



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



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

Informe Técnico N°031-2021/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 Chorrillos

Autores

Isabel Bernal, Hernando Tavera y Wilfredo Sulla

Participantes:

Evaluación Geofísica: Kelly Pari / Wilfredo Sulla / 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 / Estherfilia Campos

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 CHORRILLOS**

Lima - Perú
Octubre, 2021

RESUMEN

En el Acantilado de la Costa Verde (ACV) del distrito de Chorrillos, se ha determinado la estructura del subsuelo y su comportamiento dinámico ante la ocurrencia de sismos usando métodos geofísicos. Los resultados obtenidos muestran la existencia de tres capas de variado espesor y compuestas por materiales de diferente rigidez: a) La primera capa con espesores de 11 a 13 metros está constituida por materiales aluviales poco consolidados ($V_s=173-331$ m/s, $V_p=350-578$ m/s); b) La segunda capa con espesores de 8 a 20 metros, está constituida por materiales aluviales medianamente compactos ($V_s=354-437$ m/s $V_p=578-1110$ m/s), y c) La tercera capa, de ~ 12 metros de espesor está constituida con materiales aluviales compactos ($V_s=556-605$ m/s $V_p=>1110$ m/s). Estos resultados son coherentes con la profundidad de las interfaces de 20 - 25 metros, definidas en función de la densidad de los materiales distribuidos en los ACV (1.7 gr/cm³, 1.95 gr/cm³, 2.35 gr/cm³).

En el parque Cuadros y la calle Coronel, se ha identificado la presencia de suelos menos consolidados en capas que superan los 28 metros de espesor; mientras que, en los malecones Costa Sur y Grau, esta misma capa presenta espesores de 18 a 20 metros.

A lo largo del acantilado, se ha identificado la presencia de suelos con moderado a alto contenido de humedad en capas con espesores que varían de 10 a 40 metros. Las capas de menor espesor y más superficiales, se presentan en el Malecón Costa Sur (extremo norte) y los de mayor espesor en el parque Cuadros y el Malecón Grau. Mayormente, en el acantilado existen áreas verdes con riego continuo que facilitan la presencia de grietas que alcanzan profundidades entre 1.0 y 2.5 metros. Asimismo, se tiene la presencia de asentamientos del suelo con desniveles de 10 a 15 centímetros.

El comportamiento dinámico de los suelos en los ACV del distrito de Chorrillos, 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, de norte a suroeste, a una distancia promedio de 15 a 35 metros y de manera local a la altura de la Bajada Agua Dulce alcanza una distancia de ~110 metros. Ante la ocurrencia de sismos que generen elevados niveles de sacudimiento del suelo, las zonas con mayor riesgo son: Malecón Costa Sur, Bajada Agua Dulce, Parque Cuadros y el sector que corresponde al Malecón Grau.

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 evaluar el comportamiento dinámico de los suelos ante la incidencia de las ondas sísmicas, considerando que, de acuerdo a su composición geológica y propiedades físicas, atenuaran o amplificaran el sacudimiento del suelo.

En Lima Metropolitana, uno de los accidentes topográficos más resaltantes y vulnerable ante la ocurrencia de sismos de elevada magnitud, 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-aluvional como parte del cono de deyección de los ríos Rímac y Chillón con presencia de quebradas perpendiculares al acantilado. 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 material 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 instituciones técnico-científicas para elaborar el "Informe Técnico Consolidado sobre los Acantilados de la Costa Verde" y en base al mismo, se declaró el Estado de Emergencia por Peligro inminente ante nuevos deslizamientos 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 producido en el ACV, ocurrido el 18 de diciembre del 2019 en el distrito de Barranco (Fuente Diario El Comercio)

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 para 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 Chorrillos aplicando técnicas geofísicas como refracción sísmica (RS), análisis multicanal de las ondas superficiales (MASW) y el análisis multicanal de microtremores (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 de sismos 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 el ACV del distrito de Chorrillos, 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 Acantilados de la Costa Verde (ACV) se encuentran ubicados en el litoral costero de Lima Metropolitana, comprendiendo los distritos de San Miguel, Magdalena, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos. A lo largo de estos distritos los ACV tiene 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 Chorrillos, los ACV tienen una longitud de 2.0 km y alturas entre 30 a 40 metros con una inclinación de 40 a 60°. En la Figura 3, se presenta el mapa con la delimitación del área de estudio a escala 1:7,000 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

