura de la Av. Sáenz Peña, la presencia de una capa a 3 metros de profundidad compuesta por material de relleno poco compacto.

Línea GPR7-BR: Realizada en el Jr. Domeyer con una longitud de 203 metros y orientada en dirección NE a SO, perpendicular al acantilado. En esta línea se identifica la presencia de una capa de 1 metro de espesor conformado por material heterogéneo. Los reflectores semi

planos dispersos son característicos de la presencia fisuras o grietas que llegan hasta 1 metro de profundidad en la intersección del Jr. Domeyer y la Av. Almirante Miguel Grau.

Línea GPR8-BR: Realizada en el Jr. Sucre, con una longitud de 287 metros y orientada en dirección SO a NE, perpendicular al acantilado. En la línea se identifica, hasta una profundidad de 1.5 metros, la presencia de una capa conformada por materiales heterogéneos con anomalías en forma de pliegues a lo largo del perfil debido a la existencia de fisuras o grietas sobre la 1ra cuadra de este jirón y con profundidad de 0.5 metros. Asimismo, se observa un cambio lateral de la respuesta del suelo, desde el inicio de la línea hasta los 30 metros de distancia, debido posiblemente a la presencia de asentamientos o espacios vacíos existentes en este sector.

Línea GPR9-BR: Realizada en la calle Ramón Castilla con una longitud de 237 metros y orientada NE a SO, perpendicular al acantilado. En esta línea se identifica la presencia de una capa de 3 metros de espesor conformada por material heterogéneo suelto y anomalías en forma de pliegues a lo largo del perfil debido a la presencia de grietas sobre la 1ra cuadra de la calle Ramón Castilla hasta profundidades de 1 metro. Asimismo, existen anomalías puntuales a lo largo de la sección asociada a la presencia de buzones y tuberías.

Línea GPR10-BR: Realizada en la Av. Pedro de Osma con una longitud de 163 metros y orientada en dirección SO a NE, paralela al acantilado. En esta línea se observa hasta una profundidad de 1.5 metros, la presencia de una capa conformada por materiales heterogéneos con anomalías a lo largo del perfil debido a la existencia de grietas o fisuras sobre la tercera cuadra de la Av. Pedro de Osma hasta profundidades de hasta 1 metro. Asimismo, se identifica la

existencia de anomalías puntuales a lo largo de la línea debido a la presencia de tuberías, entre otros.

Línea GPR11-BR: Realizada en la calle Lavallo con una longitud de 121 metros y orientada en dirección NE a SO, perpendicular al acantilado. En esta línea se observa la presencia de una capa que se extiende hasta 2 metros de profundidad conformada por material heterogéneo. Las anomalías identificadas sobre la calle Lavallo se asocian a la presencia de grietas que alcanzan profundidades de hasta 1 metro. Asimismo, se identifica la existencia de anomalías puntuales a lo largo de la línea debido a la presencia de buzones, desniveles del suelo, entre otros.

Línea GPR12-BR: Realizada en el Malecón de Osma con una longitud de 113 metros y orientada en dirección N a S, paralela al acantilado. En la línea se identifica la presencia de una capa que se extiende hasta 1.5 metros de profundidad conformada por material heterogéneo. Asimismo, se tiene la existencia de anomalías en forma de pliegues sobre la primera cuadra del Malecón de Osma, debido a la presencia de grietas y desniveles hasta una profundidad 1.5 metros.

Línea GPR13-BR: Realizada en la calle Alfredo Silva con una longitud de 405 metros y orientada en dirección NE a SO, perpendicular al acantilado. En la línea se observa la presencia de una capa que se extiende hasta 1.5 metros de profundidad conformada por material heterogéneo. Asimismo, se tiene la existencia de anomalías asociadas a la presencia de grietas con profundidades de hasta 1 metro; además de anomalías puntuales debido a la existencia de parchado de pistas, buzones, tuberías, entre otros.

Línea GPR14-BR: Realizada en el Malecón Pedro de Osma, con una longitud de 112 metros y orientada en dirección N a S, paralela al

acantilado. En la línea se identifica la presencia de una capa que se extiende hasta 1.5 metros de profundidad conformada por material heterogéneo y con la presencia de anomalías en forma de pliegues sobre la 2da cuadra del Malecón Pedro de Osma, debido a la presencia de grietas y desniveles hasta una profundidad 1 metro. Asimismo, se identifica la existencia de anomalías puntuales a lo largo de la línea debido a la presencia de tuberías, entre otros.

Línea GPR15-BR: Realizada en el Circuito de Playas (playa Las Cascadas) con una longitud de 310 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. En la línea se identifica la presencia de una capa que se extiende hasta 1 metro de profundidad conformada por material heterogéneo en proceso de deformación. Asimismo, se tiene la existencia de anomalías debido a la presencia de un buzón y de un puente peatonal no visible en superficie.

Línea GPR16-BR: Realizada en el Circuito de Playas (playa Barranquito) con una longitud de 260 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. En la línea se observa la presencia de una capa conformada por material heterogéneo en proceso de deformación que se extiende hasta 2 metros de profundidad. Asimismo, se tiene la existencia de anomalías asociadas a la presencia de tuberías.

Línea GPR17-BR: Realizada en la Bajada Los Baños, con una longitud de 320 metros y orientada en dirección SO a NE, perpendicular al acantilado. En la línea se identifica la presencia de una capa conformada por material heterogéneo que se extiende hasta 3 metros de profundidad y la presencia de una anomalía a causa del puente peatonal (puente de Los Suspiros). Material en proceso de deformación.

b) Interpretación

Los radargramas obtenidos en el distrito de Barranco han permitido identificar en algunas zonas, la presencia en el subsuelo de hasta 2 capas con espesores de 1 a 3 metros con anomalías asociadas a la presencia de grietas y asentamientos del suelo con las siguientes características.

- En el extremo norte del área de estudio, entre el Malecón Paúl Harris y calle Carlos Zegarra, se identificó la presencia de reflectores lineales con amplitudes que se incrementan en zonas con existencia de desniveles, grietas o fisuras en el suelo, que desde la superficie; alcanzan 1.5 metros de profundidad, especialmente en el Jr. Pedro Martinto y Malecón Souza. Asimismo, se identifica la existencia de una anomalía de 50 metros de extensión a la altura del edificio Infinity (estructura empotrada en el acantilado), debido a la presencia de un espacio vacío que corresponde a un estacionamiento o túnel subterráneo.

- Hacia la zona central, entre las calles Carlos Zegarra hasta la calle Ramón Castilla, se observa la presencia de grietas que llegan hasta 1 metro de profundidad (GPR07-BR), al igual que pliegues entrelazados en los primeros 3 metros de profundidad. Asimismo, se observa en superficie, sobre la calle Ramón Castilla, la presencia de varias grietas con aperturas de 1 cm en pistas y veredas que podrían alcanzar profundidades de 0.5 a 2 metros. Asimismo, a la altura del Jr. Sucre se observa un cambio lateral bien marcado de la respuesta del suelo, desde el inicio de la línea (borde del acantilado) hasta los 30 metros de distancia, asociándose posiblemente a asentamientos de suelo o la existencia de espacios vacíos en este sector.

- En el extremo sur, entre las calles Ramón Castilla e Independencia (límite con el distrito de Chorrillos), se identifica la existencia de pequeñas discontinuidades que se relacionaría con la presencia de fisuras a lo largo del Malecón Pedro de Osma, calle 2 de Mayo y la calle. A. Silva con profundidades de hasta 1 a 1.5 metros. También se observan fisuras en las paredes de las viviendas ubicadas en las proximidades del acantilado (GPR14-BR).

Finalmente, a lo largo del acantilado se identifica la presencia de anomalías puntuales debido a la existencia de servicios de alcantarillado y buzones de agua, que en la mayoría de los casos se observan en superficie, así como cambios de material en pistas debido al parchado de las mismas (GPR13-BR).

2.5.- Método de razones espectrales (H/V)

El método de razones espectrales (H/V) fue propuesto por Nakamura (1989) para caracterizar la respuesta dinámica del suelo y en algunos casos, estimar su amplificación, ante la sollicitación sísmica. El método hace uso de registros de vibración ambiental que contienen información sobre las características físicas 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, de diferente espesor, geometría y composición litológica, causaran o no, la amplificación de las ondas sísmicas incidentes a la ocurrencia de un sismo de gran magnitud.

2.5.1.- Adquisición de datos

En campo se recolectaron registros de vibración ambiental para 107 puntos utilizando sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 25). Estos puntos de registro se distribuyen siguiendo 17 líneas perpendiculares al acantilado (perfiles) con longitudes del orden de 350 a 450 metros e

intervalos entre punto y punto de 40 a 50 metros en promedio (Figura 26). Cada registro de vibración ambiental, tiene una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de datos para su posterior análisis.



Figura 25. Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales: sensor Lennartz (2N) y registradores CityShark II.

En la Figura 27, se muestra ejemplos de señales de vibración ambiental registrados en un punto ubicado en la Bajada Armendáriz, identificándose el registro de ruido de poca amplitud y/o saltos transitorios (BR01-02, suelos compactos), otro en la Av. San Martín y la calle Carlos Zegarra con presencia de ruido de fondo constante (BR08-01, suelos heterogéneos); y finalmente, otro ubicado en el Malecón Souza con Nicolás de Piérola sobre el acantilado con presencia de altos niveles de ruido (BR05-06, suelos muy heterogéneos y/o blandos). La correlación de las características físicas y dinámicas de estos suelos, permite poder clasificarlos y a la vez zonificar el área de estudio en base a la respuesta del suelo ante la sollicitación sísmica.



Figura 26. Distribución espacial de los puntos de registros de vibración ambiental, en los ACV del distrito de Barranco. Los perfiles, consideran puntos distribuidos siguiendo líneas perpendiculares al acantilado. Los códigos en gris, corresponden a puntos realizados en la zona baja del acantilado.

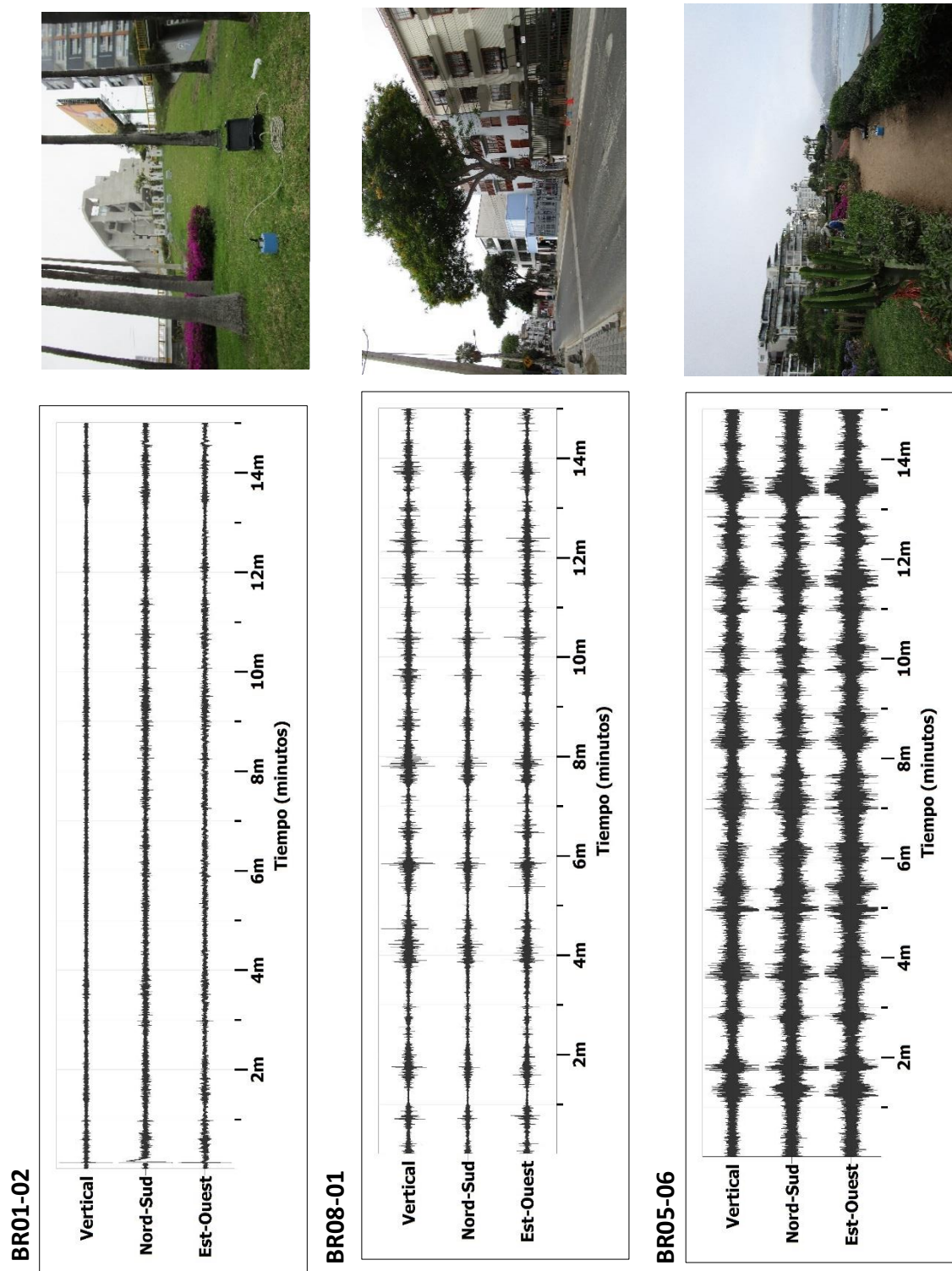


Figura 27. Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Registros obtenidos en la Bajada Armendáriz un día con tránsito restringido con ruido transitorio (BR01-02); Av. San Martín con la calle Carlos Zegarra con ruido constante (BR08-01) y en el Malecón Souza sobre el acantilado (BR05-06). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

2.5.2.-Procesamiento y análisis

Para aplicar la técnica de cocientes espectrales H/V se consideran los siguientes pasos:

- ✓ Los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas de 20 segundos de señal no perturbada por el ruido de fondo. Para tal efecto, se selecciona de forma aleatoria diversos tramos de señal sin la presencia de ruidos transitorios.
- ✓ Se calcula la Transformada Rápida de Fourier para un número mayor a 10 ventanas de observación para cada punto, a fin de obtener los cocientes espectrales para cada componente de registro entre su componente vertical (E-O/V; N-S/V).
- ✓ Los espectros horizontales de la señal se dividieron entre el espectro vertical para obtener la relación H/V y luego se promediaron estos para cada punto de observación considerando su respectiva desviación estándar.
- ✓ Se procedió a identificar la frecuencia predominante considerando un rango de interés que fluctúa entre 0.5 a 20 Hz y picos/rangos con amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de "1" como punto de referencia), ver Figura 28.

Para el análisis de los datos obtenidos en campo fue necesario considerar los siguientes puntos:

- ✓ Las frecuencias predominantes menores a 1 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar, y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos).
- ✓ Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos en el subsuelo.

- ✓ Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2006; Bernal, 2006).

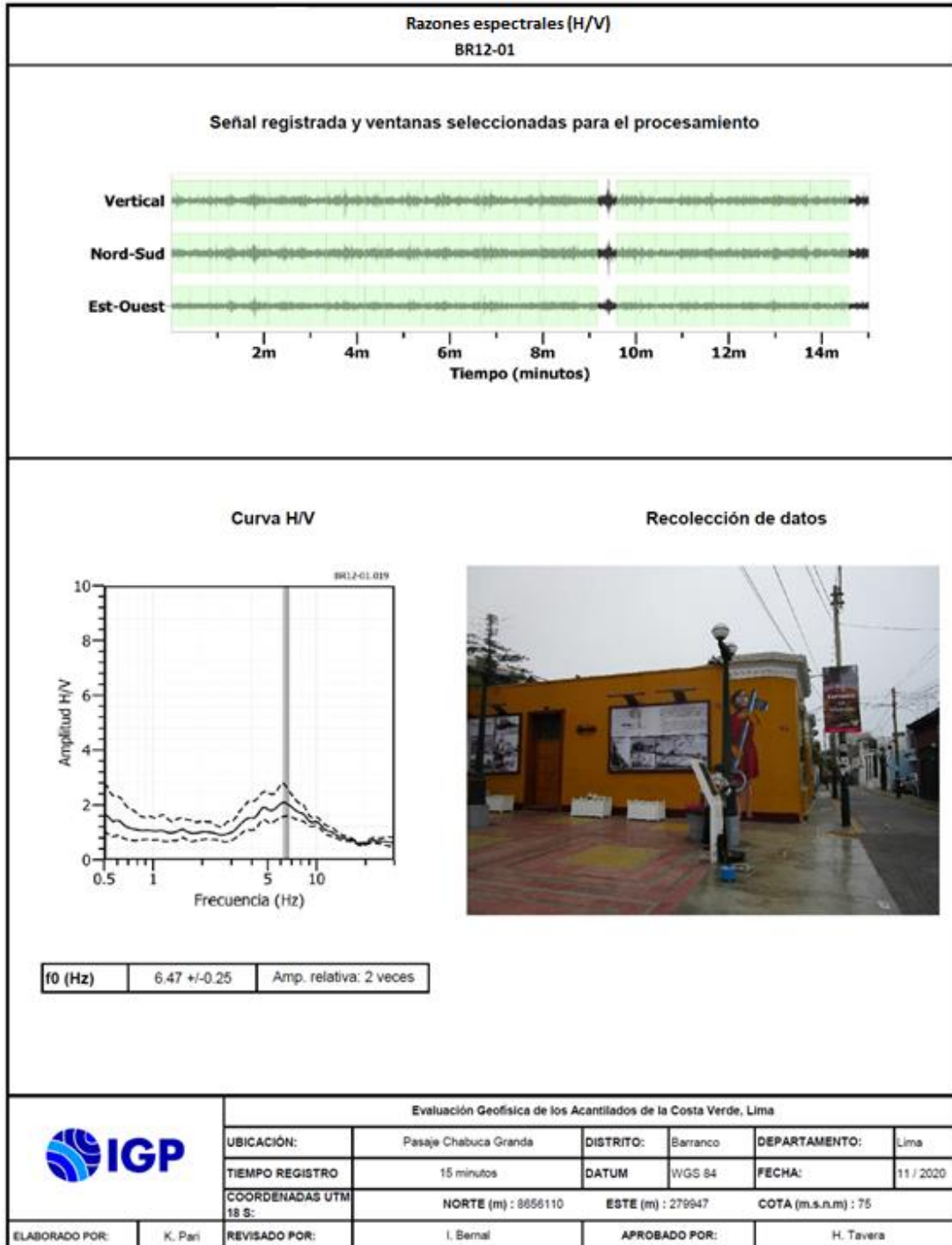


Figura 28. Resultados obtenidos con el método de razones espectrales (H/V) para el punto BR12-01. Arriba, la señal registrada y abajo la curva promedio de las razones espectrales H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

2.5.3.- Resultados e interpretación

En los ACV del distrito de Barranco, los suelos responden principalmente a frecuencias mayores a 2.0 Hz y en unos pocos puntos con frecuencias menores a este valor. La distribución espacial de las frecuencias muestra que en el área de estudio prevalece un pico de frecuencia bien definido y solo hacia la Bajada de Armendáriz y parque F. Villareal, de manera puntual aparece un segundo pico de frecuencia con mínimas amplificaciones. En algunos casos, los suelos no responden a ningún pico de frecuencia.

- **Frecuencias predominantes Fr:** En la Figura 29 se muestra el mapa del área de estudio con la distribución espacial de los valores de frecuencia predominantes en el rango entre 3.0 a 17 Hz (0.1 a 0.3 segundos), con amplificaciones de 2 a 3 veces. Solo en el Malecón Paúl Harris con la Av. El Sol Oeste y en la Av. San Martín, los suelos responden a dos picos de frecuencias, lo cual indica que dichos suelos son heterogéneos. Por otro lado, existen zonas en las que los suelos no responden a ninguna frecuencia predominante, lo cual indica que los suelos son rígidos.

En la zona del Circuito de Playas, se identifica la presencia de un pico de frecuencia bien definido entre 5 a 14 Hz con amplificaciones de hasta 8 veces, lo cual sugiere la existencia de suelos blandos.

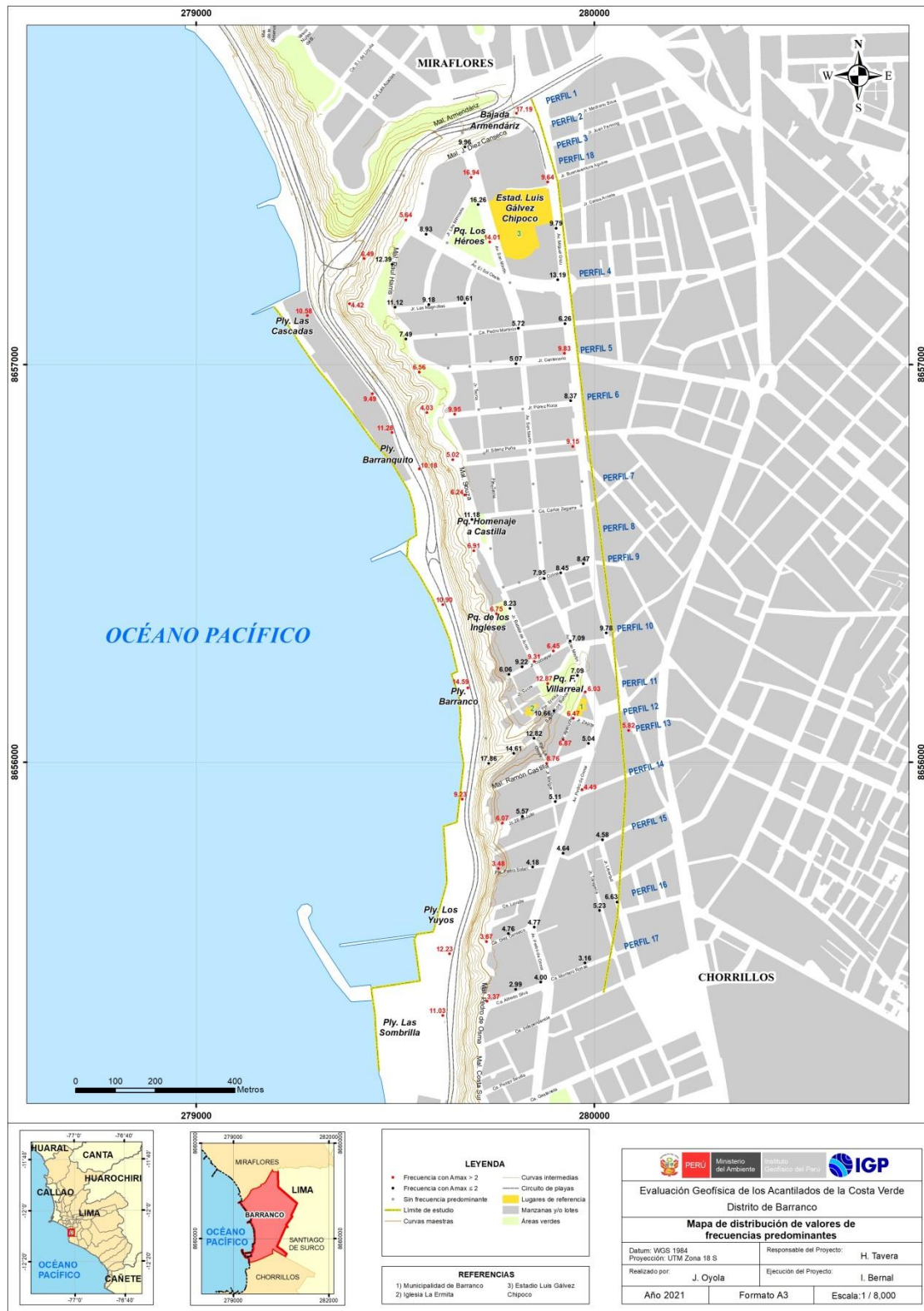


Figura 29. Distribución espacial de las frecuencias predominantes. Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2 veces.

A fin de evaluar el cambio en el comportamiento dinámico del suelo a lo largo de los ACV del distrito de Barranco, se analiza la información contenida en cada gráfico de razones espectrales (H/V) para los 17 perfiles perpendiculares al acantilado. En la Figura 30a, se muestra los gráficos de razones espectrales correspondientes a puntos del perfil P-05, siendo sus características las siguientes:

- Para el punto BR05-05 ubicado a 70 metros del acantilado (Jr. Centenario) en dirección del área urbana, no se identifica ningún pico de frecuencias, lo que evidencia la presencia de suelos rígidos.
- Para el punto BR05-06 ubicado en el Malecón Paul Harris sobre el acantilado, se observa la presencia de un pico de frecuencia bien definido a 6.5 Hz con amplificaciones mayores a 3 veces.
- Para el tercer punto BR05-07, ubicado en el Circuito de Playas, sobresale de igual manera un pico de frecuencia a 9.5 Hz con amplificaciones de hasta 5.8 veces.

Asimismo, en la Figura 30b, se muestra los gráficos de razones espectrales correspondientes a puntos del perfil P-17, siendo sus características las siguientes:

- Para el punto BR17-03 ubicado a 70 metros del acantilado (calle Alfredo Silva) en dirección del área urbana, se identifica la presencia de un pico de frecuencia a 2.9 Hz con mínimas amplificaciones.
- En el punto BR17-04 ubicado sobre el acantilado, se observa un pico a frecuencias de 3.3 Hz con amplificaciones de hasta 2.8 veces.
- En el tercer punto BR17-05, ubicado en el Circuito de Playas, sobresale un pico de frecuencia bien definido a 11 Hz con amplificaciones de 4.8 veces.

De acuerdo a este análisis, el número de picos de frecuencias, las formas de las curvas y sus factores de amplificación relativa, muestran un cambio en el comportamiento dinámico del suelo a diferentes distancias del

acantilado. A mayor distancia del acantilado en dirección del área urbana, el suelo responde a un solo pico de frecuencias con bajas amplificaciones, evidenciando que los suelos son más estables, situación diferente se observa en el borde del acantilado y vía costanera, donde los suelos se muestran más heterogéneos y no compactos.

Estos resultados evidencian que en el área de estudio los suelos responden a un solo rango de frecuencias, pero con bajas amplificaciones hacia el interior del distrito y mayores hacia el borde de los acantilados y en el Circuito de Playas (amplificación de 7 veces), lo cual evidencian la presencia de suelos menos compactos.

- **Periodos Dominantes:** Para presentar los resultados finales, los valores de frecuencias predominantes 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, a fin de facilitar la zonificación de los suelos. Según la Figura 31, los periodos dominantes fueron separados en dos grupos, en color negro para periodos menores a 0.3 segundos y en gris para periodos mayores.

Los resultados muestran que los suelos en los ACV del distrito de Barranco responden principalmente a periodos entre 0.1 y 0.3 segundos, evidenciando la presencia de suelos homogéneos; mientras que, en el Malecón Paul Harris y en la Av. San Martín cerca de la municipalidad, de manera puntual los suelos responden a periodos de 0.6 a 0.8 segundos con bajas amplificaciones y en muchos casos, no se identifica ningún periodo, evidenciando la presencia de suelos homogéneos.

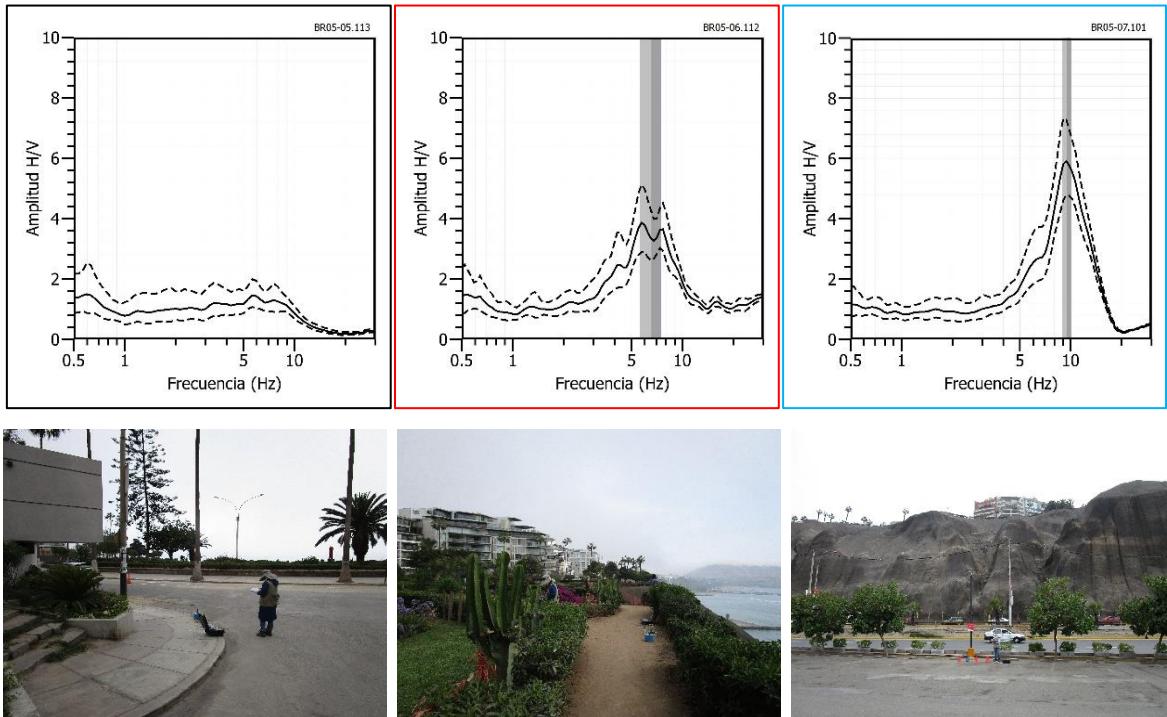


Figura 30. a) Razones espectrales obtenidas para puntos del perfil P-05 (BR05-05, BR05-06 y BR05-07), ubicados de Este a Oeste, a 70 metros del acantilado, a 2 metros del borde del acantilado y el tercero en el Circuito de Playas.

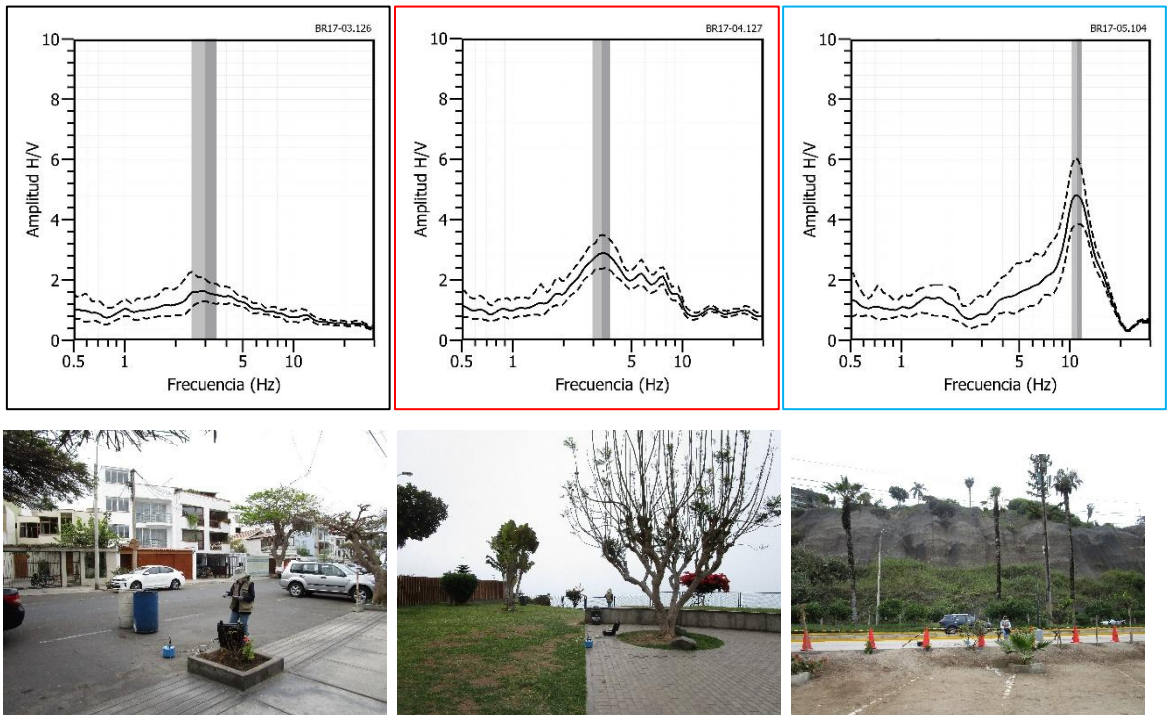


Figura 30. b) Razones espectrales obtenidas para puntos del perfil P-17 (BR17-03, BR17-04 y BR17-05), ubicados de Este a Oeste, a 70 metros del acantilado, a 10 metros del borde del acantilado y el tercero en el Circuito de Playas.

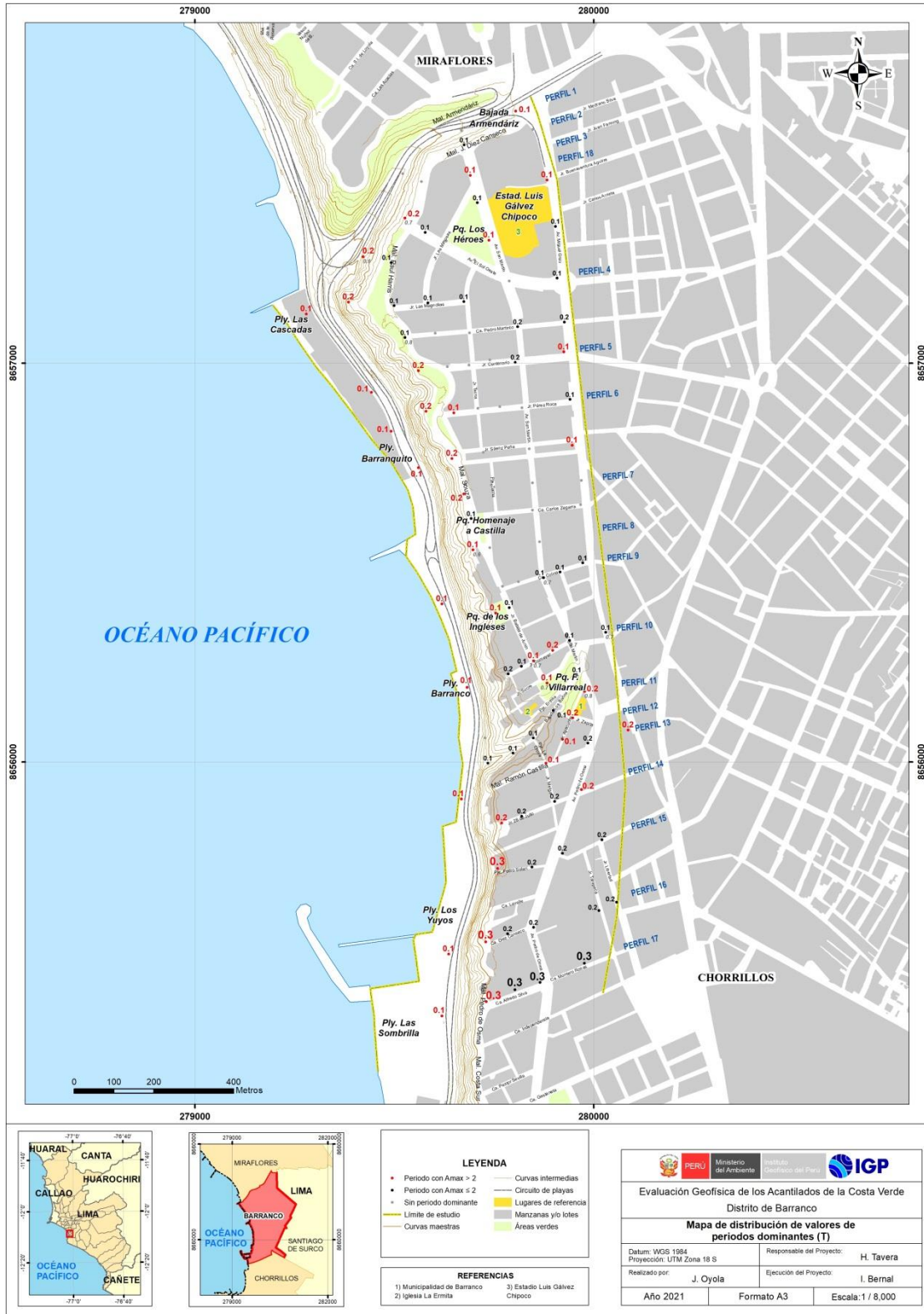


Figura 31. Distribución espacial de los valores de periodos dominantes del suelo para el distrito de Barranco. Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2 veces.

2.6.- Método gravimétrico

El método gravimétrico consiste en realizar mediciones del campo gravitacional terrestre para cuantificar e identificar las variaciones de densidad asociadas al aumento o disminución de la masa de las rocas y materiales en profundidad (Mironov, 1977). Se debe tener en cuenta que el valor de la gravedad en un determinado punto de observación, depende básicamente de 5 factores: latitud, elevación, topografía, mareas y las variaciones de densidad de los materiales del subsuelo. Estos factores se pueden corregir a fin de obtener las anomalías de gravedad y a partir de ella, los contrastes de densidad para identificar espesores de capas en el subsuelo, así como el tipo de material que las componen (Telford et al., 1990).

2.6.1.- Adquisición de datos

En el área de estudio, se recolectaron 26 datos gravimétricos distribuidos en 2 líneas con longitudes de 451 y 580 metros; todas orientadas de manera perpendiculares a los acantilados del distrito de Barranco (Figura 32). La distancia entre cada punto de medición fue de 50 metros en promedio. Los valores de gravedad se registraron con un gravímetro La Coste & Romberg con una precisión $\pm 0,01$ mGal, ver Figura 33. Asimismo, con la finalidad de contar con coordenadas precisas de los puntos de medición se realizaron mediciones GNSS en modo estático en cada punto gravimétrico. Para realizar las correcciones, se considera como punto de gravedad absoluta la estación de SAMI (978285.488 mGal), ubicada en el distrito de San Miguel (273478.1432 E, 8663109.829N y 56.75 metros de elevación).

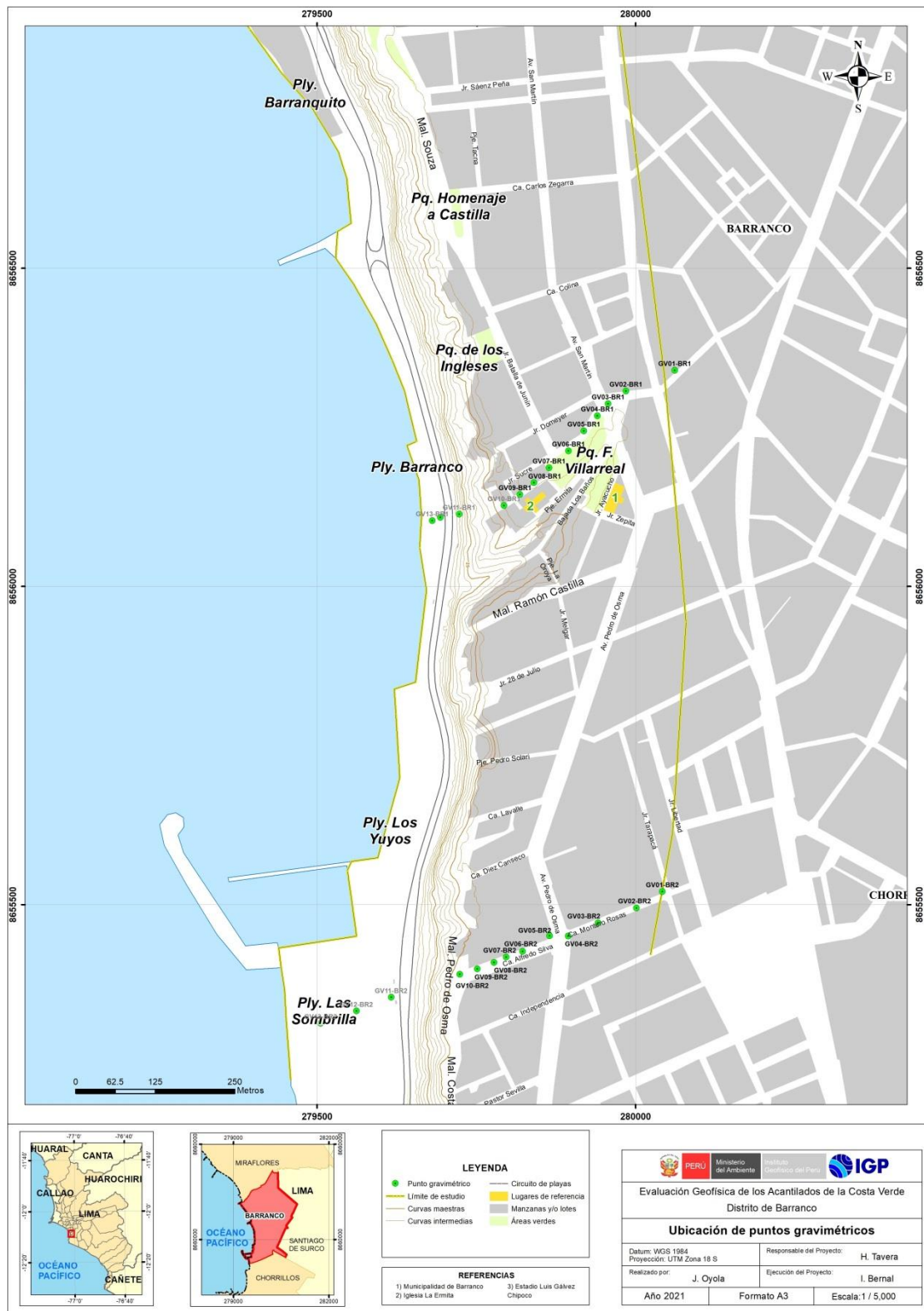


Figura 32. Distribución espacial de los puntos gravimétricos tomados en el acantilado del distrito de Barranco.



Figura 33. Estación gravimétrica base SAMI ubicada en el distrito de San Miguel.

2.6.2.- Procesamiento y análisis

Para conocer los valores de anomalías de Bouguer corregida, los datos recolectados en campo fueron corregidos por latitud, marea, topografía, aire libre y la corrección de Bouguer (Kane, 1962; Nagy, 1966). Para este objetivo se utilizó el software Oasis Montaj de Geosoft y un valor de densidad media para las rocas de 2.67 gr/cm^3 (Hinze et al., 2005). Asimismo, para separar los efectos gravimétricos asociados a estructuras regionales más profundas (anomalía regional), de las estructuras locales y superficiales (anomalía residual), se aplicó el filtro de continuación Analítica ascendente (Geosoft; 2006).

Seguidamente, se realizó el análisis espectral de las residuales siguiendo la metodología propuesta por Spector (1968) y Grant (1970), para determinar en detalle, la profundidad de las anomalías. El método consiste en transformar la grilla de la anomalía de residuales en el dominio del espacio, al dominio de frecuencias.

2.6.3.- Resultados e interpretación

a) Resultados

En los perfiles gravimétricos, los valores de anomalías residuales varían de -0.4 a 0.4 mGal. (Figura 34), centrándose los valores bajos en el borde del acantilado, en la Bajada Los Baños (Perfil BR01) y en el Malecón Pedro de Osma (Perfil BR02), y que estarían asociados a la presencia de capas de gran espesor compuestas por material heterogéneo de menor consistencia. Los valores altos (0.1 a 0.4) están presentes en la parte baja del acantilado.