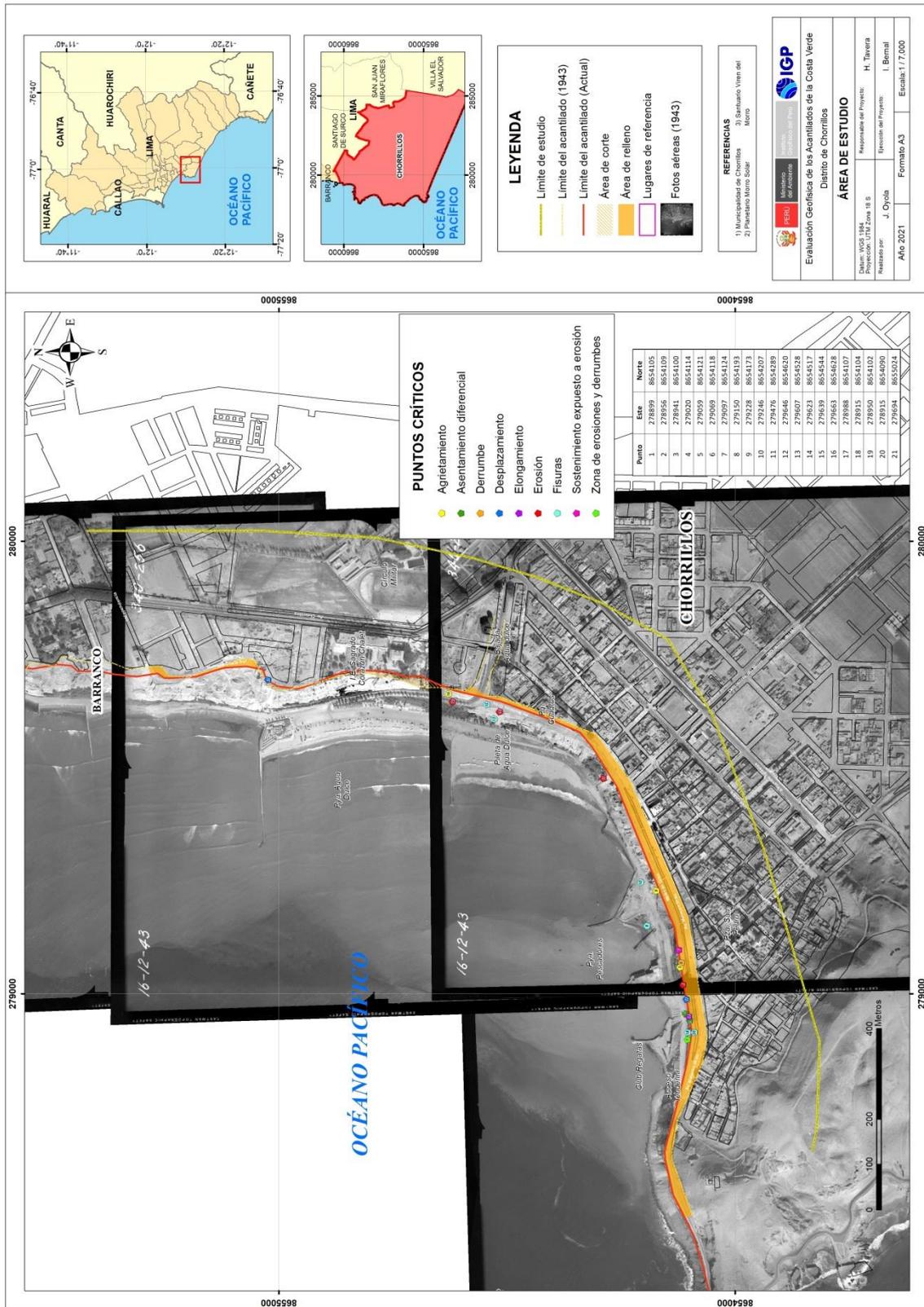


Figura 3. Mapa del área de estudio. La interlínea de color naranja indica el límite del acantilado en el año 1943 y con línea roja, el límite actual. Asimismo, se indica la ubicación de los puntos críticos identificados en el área de estudio (áreas de relleno, depósitos antrópicos, grietas, asentamientos,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

que muchas áreas fueron urbanizadas. Asimismo, sobre el mapa se indica la ubicación de los puntos críticos identificados en superficie como áreas de relleno, depósitos antrópicos, grietas, asentamientos y desplazamientos de tierra y piedras.

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 los estudios de 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 conocido con estudios geofísicos. En general, los métodos geofísicos permitirán, a partir del análisis e interpretación de los datos obtenidos directamente en el campo y 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 Chorrillos, están conformados por depósitos aluviales provenientes del río Rímac; es decir, gravas (bolonería) soportadas en matriz areno limosa y lentes de finos, tal como se observa en la Figura 4a. Asimismo, en los acantilados se han identificado la presencia de quebradas y carcavas que han sido rellenadas con material alóctono (rellenos antrópicos) hasta alcanzar, en la actualidad, una altura promedio de 35 metros sobre el nivel medio de la Vía Circuito de Playas. El trabajo de campo realizado a pocos metros del acantilado, como parte del presente estudio, ha permitido observar la morfología del acantilado y notar la presencia de asentamientos diferenciales del suelo, así como grietas de longitudes variables, las cuales han generado la formación de fisuras en elementos estructurales y en el pavimento del suelo (Figuras 4b y 4c).



Figura 4. a) Vista de la estratigrafía de los ACV en el distrito de Chorrillos (Malecón Costa Sur). Observándose en la parte baja del acantilado, depósitos de aluviales conformados por gravas con intercalaciones de lentes de finos y en la parte superior el predominio de material fino.



Figura 4. b) Asentamiento del suelo identificado en el Malecón Grau del distrito de Chorrillos.



Figura 4. c) Daño estructural debido la inestabilidad del suelo identificado en el Malecón Costa Sur del distrito de Chorrillos.

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 a 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 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 GEODE 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 un

tendido lineal 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 su accesibilidad.

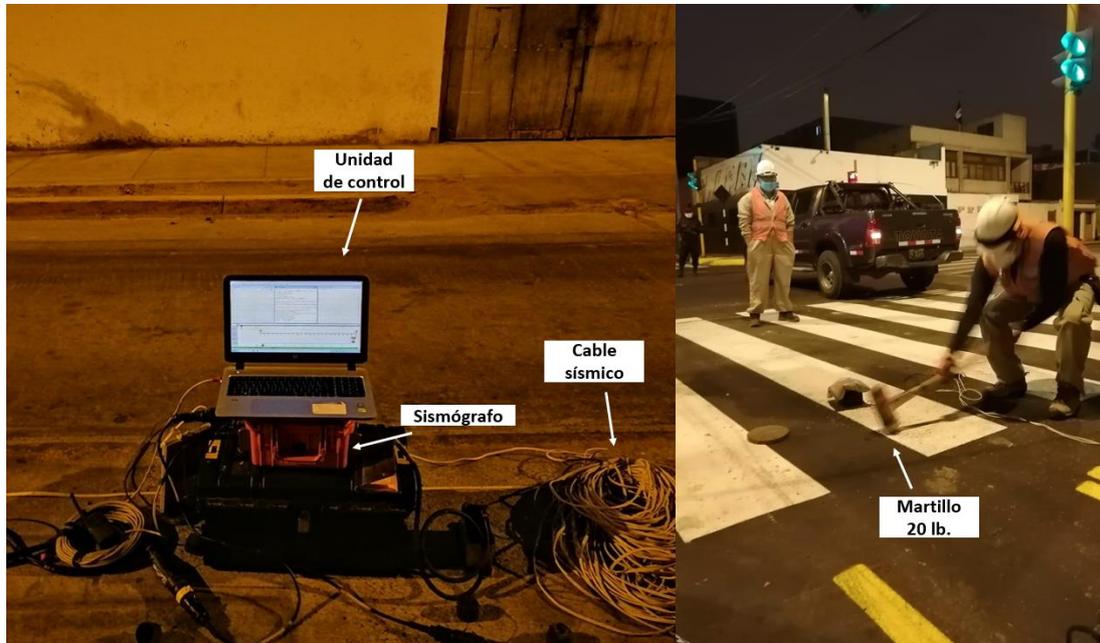


Figura 5. Equipos utilizados en la adquisición de datos RS.