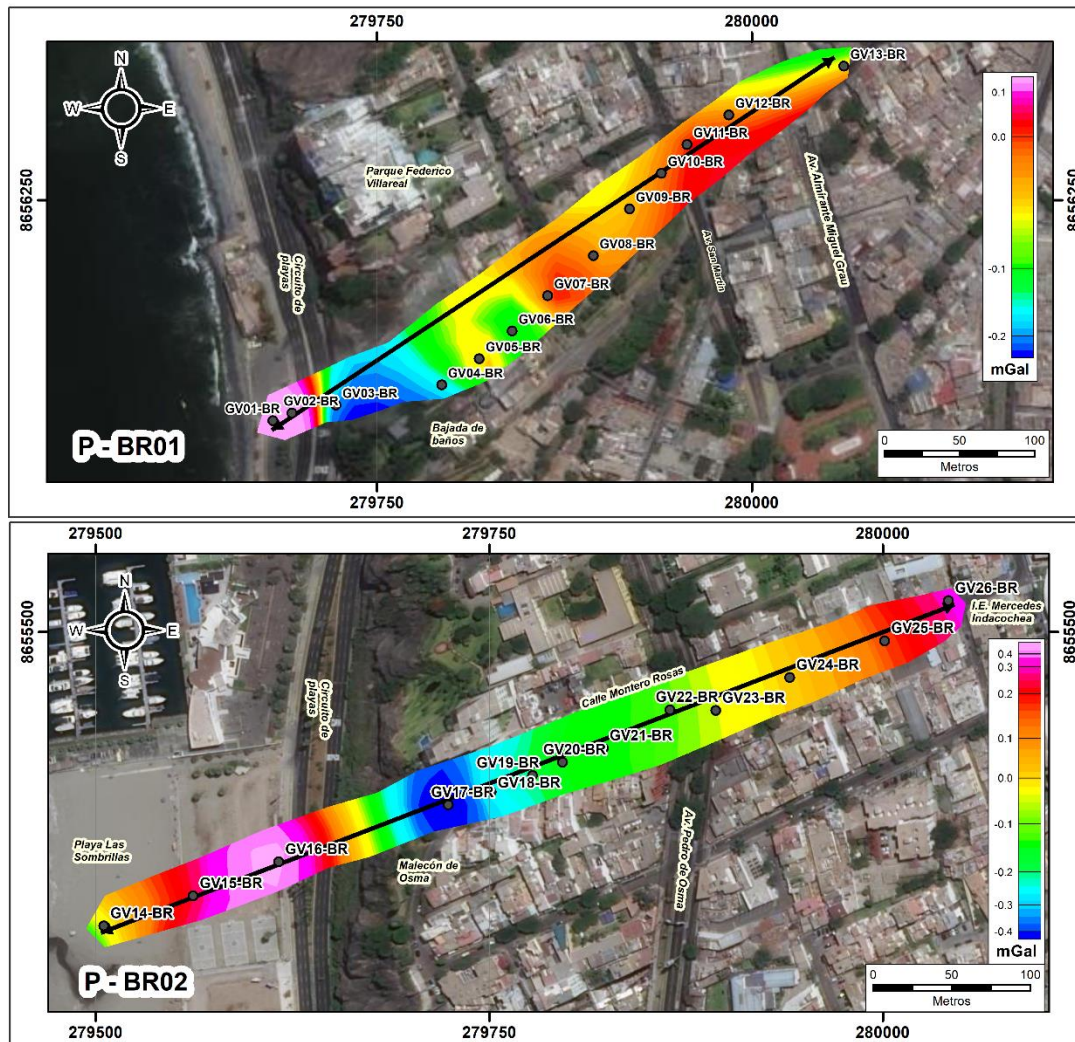


Figura 34. Mapa de anomalía residual de Bouguer, Los perfiles A-A' y B-B' corresponden a los perfiles BR01 y BR02, que cruzan la Bajada Los Baños y la calle Alfredo Silva, respectivamente.

Seguidamente, utilizando como datos de entrada los valores de anomalía residual de Bouguer y la topografía local del área de estudio, se elaboraron dos perfiles gravimétricos (BR01 y BR02) haciendo uso del módulo GM-SYS del software Oasis Montaj (Figura 34).

Perfil gravimétrico BR01: En la Figura 35 se observa que las variaciones de la anomalía residual reflejan cambios en la densidad de los materiales en profundidad (puntos negros). El perfil obtenido es consistente con la presencia de tres capas en el subsuelo con las siguientes características:

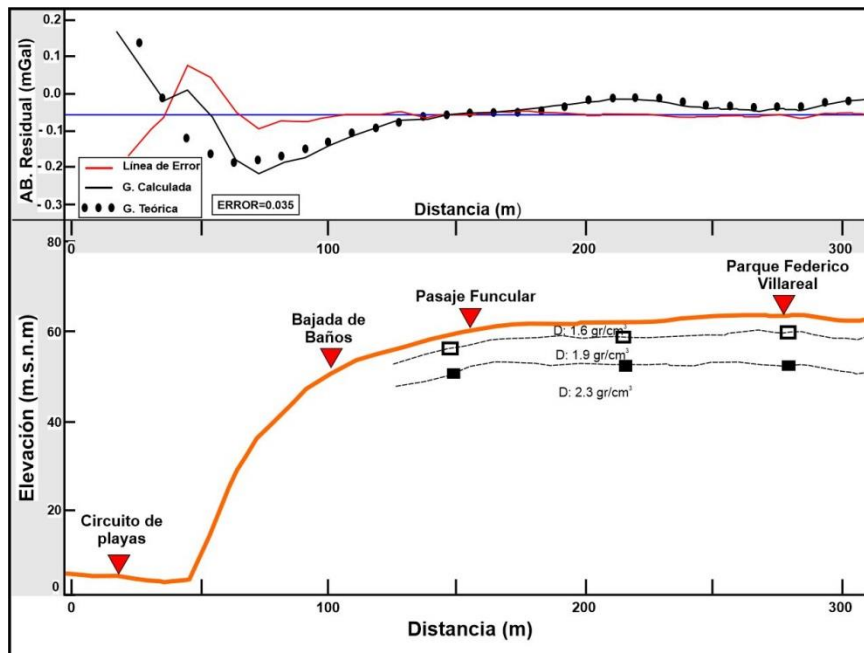


Figura 35. Perfil gravimétrico BR01, orientada de suroeste-noreste. En el extremo superior, los puntos representan la gravedad observada y la curva negra la gravedad calculada. En el extremo inferior se muestra el perfil gravimétrico propuesto.

- La primera capa de baja densidad (1.6 gr/cm^3), presenta espesores desde 4 a 6 metros.
- La segunda capa con una densidad de 1.9 gr/cm^3 , presenta espesores de 4 a 9 metros. Los mayores espesores se presentan al extremo SO y los menores espesores en el extremo NE.

- La tercera capa con una densidad 2.3 gr/cm^3 y espesores que varían desde 5 metros próximos al Circuito de Playas, hasta 36 metros en el extremo NE (Bajada Los Baños).

Por último, este perfil de suelo sugiere que a mayor profundidad y con espesor indeterminado, existe una capa con suelos más densos (2.5 gr/cm^3) compuestos por material gravoso.

Perfil gravimétrico BR02: En la Figura 36 se observa que las variaciones de la anomalía residual reflejan cambios en la densidad de los materiales en profundidad (puntos negros) observándose que el subsuelo está compuesto por tres capas:

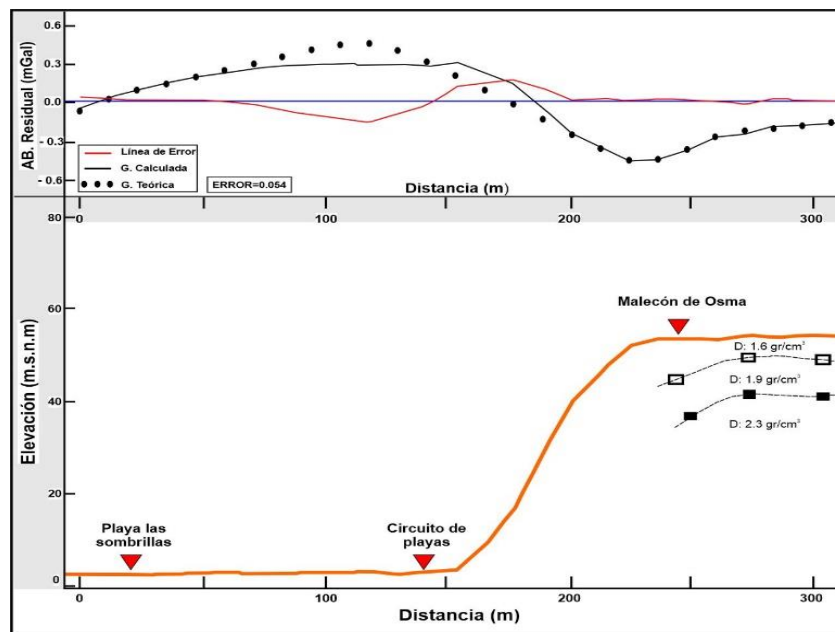


Figura 36. Sección gravimétrica BR02, orientada de suroeste-noreste. En el extremo superior, los puntos representan la gravedad observada y la curva negra la gravedad calculada. En el extremo inferior se muestra el perfil gravimétrico propuesto.

- La primera presenta una densidad de 1.6 gr/cm^3 con espesores que varían de 3 a 9 metros, siendo mayor en la playa Las Sombrillas y menor hacia la calle Montero Rosas.

- La segunda capa presenta densidades de 1.9 gr/cm^3 y espesores que varían de 5 a 10 metros; estando los mayores espesores en las proximidades de la calle Alfredo Silva.
- La tercera capa tiene una densidad de 2.3 gr/cm^3 y espesores de 10 a 36 metros, siendo mayor entre la calle Alfredo Silva y la Av. Pedro de Osma.

Finalmente, el perfil de suelos sugiere a mayor profundidad la presencia de una capa de espesor indeterminable con valores de densidad mayores a 2.5 gr/cm^3 .

b) Interpretación

Los resultados obtenidos del análisis realizado sobre los perfiles gravimétricos BR01 y BR02, fueron correlacionados con la información obtenida de los estudios de refracción sísmica, MASW y HV. En los ACV del distrito de Barranco, se ha identificado la existencia en el subsuelo de tres capas con espesores bien definidos y valores de densidad que se incrementan gradualmente de 1.6 a 2.3 gr/cm^3 :

- La primera capa presenta una densidad de 1.6 gr/cm^3 y espesores que varían de 3 a 9 metros. Esta capa estaría compuesta por material heterogéneo y/o rellenos poco consolidados.
- La segunda capa presenta una densidad de 1.9 gr/cm^3 y espesores que varían de 4 a 10 metros, y la tercera con espesores de 5 a 36 metros, estarían constituidos por gravas y conglomerados consolidados que incrementan su rigidez con la profundidad.

3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL SUBSUELO Y SU COMPORTAMIENTO DINÁMICO

La exploración de la estructura y caracterización física del subsuelo de los ACV del distrito de Barranco fue realizada usando datos e información generada con el uso y aplicación de métodos geofísicos y su correlación con la información geológica, siendo los resultados obtenidos los que se describen a continuación.

3.1. Estructura del subsuelo

El área urbana del distrito de Barranco, se asienta sobre una terraza conformada por depósitos aluviales, cuyo cambio topográfico más resaltante lo conforma el denominado como Acantilados de la Costa Verde (ACV). Para conocer las características físicas de los ACV se han recolectado datos geofísicos en la parte alta del acantilado (velocidades de ondas longitudinales - V_p , perfiles unidimensionales de ondas de corte - V_s , secciones geoeléctricas y curvas de razones espectrales) considerando tendidos lineales que han sido distribuidos estratégicamente para conocer los espesores de las capas del subsuelo, las velocidades de las ondas sísmicas, las resistividades y densidades de los diferentes materiales que conforman el subsuelo hasta una profundidad de aproximadamente 60 metros.

En base a los resultados obtenidos, los ACV del distrito de Barranco han sido divididos en 3 sectores para un mejor análisis de sus características físicas.

Extremo Norte

Sobre el Malecón Paul Harris, entre la Bajada Armendáriz y el Jr. Pedro Martinto (Figura 37), se ha identificado en el subsuelo la presencia de 3 capas:

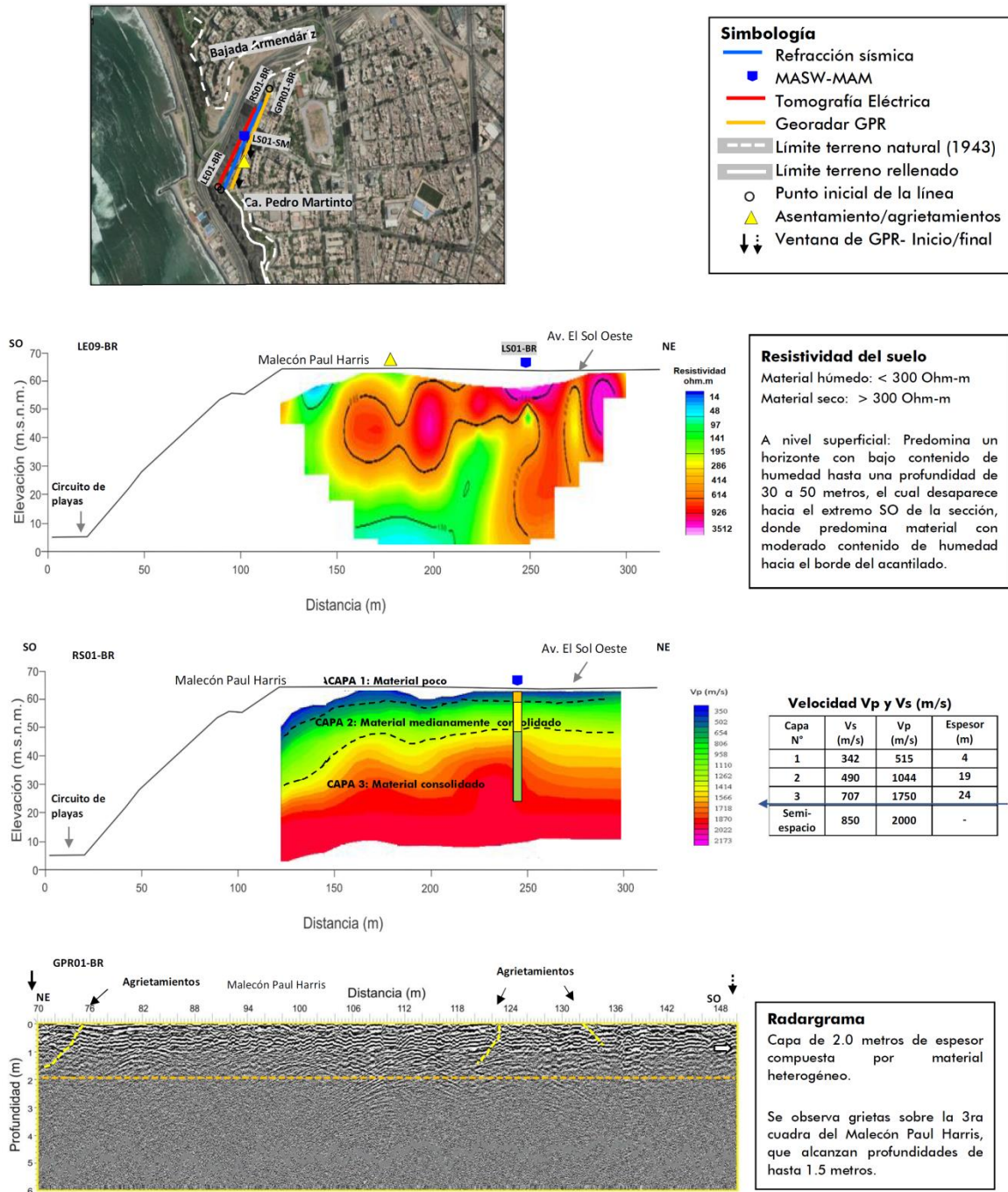


Figura 37. Correlación de los resultados obtenidos con los métodos de tomografía eléctrica, refracción sísmica, MASW-MAM y georadar para el extremo Norte del distrito de Barranco (Malecón Paul Harris).

- *La primera capa está constituida por material aluvial sueltos a medianamente compactos ($V_s = 342$ m/s; $V_p = 515$ m/s) con espesores de hasta 4 metros. Estos suelos presentan bajo contenido de humedad, la misma que se incrementa notablemente hacia el extremo suroeste.*
- *La segunda capa está constituida por material heterogéneo y aluvial medianamente compacto a compacto ($V_s = 490$ m/s; $V_p = 1044$ m/s) con espesores de hasta 19 metros. Estos suelos presentan bajo a moderado contenido de humedad.*
- *La tercera capa de 34 metros de espesor corresponde a un estrato de alta compactación ($V_s = 707$ m/s; $V_p = 1750$ m/s) debido a que está conformado por gravas. Estos suelos presentan moderado contenido de humedad.*

En este sector y a nivel superficial se identifica la presencia de fisuras y grietas que alcanzan los 2.0 metros de profundidad, principalmente en el Jr. Pedro Martinto y en el Malecón Souza. Asimismo, se ha identificado la presencia de zonas con vacíos en el subsuelo próximo al borde del acantilado. En profundidad, los suelos son heterogéneos, principalmente cerca del borde del acantilado; mientras que, a mayor distancia hacia el área urbana los suelos se muestran más compactos.

Zona Central

Entre el Jr. Sucre y la Bajada Los Baños (Figura 38), se ha identificado la presencia en el subsuelo de 3 capas con las siguientes características:

- *La primera capa está constituida por materiales aluviales sueltos a medianamente compactos ($V_s = 198$ m/s; $V_p = 435$ m/s) con espesores de hasta 4 metros. Estos suelos presentan, diferente*

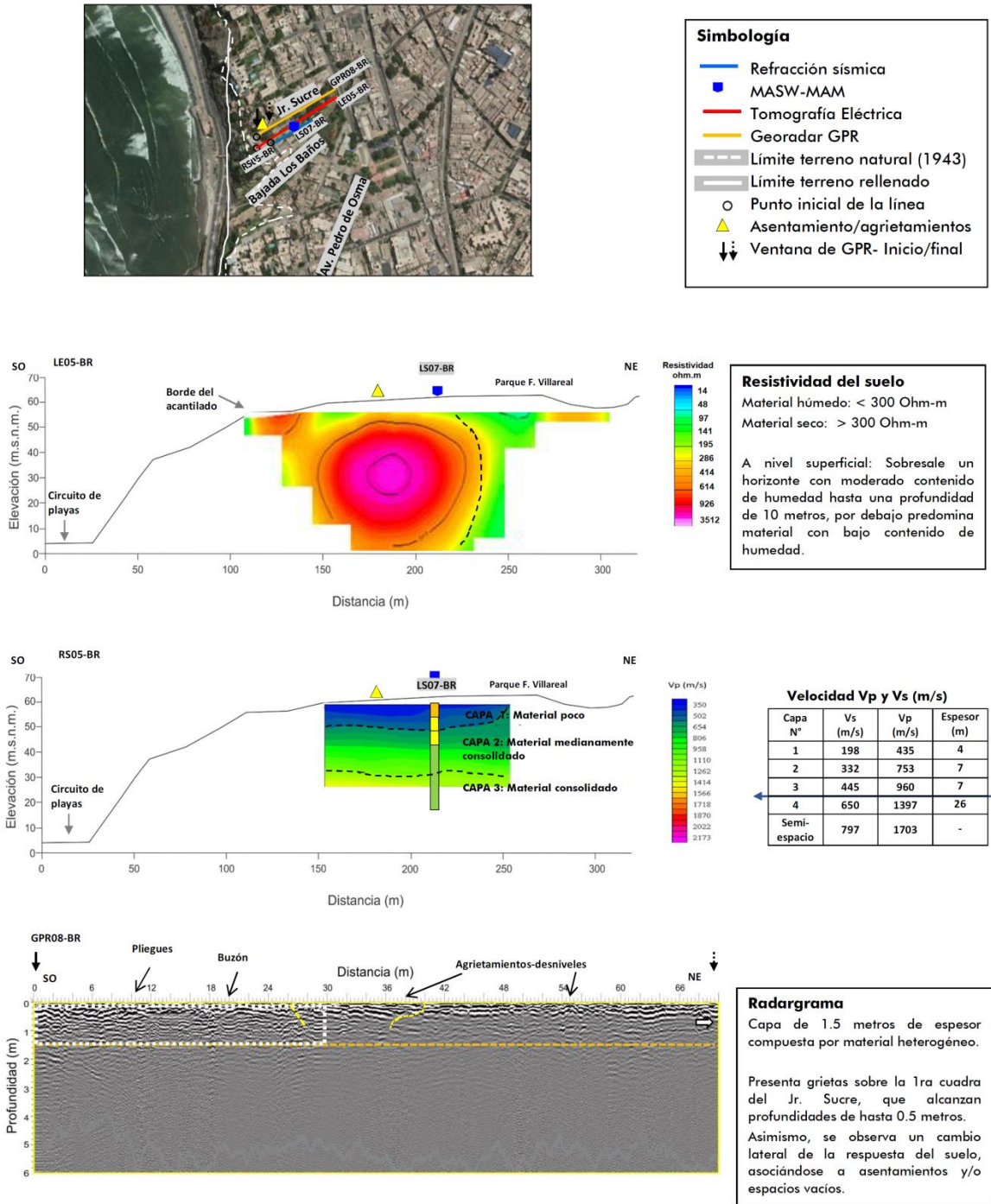


Figura 38. Correlación de los resultados obtenidos con los métodos de tomografía eléctrica, refracción sísmica, MASW-MAM y georadar para el sector central del distrito de Barranco (Jr. Sucre y Bajada Los Baños).

contenido de humedad, que disminuyen hacia el noreste (parque F. Villareal).

- *La segunda capa está constituida por material aluvial medianamente compacto con espesores de hasta 7 metros ($V_s = 332$ m/s; $V_p = 753$ m/s). Estos suelos presentan bajo contenido de humedad y a nivel superficial hasta una profundidad de 10 metros, sobresale un horizonte delgado con moderado contenido de humedad.*
- *La tercera capa de 7 metros de espesor ($V_s = 445$ m/s; $V_p = 960$ m/s), corresponde a un estrato medianamente compacto a muy compacto por estar conformado por gravas; además de presentar bajo contenido de humedad.*

En este sector, se ha identificado la presencia en superficie de agrietamientos que alcanzan profundidades de 0.5 metros a la altura del Jr. Sucre; además se observa asentamientos de suelos y/o espacios vacíos, próximos al borde del acantilado.

Extremo Sur

En el área de la calle Alfredo Silva y Malecón Pedro de Osma (Figura 39), se ha identificado la presencia en el subsuelo de 3 capas con las siguientes características:

- *La primera capa compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto ($V_s = 221$ m/s; $V_p = 436$ m/s) con espesores de hasta 7 metros. Estos suelos presentan bajo a moderado contenido de humedad.*
- *La segunda capa está constituida por material aluvial medianamente compacto ($V_s = 354$ m/s; $V_p = 688$ m/s) con espesores de hasta 11 metros. Estos suelos presentan moderado contenido de humedad.*

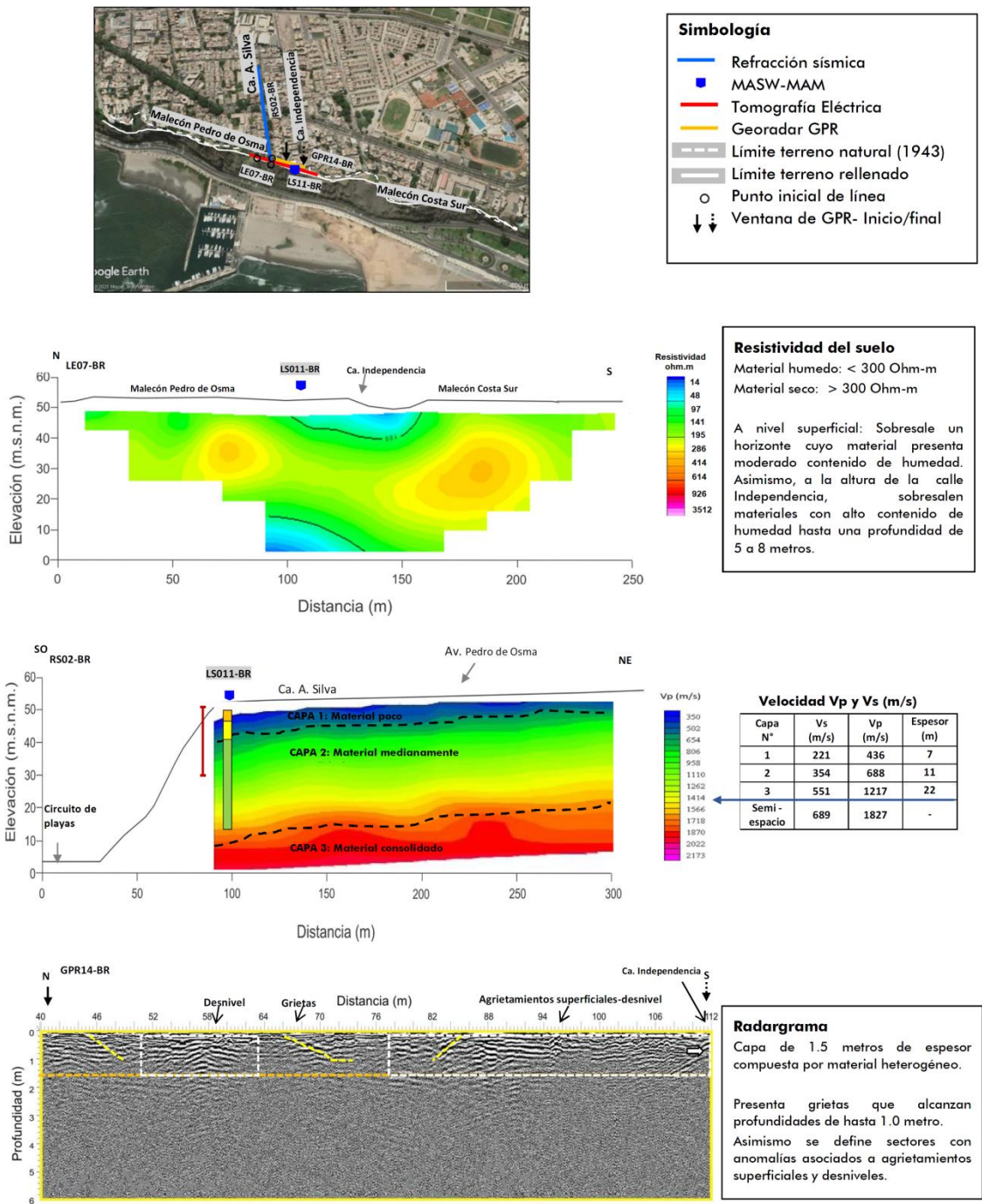


Figura 39. Correlación de los resultados obtenidos con los métodos de tomografía eléctrica, refracción sísmica, MASW-MAM y georadar para el extremo Sur del distrito de Barranco (Calle A. Silva y Malecón Pedro de Osma).

- *La tercera capa de 22 metros de espesor ($V_s = 551$ m/s; $V_p = 1217$ m/s), corresponde a un estrato compacto debido a que está conformado por gravas y con moderado contenido de humedad.*

En este sector, se ha identificado la presencia de una capa superficial de 1.5 metros de espesor compuesto por material heterogéneo y la presencia de grietas que alcanzan profundidades de hasta 1 metro entre las calles A. Silva e Independencia. Además se observa la presencia de fisuras de diferente longitud en las paredes de algunas viviendas indicando el desarrollo de asentamientos de suelos en su entorno.

En el distrito de Barranco se ha identificado en el subsuelo, la presencia de dos capas de suelos con poca a moderada consistencia, composición y comportamiento dinámico, siendo sus características las siguientes:

- A 10 metros del borde del acantilado, la primera capa de material heterogéneo presenta espesores promedios de 18 metros por el Malecón Paul Harris (RS01-BR) y de 23 metros entre el Malecón Pedro de Osma y la calle Alfredo Silva (RS02-BR).
- Asimismo, a 200 metros del borde del acantilado, la capa de material heterogéneo presenta un espesor de 8 metros a la altura de la Av. El Sol Oeste; mientras que, a la altura de la Av. Pedro de Osma, la misma capa de suelos presenta un espesor de 20 metros.

De acuerdo a lo indicado, el espesor de la capa o estrato de suelos disminuye, desde el acantilado hasta una distancia de 200 metros hacia el área urbana: en el extremo norte el espesor disminuye de 18 a 8 metros, mientras que, en el extremo sur, el espesor disminuye de 23 a 20 metros. Estos resultados permiten evidenciar que los suelos son más estables hacia el extremo Norte del área de estudio.

Analizando las imágenes frontales del acantilado y su correlación con los resultados obtenidos con los métodos sísmicos y de eléctrica, se distingue en el subsuelo las dos capas superficiales con las siguientes características (Figura 40):

- A la altura del Malecón Paul Harris, se identifica que el estrato de material heterogéneo presenta un espesor de aproximadamente 15 metros coherente con las dos primeras capas identificadas con los métodos sísmicos ($V_s < 500\text{m/s}$). A nivel superficial, se observa el predominio de materiales finos, que en las zonas de quebradas, presentan humedad hasta aproximadamente los 10 metros de profundidad. Bordeando estas zonas y hasta los 40 metros de profundidad, se tiene el predominio de gravas con moderado contenido de humedad.
- A la altura de la Bajada Los Baños, se identifica la presencia de una capa de grava y material fino. Según los datos obtenidos con los métodos sísmicos, este material es medianamente compacto en las dos primeras capas de 18 metros de espesor. Asimismo, a la altura del puente que conecta la Bajada Los Baños con el Circuito de Playas, se evidencia la presencia de quebradas.
- En el Malecón Pedro de Osma, se identifica la presencia que el estrato de 23 metros de espesor está conformado por material heterogéneo, coherente con las dos primeras capas identificadas con los métodos sísmicos ($V_s < 500\text{m/s}$). A nivel superficial, y a la altura de la calle Independencia, se tiene el predominio de materiales finos estratificados con humedad hasta los 8 metros de profundidad. En el resto de la sección, se evidencia la presencia de gravas con moderado contenido de humedad.

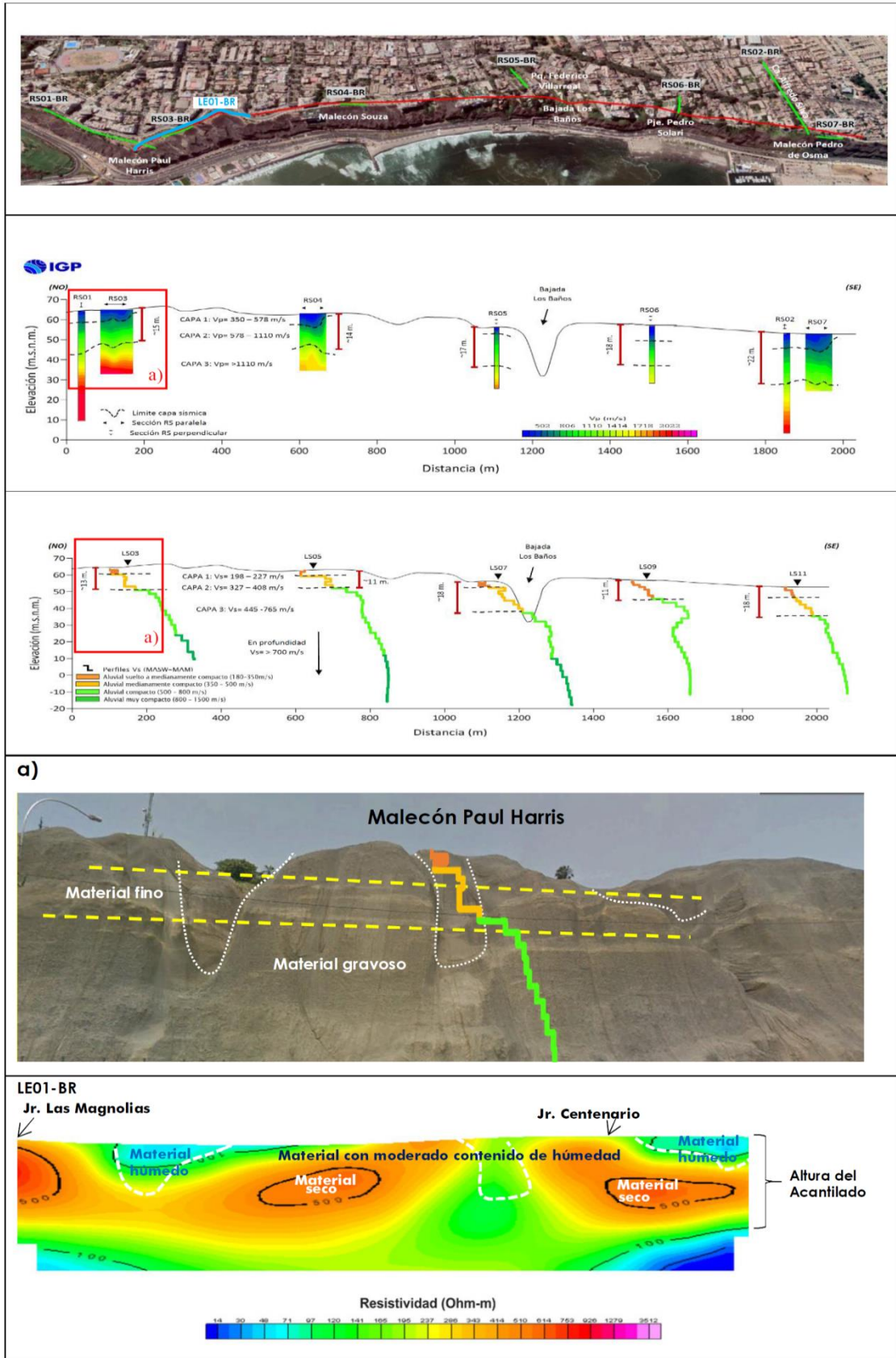


Figura 40. Resultados obtenidos con los métodos sísmicos, eléctrico y su correlación como las fotos del acantilado expuesto y los gráficos de razones espectrales obtenidas en el Malecón Paul Harris.

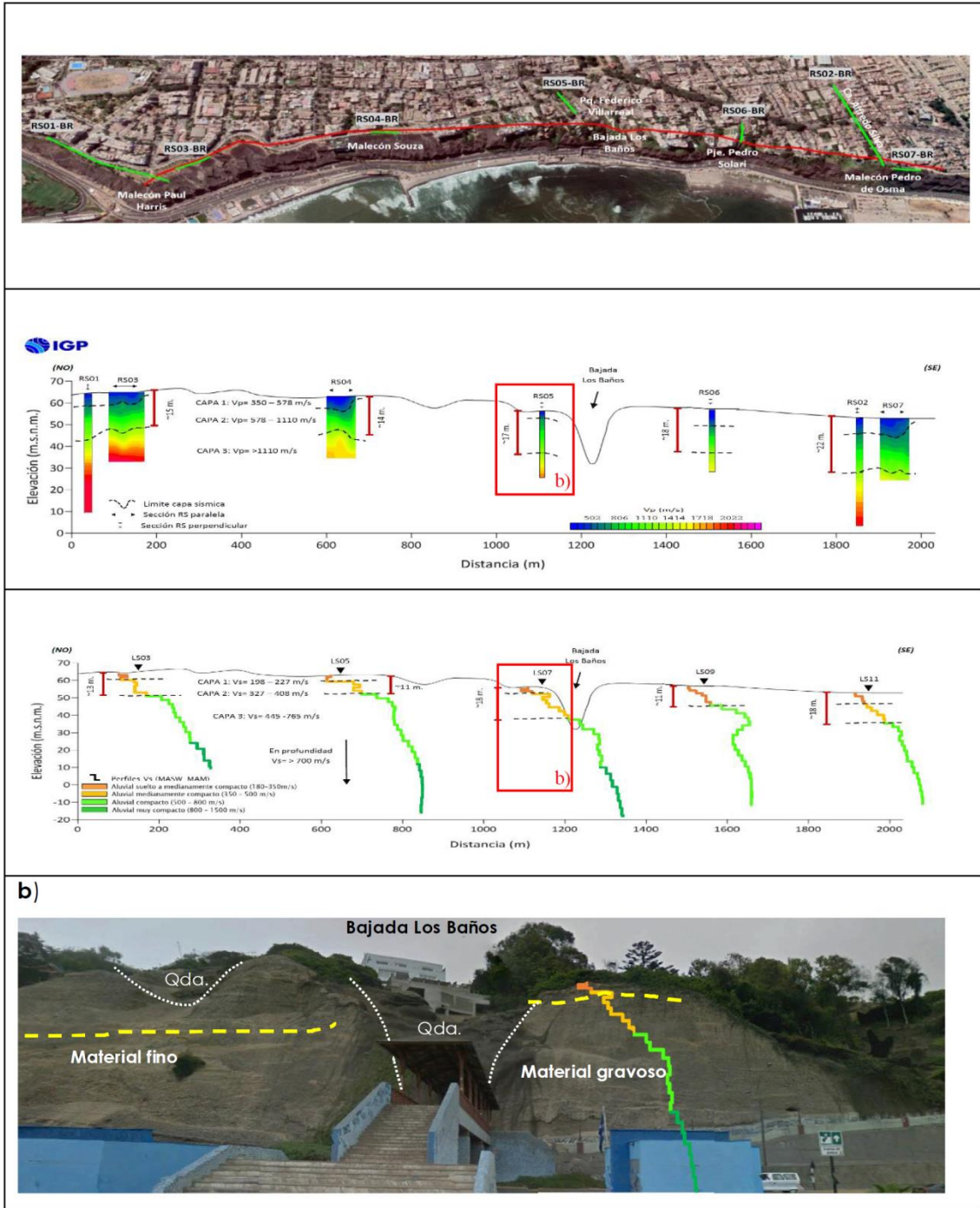


Figura 40. Continuación.../. Resultados obtenidos con los métodos sísmicos, eléctrico y su correlación como las fotos del acantilado expuesto y los gráficos de razones espectrales obtenidas en la Bajada Los Baños.

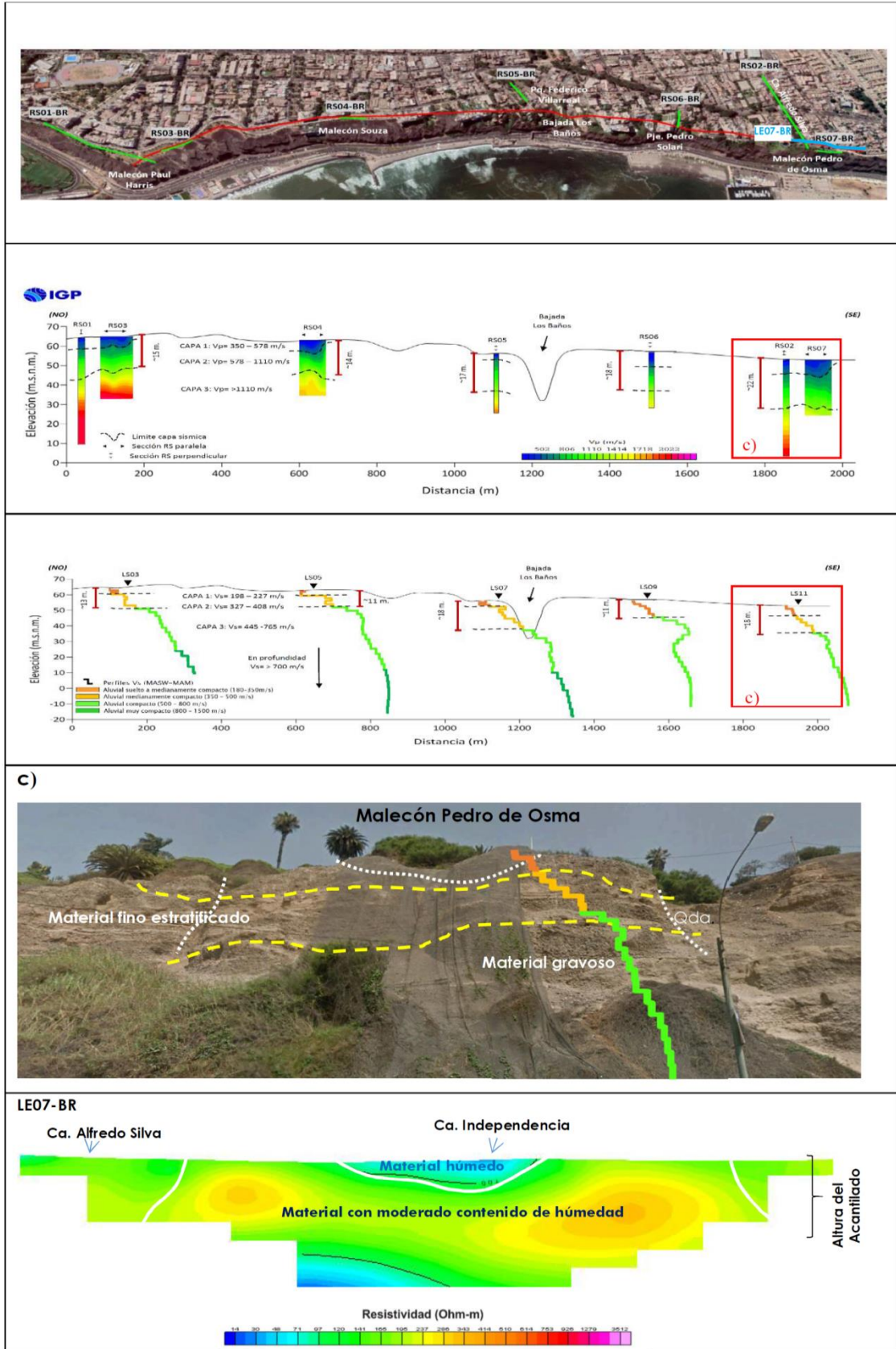


Figura 40. Continuación.../. Resultados obtenidos con los métodos sísmicos, eléctrico y su correlación como las fotos del acantilado expuesto y los gráficos de razones espectrales obtenidas en el Malecón Pedro de Osma.

En conclusión, en el distrito de Barranco y a nivel superficial, los suelos presentan baja compacidad debido a que están constituidos por materiales heterogéneos y de rellenos, mientras que, a mayor profundidad las capas del subsuelo presentan mayor rigidez y densidad por estar constituidos por gravas y conglomerados consolidados. Asimismo, a la altura del Malecón Paul Harris y a nivel superficial, se tiene el predominio quebradas rellenas con presencia de humedad y a la altura del parque Federico Villareal, sobresale la presencia de una capa de baja velocidad con moderado contenido de humedad. En el Malecón Souza se ha identificado la presencia de grietas, asentamientos del suelo y desplazamiento del muro del Malecón debido a la presencia de suelos poco compactos. Además, entre la Bajada Armendáriz y la Bajada Los Baños, se ha identificado la presencia de cárcavas y erosión del talud (Figura 41) que incrementan el riesgo en la zona.



Figura 41. Imágenes de las grietas y asentamientos observados en el Malecón Souza, en el distrito de Barranco.



Figura 41. ... Continuación.../. Imagen del desplazamiento del muro del Malecón Souza

3.2. Zonas de quebradas

Haciendo uso de fotografías aéreas del año 1946, en los ACV del distrito de Barranco, se ha identificado la presencia de áreas que inicialmente fueron cárcavas o quebradas y con el tiempo fueron rellenadas con la finalidad de aprovechar el espacio. En algunos casos, estas áreas fueron destinadas a parques, jardines y áreas deportivas, pero en su mayoría para la construcción de edificaciones. En el caso del distrito de Barranco, estas áreas fueron dedicadas principalmente a áreas verdes.

Para un mejor análisis e interpretación, a estas áreas de rellenos se les denominó Quebrada Q1 y Q2, y en ellas se realizaron líneas de RS adicionales a fin de lograr caracterizarlas en profundidad y extensión.

Quebrada Q1: Presente en un tramo del Malecón Paul Harris, entre los jirones Las Magnolias y Pérez Roca. Aquí se ha realizado 3 líneas de RS adicionales y distribuidas según la Figura 42, siendo el análisis de los resultados los siguientes:

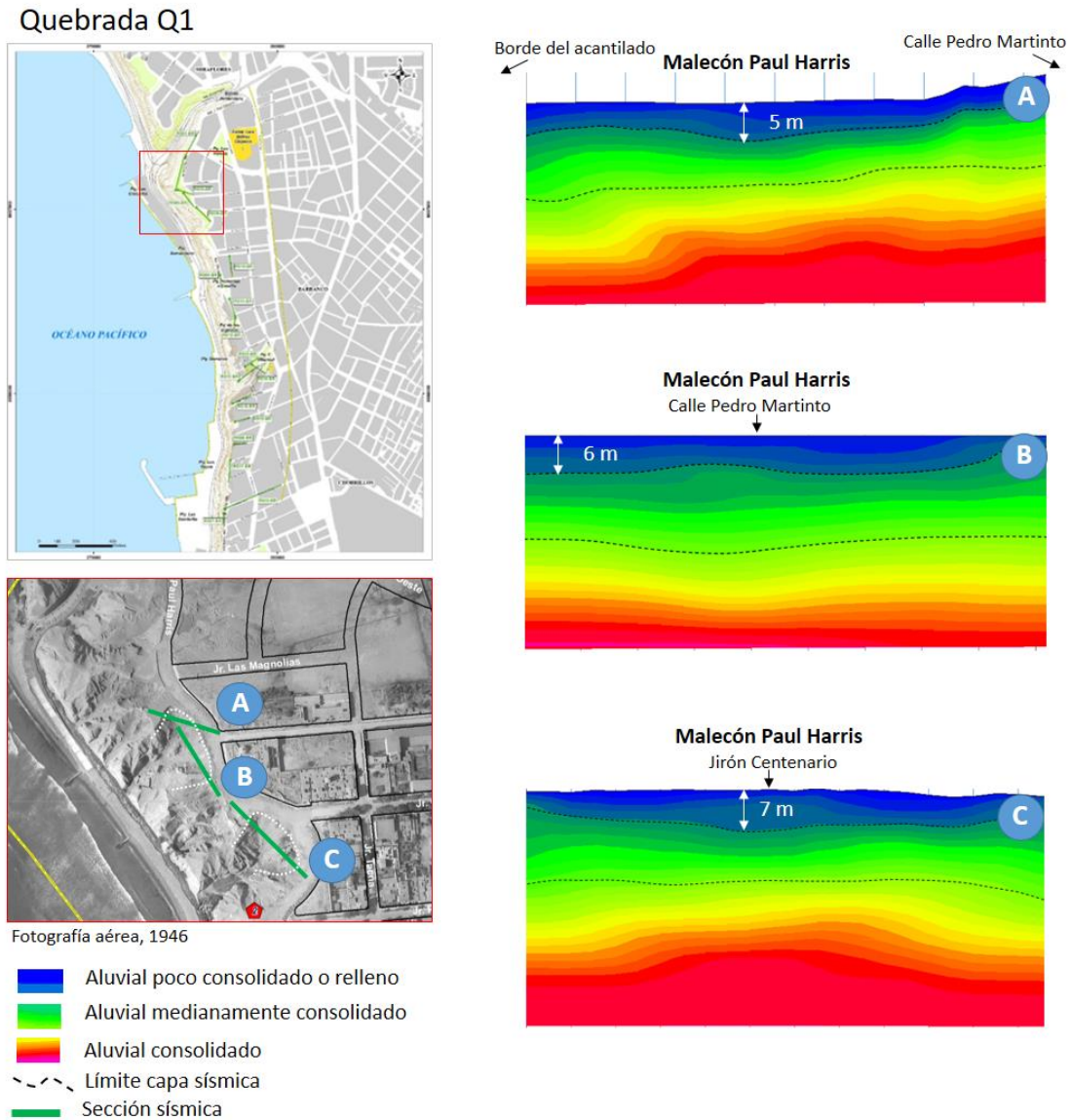


Figura 42. Análisis de los resultados obtenidos en un tramo del Malecón Paul Harris, entre los jirones Las Magnolias y Pérez Roca.

Hacia el Noroeste, a una distancia de 30 metros del borde del acantilado, a la altura del Ca. Pedro Martinto (secciones A y B), la capa de rellenos presenta espesores de 6 metros y conforme se avanza hacia la Ca. Pedro Martinto, su espesor disminuye hasta 2 metros. En

dirección Sur, a la altura de Jr. Centenario y Malecón Paul Harris (sección C), la capa de rellenos tiene un espesor de 7 metros y conforme se avanza en dirección Este, hacia el Jr. Centenario, esta capa disminuye su espesor hasta los 2 metros.

Quebrada Q2: Presente entre el parque Federico Villareal y la Ca. Ramón Castilla. Aquí se ha realizado 3 línea de RS, en el parque Federico Villareal (sección D), pasaje Ermita (sección E) y en la Ca. Ramón Castilla (sección F), ver Figura 43.

Quebrada Q2

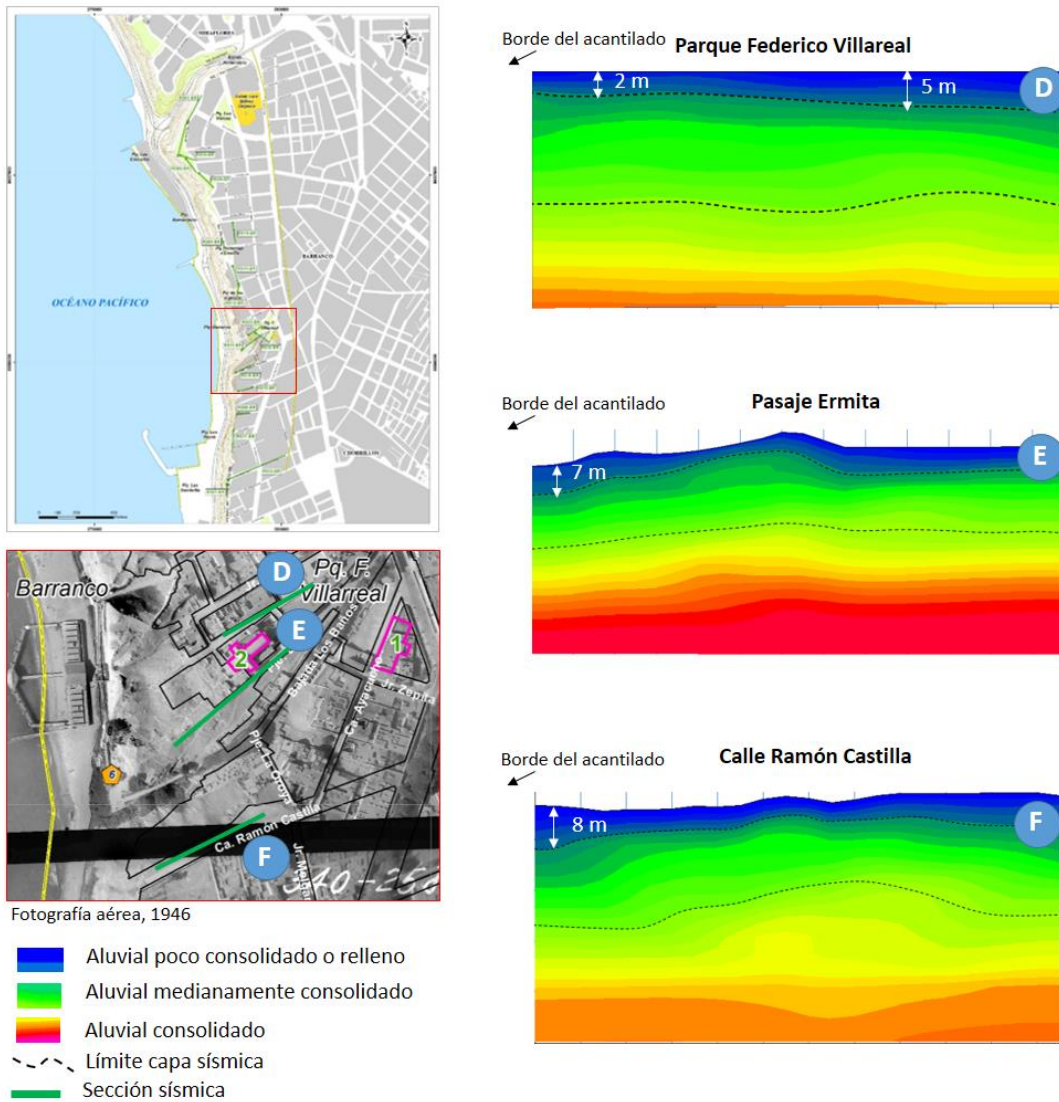


Figura 43. Análisis de los resultados obtenidos entre el parque Federico Villareal y la Ca. Ramón Castilla.

Esta quebrada corresponde a la Bajada de Baños y próximos al acantilado el espesor de la capa de suelo poco consolidado alcanza los 8 metros y conforme se avanza hacia el área urbana, su espesor disminuye.

Según estos resultados, la Quebrada Q1 contiene suelos de relleno con espesores de hasta 7 metros, identificados en las áreas verdes que forman parte del Malecón Paul Harris, a la altura de la Ca. Pedro Martinto y el Jr. Centenario. Estas áreas soportan regadíos constantes y por ello, podrían generar asentamientos ante la demanda sísmica.

3.3. Delimitación de zonas de mayor riesgo por sismos.

La aplicación de métodos geofísicos para evaluar el comportamiento dinámico de los suelos en los Acantilados de la Costa Verde, ha permitido identificar espacialmente, la ubicación aproximada de la línea paralela al acantilado, que delimita los suelos estables de los inestables y que ante la ocurrencia de sismos de elevada magnitud podrían experimentar asentamientos diferenciales y/o deslizamientos en dirección de la Vía Circuito de Playas. Para el distrito de Barranco el análisis de los resultados se realiza de manera sectorizada de acuerdo a la Figura 44:

SECTOR A - BR: *Considera el área del acantilado, entre la Bajada Armendáriz (extremo norte) y la calle Colina. En este sector el límite que separa, en superficie, los suelos con diferente comportamiento dinámico se encuentran entre los 50 y 80 metros desde el borde del acantilado hacia el área urbana entre la Av. San Martín (extremo norte) y el Jr. Pérez Roca, para luego disminuir progresivamente hasta los 20 metros hacia su extremo sur, a la altura del parque Homenaje a Castilla.*

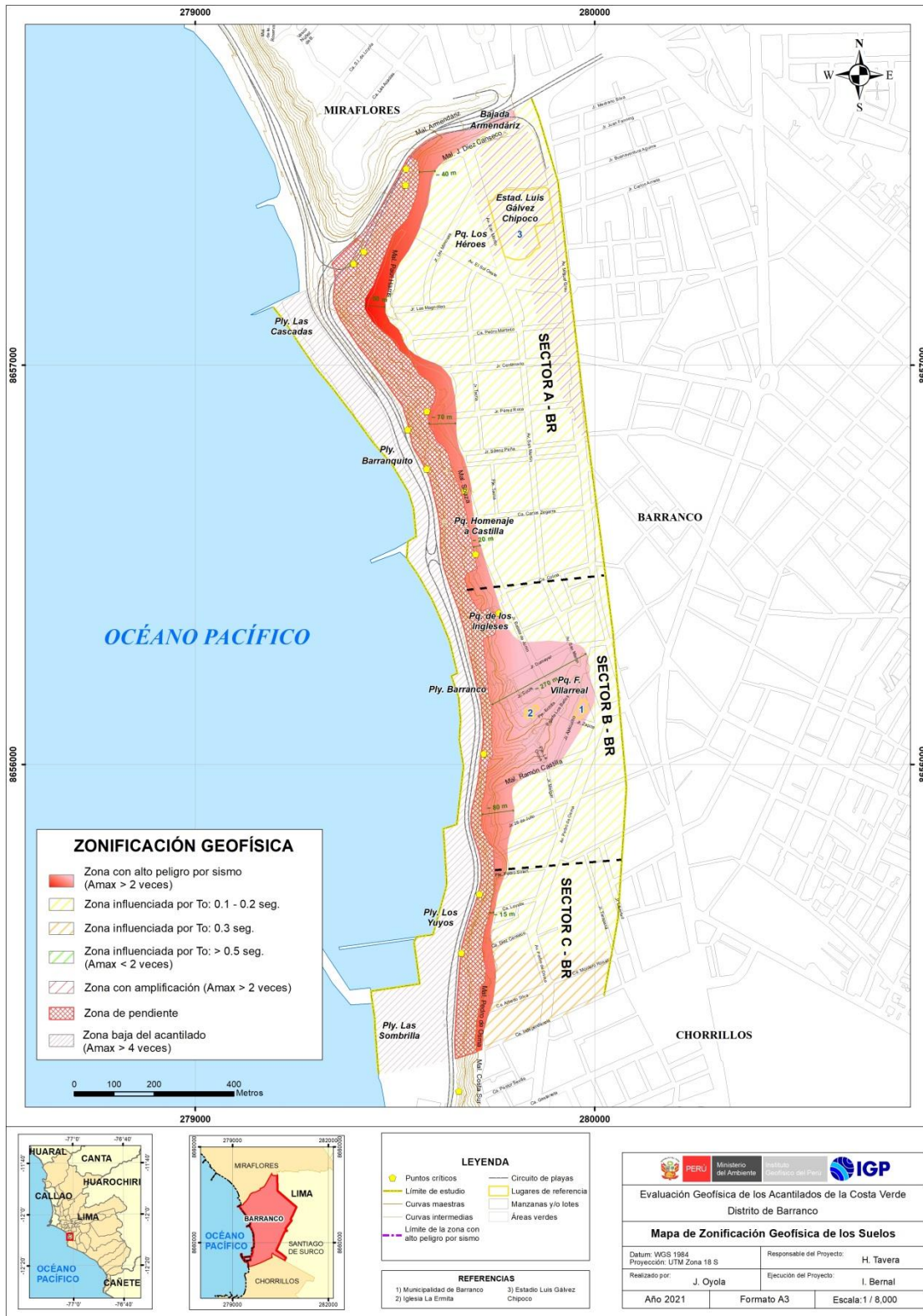


Figura 44. Delimitación de la zona con alto peligro por sismo, en la parte del Acantilado de la Costa Verde, en el distrito de Barranco. Para los Sectores A, B y C, ver textos.

En el sector del Malecón Souza (altura del edificio Infinity), se ha identificado la presencia de suelos con alto grado de humedad hasta una profundidad de 30 metros. Asimismo, en este sector se han identificado asentamientos y grietas en el suelo que alcanzan profundidades de hasta 1.5 metros.

SECTOR B – BR: *Considera el área del acantilado, entre la calle Colina (extremo norte) y el pasaje Pedro Solari. En este sector el límite que separa, en superficie, los suelos con diferente comportamiento dinámico, se encuentra en promedio a 270 metros desde el borde del acantilado hacia el área urbana entre el Jr. Domeyer y Bajada Los Baños, disminuyendo rápidamente hacia los extremos norte y sur hasta los 80 metros.*

En este sector los suelos presentan moderado contenido de humedad debido a la presencia de áreas verdes y su regadío continuo.

SECTOR C – BR: *Considera el área del acantilado, entre el pasaje Pedro Solari (extremo norte) y la calle Independencia. En este sector el límite en superficie que separa, los suelos con diferente comportamiento dinámico, se encuentra entre 15 y 20 metros de distancia desde el borde del acantilado hacia el área urbana. En este sector los suelos presentan moderado contenido de humedad.*

CONCLUSIONES

El análisis y evaluación geofísica de los Acantilados de la Costa Verde en el distrito de Barranco, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- *A lo largo del acantilado, se definen la presencia de tres capas sísmicas:*
 - *La primera capa con velocidades de ondas de compresión $V_p = 350$ a 578 m/s y de corte $V_s = 198$ a 227 m/s con espesores de 4 a 11 metros. Los suelos corresponden a material aluvial suelto a medianamente compacto (densidad de 1.6 gr/cm³).*
 - *La segunda capa con velocidades $V_p = 578$ a 1110 m/s y $V_s = 327$ a 408 m/s, y espesores de 7 a 18 metros. Estos suelos corresponden a material medianamente compacto (densidad de 1.9 gr/cm³).*
 - *La tercera capa, con velocidades $V_p > 1110$ m/s y V_s 445 a 765 m/s, y espesores que superan los 10 metros. Estos suelos están compuestos por material aluvial compacto (densidad de 2.3 gr/cm³).*
 - *A mayor profundidad la velocidad de las ondas de corte V_s supera los 700 m/s, indicando la presencia de suelos muy compactos debido a que están compuestos por gravas.*

- *Se ha observado que en el extremo norte del acantilado, el espesor de los suelos poco a moderadamente consolidados, disminuye de 18 metros en el borde del acantilado a 8 metros hasta una distancia de 200 metros hacia el área urbana; mientras que, en su extremo sur varía de 23 a 20 metros. En este escenario, a lo largo del acantilado se evidencia que los suelos en el extremo sur presentan menor consistencia respecto a su extremo norte.*

- *Hacia el borde del acantilado, en el Malecón Paul Harris y Malecón Souza (extremo norte), predomina un horizonte geoelectrico cuyo material presenta moderado a bajo contenido de humedad con un espesor de 30 a 40 metros.*

Asimismo, en superficie se han identificado sectores cuyos suelos presentan alto contenido de humedad hasta una profundidad de 10 metros principalmente a la altura de la calle Pedro Martinto, Jr. Centenario, Jr. Pérez Roca y Jr. Sáenz Peña. Hacia el Malecón Pedro de Osma (extremo suroeste) se ha identificado un horizonte geoeléctrico cuyo material presenta moderado a alto contenido de humedad a la altura de las calles Independencia y Alfredo Silva.

- *De acuerdo a los resultados obtenidos con la técnica del georadar, las áreas afectadas por asentamientos y grietas en el suelo alcanzan profundidades de hasta 1.5 metros, principalmente en el Jr. Pedro Martinto, Malecón Souza. Asimismo, en la calle Ramón Castilla, calle 2 de Mayo, Malecón Pedro de Osma y la calle Alfredo Silva, las grietas llegan hasta 1.0 metro de profundidad.*

- *Los resultados obtenidos con la técnica de razones espectrales, evidencian que los suelos próximos al borde del acantilado están compuestos por materiales heterogéneos, complejos e inestables. A mayor distancia, en dirección del área urbana, los suelos son más homogéneos y/o compactos en una capa de gran espesor.*

- *A lo largo del Acantilado de la Costa Verde en el distrito de Barranco, el límite que separa los suelos estables de los inestables y cuyo comportamiento dinámico representa un alto peligro ante la ocurrencia de sismos de gran magnitud, se encuentra demarcado desde el borde del acantilado hacia el área urbana, por los Malecones Paul Harris y Souza hacia el norte y hacia el sur por la Bajada Los Baños y el Malecón Pedro de Osma. Este límite se encuentra a distancias que varían entre 15 a 80 metros hacia los extremos norte y sur, mientras que en la zona céntrica alcanzan distancias de 270 metros.*

• *Finalmente, las zonas con mayor probabilidad de experimentar un comportamiento dinámico complejo ante la posible ocurrencia de sismos de gran magnitud son: la Bajada Los Baños, Malecón Souza, Malecón Paul Harris y Malecón Pedro de Osma.*

BIBLIOGRAFÍA

- ASTM D5777, Standard Guide for using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation. <https://www.astm.org/Standards/D5777.htm>
- Bernal, I, (2006). Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala- México. Tesis de Maestría, II-UNAM, México.
- Bernal, I y Tavera, H. (2008). Aceleraciones máximas registradas en la ciudad de Lima: Sismo del 15 de Agosto de 2007. En: EL terremoto de Pisco (Perú) del 15 de Agosto de 2007; H. Tavera (editor), edición especial Instituto Geofísico del Perú, p. 177-196.
- Biskup, K. Lorenzo, H., Arias, P. (2005). Aplicabilidad del radar del subsuelo para el estudio de la zona no saturada del suelo: ejemplos en ambientes arenosos costeros- Estudios de La Zona No Saturada del Suelo, vol. 7, pp. 197-204.
- GSSI, SIR 4000 Manual MN 72-574 Rev H. Geophysical Survey Systems. Inc. 158pp.
- INDECI-PNUD (2014). Estudio PCS "Mapas de peligros, vulnerabilidad y riesgos, plan de usos del suelo ante desastres, proyectos y medidas de mitigación de la Costa Verde". Proyecto de la Municipalidad de Lima – PNUD y Ciudades sostenibles INDECI-PNUD.
- INGEMMET (1997). Estudio de la seguridad física de los Acanuilados de la Costa Verde.
- INGEMMET (2015). Peligros Geológicos en el área de Lima Metropolitana y la región Callao.
- Loke M.H. (1996-2004). Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys
- Mironov, V.S. (1977). Curso de Prospección Gravimétrica. Barcelona, Editorial Reverté, p. 525.
- Nakamura, Y. (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface, Quaterly Report of Railway Technical Research Institute, 30(1):25-33.

Norma Técnica E.030 (2018) Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Reynolds, J.M. (2011). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., p. 712 .

SESAME (2004). Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations, Research Report WP12, Available online at: <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>.2004.

Tavera, H. (2016). Mapa Sísmico del Perú periodo 1960 a 2016. SCTS-IGP.

Telford W.M, Geldart L.P. and Sheriff R.E. (1990) Applied Geophysics. 2ª ed. New York: Cambridge University Press

Universidad Nacional de Colombia (2000), Investigación de aguas subterráneas región valles de San Nicolás Medellín

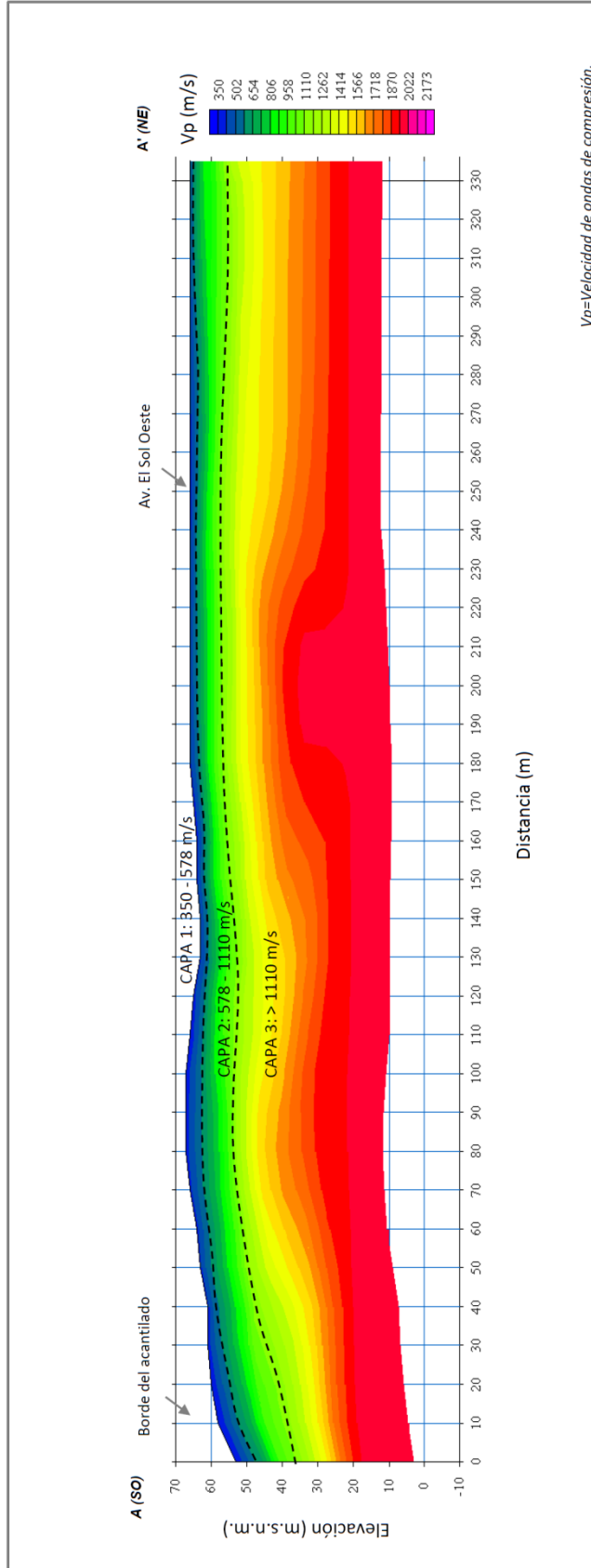
Villela, A, 2013. Análisis y aplicación de las propiedades de polarización de la señal del Georadar. Tesis de doctorado del centro de Investigación Científica y de educación Superior de ensenada (CICESE).

ANEXO I

Secciones de Refracción Sísmica

Tomografía de Refracción Sísmica
RS01-BR

Perfil 2D de velocidad Vp

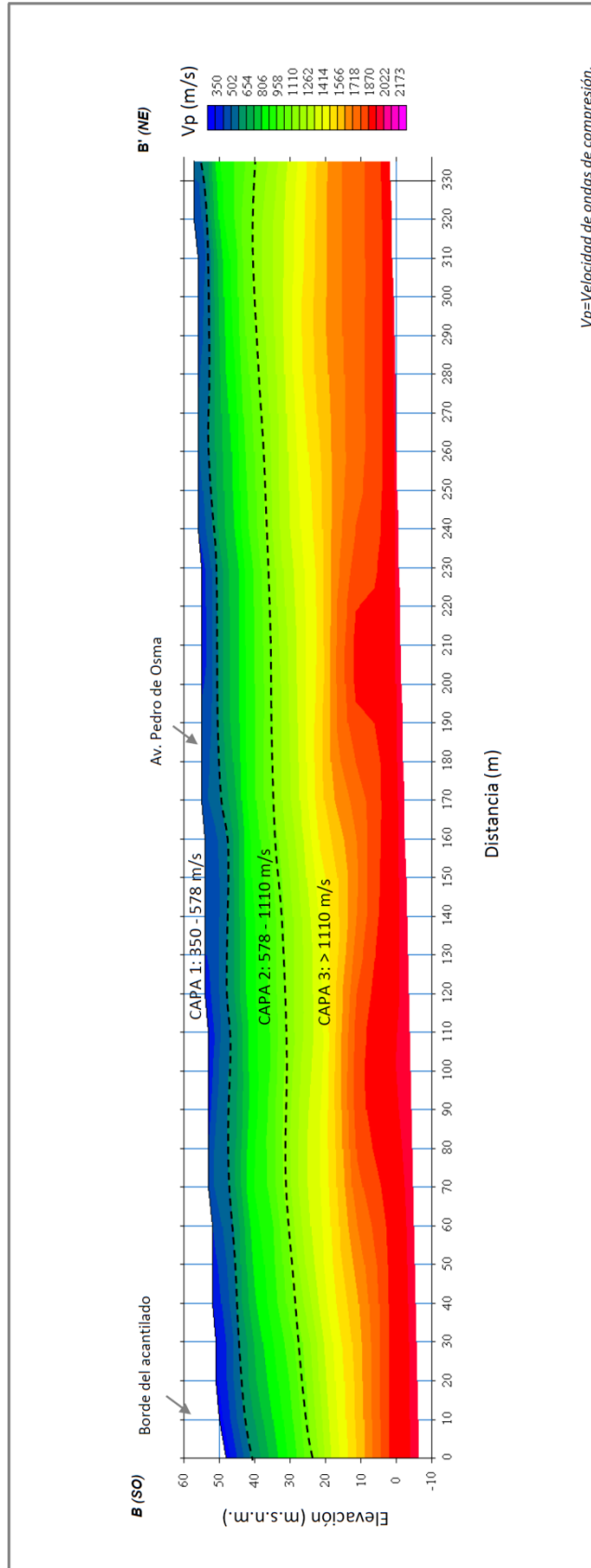


Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde

	UBICACIÓN: Malecón Paul Harris		DISTRITO: Barranco	PROVINCIA / DEPARTAMENTO: Lima
	LONGITUD DE LA LÍNEA: 335 mts.		DATUM: WGS84	FECHA: 12/2020
COORDENADAS UTM 18S: NORTE (m) : 8657113 FINAL A': NORTE (m) : 279446 ESTE (m) : 279572		COTA (m.s.n.m.) : 50 COTA (m.s.n.m.) : 67		
ELABORADO POR: W. Sullia	REVISADO POR: I. Bernal	APROBADO POR: H. Tavera		

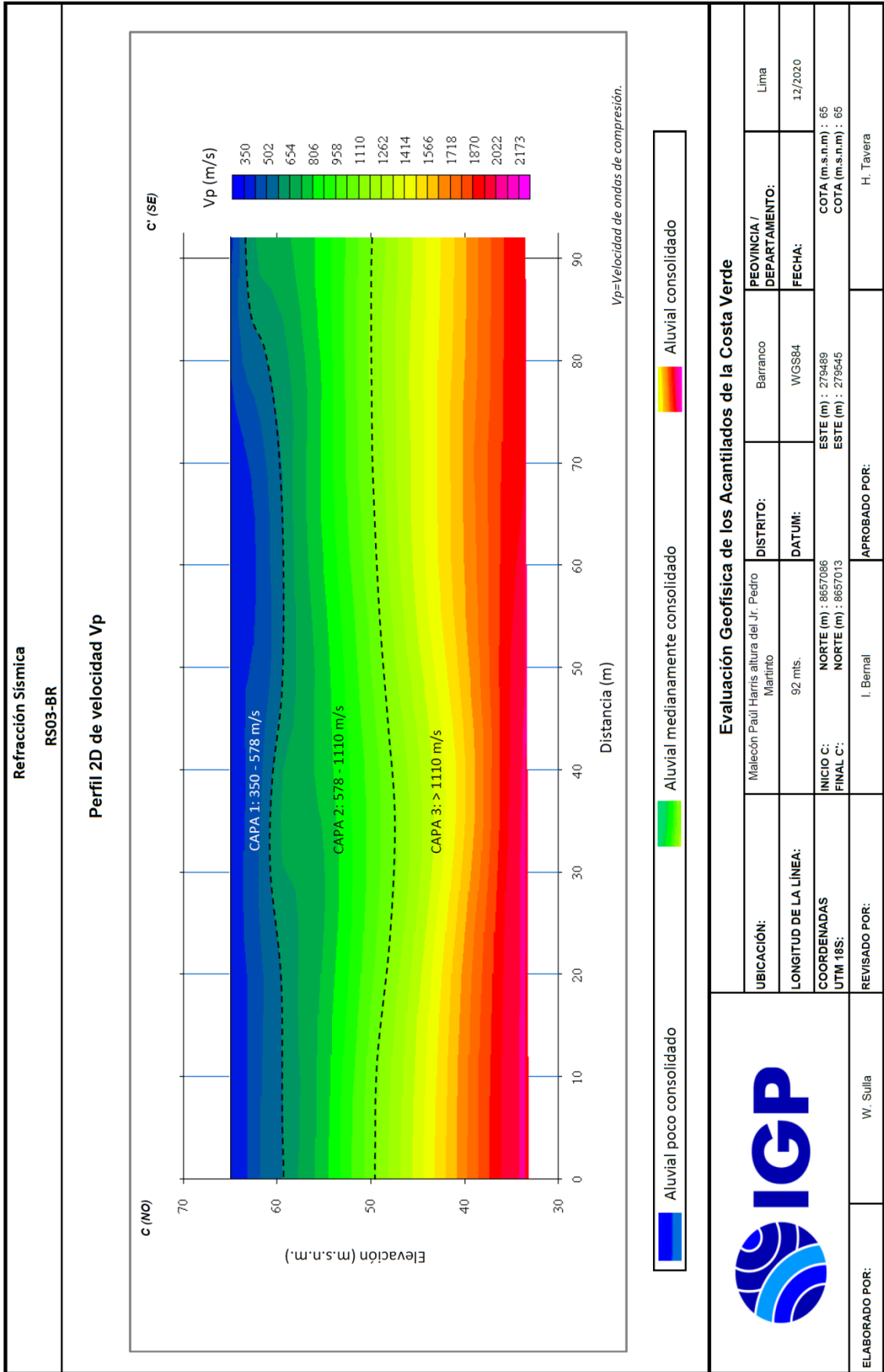
Tomografía de Refracción Sísmica
RS02-BR

Perfil 2D de velocidad Vp



Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde

	ELABORADO POR: W. Sullia		APROBADO POR: I. Bernal		H. Tavera	
	UBICACIÓN: Calle Alfredo Silva y Montero Rosas	DISTRITO: Barranco	PROVINCIA / DEPARTAMENTO: Lima	LONGITUD DE LA LÍNEA: 335 mts.	DATUM: WGS84	FECHA: 12/2020
COORDENADAS UTM 18S:	INICIO B: NORTE (m) : 8655376 ESTE (m) : 279711	FINAL B: NORTE (m) : 8655506 ESTE (m) : 280021	COTA (m.s.n.m.) : 48 COTA (m.s.n.m.) : 57			

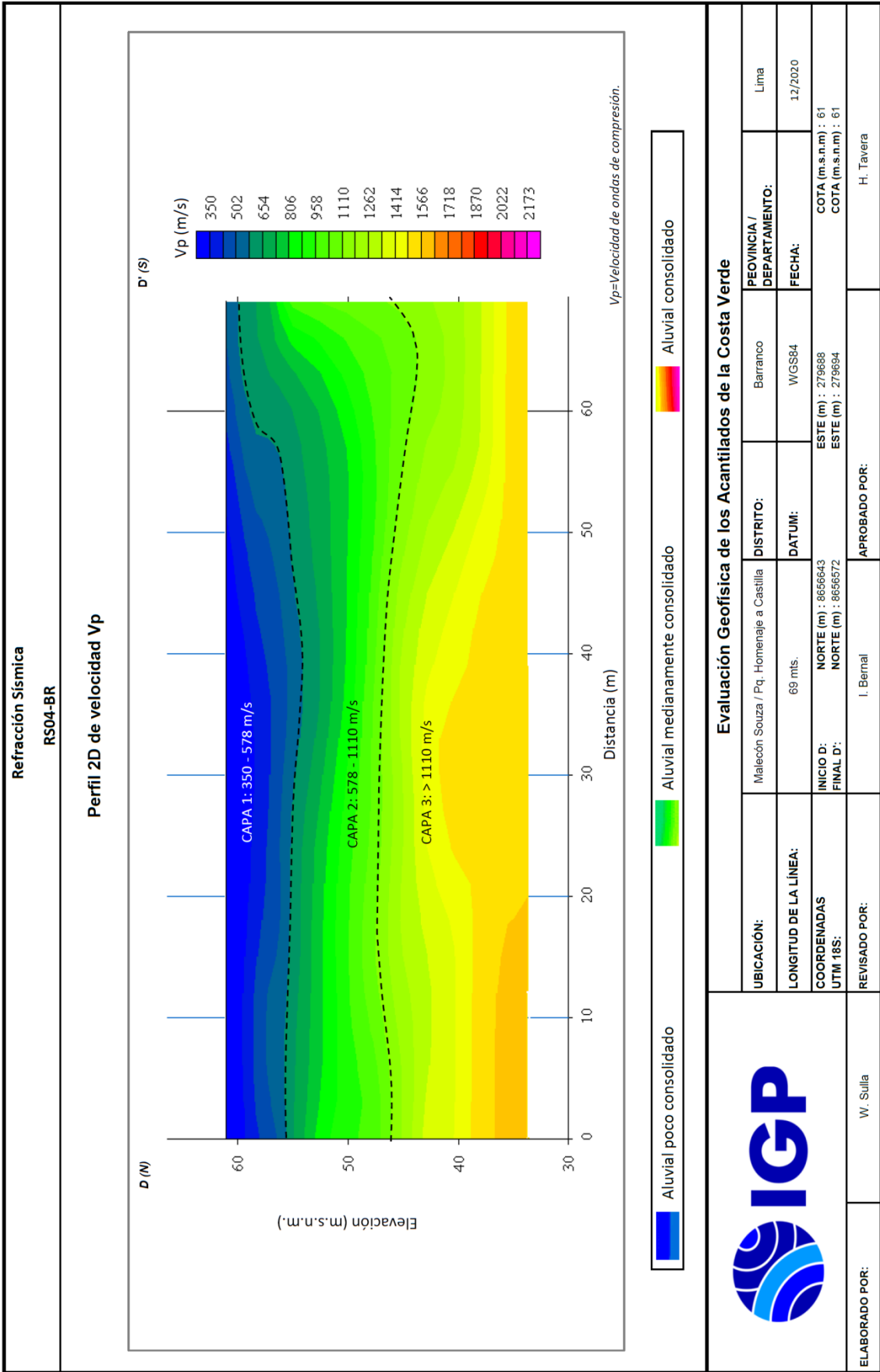


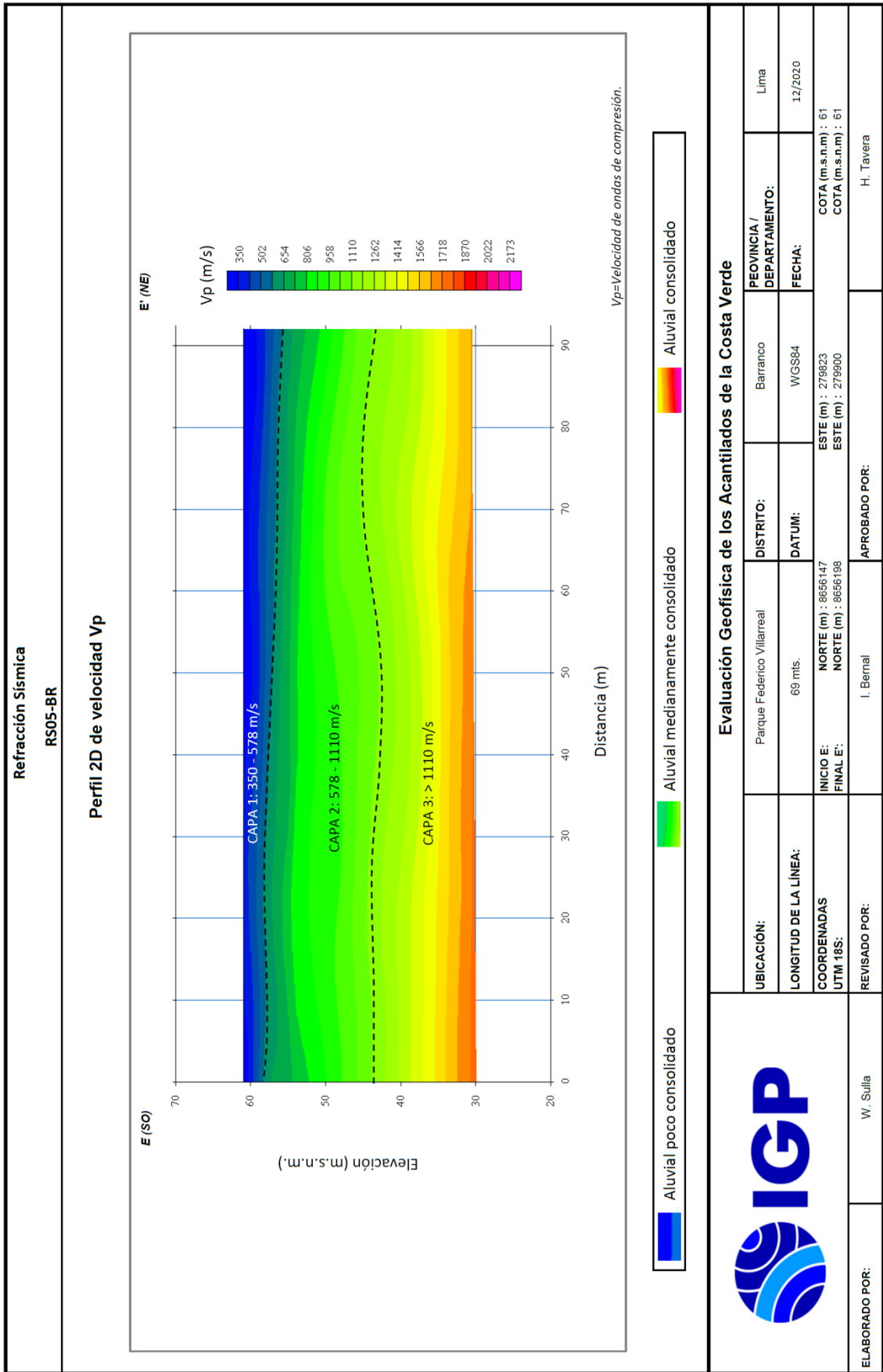
Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde

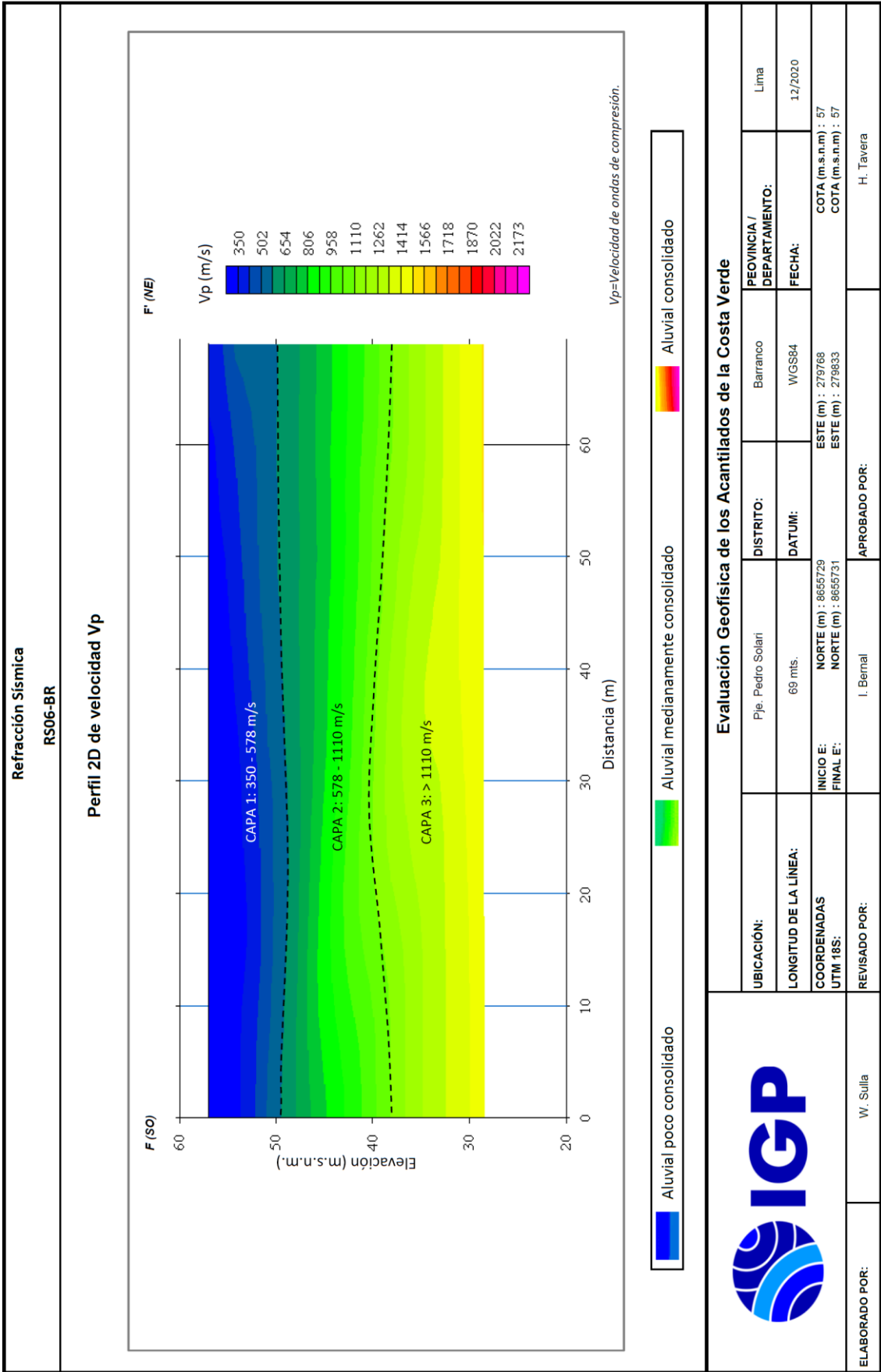
UBICACIÓN:	Malecón Paúl Harris altura del Jr. Pedro Marítimo	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LÍNEA:	92 mts.	DATUM:	WGS84	FECHA:	12/2020
COORDENADAS UTM 18S:	INICIO C: NORTE (m) : 8657086 FINAL C: NORTE (m) : 8657013	ESTE (m) : 279489 ESTE (m) : 279545			
REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera		

IGP

W. Sullia



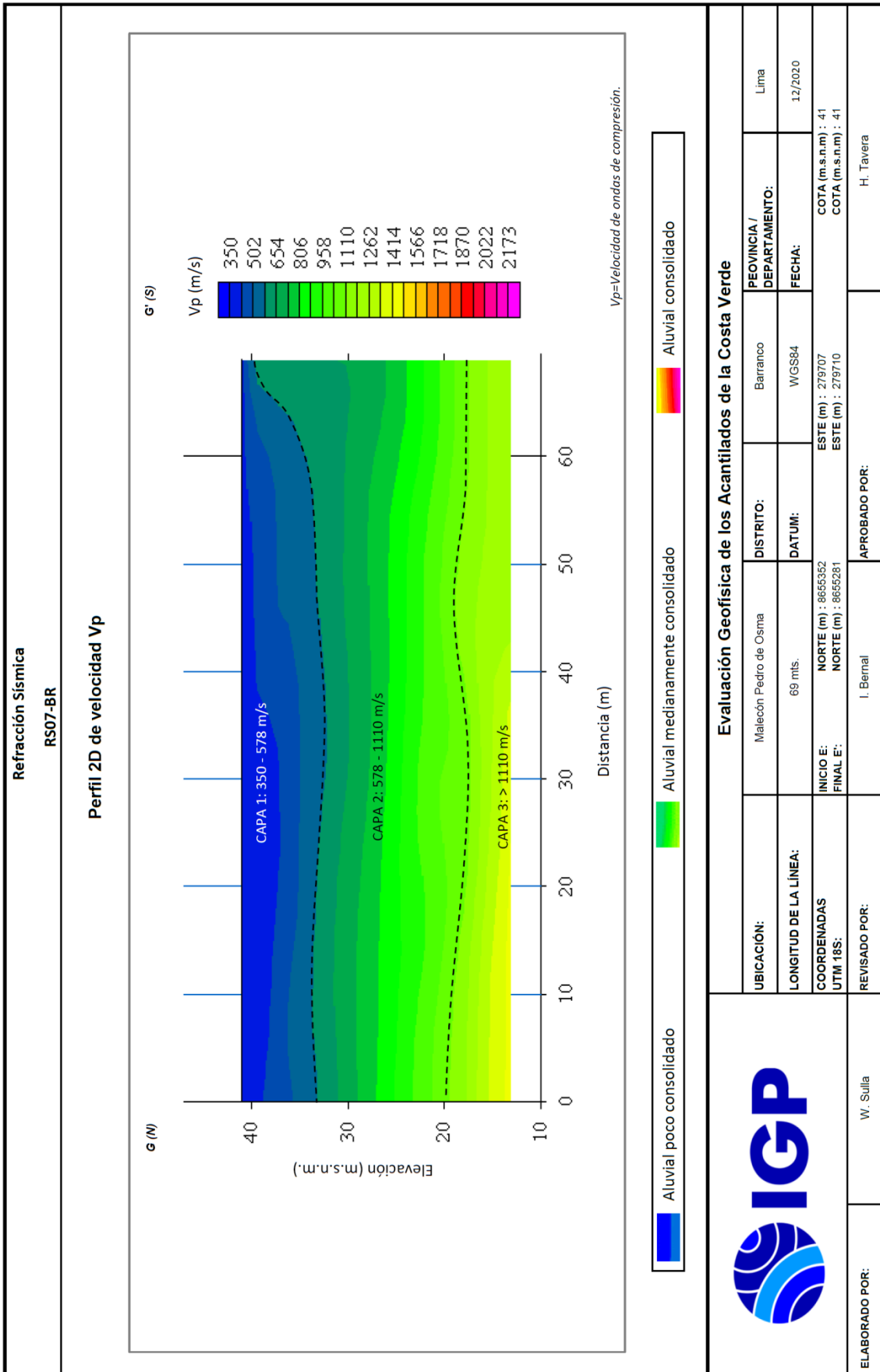




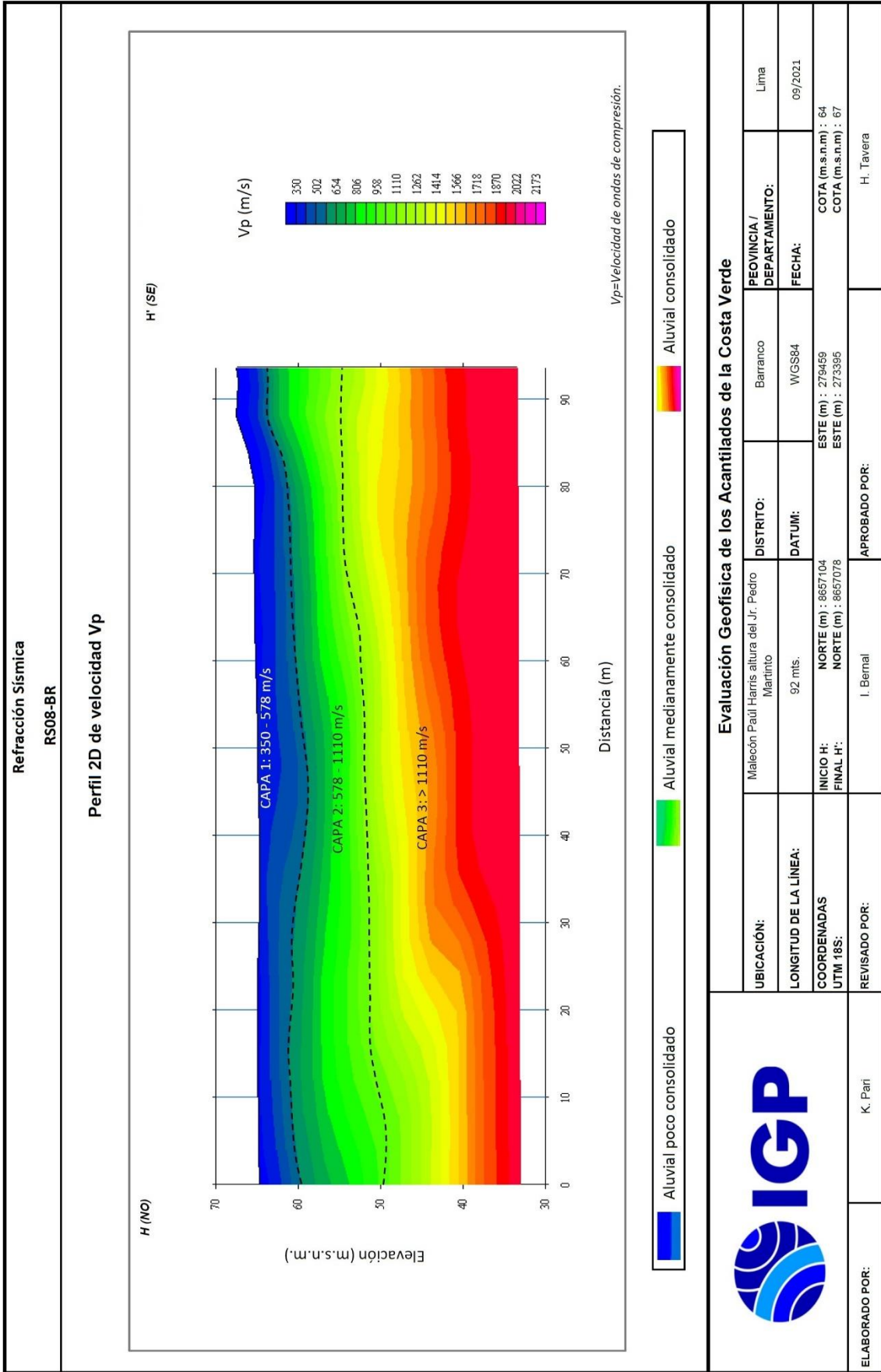
Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde

UBICACIÓN:	Pje. Pedro Solari	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LÍNEA:	69 mts.	DATUM:	WGS84	FECHA:	12/2020
COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8655729 NORTE (m) : 8655731	ESTE (m) :	279768	COTA (m.s.n.m.) : 57 COTA (m.s.n.m.) : 57	
REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera		

ELABORADO POR: W. Sullia

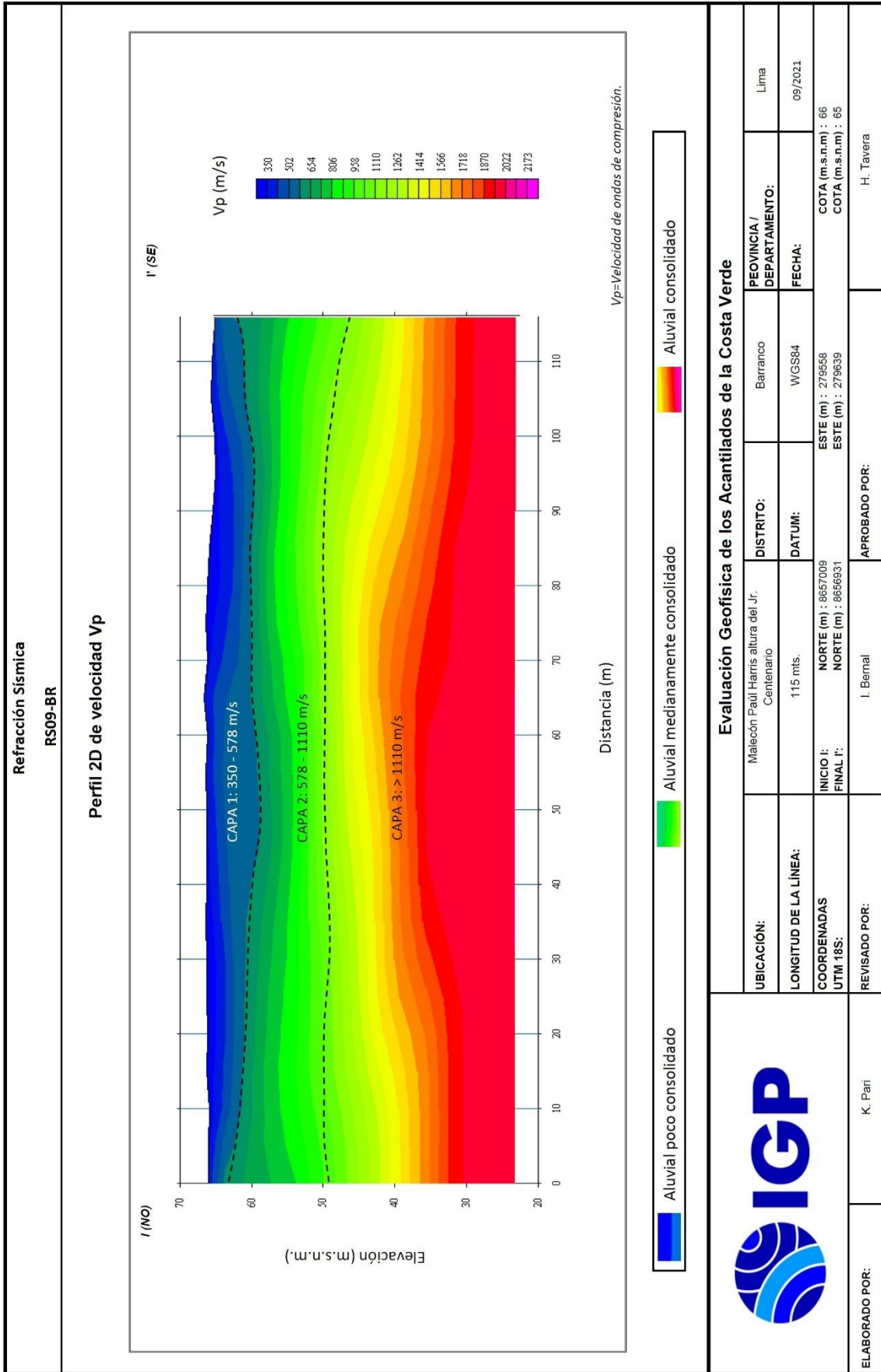


Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde



Evaluación Geofísica de los Acanuilados de la Costa Verde

UBICACIÓN:	Malecón Paul Harris altura del Jr. Pedro Marín	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LÍNEA:	92 mts.	DATUM:	WGS84	FECHA:	09/2021
COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8657104 FINAL H' : NORTE (m) : 8657078 ESTE (m) : 279459 ESTE (m) : 273395	COTA (m.s.n.m) : 64 COTA (m.s.n.m) : 57			
REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:		H. Tavera	
ELABORADO POR:	K. Parí				

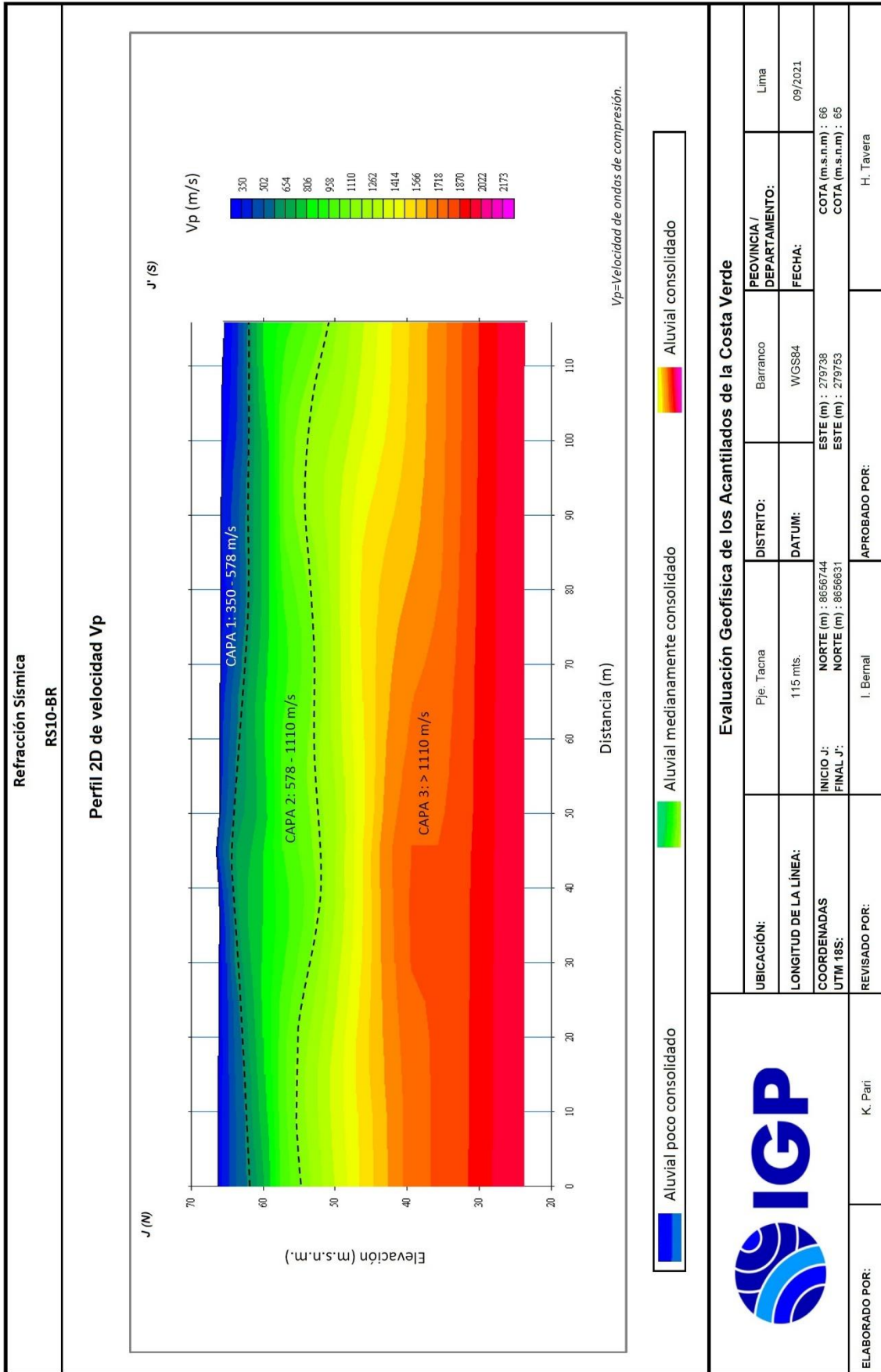


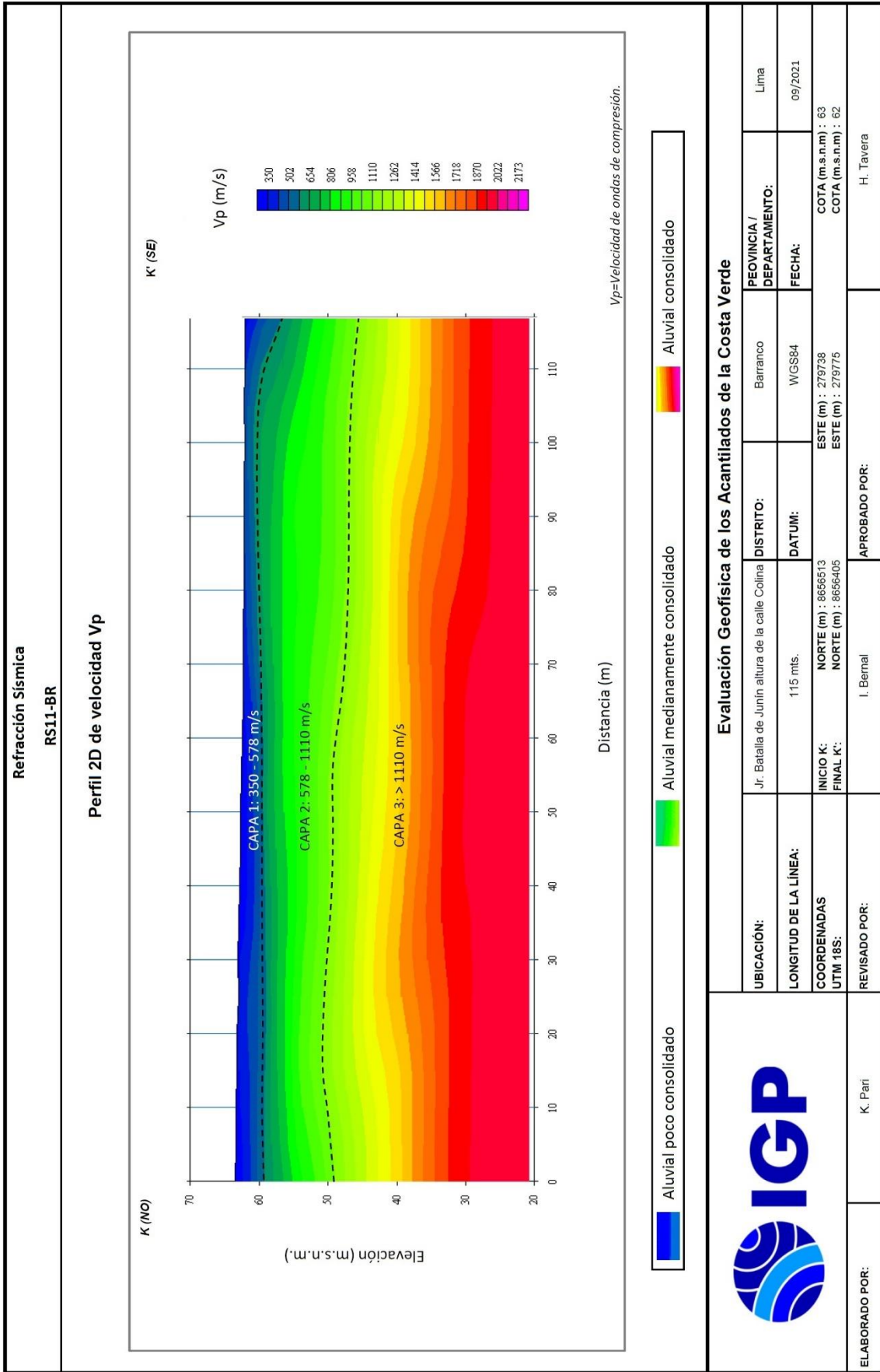
Evaluación Geofísica de los Acanuilados de la Costa Verde

UBICACIÓN:	Malecón Paúl Harris altura del Jr. Centenario	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LÍNEA:	115 mts.	DATUM:	WGS84	FECHA:	09/2021
COORDENADAS UTM 18S:	INICIO I: NORTE (m) : 8657009 FINAL I: NORTE (m) : 8656931	ESTE (m) : 279558 ESTE (m) : 279639	COTA (m.s.n.m) : 66 COTA (m.s.n.m) : 65		
REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera		

IGP

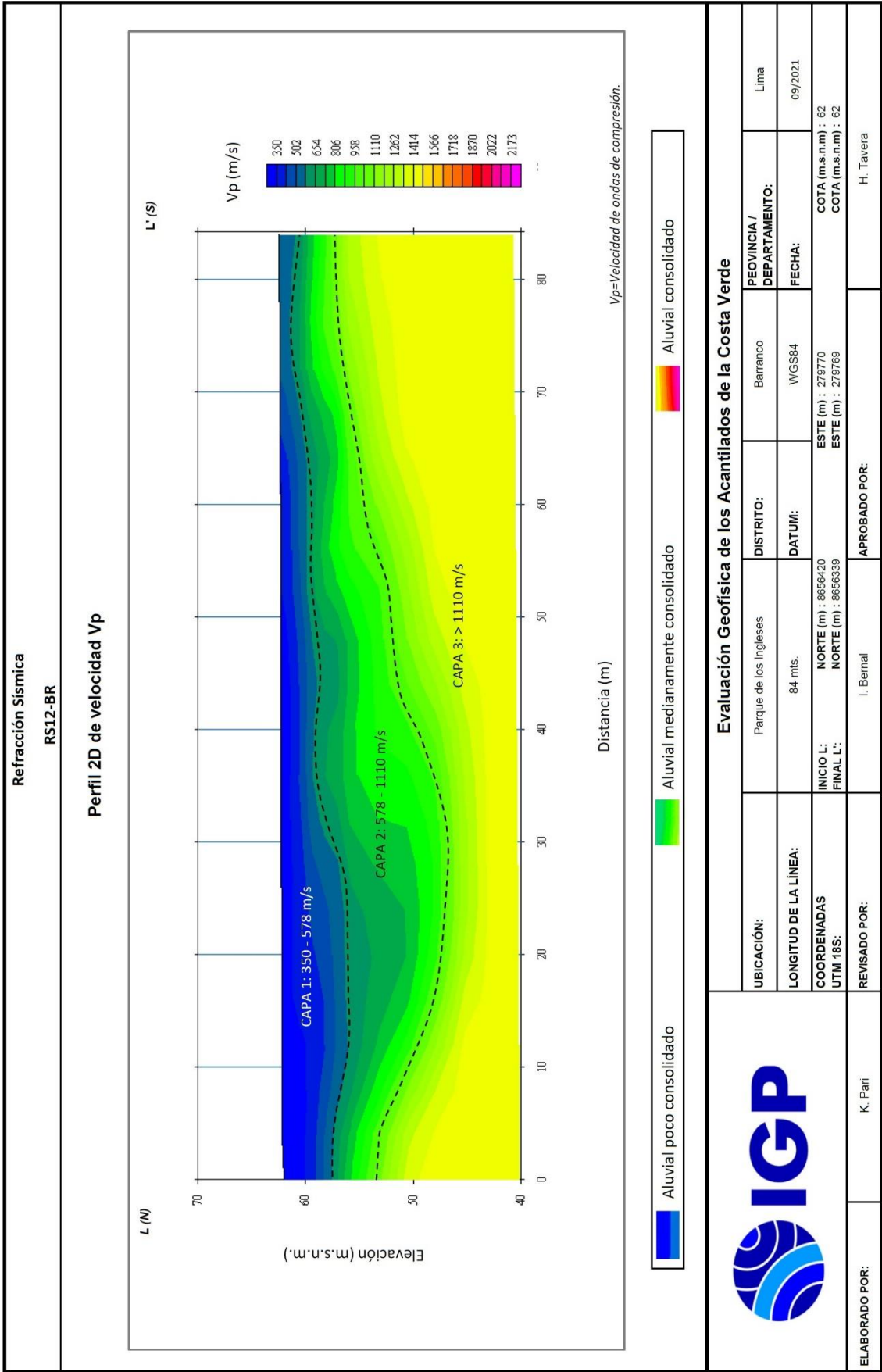
ELABORADO POR: K. Pari

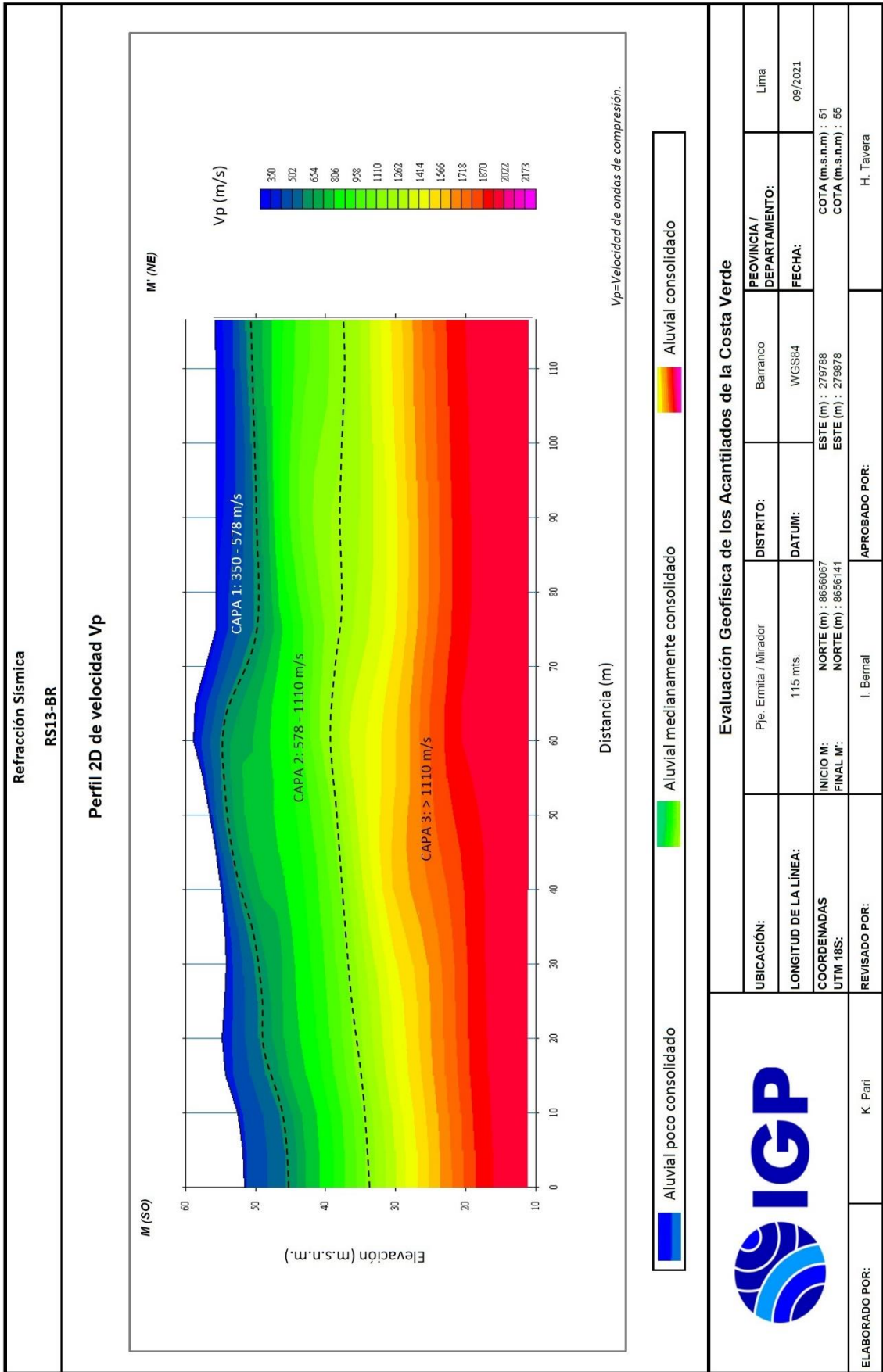


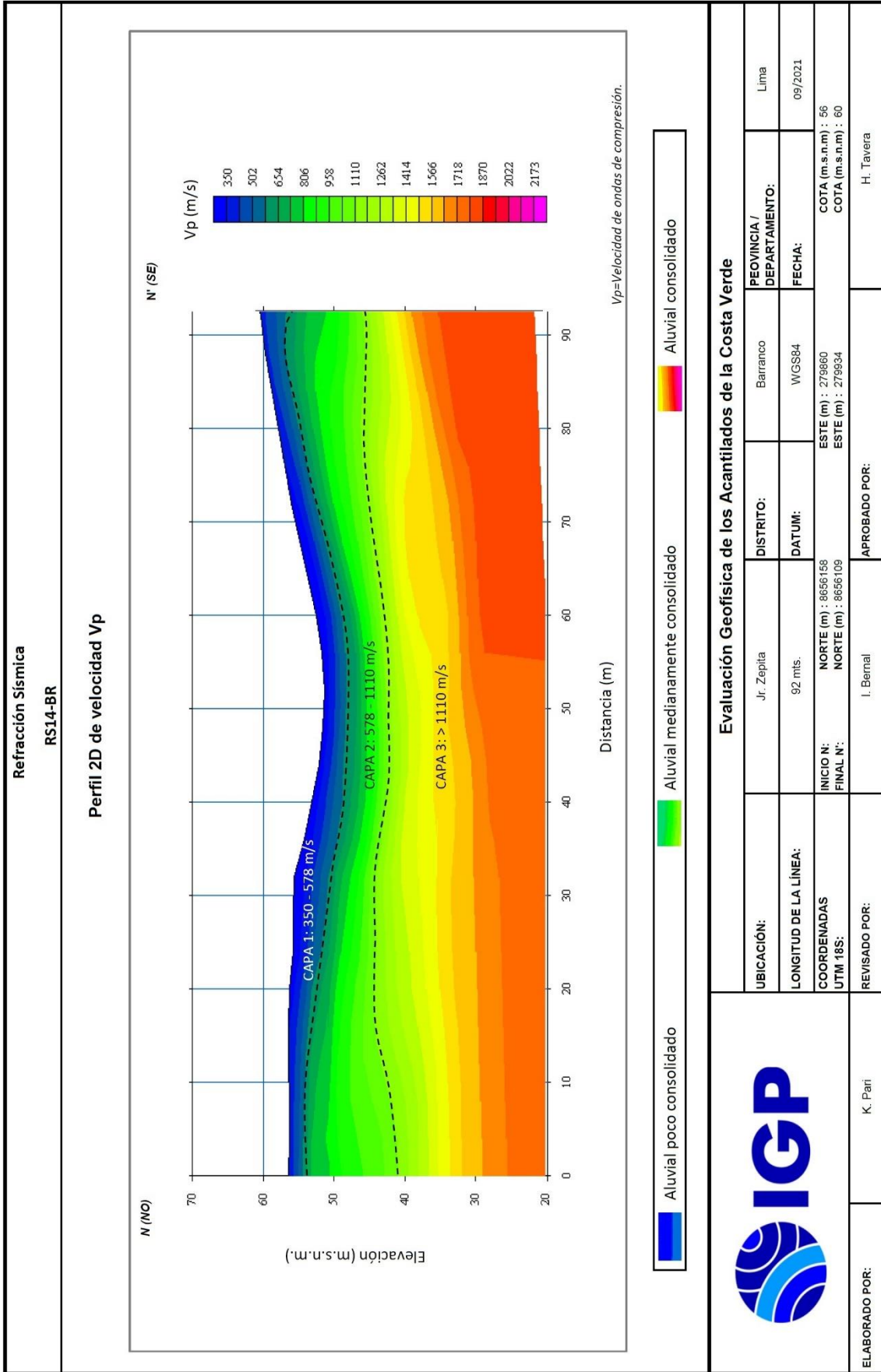


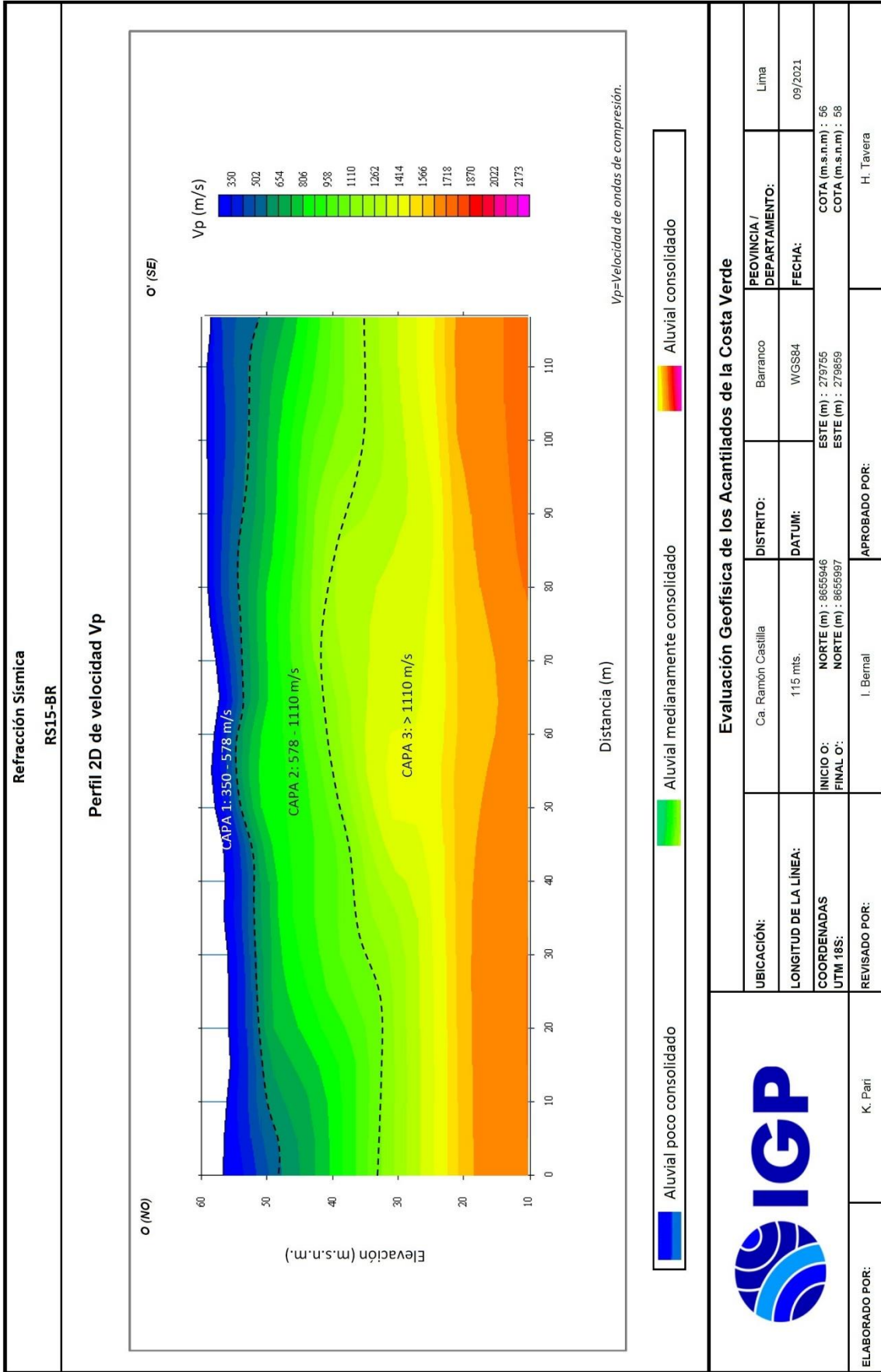
Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde

UBICACIÓN:	Jr. Batalla de Junín altura de la calle Colina	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LÍNEA:	115 mts.	DISTRITO:	Barranco
COORDENADAS UTM 18S:	INICIO K: 8656513 FINAL K: 8656405	DATUM:	WGS84
REVISADO POR:	I. Bernal	FECHA:	09/2021
ELABORADO POR:	K. Parí	APROBADO POR:	H. Tavera
		ESTE (m) : 279738 ESTE (m) : 279775	COTA (m.s.n.m) : 63 COTA (m.s.n.m) : 62



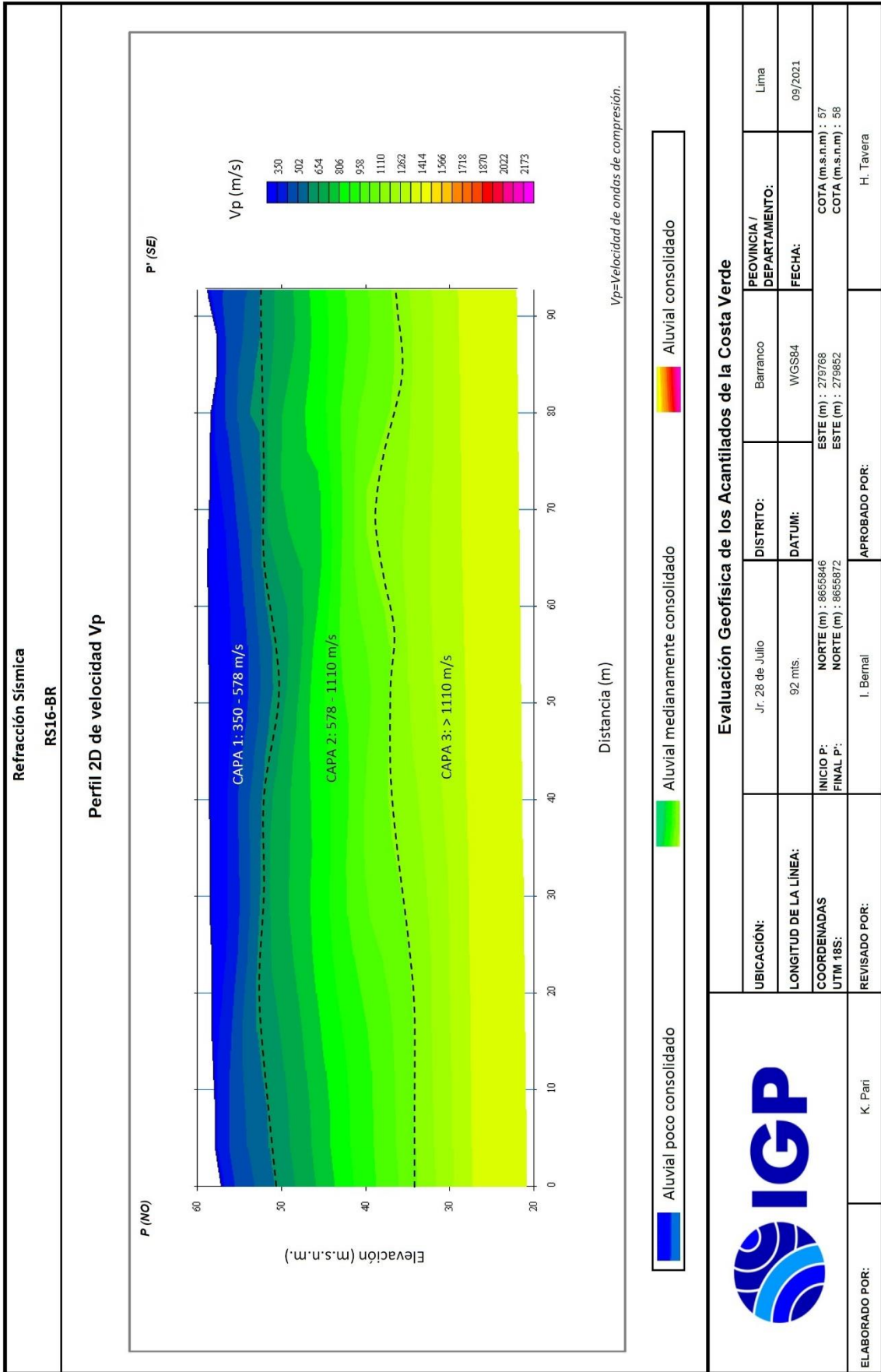






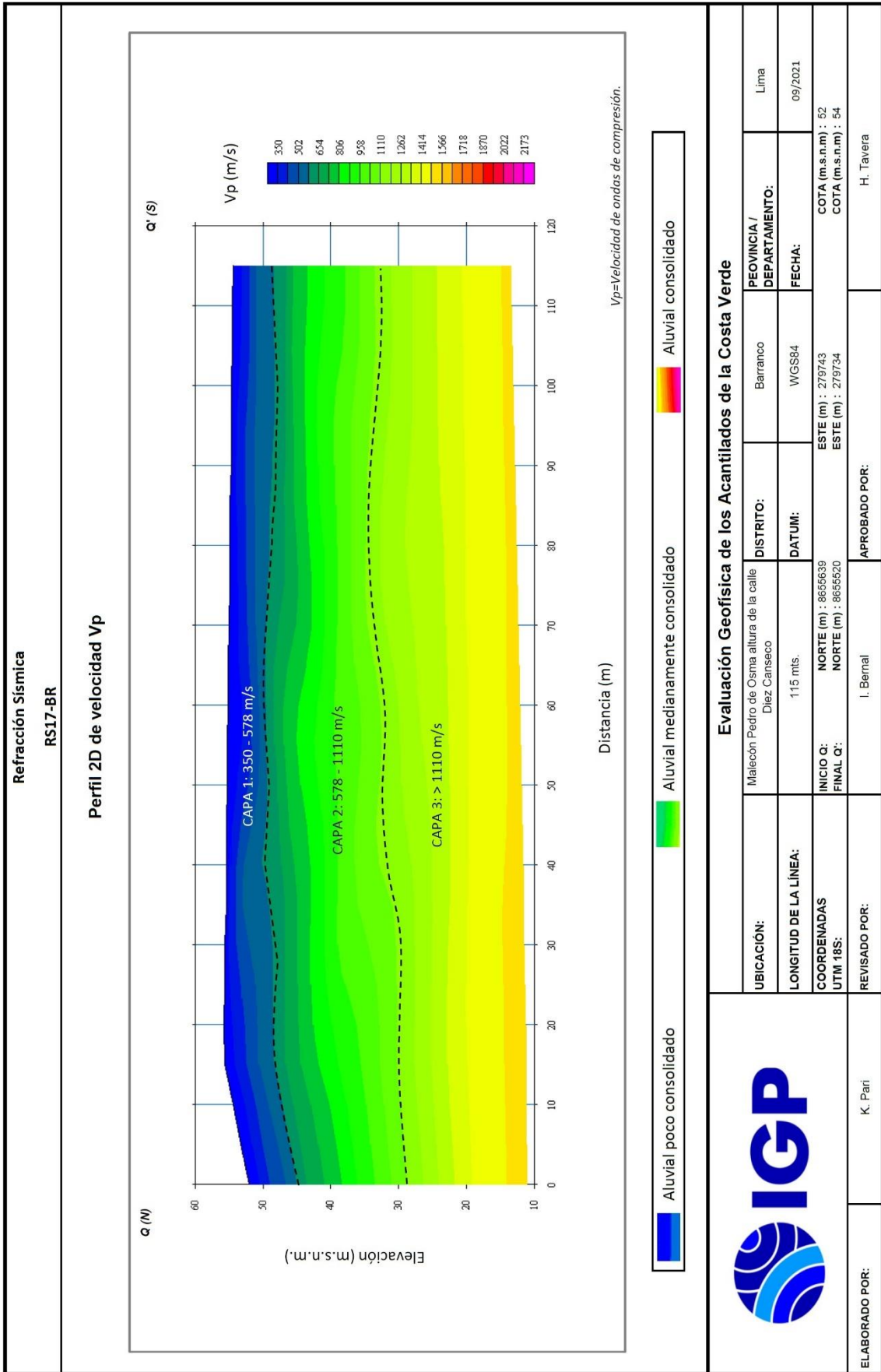


Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde			
UBICACIÓN:	Ca. Ramón Castilla	DISTRITO:	Barranco
LONGITUD DE LA LÍNEA:	115 mts.	DATUM:	WGS84
COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8655946 ESTE (m) : 279765	FECHA:	09/2021
REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera
ELABORADO POR:	K. Pari		



Evaluación Geofísica de los Acanuilados de la Costa Verde

UBICACIÓN:	Jr. 28 de Julio	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LÍNEA:	92 mts.	DATUM:	WGS84	FECHA:	09/2021
COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8655846 ESTE (m) : 279768	COTA (m.s.n.m) : 57			
REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:			
ELABORADO POR:	K. Parí	H. Tavera			



Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde

UBICACIÓN:	Malecón Pedro de Osma altura de la calle Diez Canseco	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LÍNEA:	115 mts.	DATUM:	WGS84	FECHA:	09/2021
COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8655639 NORTE (m) : 279743 ESTE (m) : 865520 ESTE (m) : 279734	COTA (m.s.n.m) : 52 COTA (m.s.n.m) : 54			
REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:		H. Tavera	
ELABORADO POR:	K. Parí				

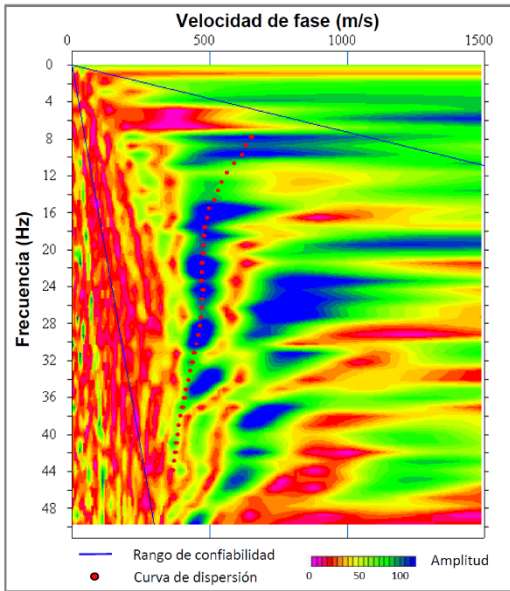
ANEXO II

Perfiles MASW y MAM.

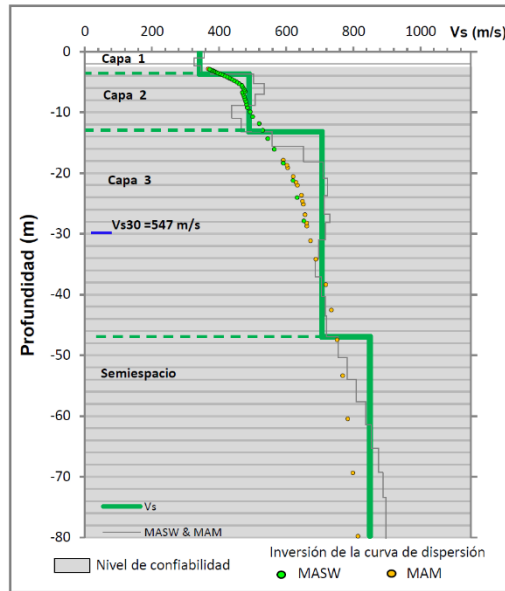
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y Microtremores (MASW y MAM 1D)

LS01-BR

Curva de dispersión MASW



Perfil de velocidad Vs



Curva de dispersión MAM

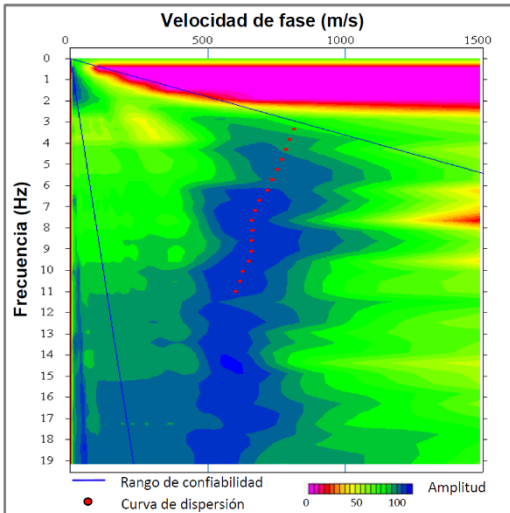

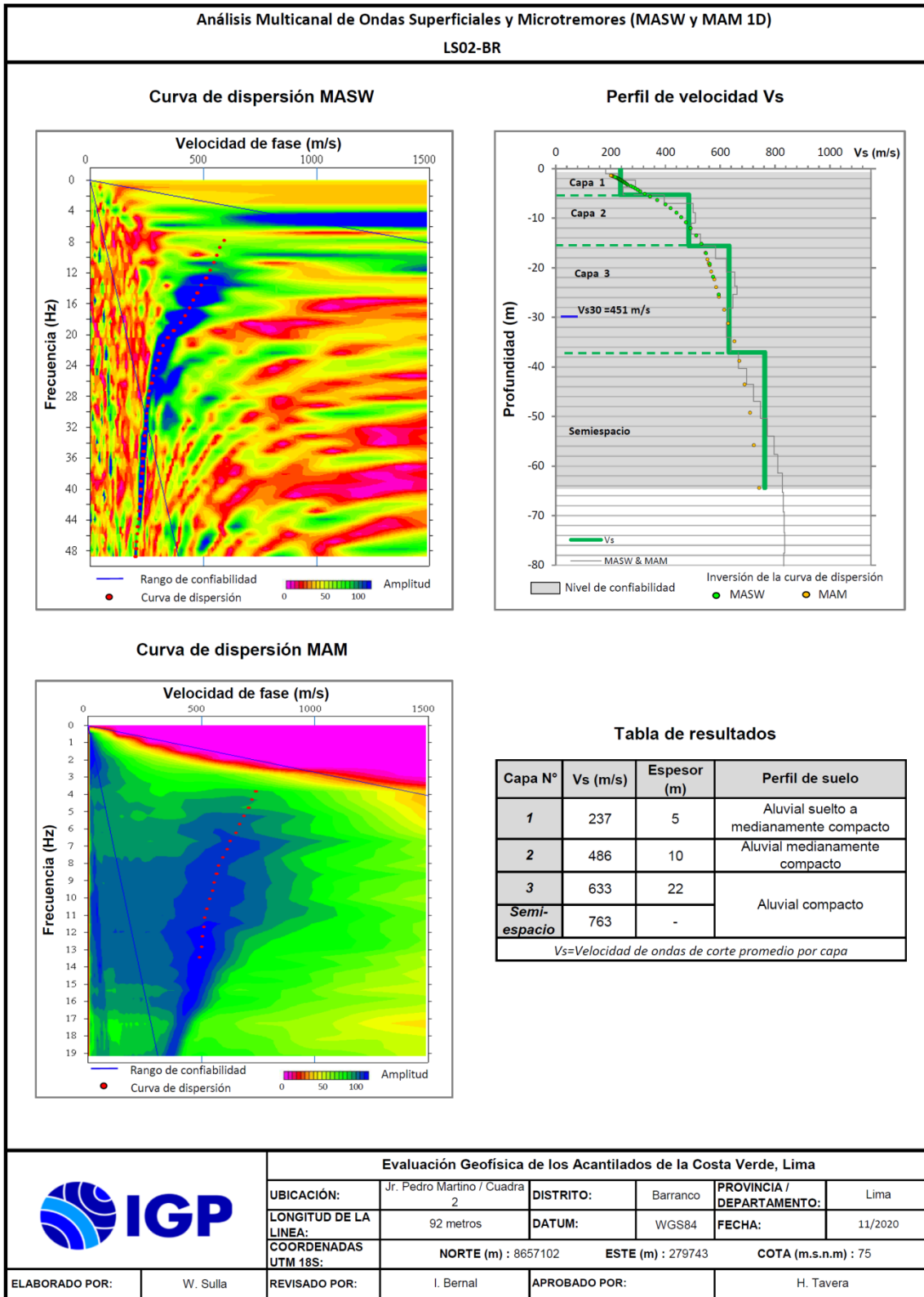


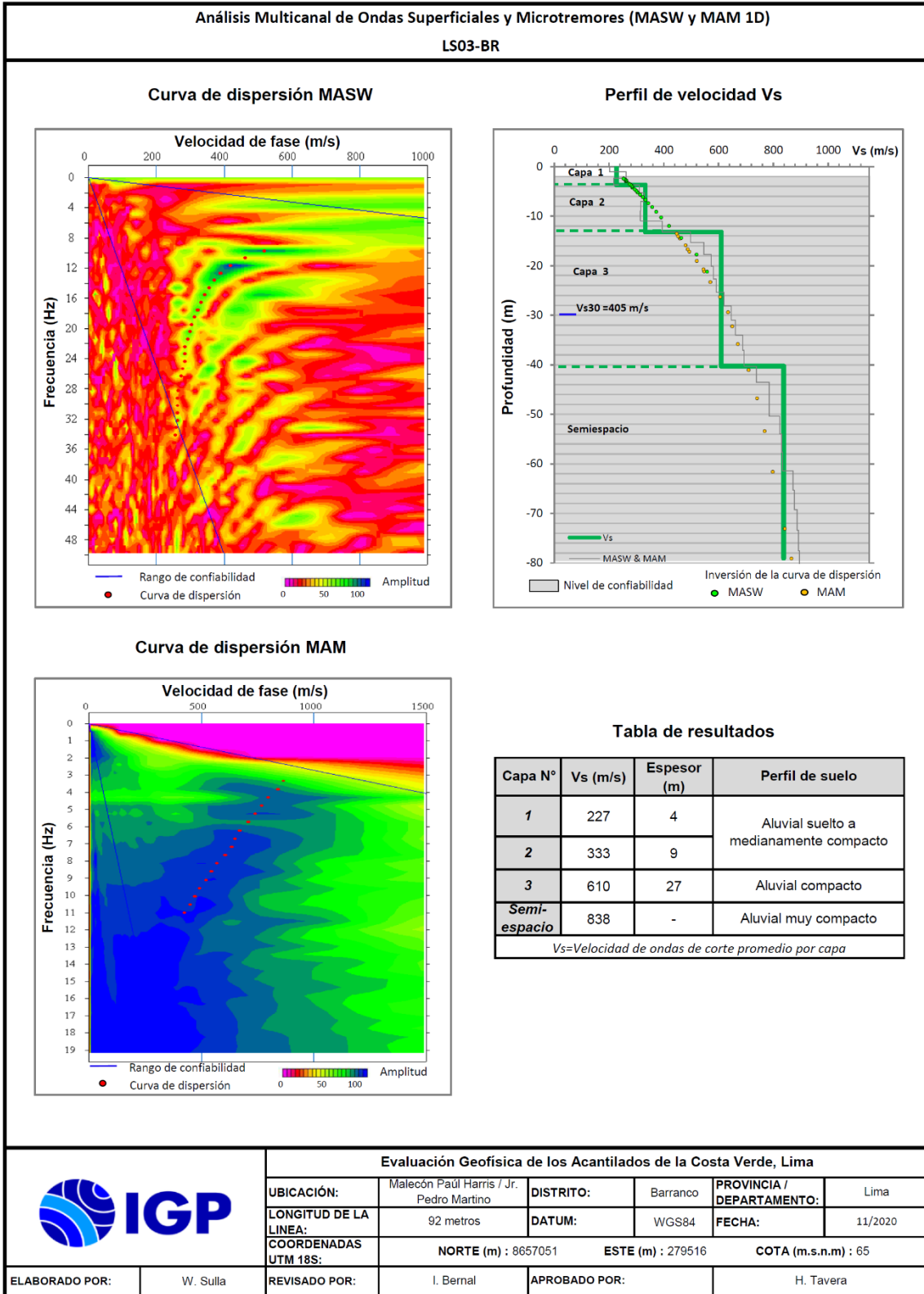
Tabla de resultados

Capa N°	Vs (m/s)	Espesor (m)	Perfil de suelo
1	342	4	Aluvial suelto a medianamente compacto
2	490	9	Aluvial medianamente compacto
3	707	34	Aluvial compacto
Semi-espacio	850	-	Aluvial muy compacto

Vs=Velocidad de ondas de corte promedio por capa

	Evaluación Geofísica de los Acanilados de la Costa Verde					
	UBICACIÓN:	Malecón Paúl Harris	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LINEA:	69 metros	DATUM:	WGS84	FECHA:	11/2020
	COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8657310	ESTE (m) : 279498	COTA (m.s.n.m) : 66		
ELABORADO POR:	W. Sullá	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera	

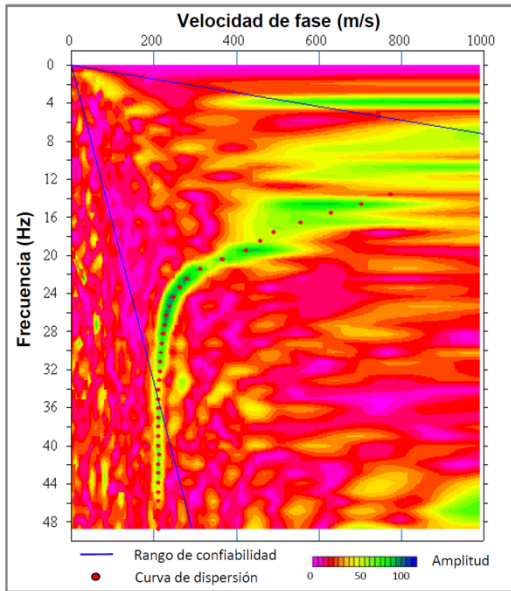




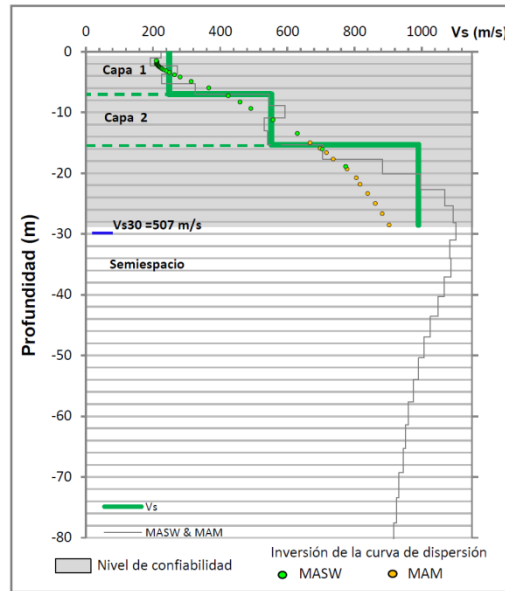
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y Microtremores (MASW y MAM 1D)

LS04-BR

Curva de dispersión MASW



Perfil de velocidad Vs



Curva de dispersión MAM

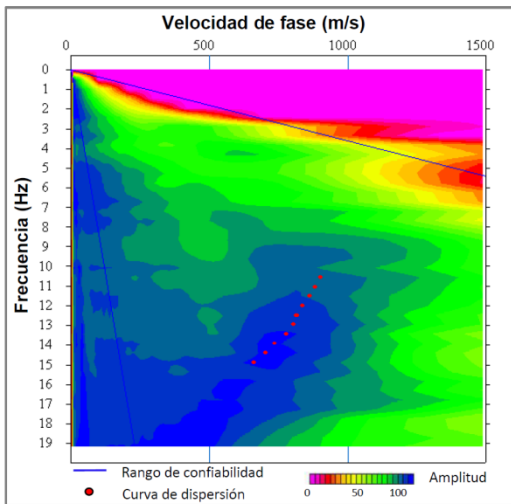

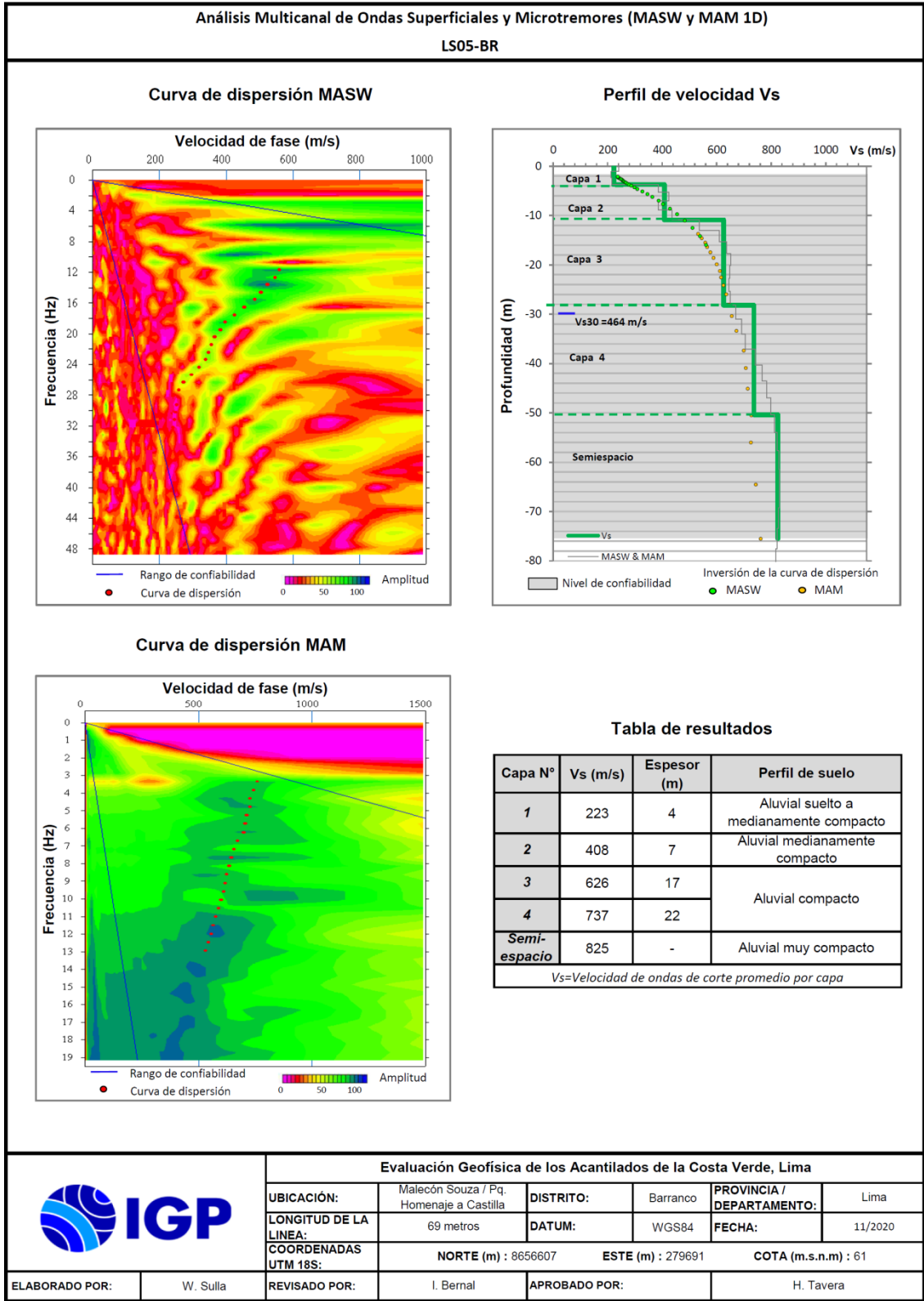


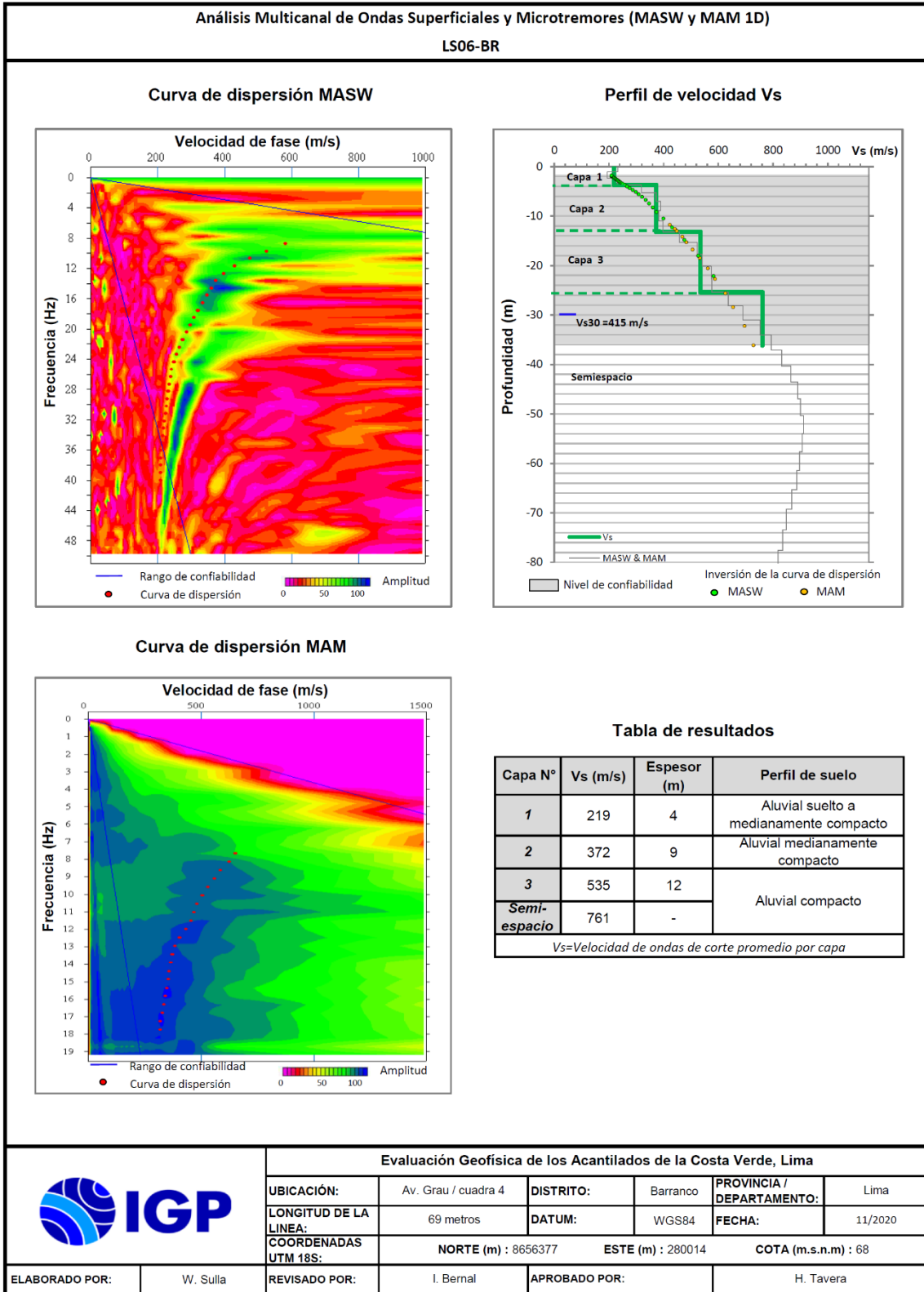
Tabla de resultados

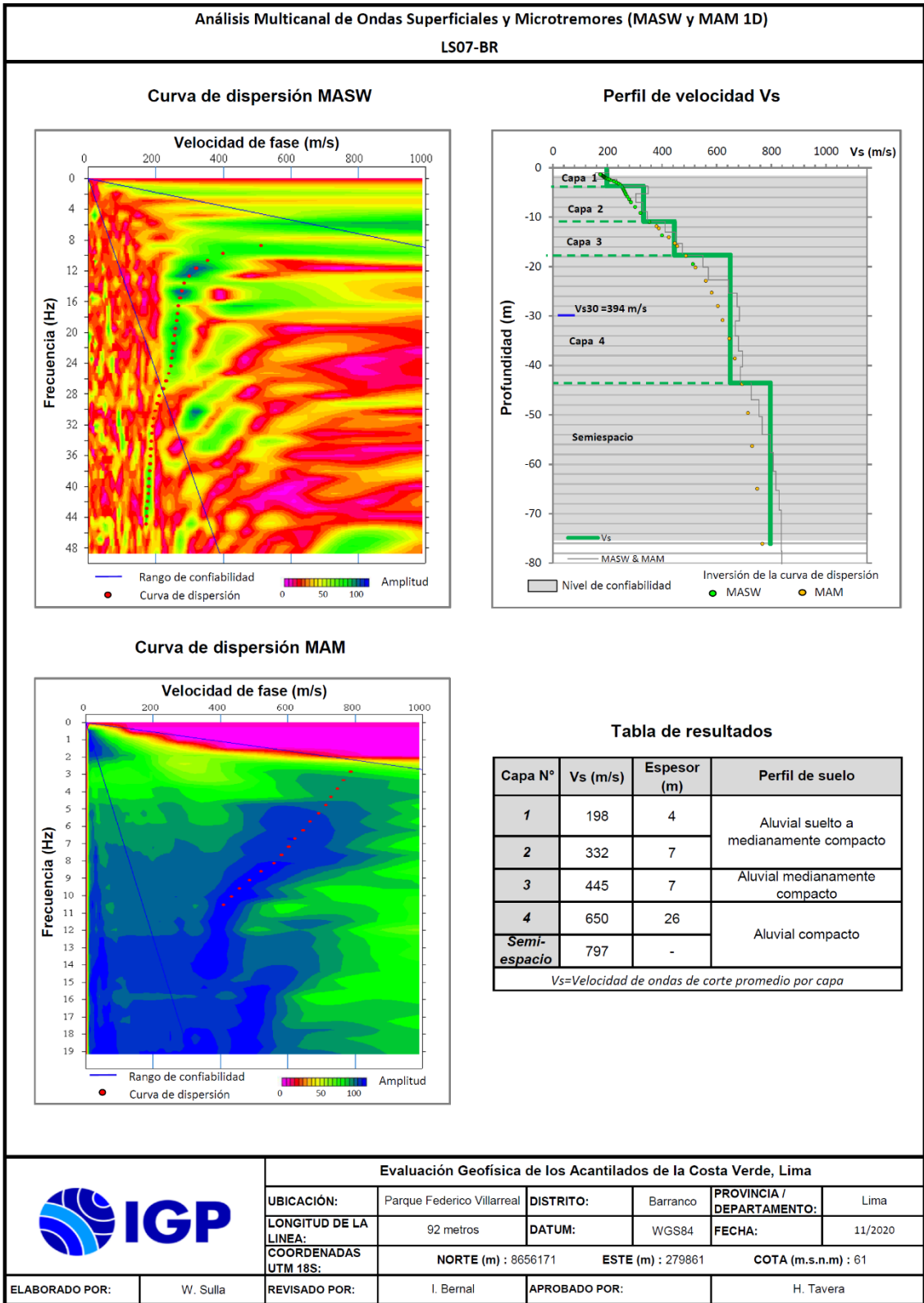
Capa N°	Vs (m/s)	Espesor (m)	Perfil de suelo
1	248	7	Aluvial suelto a medianamente compacto
2	553	8	Aluvial compacto
Semi-espacio	991	-	Aluvial muy compacto

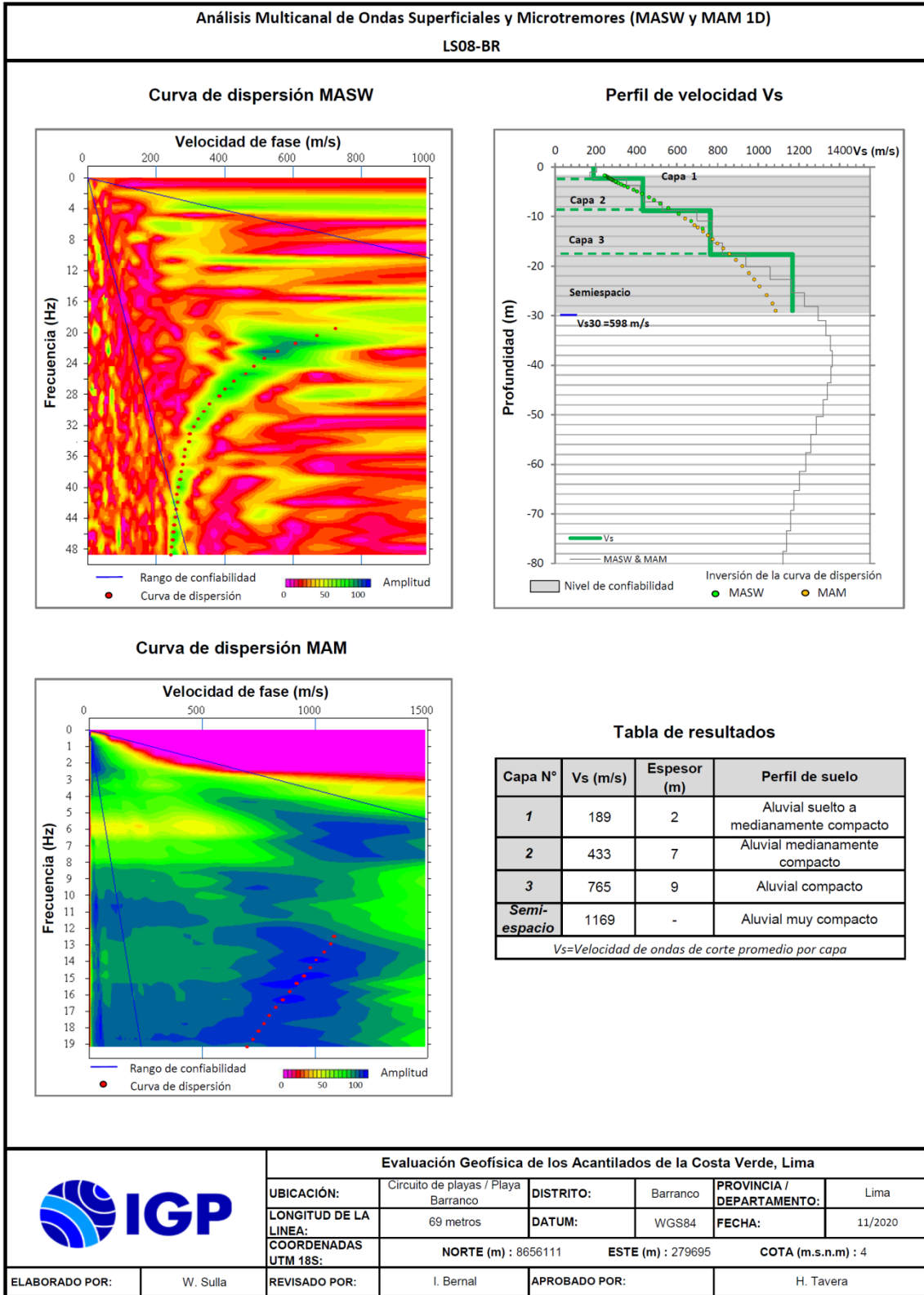
Vs=Velocidad de ondas de corte promedio por capa

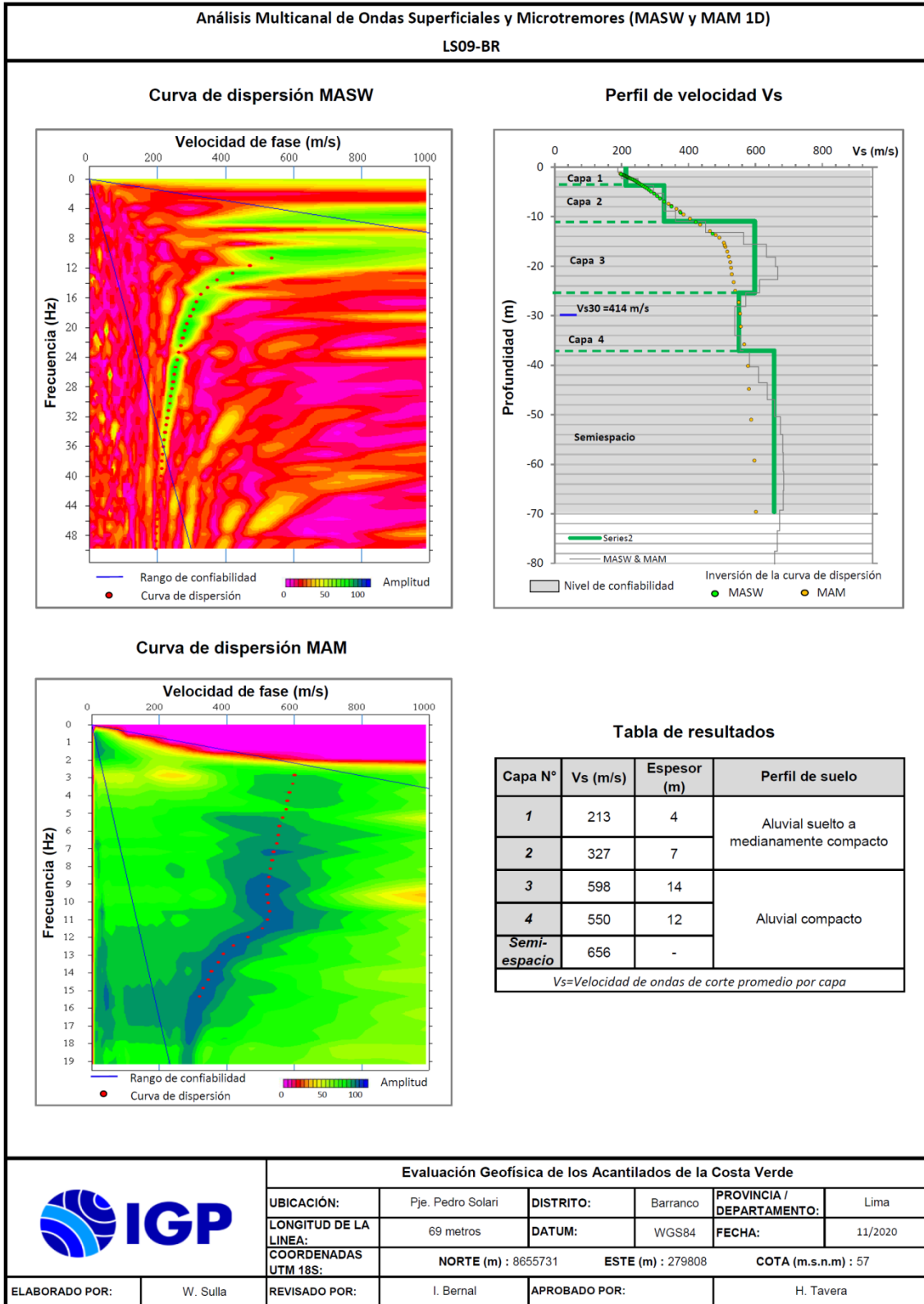
	Evaluación Geofísica de los Acanuilados de la Costa Verde, Lima					
	UBICACIÓN:	Circuito de playas / playa Barranquito	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LINEA:	69 metros	DATUM:	WGS84	FECHA:	11/2020
	COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8656716	ESTE (m) : 279541	COTA (m.s.n.m) : 13		
ELABORADO POR:	W. Sullá	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera	

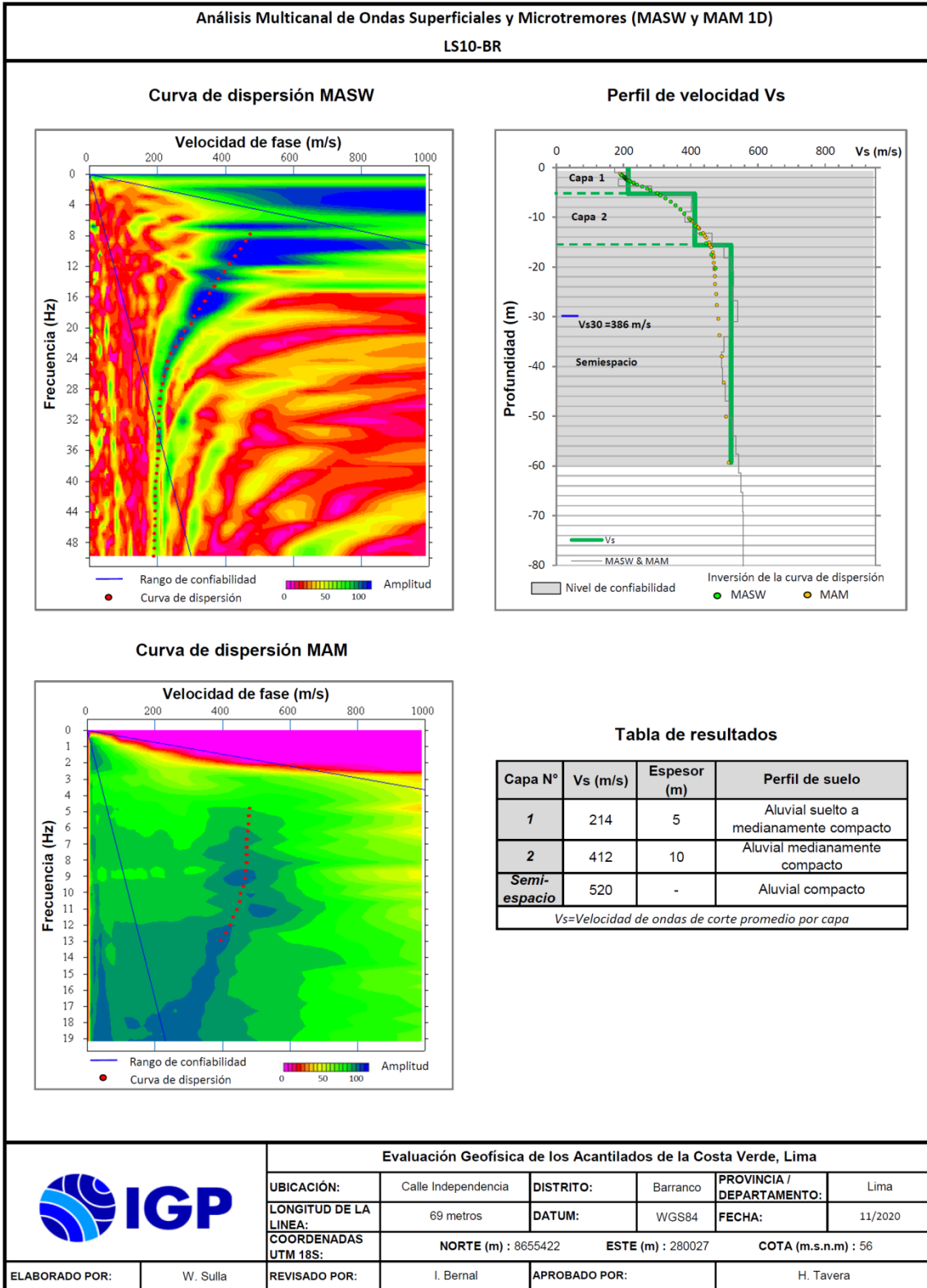








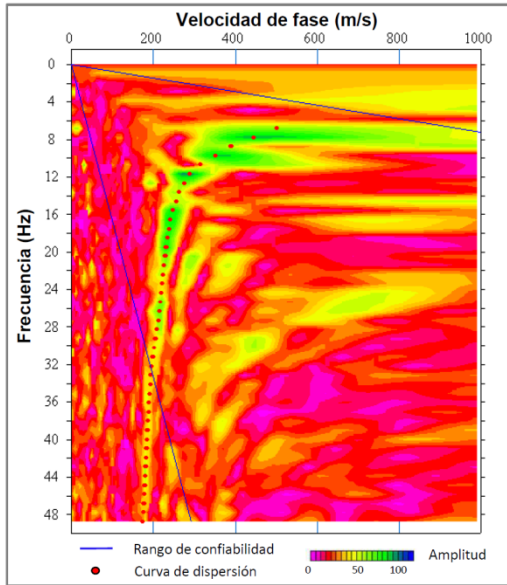




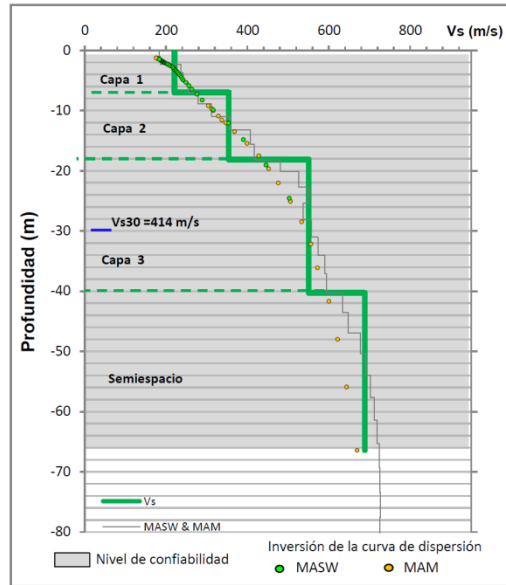
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y Microtremores (MASW y MAM 1D)

LS11-BR

Curva de dispersión MASW



Perfil de velocidad Vs



Curva de dispersión MAM

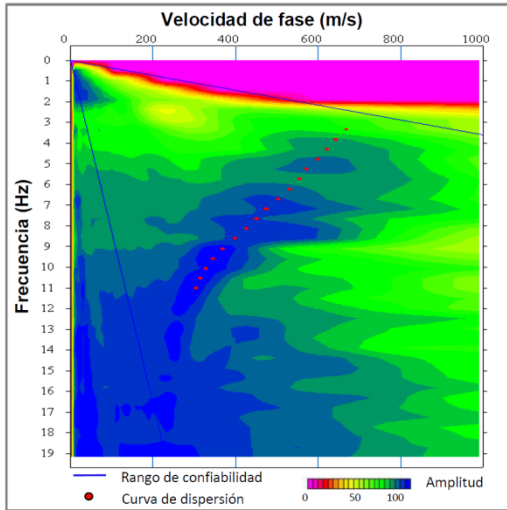



Tabla de resultados

Capa N°	Vs (m/s)	Espesor (m)	Perfil de suelo
1	221	7	Aluvial suelto a medianamente compacto
2	354	11	Aluvial medianamente compacto
3	551	22	Aluvial compacto
Semi-espacio	689	-	

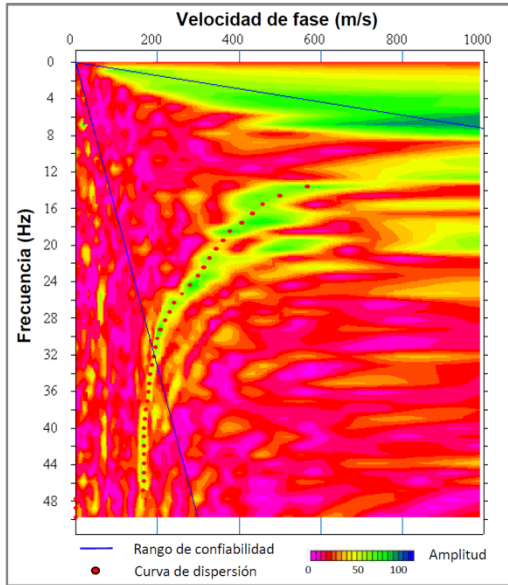
Vs=Velocidad de ondas de corte promedio por capa

		Evaluación Geofísica de los Acanuilados de la Costa Verde, Lima				
		UBICACIÓN:	Malecón Pedro de Osma	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:
ELABORADO POR:		W. Sullá	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera
LONGITUD DE LA LINEA:		69 metros	DATUM:	WGS84	FECHA:	11/2020
COORDENADAS UTM 18S:		NORTE (m) : 8655317	ESTE (m) : 279705	COTA (m.s.n.m) : 41		

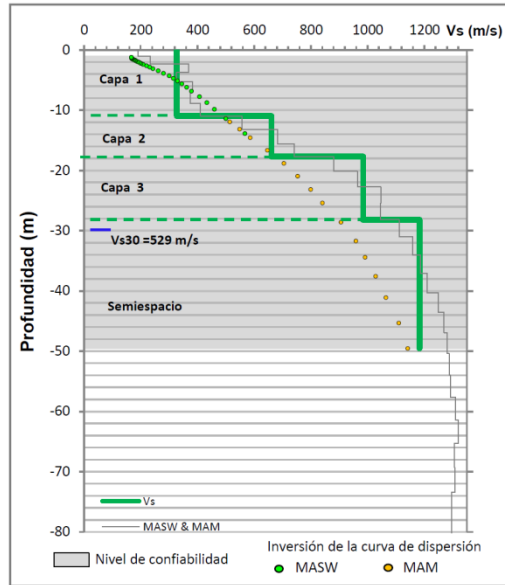
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y Microtremores (MASW y MAM 1D)

LS12-BR

Curva de dispersión MASW



Perfil de velocidad Vs



Curva de dispersión MAM

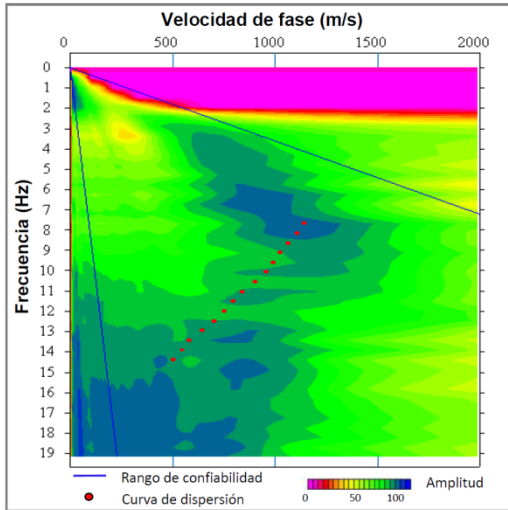


Tabla de resultados

Capa N°	Vs (m/s)	Espesor (m)	Perfil de suelo
1	327	11	Aluvial suelto a medianamente compacto
2	661	7	Aluvial compacto
3	984	10	Aluvial muy compacto
Semi-espacio	1183	-	

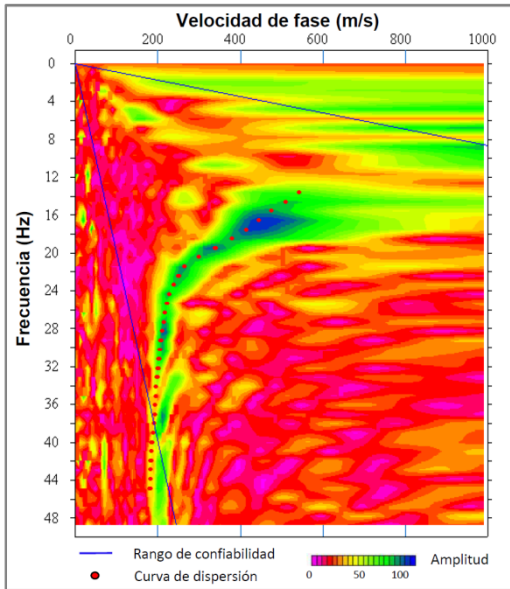
Vs=Velocidad de ondas de corte promedio por capa

Evaluación Geofísica de los Acanilados de la Costa Verde, Lima						
	UBICACIÓN:	Circuito de playas / Playa Las Sombrillas	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LINEA:	69 metros	DATUM:	WGS84	FECHA:	11/2020
	COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8655373	ESTE (m) : 279612	COTA (m.s.n.m) : 2		
ELABORADO POR:	W. Sullá	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera	

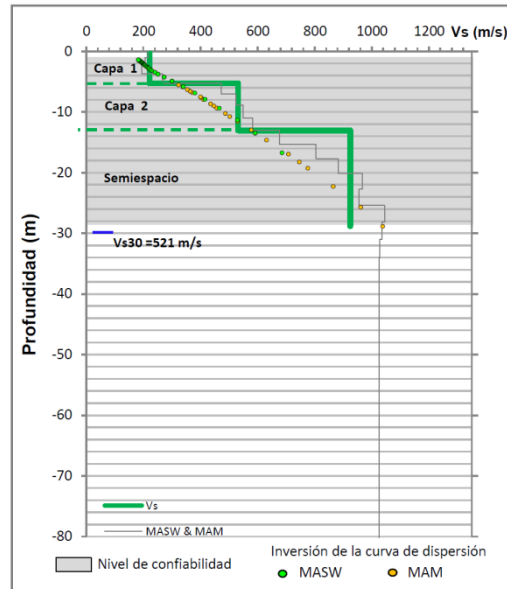
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y Microtremores (MASW y MAM 1D)

LS13-BR

Curva de dispersión MASW



Perfil de velocidad Vs



Curva de dispersión MAM

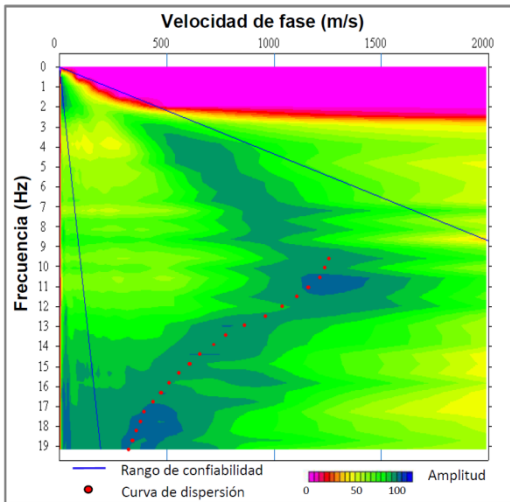

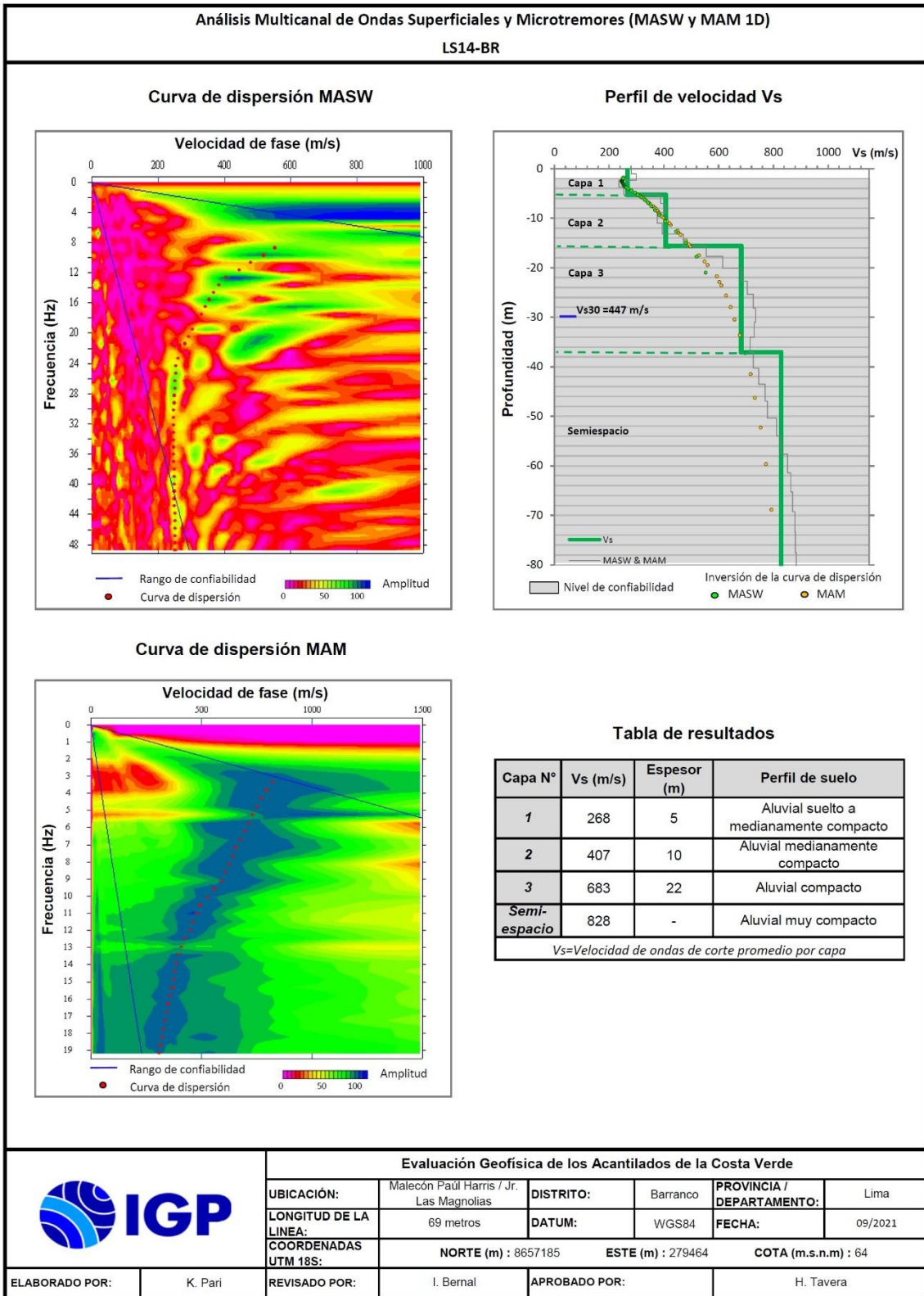


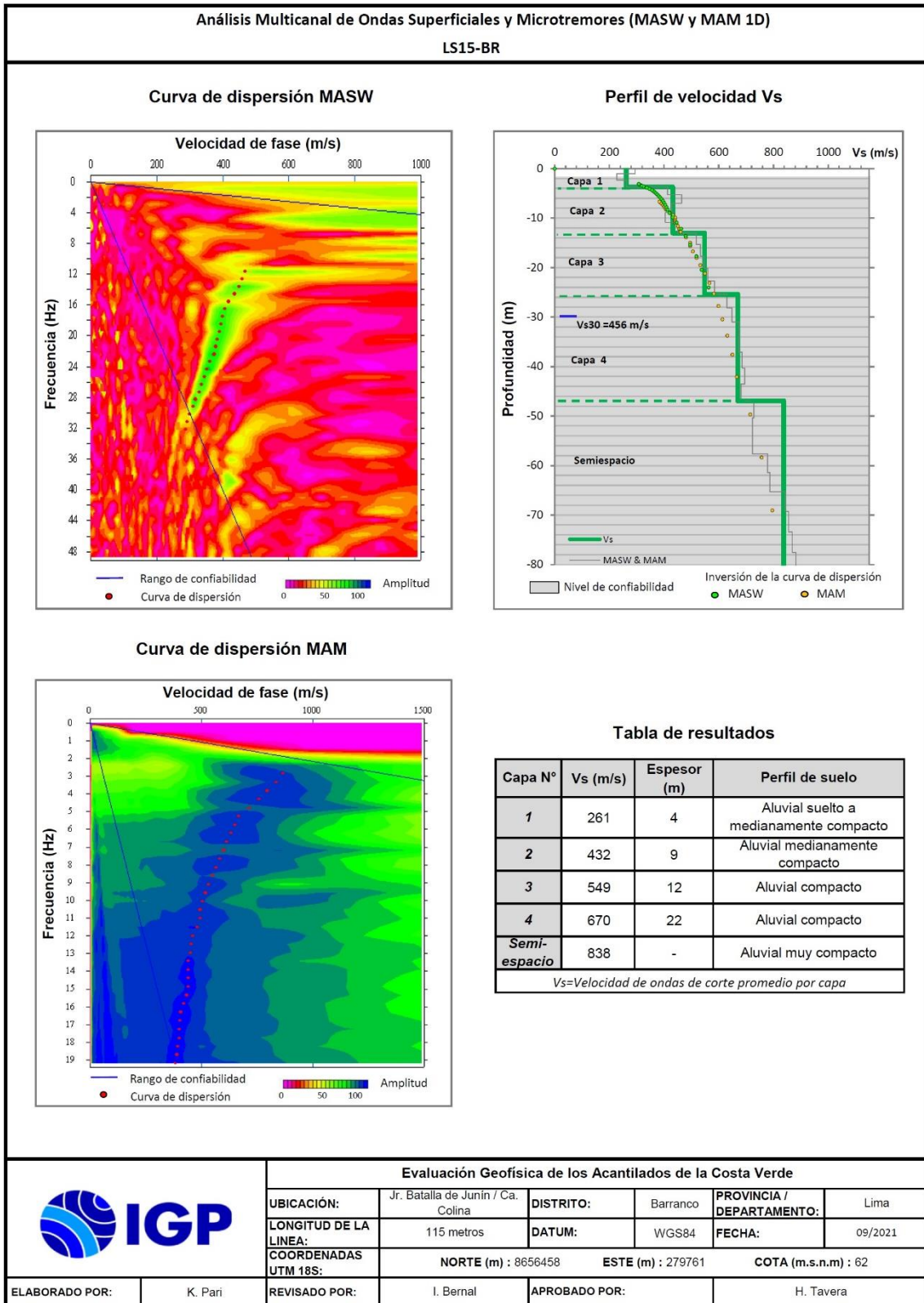
Tabla de resultados

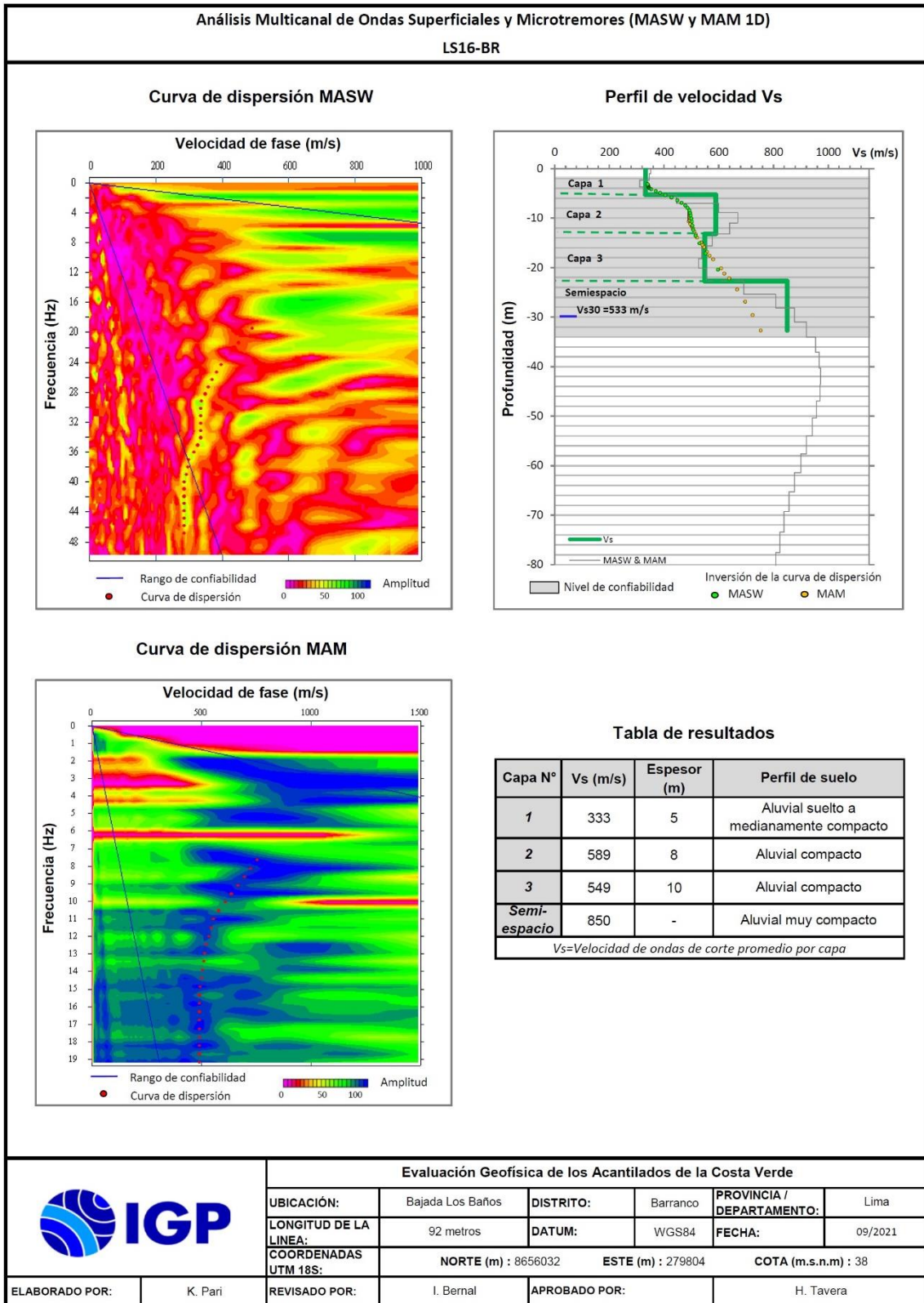
Capa N°	Vs (m/s)	Espesor (m)	Perfil de suelo
1	221	5	Aluvial suelto a medianamente compacto
2	532	8	Aluvial compacto
Semi-espacio	924	-	Aluvial muy compacto

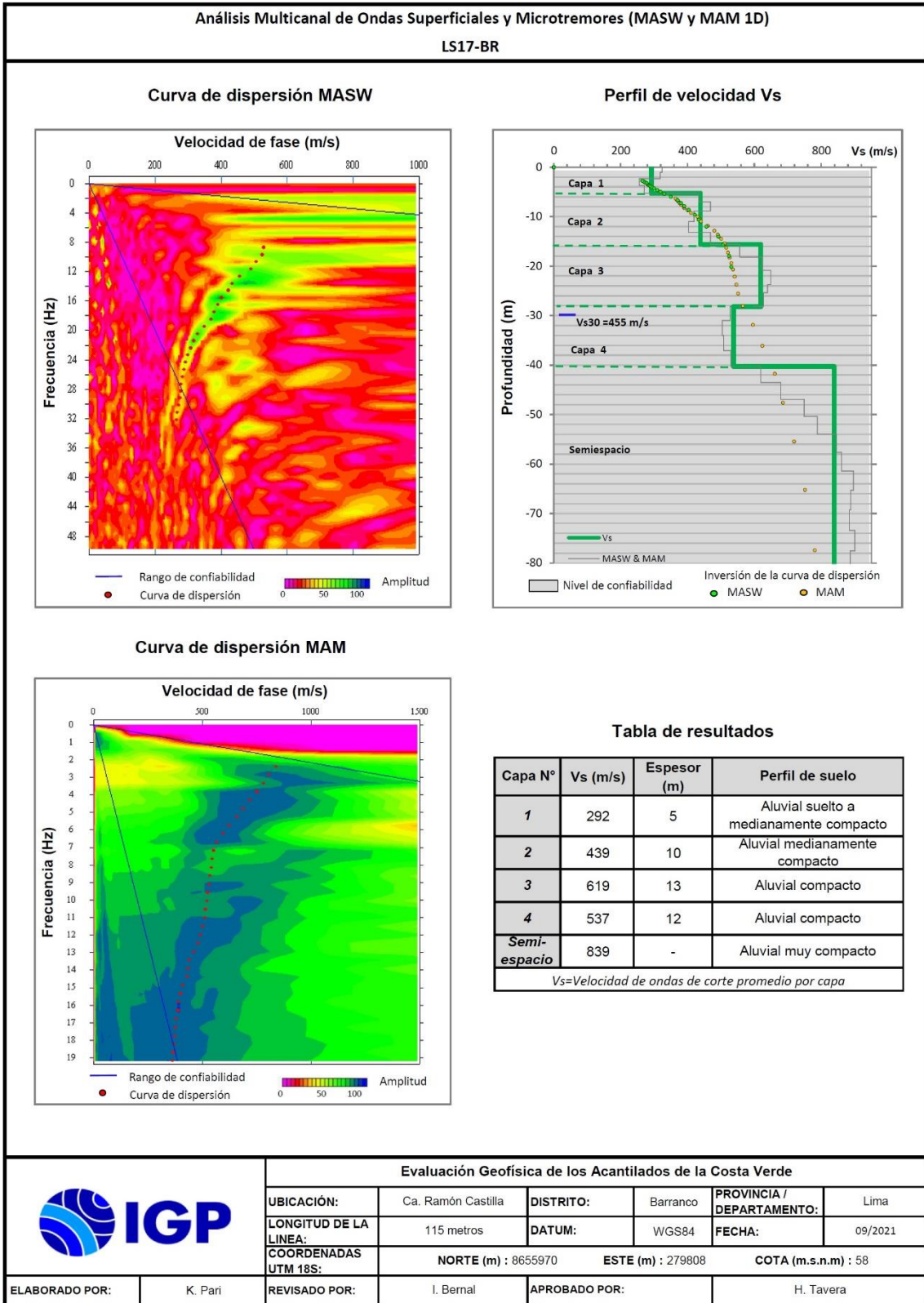
Vs=Velocidad de ondas de corte promedio por capa

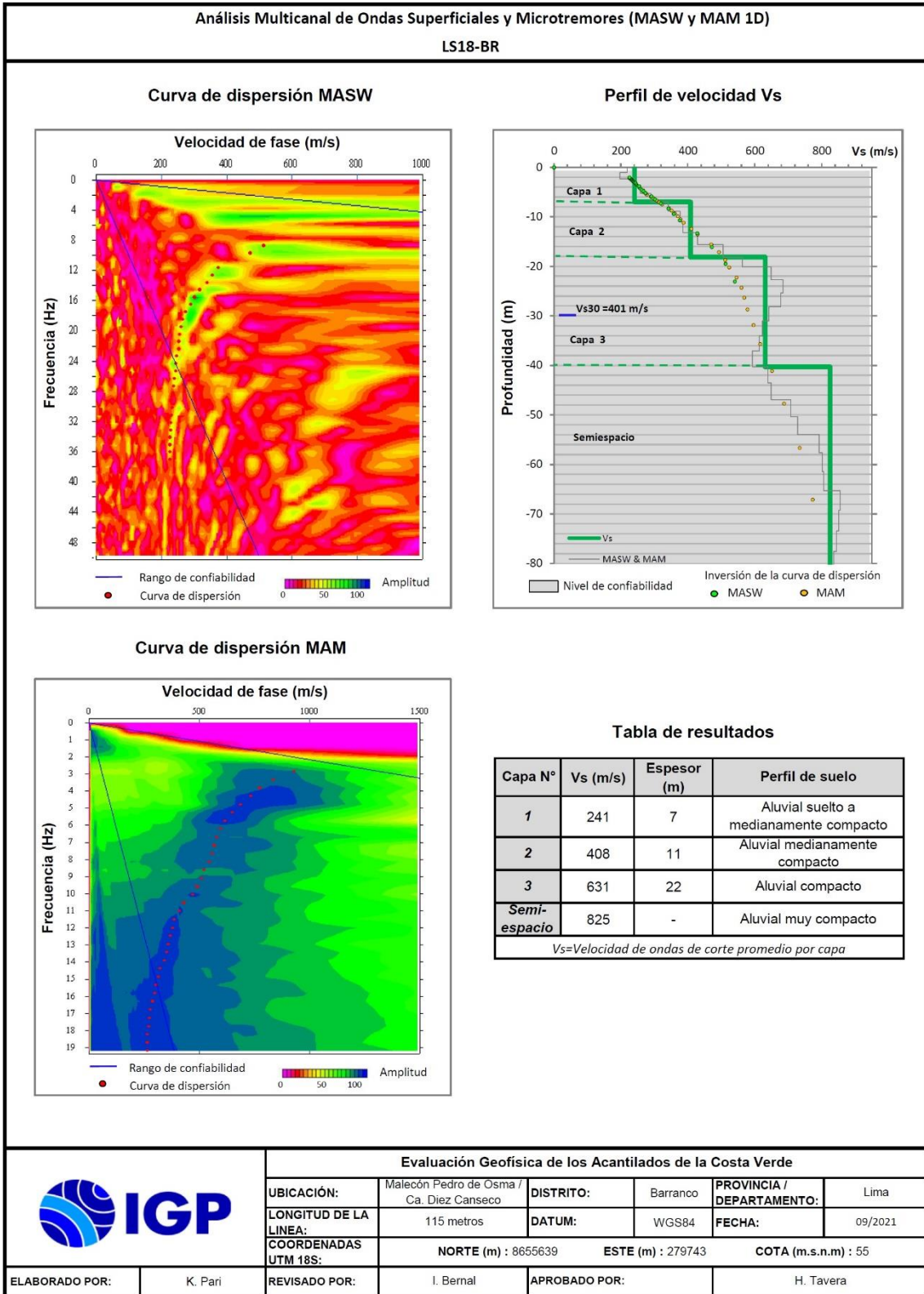
	Evaluación Geofísica de los Acanilados de la Costa Verde, Lima					
	UBICACIÓN:	Circuito de playas / Playa Las Cascadas	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LINEA:	69 metros	DATUM:	WGS84	FECHA:	11/2020
	COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8657150	ESTE (m) : 279265	COTA (m.s.n.m) : 5		
	ELABORADO POR:	W. Sullá	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera











ANEXO III

Tablas con parámetros sísmicos

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS01-BR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	342	515	4
2	490	1044	9
3	707	1750	34
Semi-espacio	850	2000	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS02-BR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	237	403	5
2	486	863	10
3	633	1555	22
Semi-espacio	763	1807	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS03-BR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	227	431	4
2	333	756	9
3	610	1445	27
Semi-espacio	838	1989	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS04-BR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	248	1190	7
2	553	2167	8
Semi-espacio	991	2203	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS05-BR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	223	332	4
2	408	559	7
3	626	1370	17
4	737	1575	22
Semi-espacio	825	1804	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS06-BR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	219	430	4
2	372	700	9
3	535	1316	12
Semi-espacio	761	1500	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS07-BR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	198	435	4
2	332	753	7
3	445	960	7
4	650	1397	26
Semi-espacio	797	1703	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS08-BR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	189	392	2
2	433	594	7
3	765	1794	9
Semi-espacio	1169	1978	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS09-BR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	213	321	4
2	327	528	7
3	598	1112	14
4	550	1420	12
Semi-espacio	656	1776	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS10-BR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	214	596	5
2	412	929	10
Semi-espacio	520	1465	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS11-BR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	221	436	7
2	354	688	11
3	551	1217	22
Semi-espacio	689	1827	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS12-BR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	327	699	11
2	661	1793	7
3	984	2500	10
Semi-espacio	1183	3055	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS13-BR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	221	729	5
2	532	2222	8
Semi-espacio	924	2912	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS14-BR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	268	369	5
2	407	634	10
3	683	1123	22
Semi-espacio	828	1904	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS15-BR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	261	506	4
2	432	976	9
3	549	1745	12
4	670	1401	22
Semi-espacio	838	1838	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS16-BR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	333	556	5
2	589	772	8
3	549	1091	10
Semi-espacio	850	1766	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS17-BR.

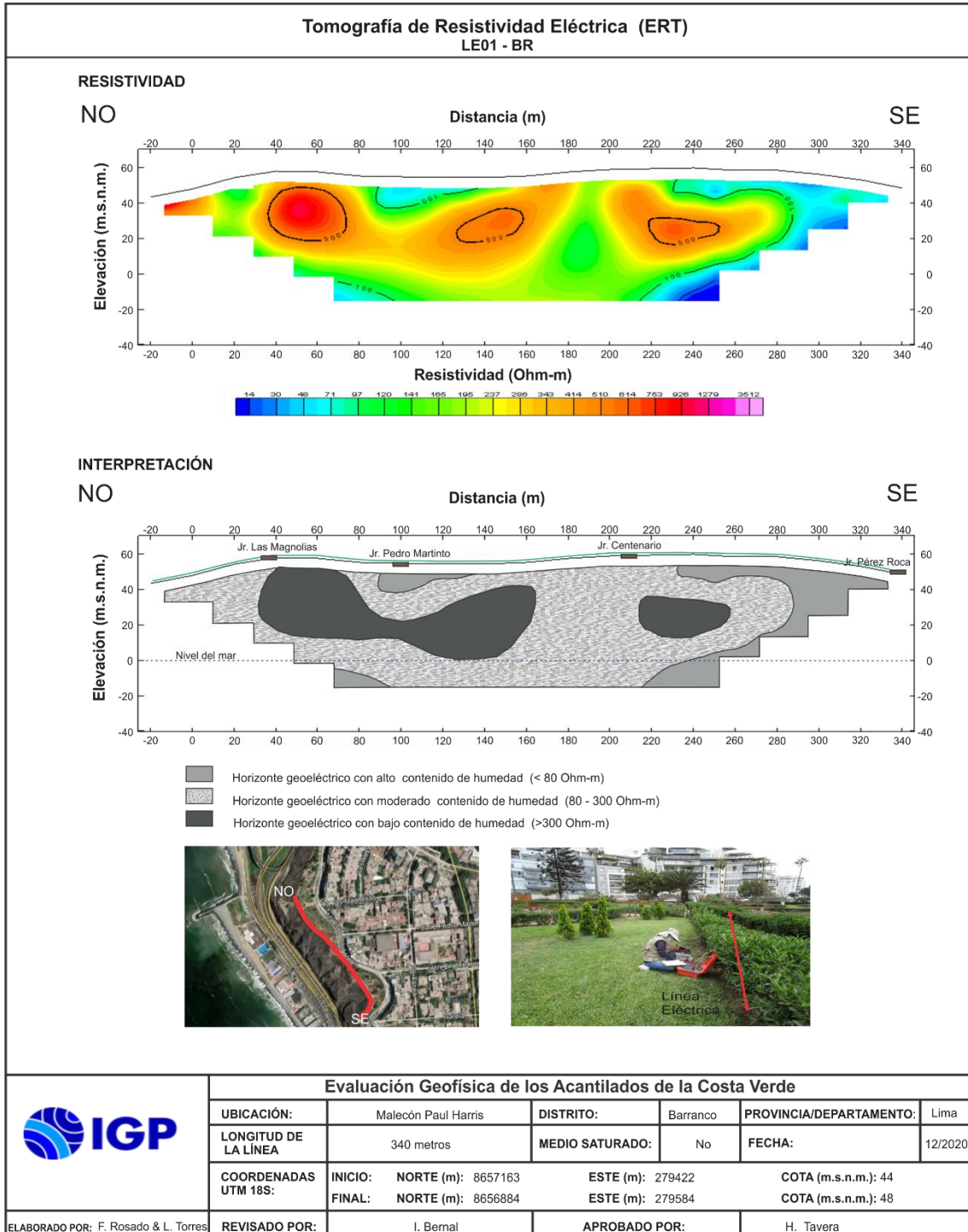
Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	292	473	5
2	439	858	10
3	619	1333	13
4	537	1607	12
Semi-espacio	839	2407	-

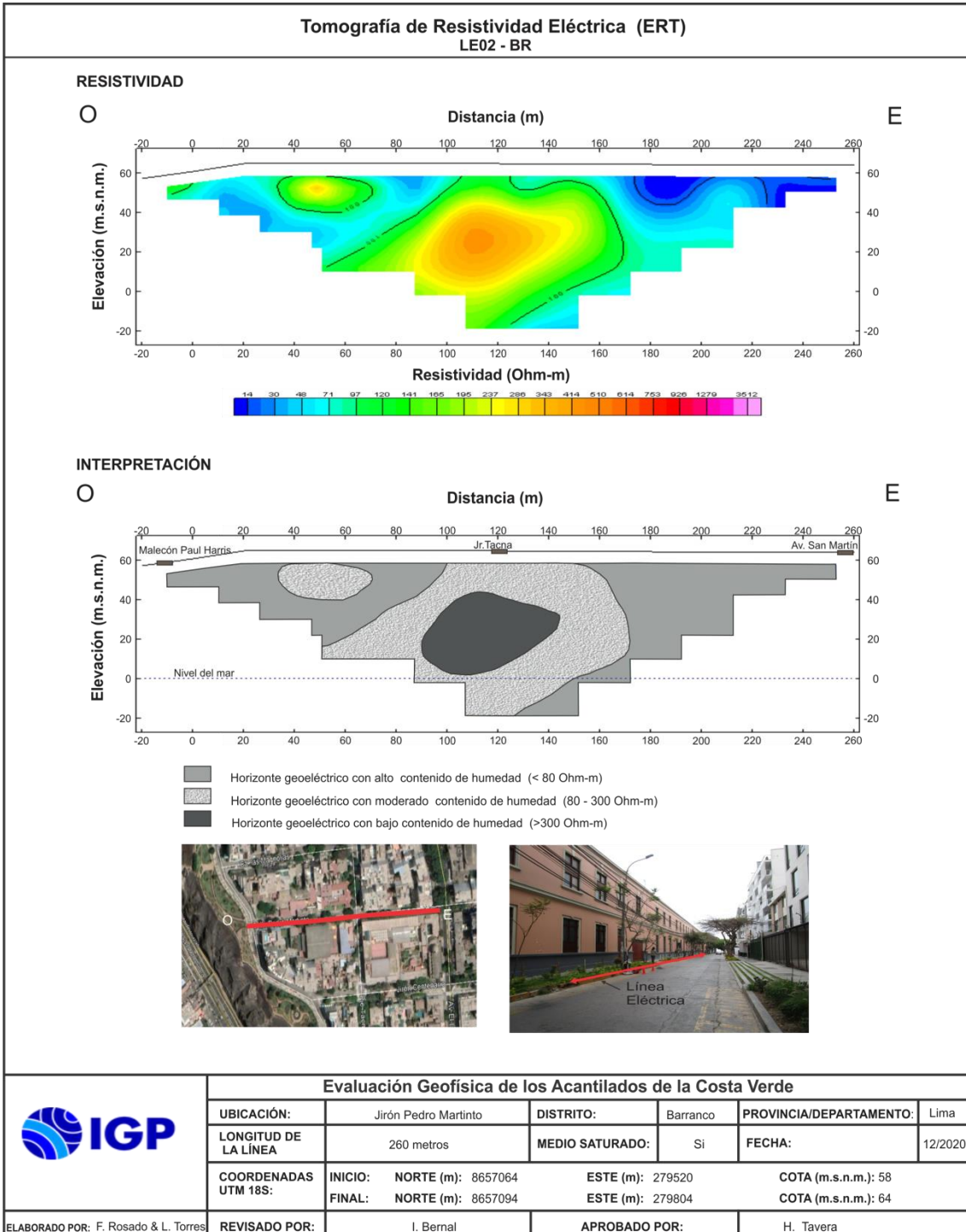
Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS18-BR.

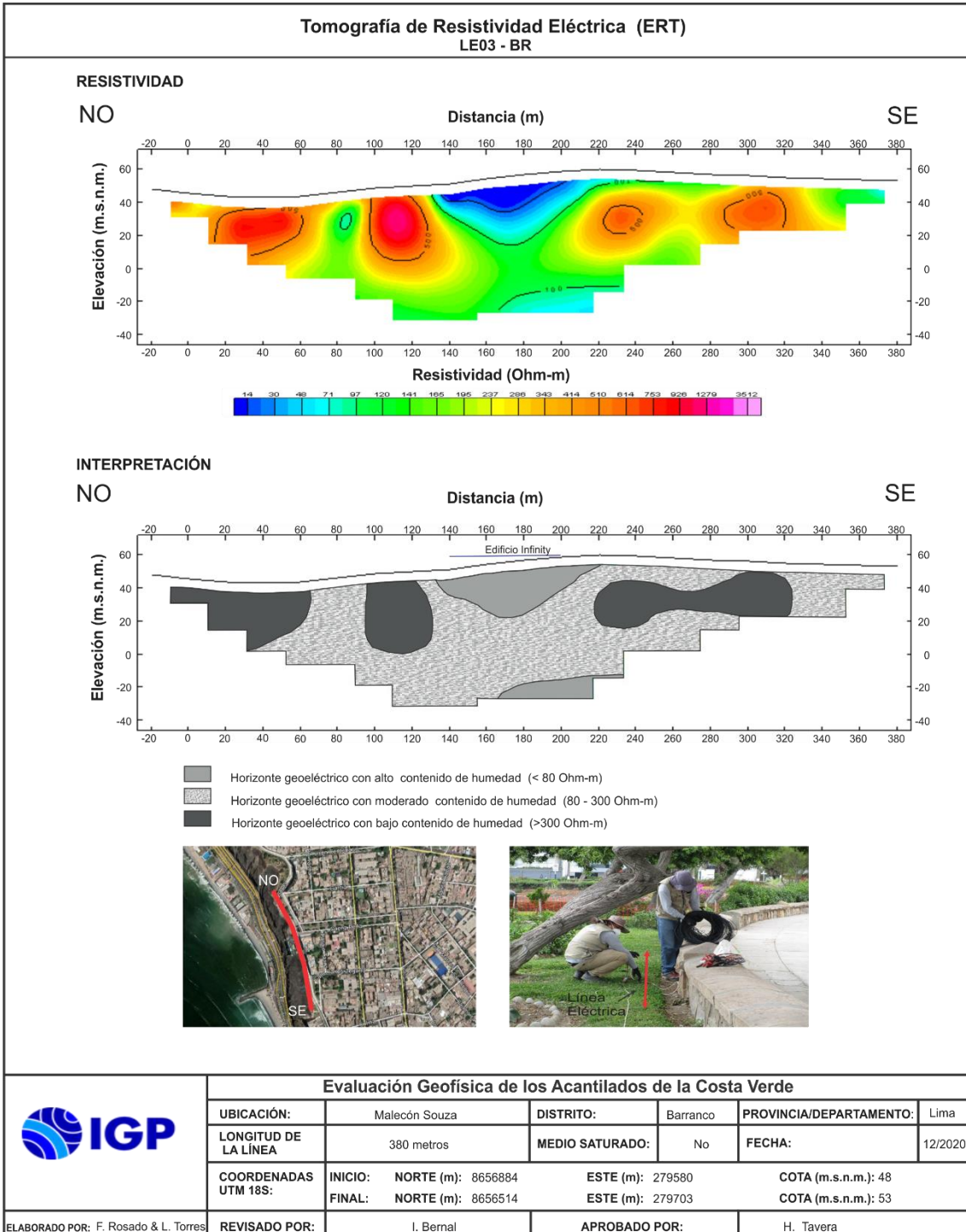
Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	241	393	7
2	408	732	11
3	631	1116	22
Semi-espacio	825	1445	-

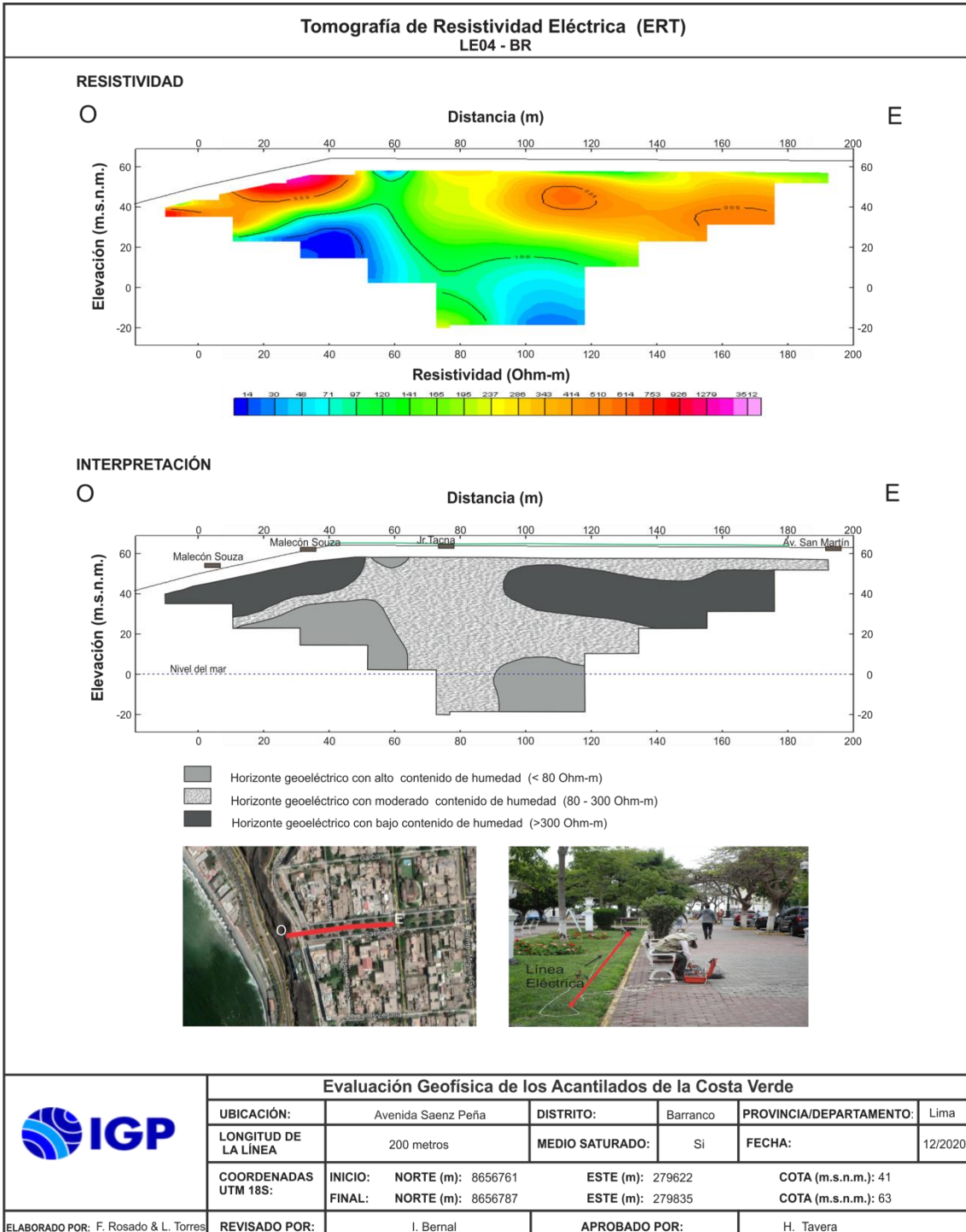
ANEXO IV

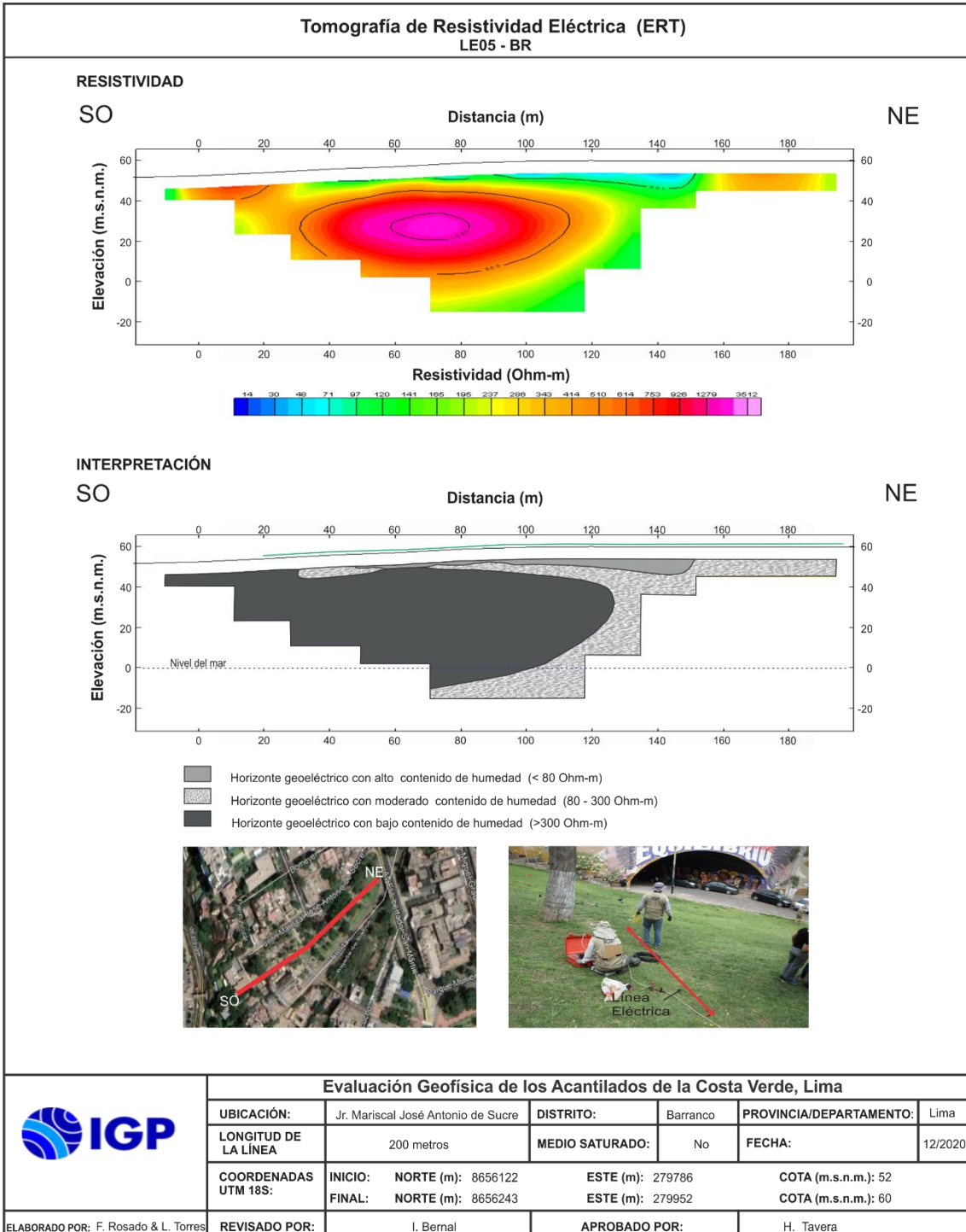
Secciones geoeléctricas

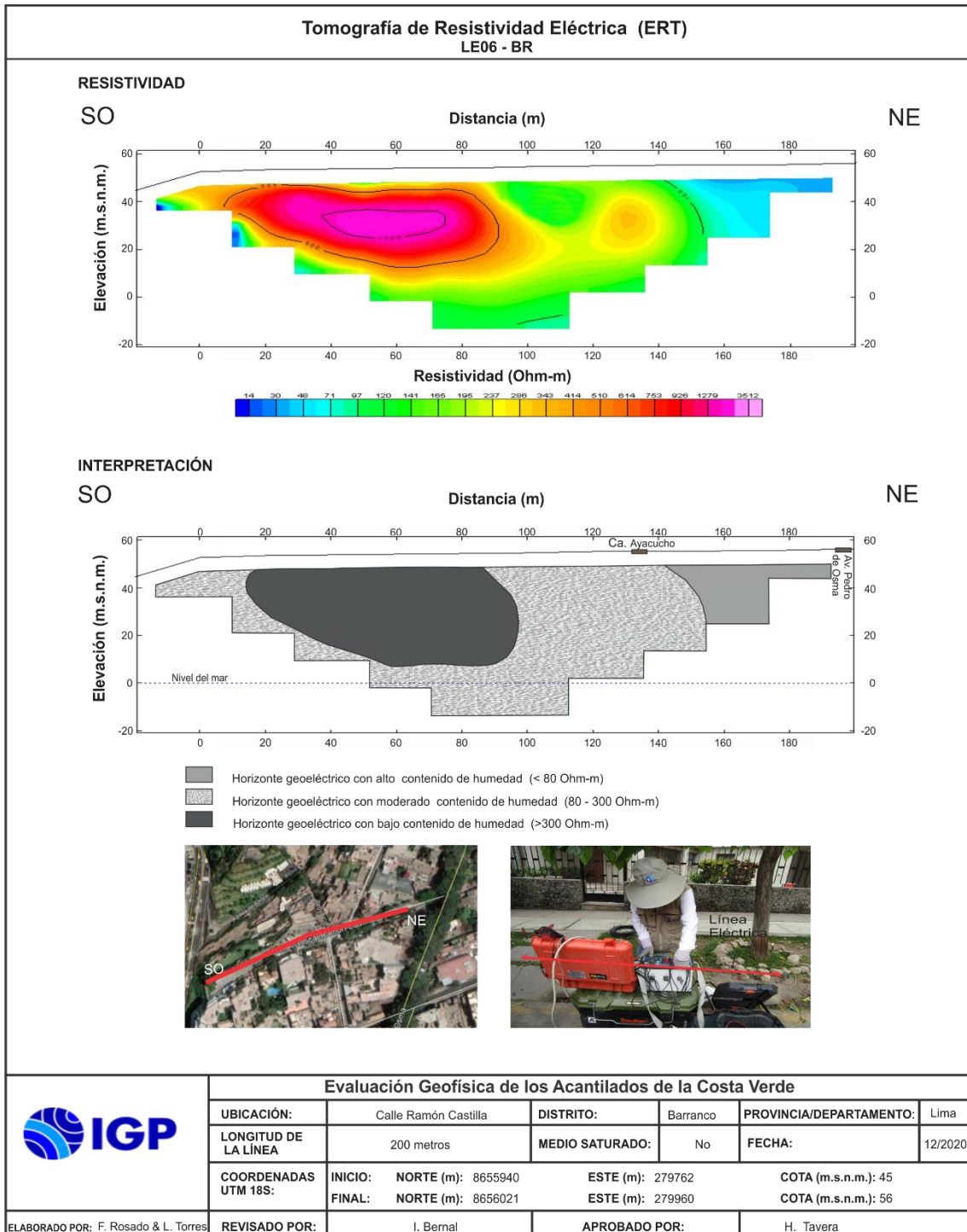


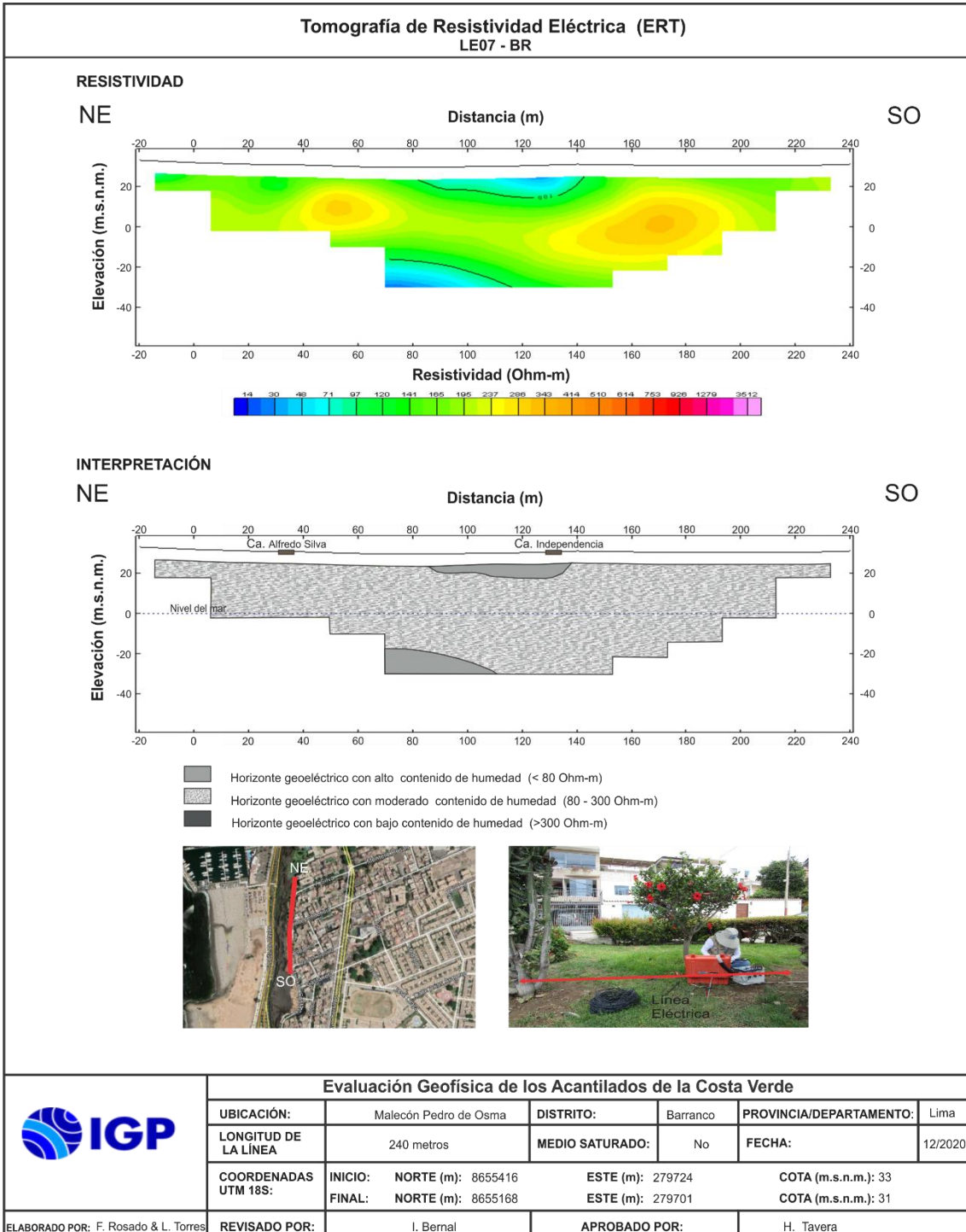


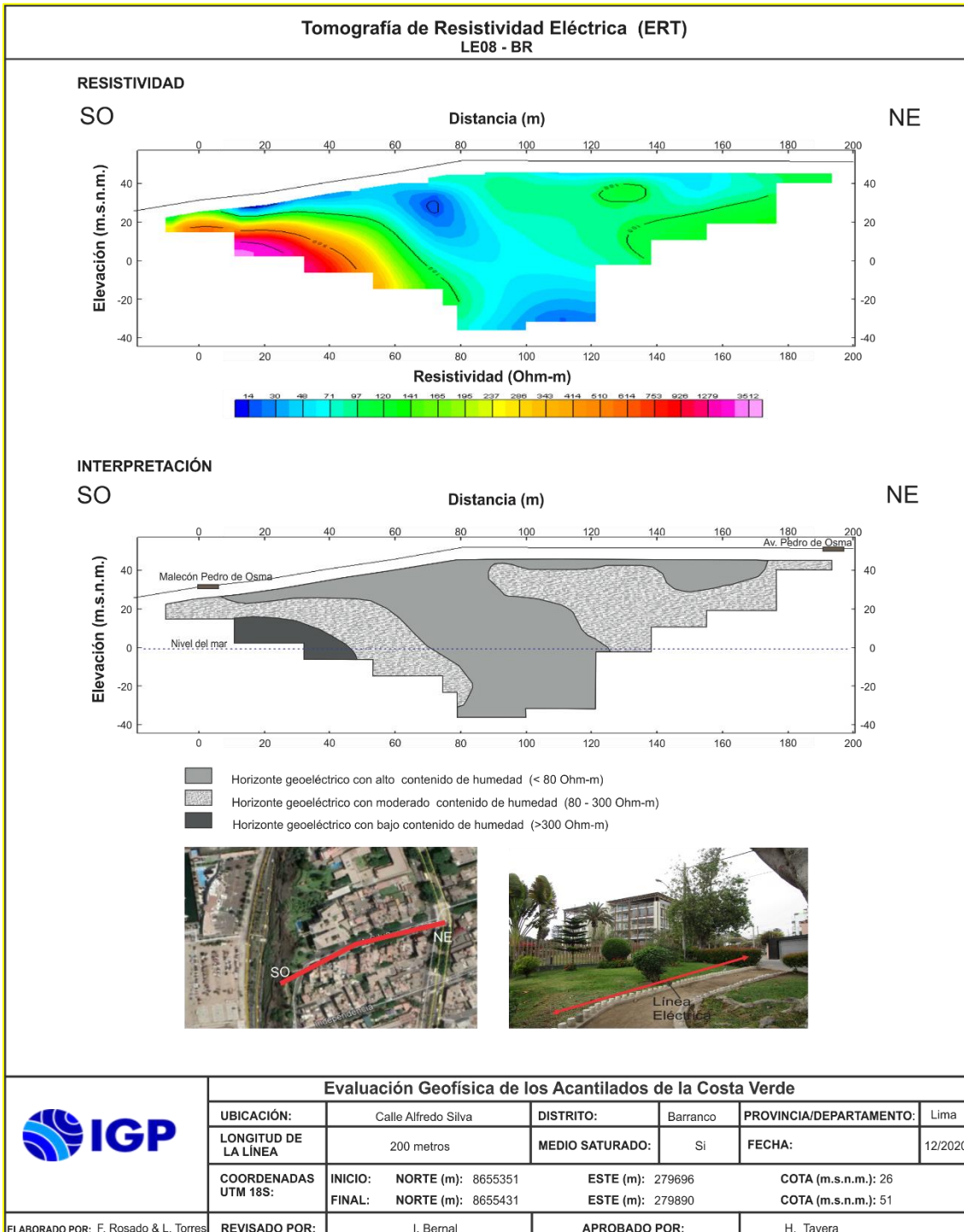


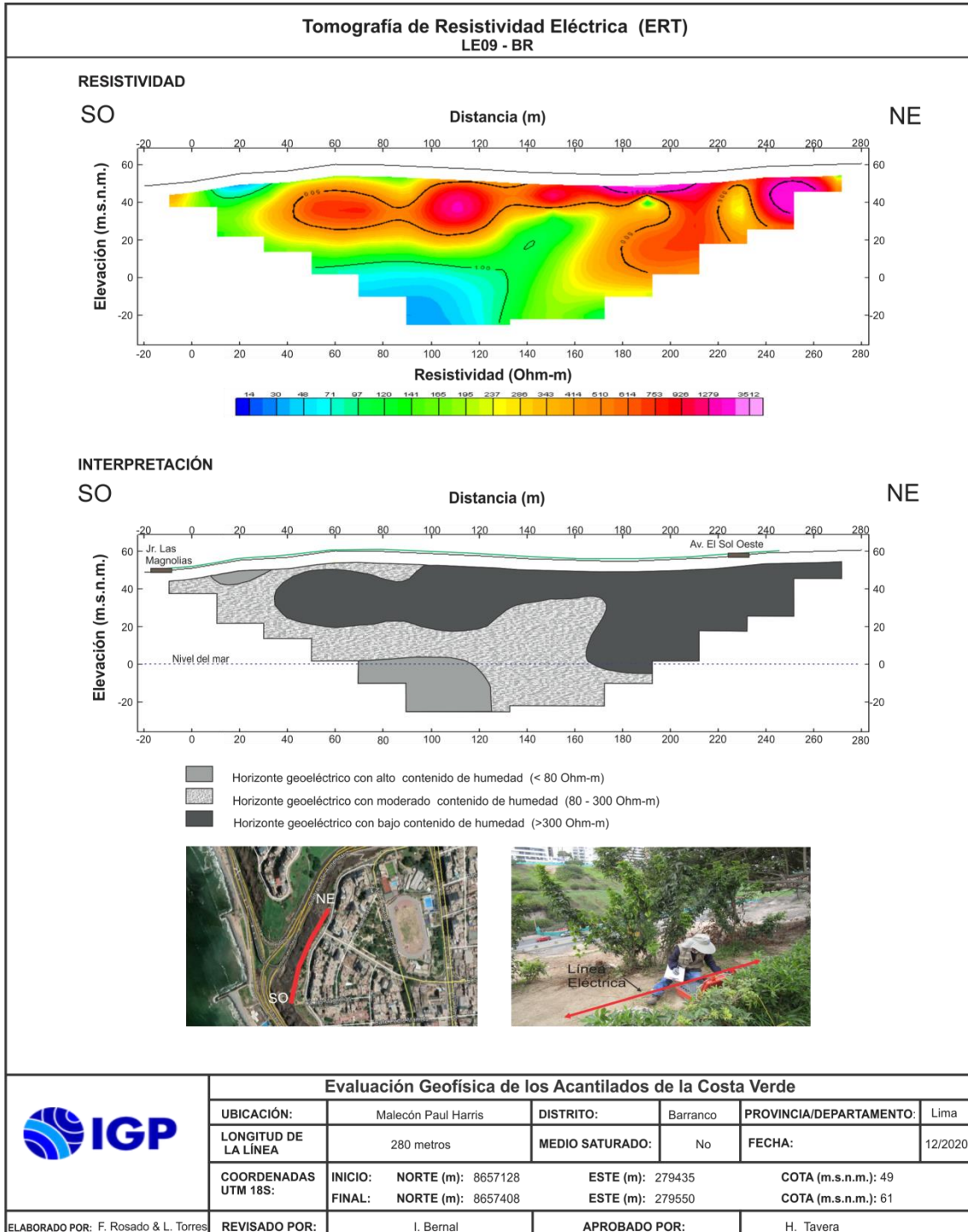


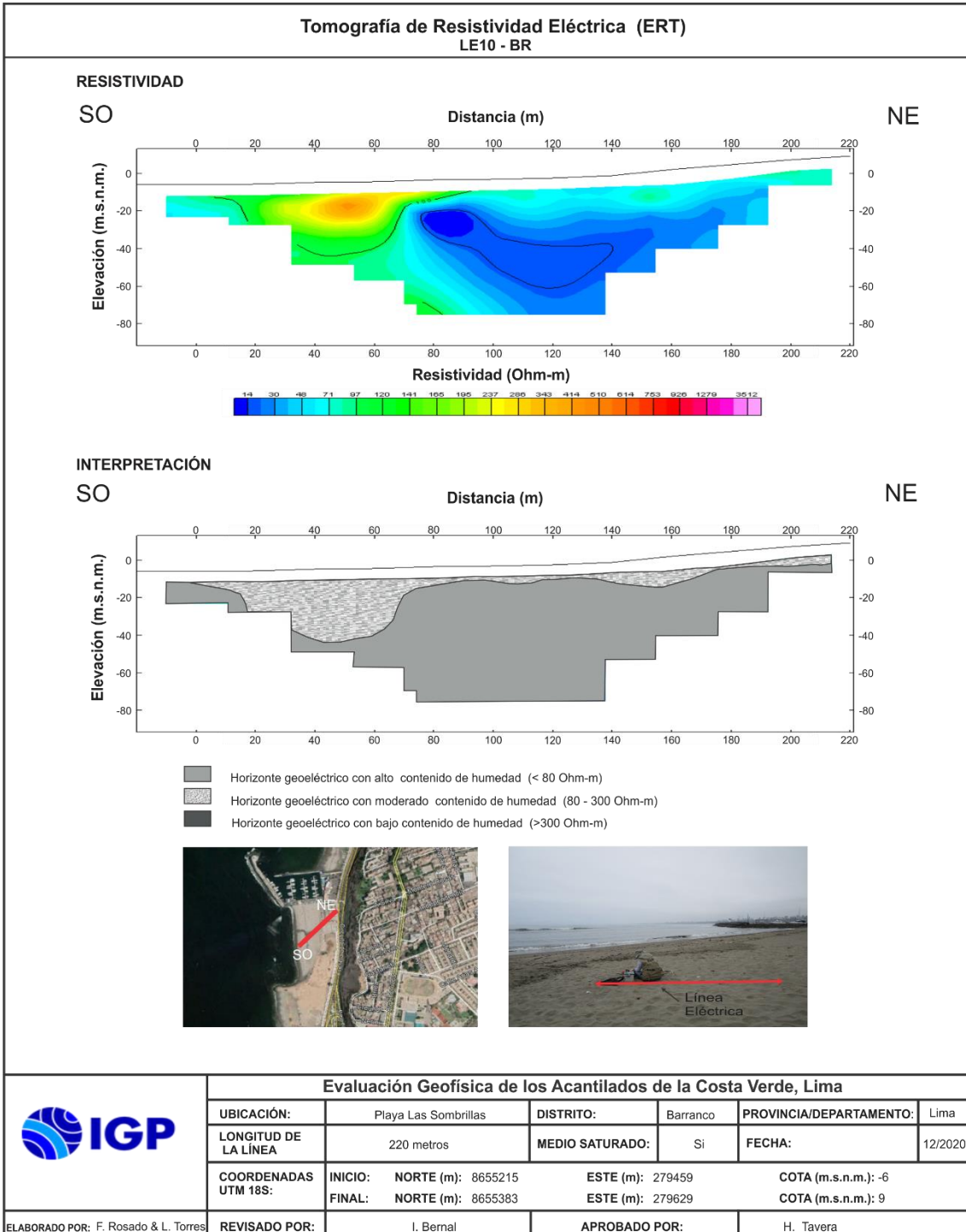


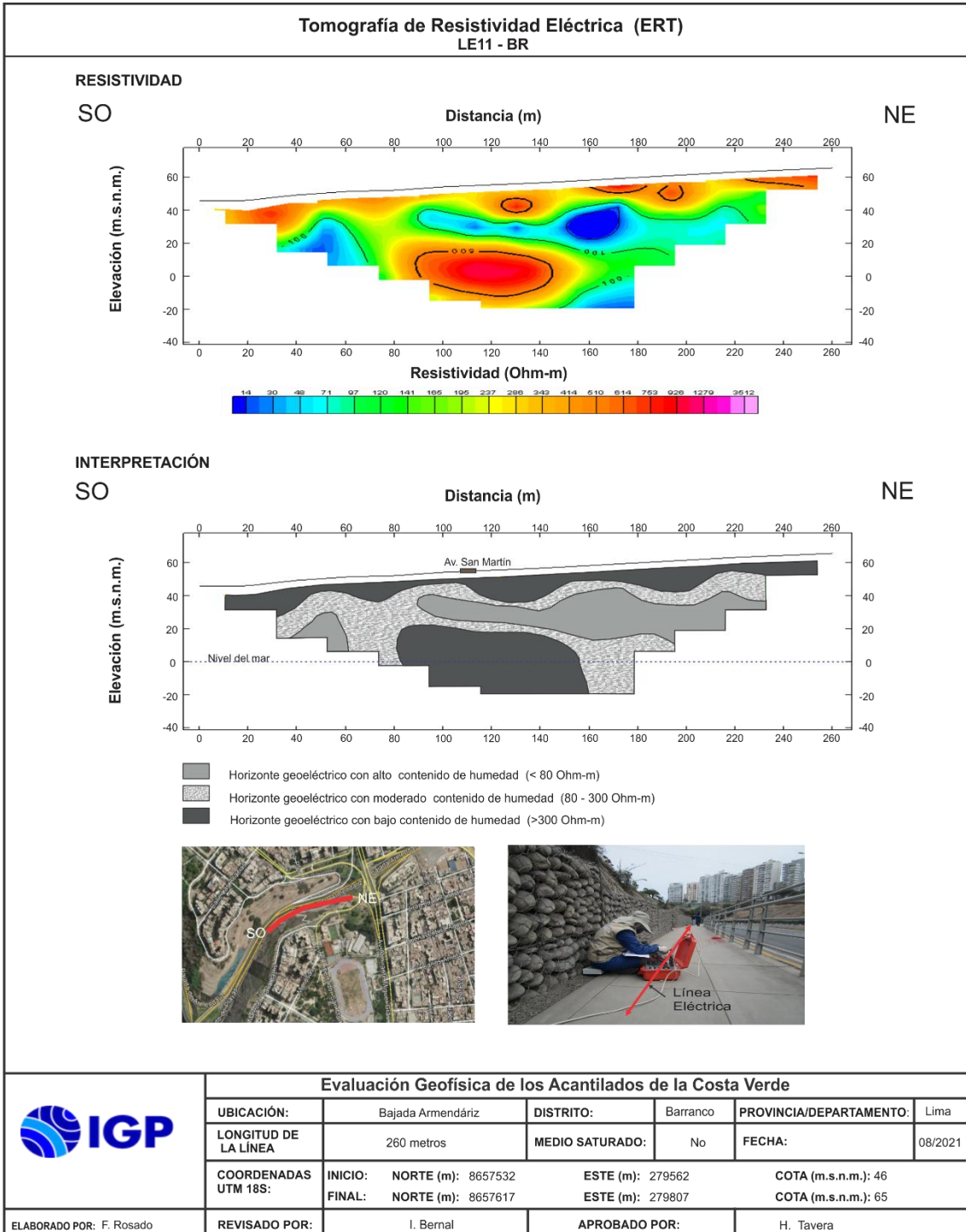


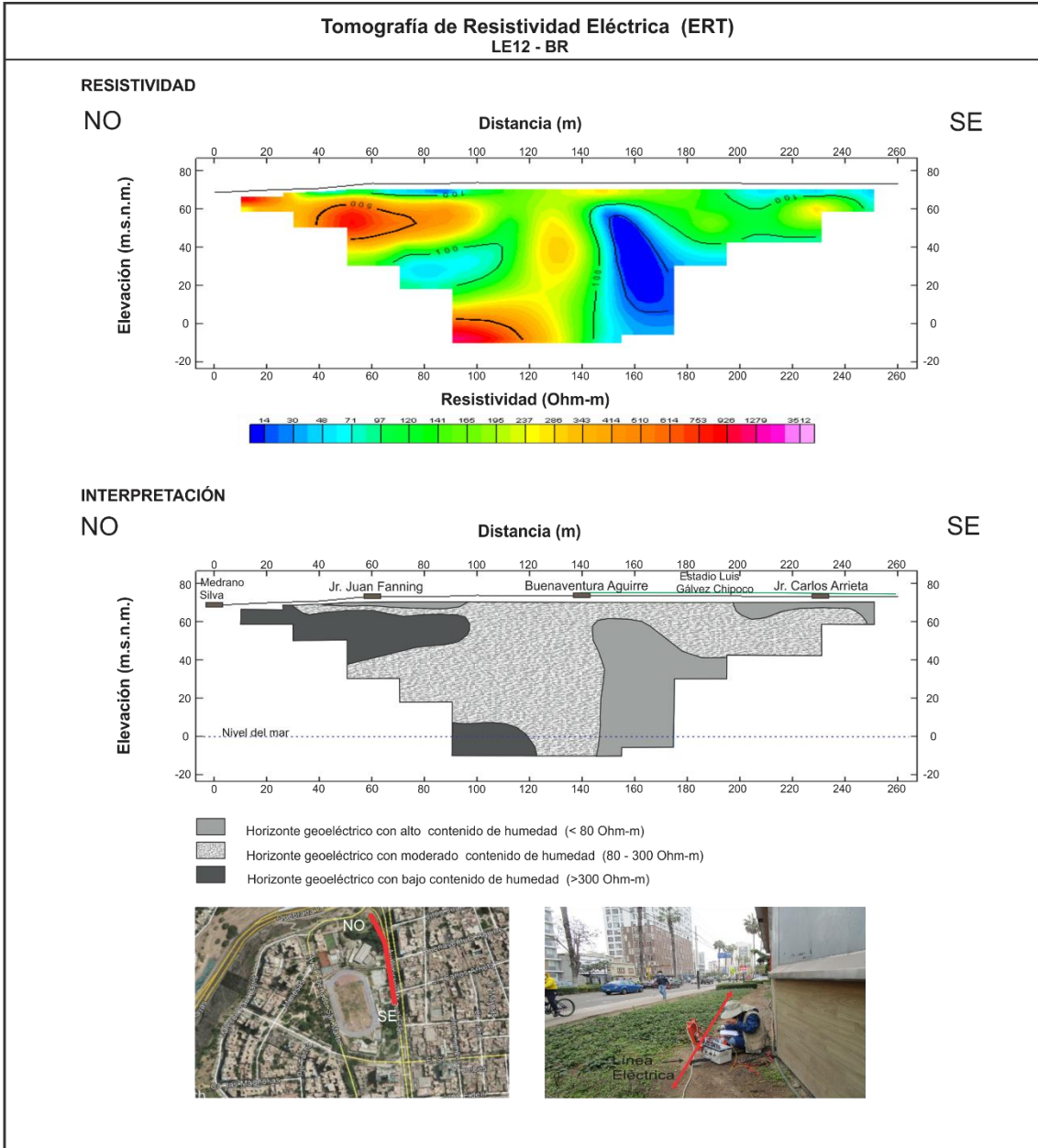





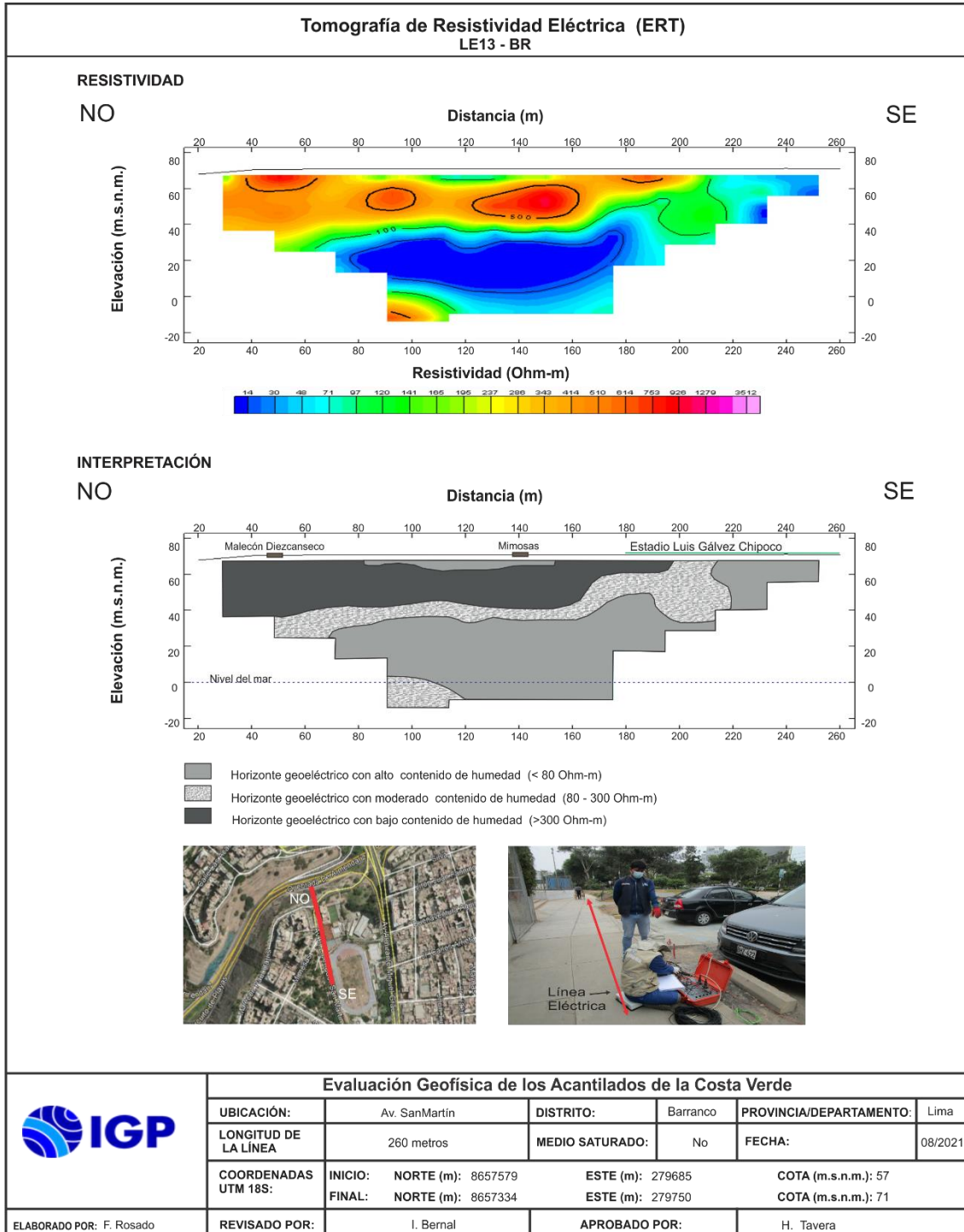


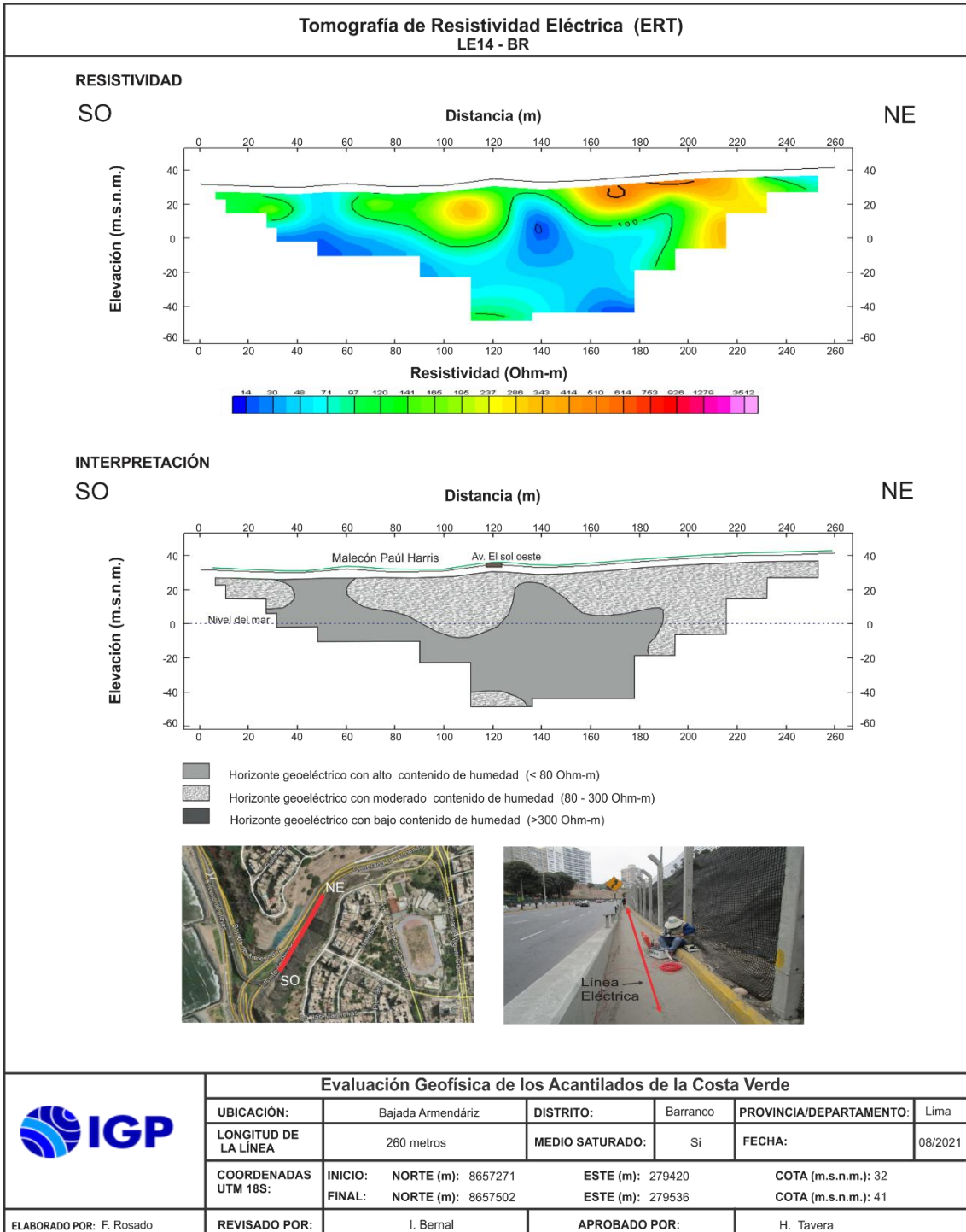


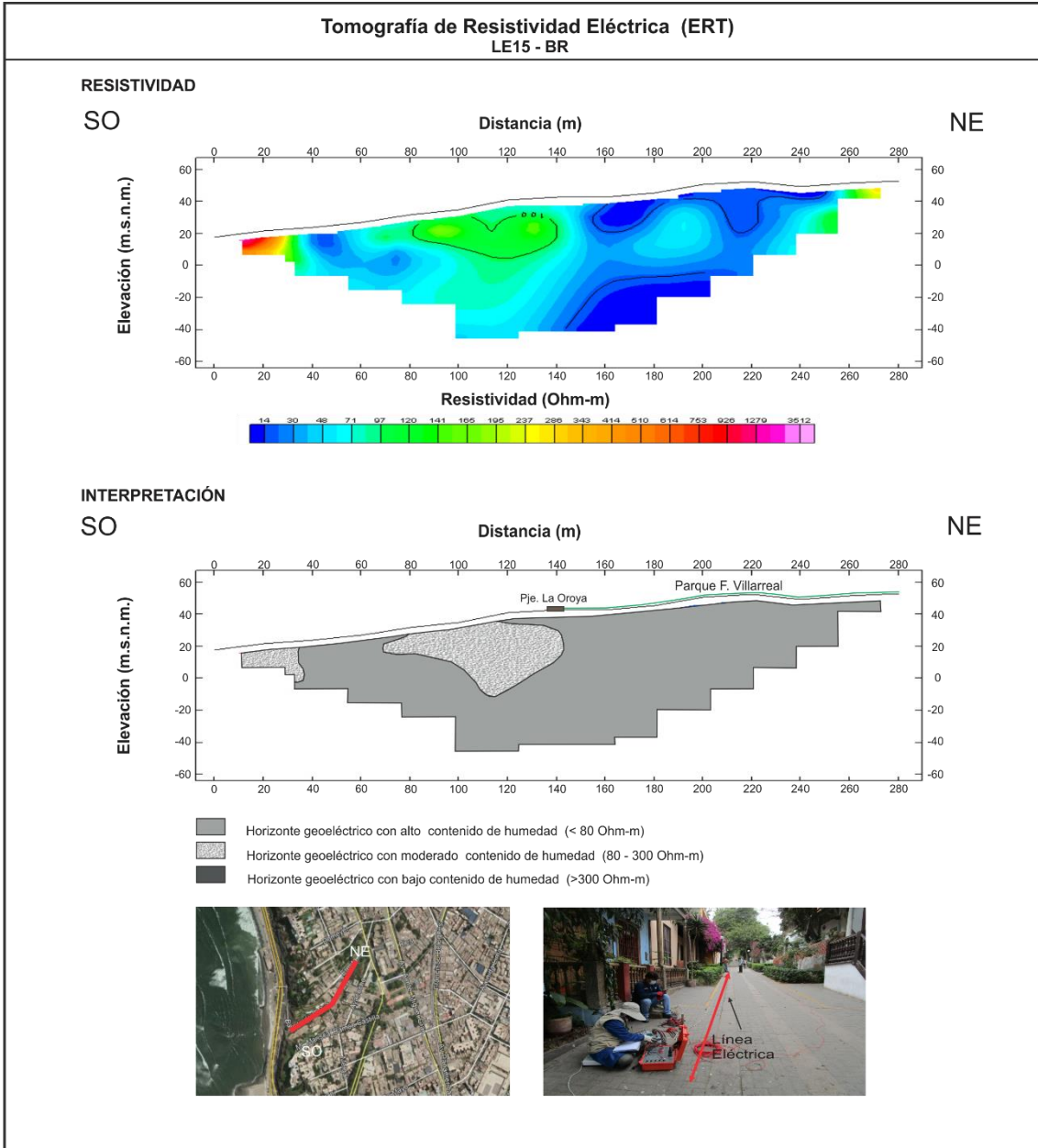




Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde					
	UBICACIÓN:	Av. Miguel Grau	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA/DEPARTAMENTO: Lima
	LONGITUD DE LA LÍNEA	260 metros	MEDIO SATURADO:	Si	FECHA: 08/2021
	COORDENADAS UTM 18S:	INICIO: NORTE (m): 8657602 FINAL: NORTE (m): 8657349	ESTE (m): 279831 ESTE (m): 279894	COTA (m.s.n.m.): 68 COTA (m.s.n.m.): 73	
ELABORADO POR: F. Rosado	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera	



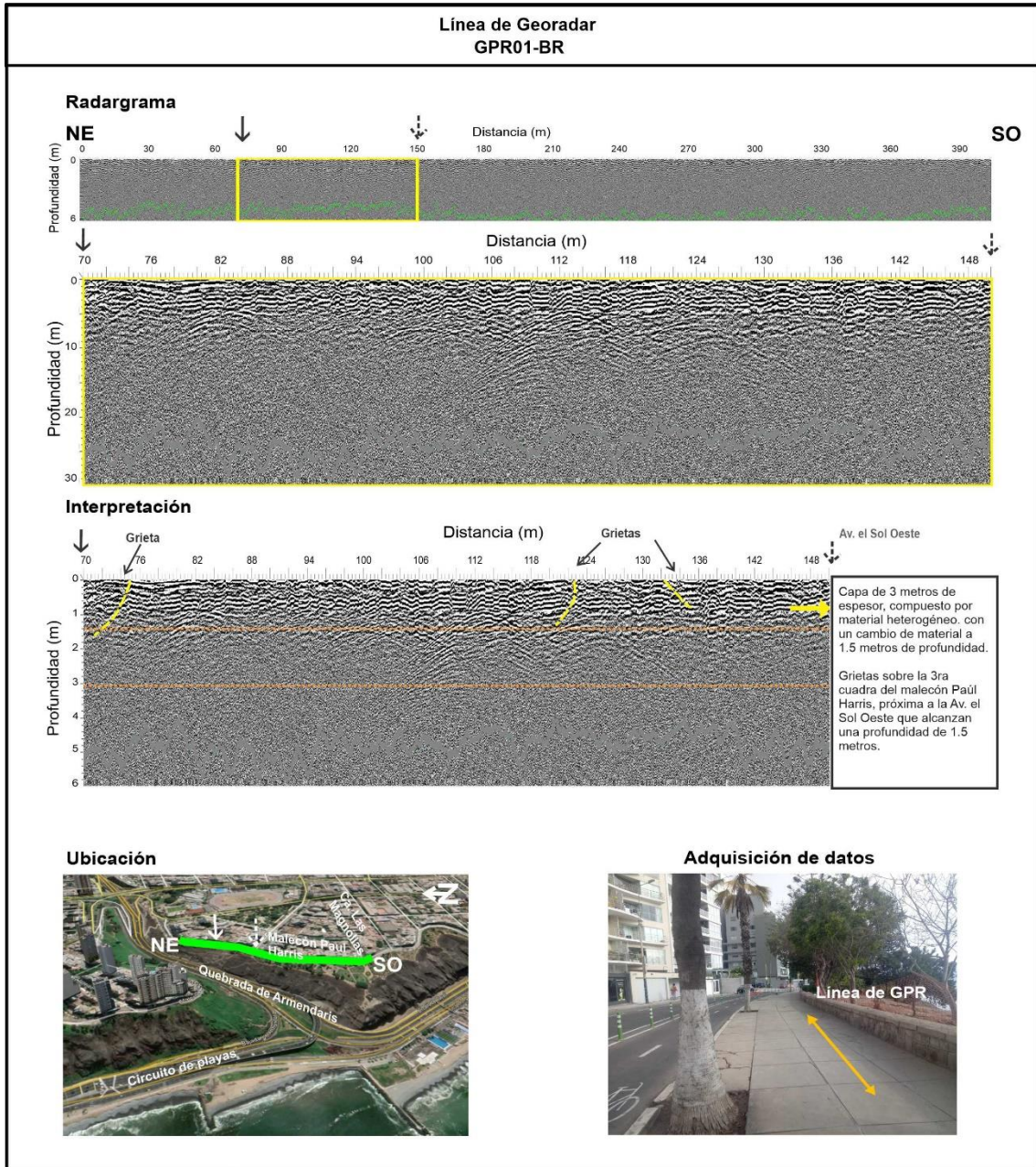




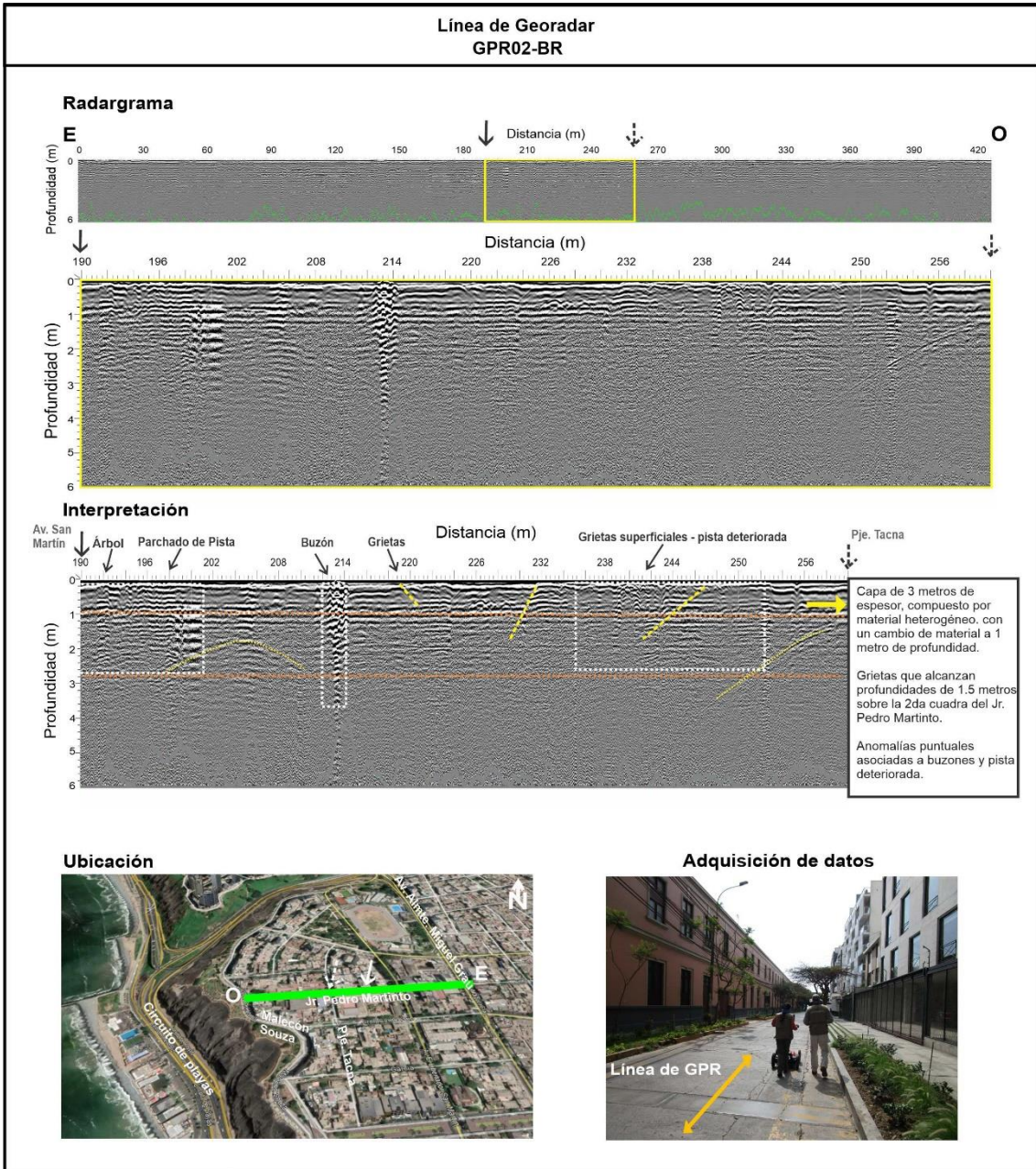
Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde					
	UBICACIÓN:	Bajada Los Baños		DISTRITO:	Barranco
	LONGITUD DE LA LÍNEA	280 metros		MEDIO SATURADO:	Si
	COORDENADAS UTM 18S:	INICIO: NORTE (m): 8655996	ESTE (m): 279727	COTA (m.s.n.m.): 18	
		FINAL: NORTE (m): 8656175	ESTE (m): 279929	COTA (m.s.n.m.): 53	
ELABORADO POR: F. Rosado	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera	

ANEXO V

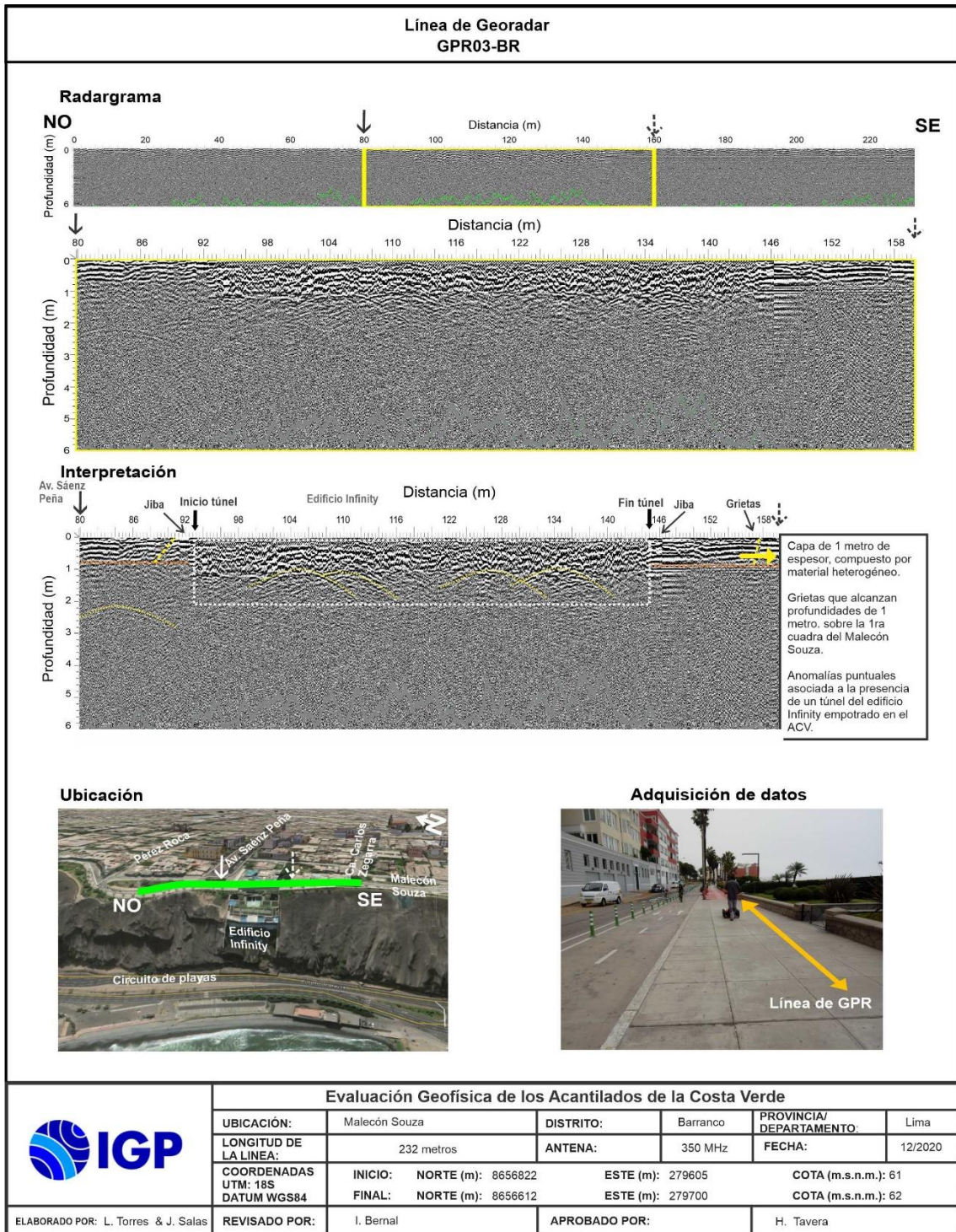
Secciones de Radargramas

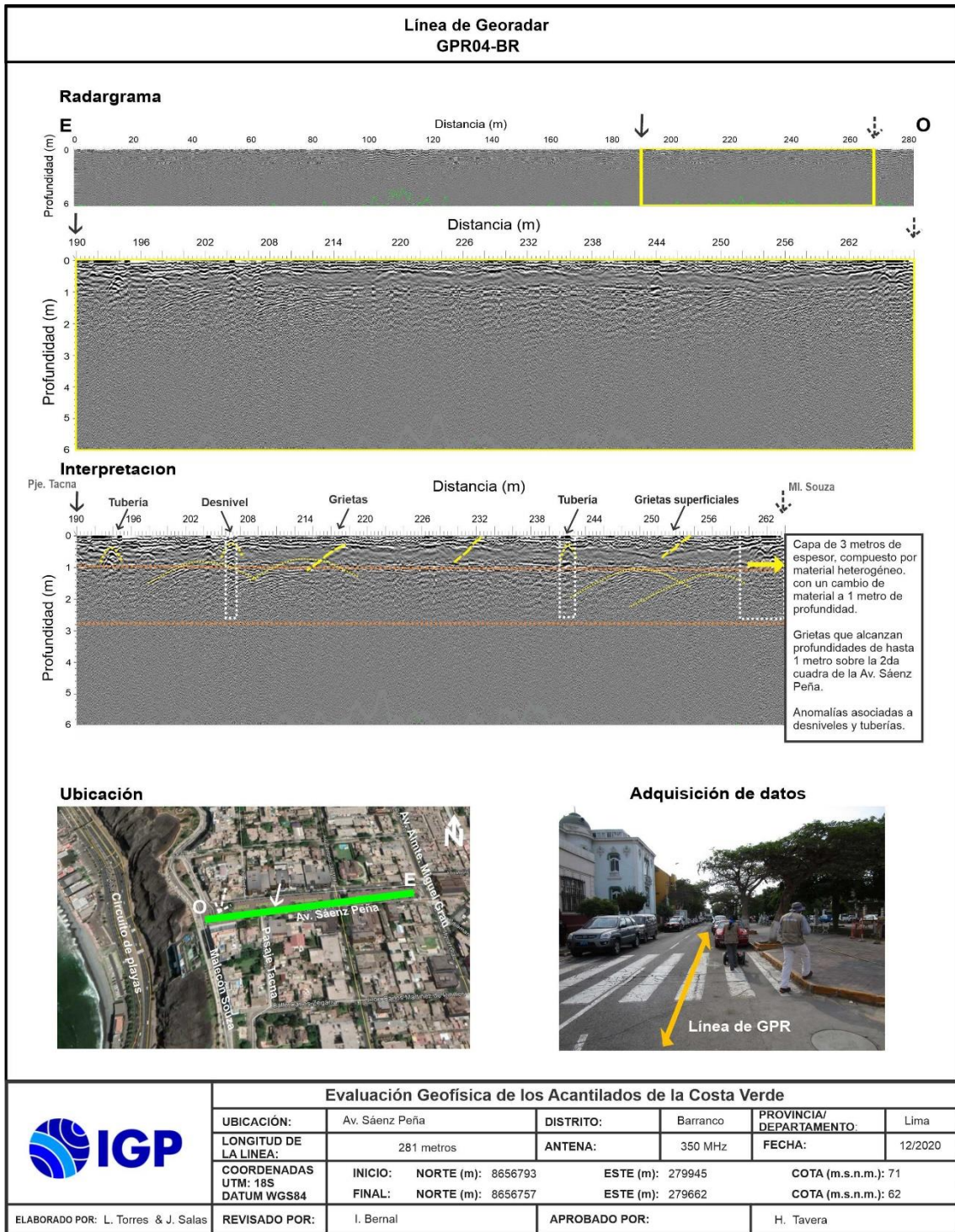


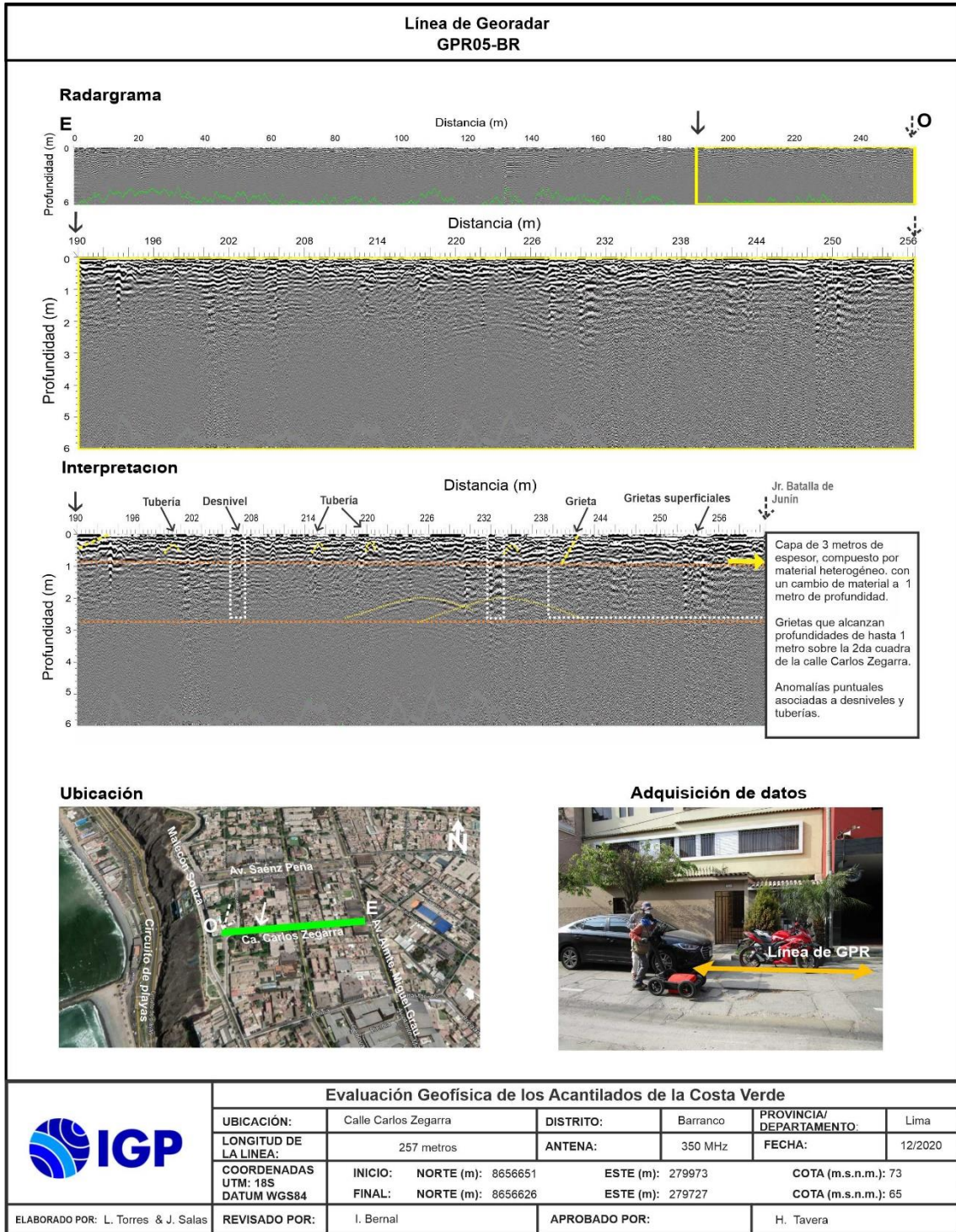
Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde						
	UBICACIÓN:	Malecón Paul Harris	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA/ DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LÍNEA:	404 metros	ANTENA:	350 MHz	FECHA:	12/2020
	COORDENADAS UTM: 18S DATUM WGS84	INICIO:	NORTE (m): 8657489	ESTE (m): 279576	COTA (m.s.n.m.): 67	
		FINAL:	NORTE (m): 8657116	ESTE (m): 279498	COTA (m.s.n.m.): 67	
ELABORADO POR:	L. Torres & J. Salas	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera	

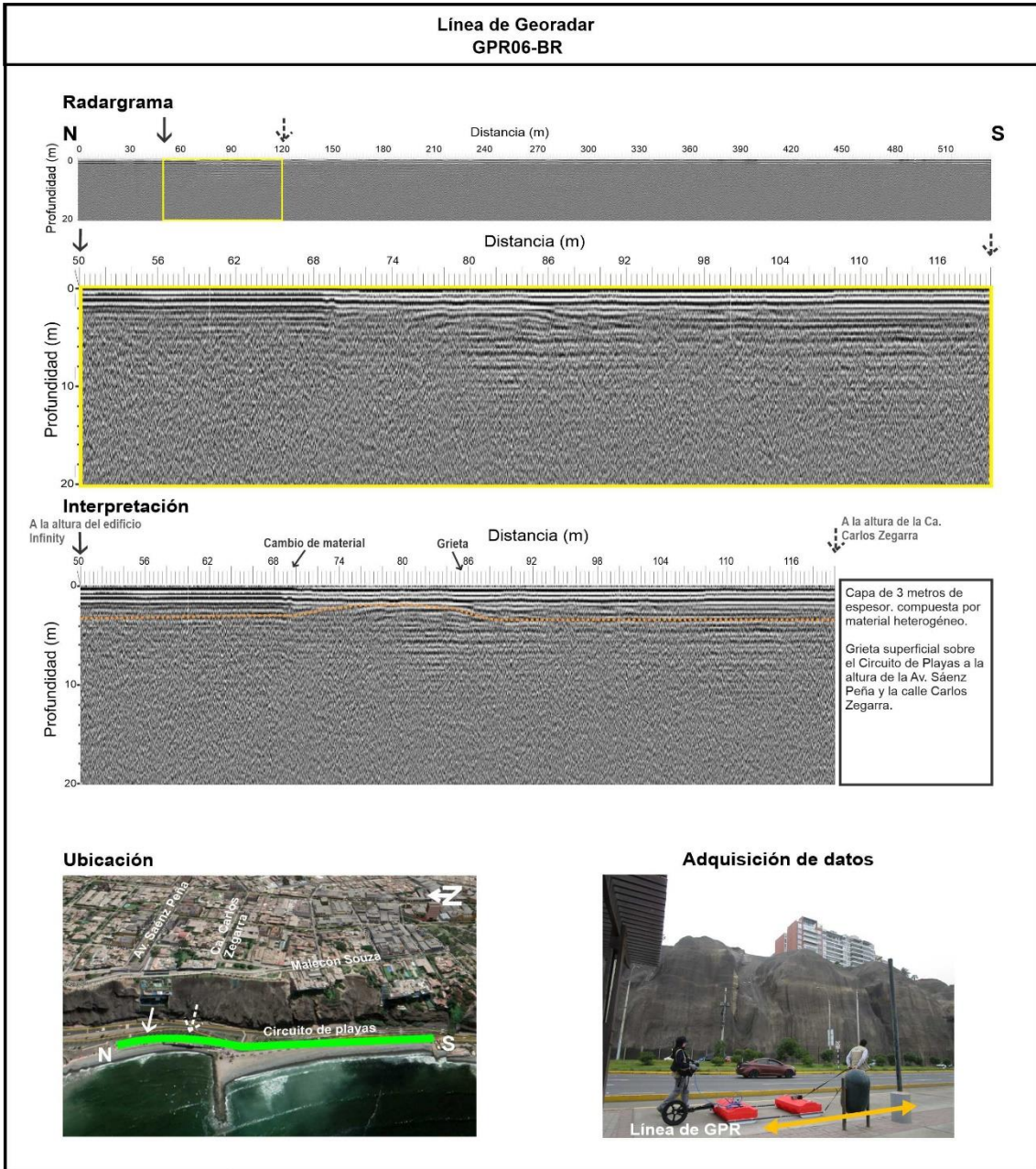


Evaluación Geofísica de los Acanilados de la Costa Verde						
	UBICACIÓN:	Jirón Pedro Martinto	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA/ DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LINEA:	426 metros	ANTENA:	350 MHz	FECHA:	12/2020
	COORDENADAS UTM: 18S DATUM WGS84	INICIO:	NORTE (m): 8657102	ESTE (m): 279946	COTA (m.s.n.m.): 76	
		FINAL:	NORTE (m): 8657066	ESTE (m): 279534	COTA (m.s.n.m.): 69	
ELABORADO POR: L. Torres & J. Salas	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera		

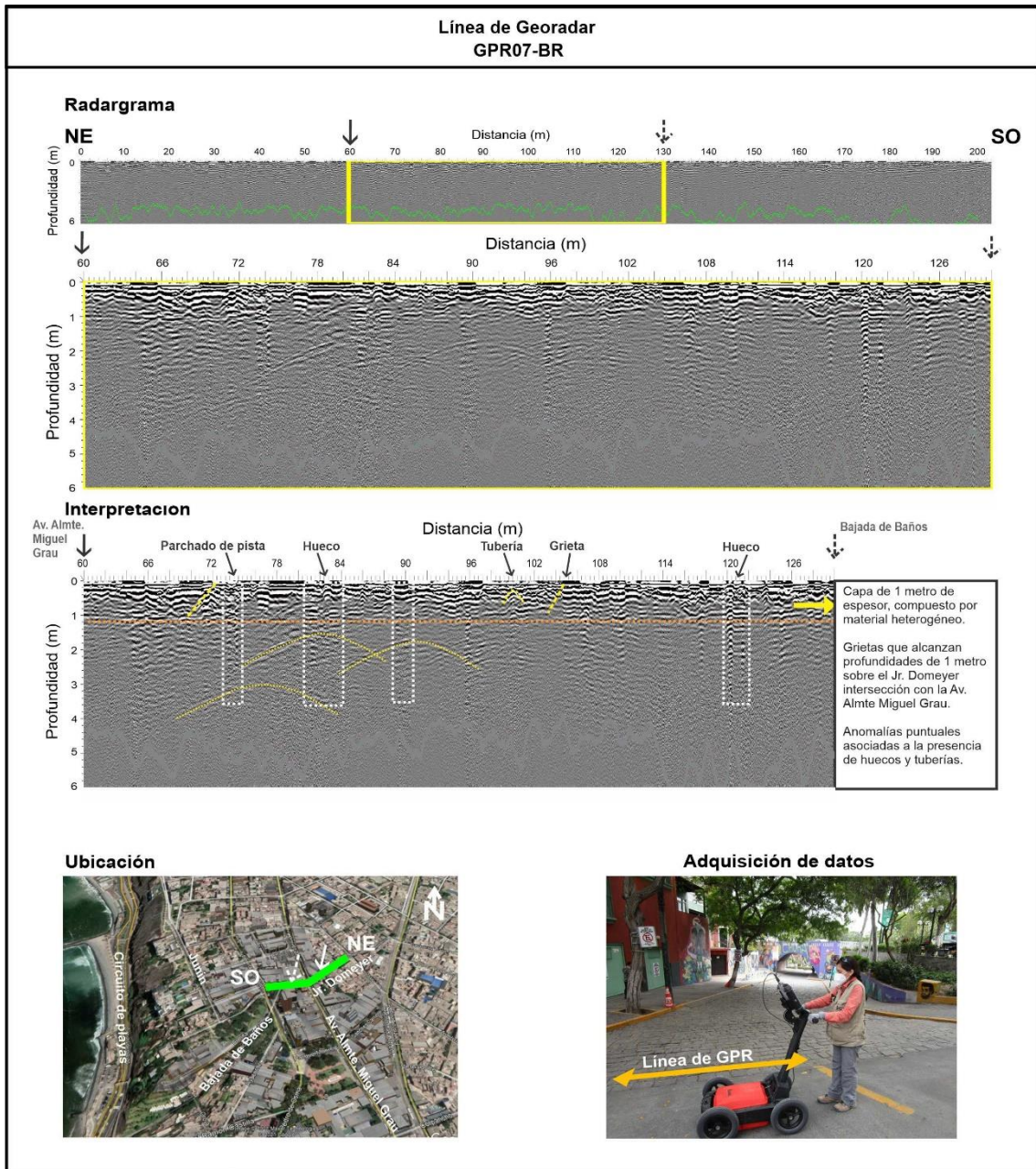




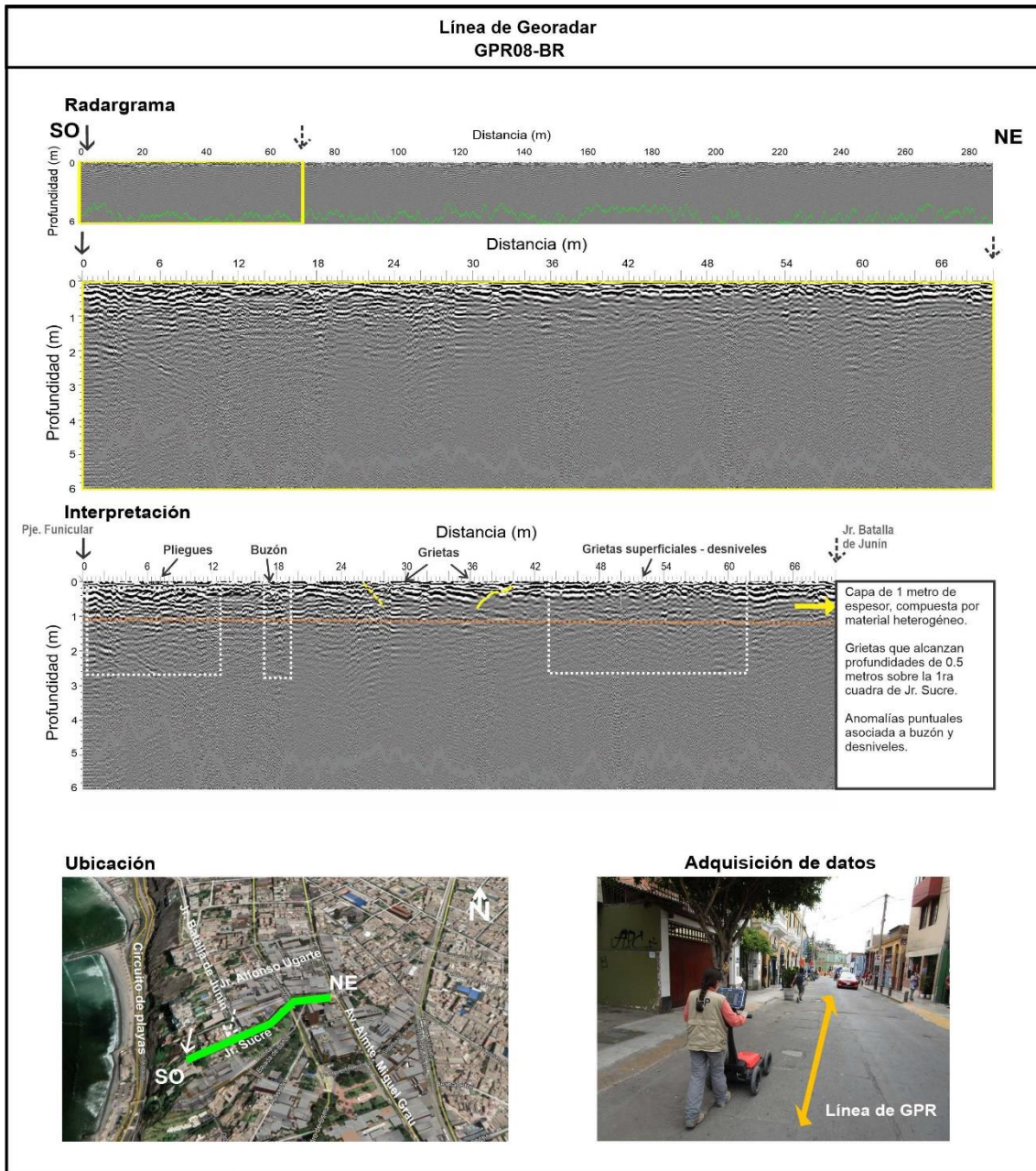




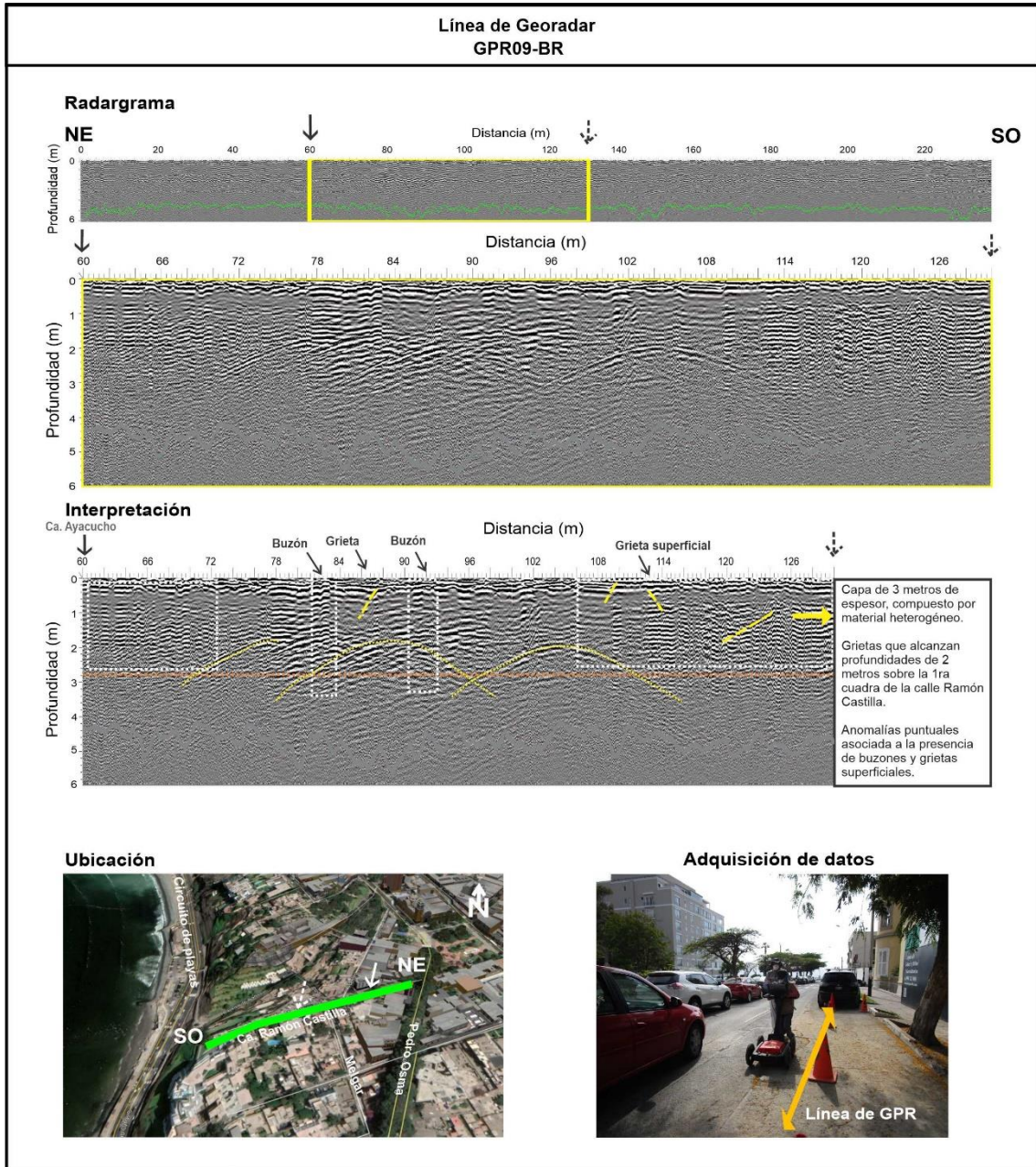
Evaluación Geofísica de los Acanuilados de la Costa Verde						
	UBICACIÓN:	Circuito de playas (parte baja acantilado)	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA/DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LINEA:	537 metros	ANTENA:	100 MHz	FECHA:	12/2020
	COORDENADAS UTM: 18S DATUM WGS84	INICIO:	NORTE (m): 8656727	ESTE (m): 279520	COTA (m.s.n.m.): 6	
		FINAL:	NORTE (m): 8656223	ESTE (m): 279670	COTA (m.s.n.m.): 7	
ELABORADO POR: L. Torres & J. Salas	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera		



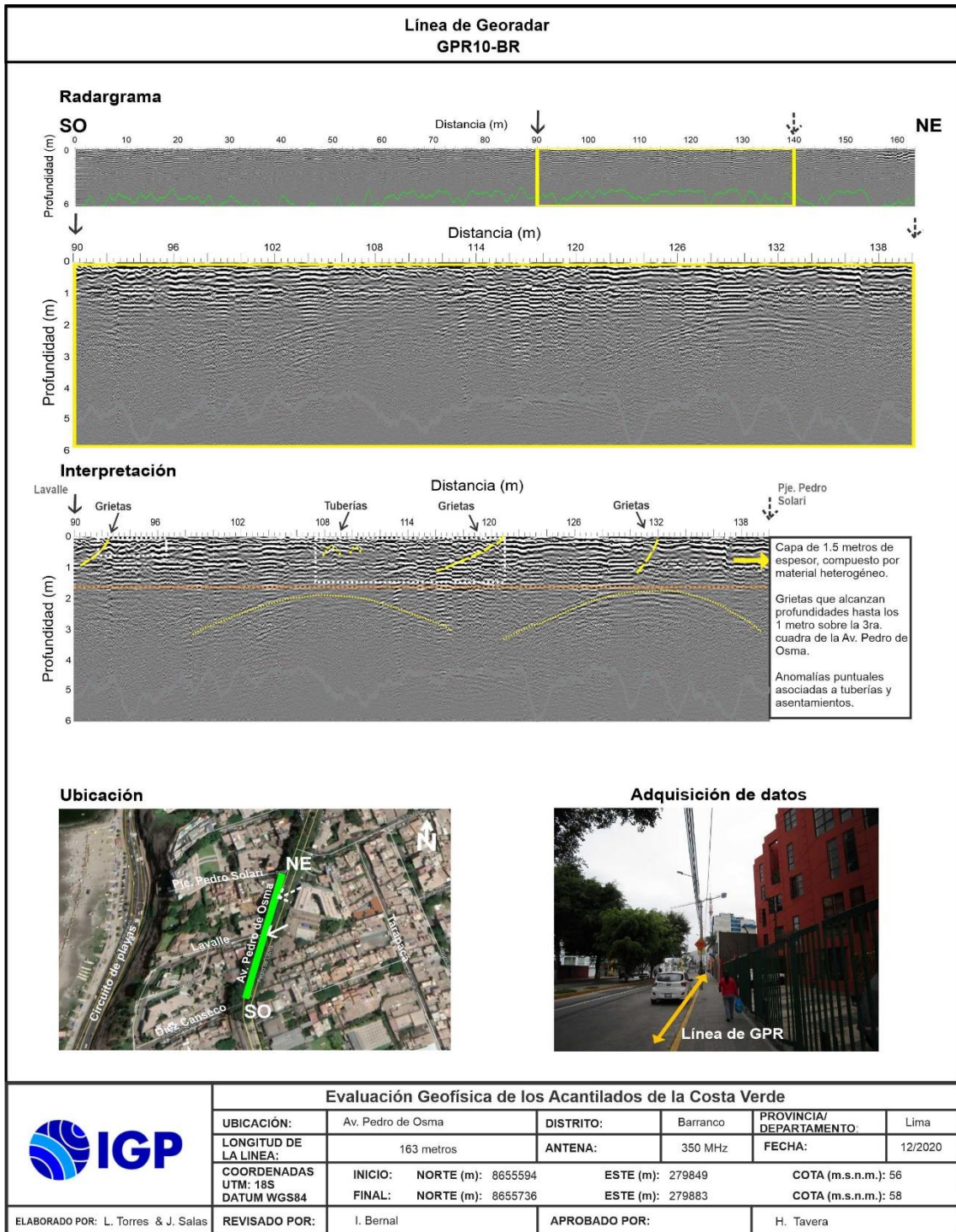
Evaluación Geofísica de los Acanilados de la Costa Verde						
	UBICACIÓN:	Jirón Domeyer	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA/ DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LINEA:	203 metros	ANTENA:	350 MHz	FECHA:	12/2020
	COORDENADAS UTM: 18S	INICIO: NORTE (m): 8656389	ESTE (m): 280119	COTA (m.s.n.m.): 71		
	DATUM WGS84	FINAL: NORTE (m): 8656300	ESTE (m): 279948	COTA (m.s.n.m.): 67		
ELABORADO POR: L. Torres & J. Salas	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera		

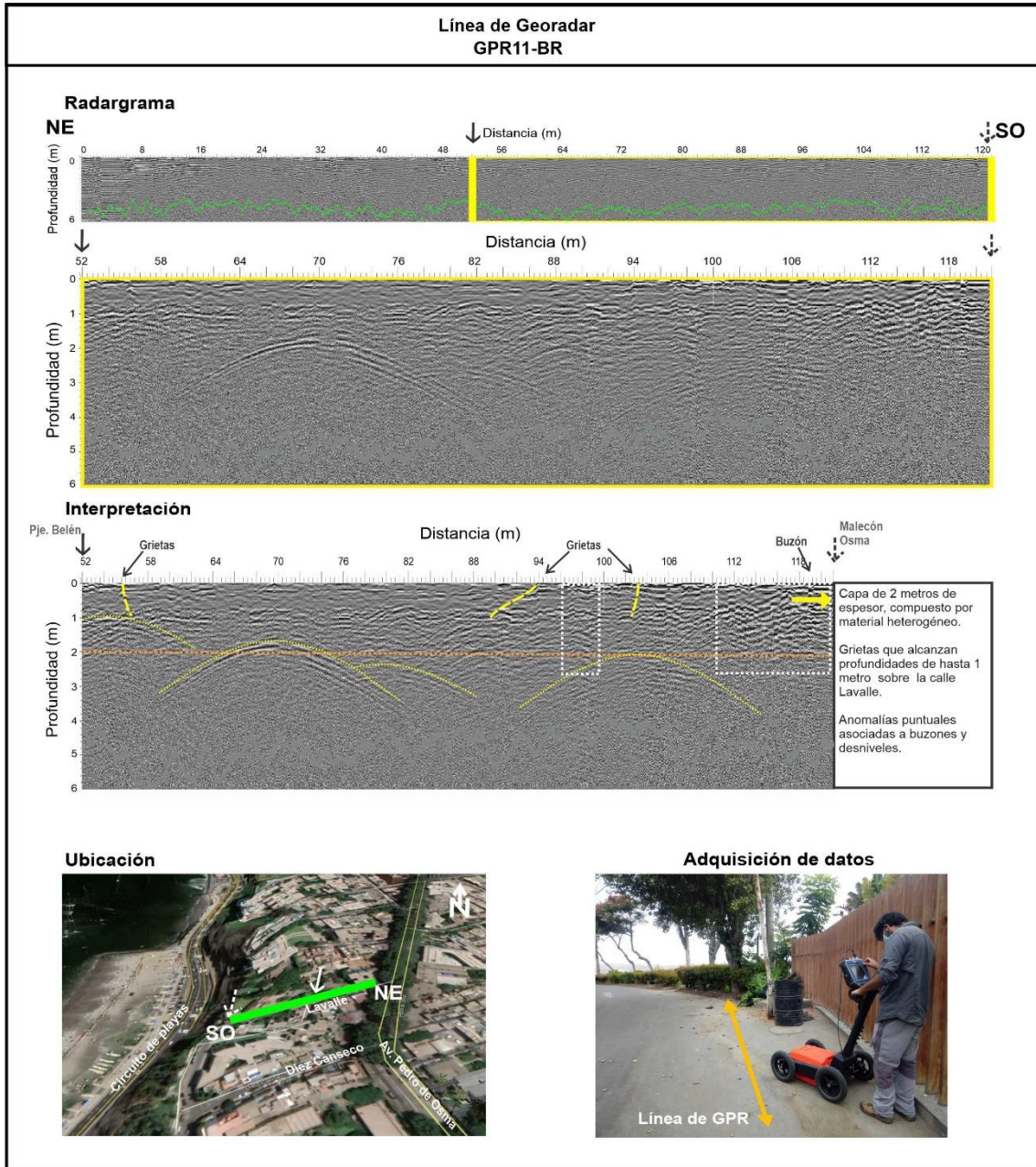


Evaluación Geofísica de los Acanilados de la Costa Verde						
	UBICACIÓN:	Jirón Sucre	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA/ DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LÍNEA:	288 metros	ANTENA:	350 MHz	FECHA:	12/2020
	COORDENADAS UTM: 18S	INICIO: NORTE (m): 8656161	ESTE (m): 279789	COTA (m.s.n.m.): 60		
	DATUM WGS84	FINAL: NORTE (m): 8656305	ESTE (m): 280027	COTA (m.s.n.m.): 68		
ELABORADO POR: L. Torres & J. Salas	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera		

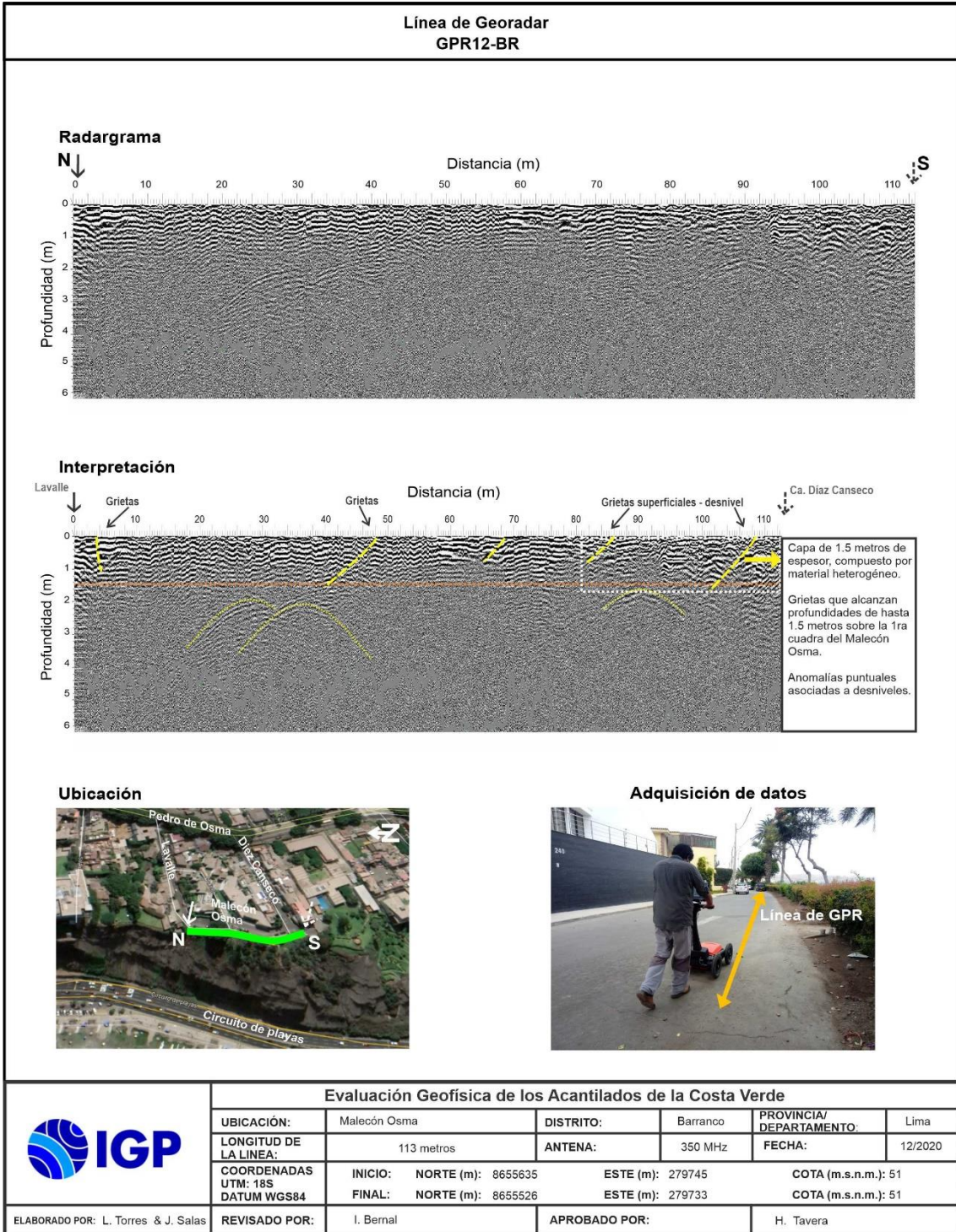


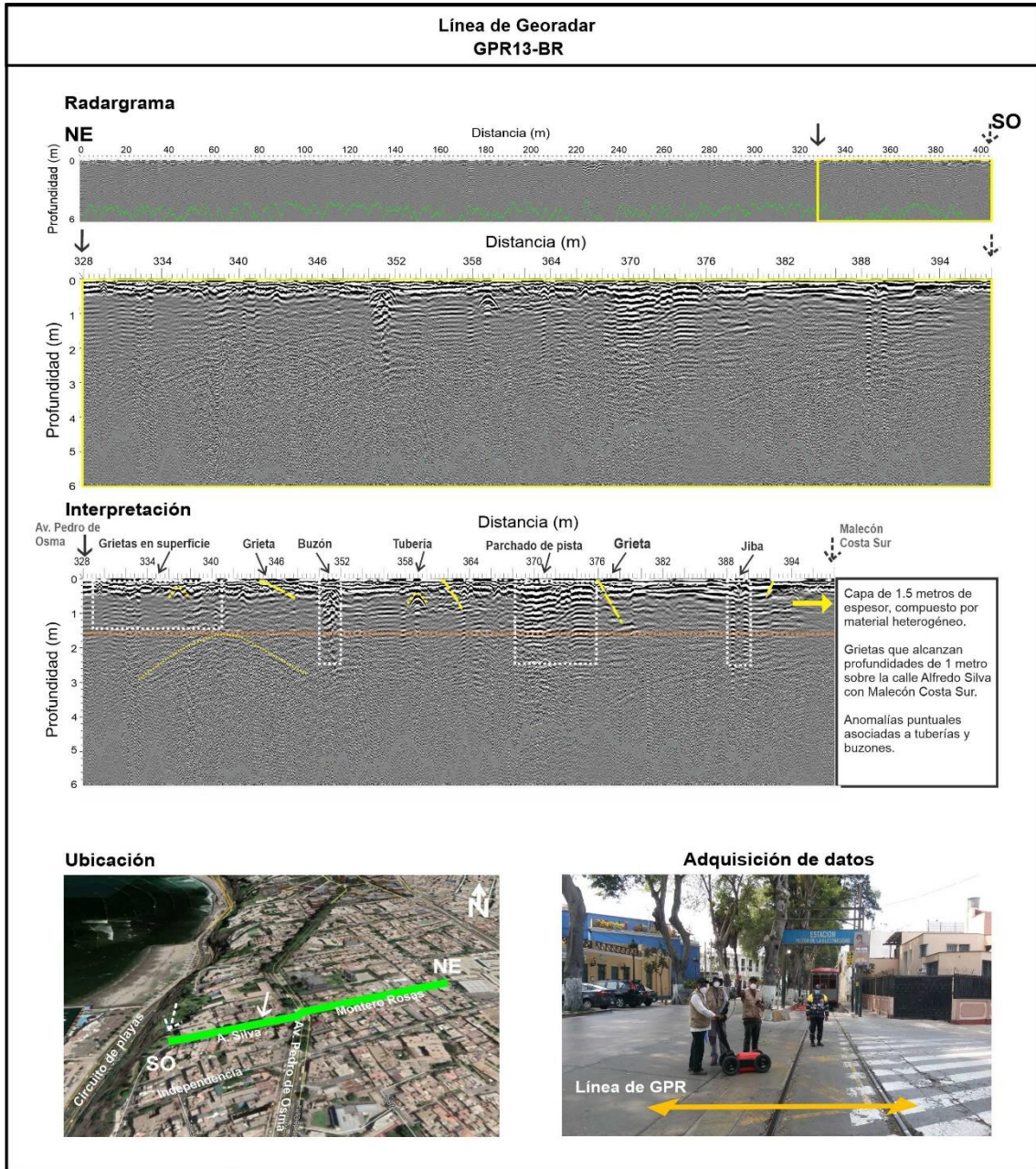
Evaluación Geofísica de los Acanilados de la Costa Verde						
	UBICACIÓN:	Calle Ramón Castilla	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA/ DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LÍNEA:	237 metros	ANTENA:	350 MHz	FECHA:	12/2020
	COORDENADAS UTM: 18S	INICIO: NORTE (m): 8656023	ESTE (m): 279978	COTA (m.s.n.m.): 61		
	DATUM WGS84	FINAL: NORTE (m): 8655938	ESTE (m): 279760	COTA (m.s.n.m.): 58		
ELABORADO POR: L. Torres & J. Salas	REVISADO POR: I. Bernal	APROBADO POR:		H. Tavera		



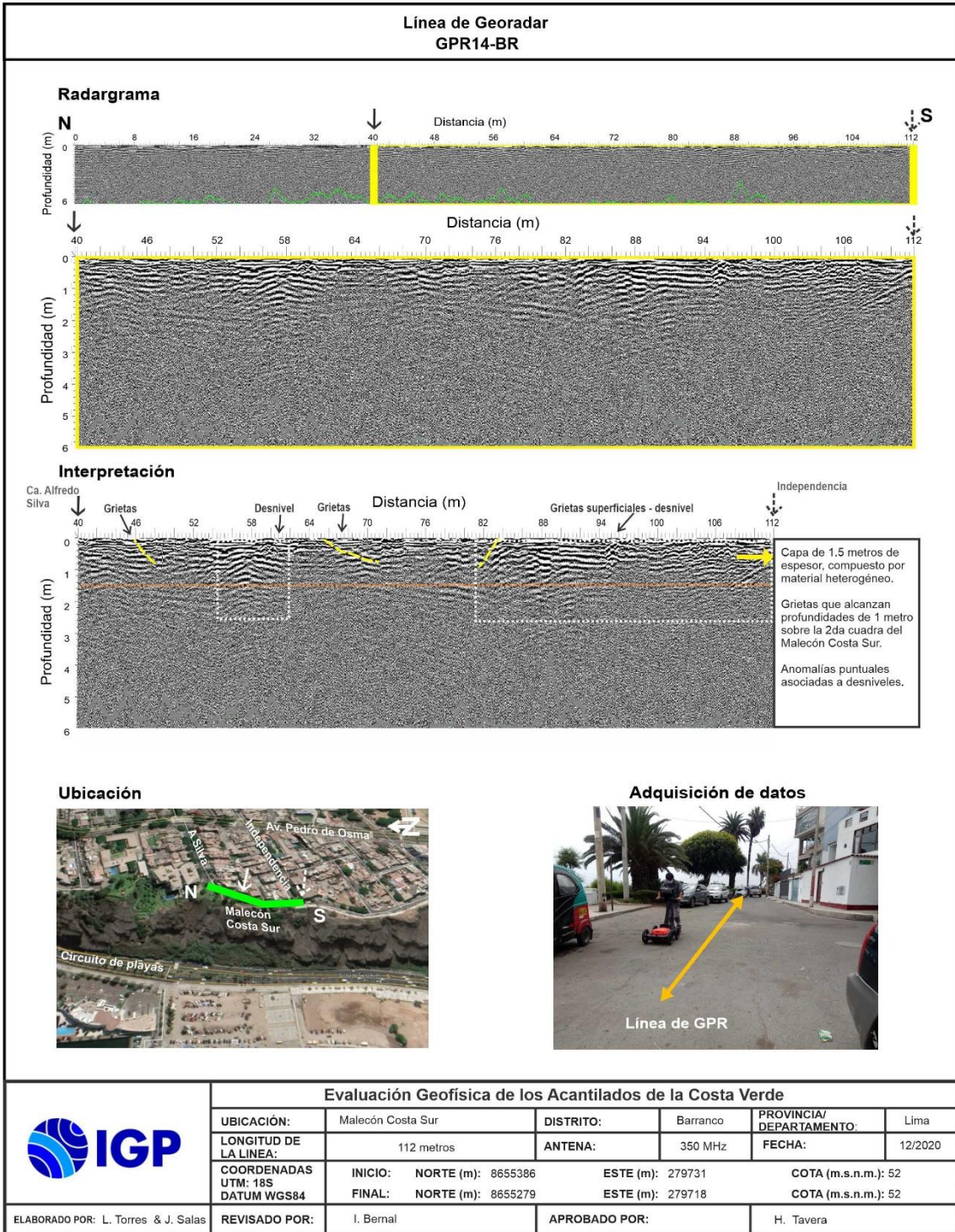


Evaluación Geofísica de los Acanilados de la Costa Verde						
	UBICACIÓN:	Calle Lavalle	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA/ DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LÍNEA:	121 metros	ANTENA:	350 MHz	FECHA:	12/2020
	COORDENADAS UTM: 18S	INICIO: NORTE (m): 8655664	ESTE (m): 279856	COTA (m.s.n.m.): 55		
	DATUM WGS84	FINAL: NORTE (m): 8655631	ESTE (m): 279739	COTA (m.s.n.m.): 51		
ELABORADO POR: L. Torres & J. Salas	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera		





Evaluación Geofísica de los Acanilados de la Costa Verde						
	UBICACIÓN:	Calle Alfredo Silva	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA/ DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LINEA:	405 metros	ANTENA:	350 MHz	FECHA:	12/2020
	COORDENADAS UTM: 18S DATUM WGS84	INICIO:	NORTE (m): 8655535	ESTE (m): 280094	COTA (m.s.n.m.): 57	
		FINAL:	NORTE (m): 8655387	ESTE (m): 279733	COTA (m.s.n.m.): 52	
ELABORADO POR: L. Torres & J. Salas	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera		



Evaluación Geofísica de los Acanilados de la Costa Verde						
	UBICACIÓN:	Malecón Costa Sur	DISTRITO:	Barranco	PROVINCIA/ DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LINEA:	112 metros	ANTENA:	350 MHz	FECHA:	12/2020
	COORDENADAS UTM: 18S	INICIO: NORTE (m): 8655386	ESTE (m): 279731	COTA (m.s.n.m.): 52		
	DATUM WGS84	FINAL: NORTE (m): 8655279	ESTE (m): 279718	COTA (m.s.n.m.): 52		
ELABORADO POR: L. Torres & J. Salas	REVISADO POR: I. Bernal	APROBADO POR:		H. Tavera		