En el distrito de Chorrillos se realizaron, 02 líneas de RS con longitudes de hasta 335 metros y 14 líneas con longitudes de entre 69 y 138 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 la adquisición de los datos geofísicos.

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.



Figura 6. Distribución espacial de líneas de RS, codificadas como RS01-CH, ..., RS16-CH.

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)			
RS01-CH	279616	8654435	42	5	280
	279813	8654221	43		
RS02-CH	279039	8654101	33	5	335
	279276	8653852	36		
RS03-CH	279719	8655128	49	4	92
	279727	8655038	49		
RS04-CH	279651	8654412	42	3	69
	279606	8654362	42		
RS05-CH	279038	8654105	33	3	69
	278971	8654095	33		
RS06-CH	279707	8655168	52	6	138
	279829	8655226	53		
RS07-CH	279896	8655181	52	6	138
	280025	8655243	56		
RS08-CH	279722	8655108	50	5	115
	279822	8655142	51		
RS09-CH	279882	8655118	52	4	92
	280022	8655097	52		
RS10-CH	279790	8655105	51	5	115
	279775	8655027	50		
RS11-CH	279676	8654981	49	4	92
	279820	8654939	50		
RS12-CH	279789	8654733	47	4	92
	279775	8654644	46		
RS13-CH	279719	8654864	48	4	92
	279719	8654772	47		
RS14-CH	279611	8654448	36	3	69
	279586	8654385	41		
RS15-CH	279488	8654228	42	4	92
	279548	8654163	43		
RS16-CH	279362	8654175	40	4	92
	279281	8654134	39		

En la Figura 7, se muestra como ejemplo del arreglo de geófonos y punto de disparo para de la línea sísmica RS01-CH, que se inicia en el borde del acantilado y continúa en dirección hacia la calle Coronel. Así como el sismograma que contiene las señales sísmicas obtenidas para esta línea.

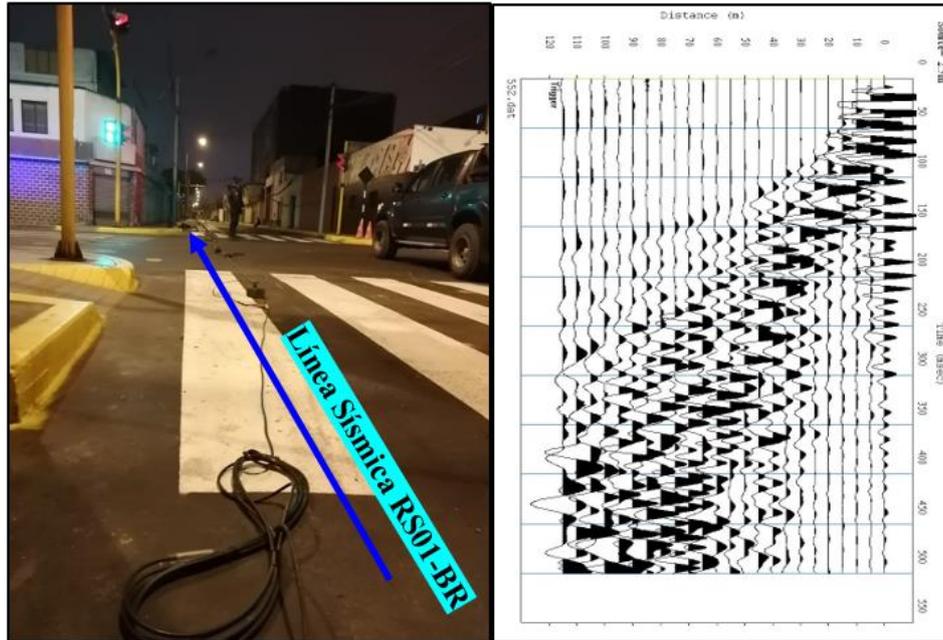


Figura 7. Disposición del equipo de adquisición de datos con la técnica de refracción sísmica (RS01-CH, calle Coronel) y registro sísmico obtenido.

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 para construir las curvas tiempo vs distancia (dromocronas), que después de un proceso de inversión permitieron obtener las secciones RS. En la Figura 8, se muestra como ejemplo las curvas tiempo vs distancia para la línea sísmica RS01-CH.

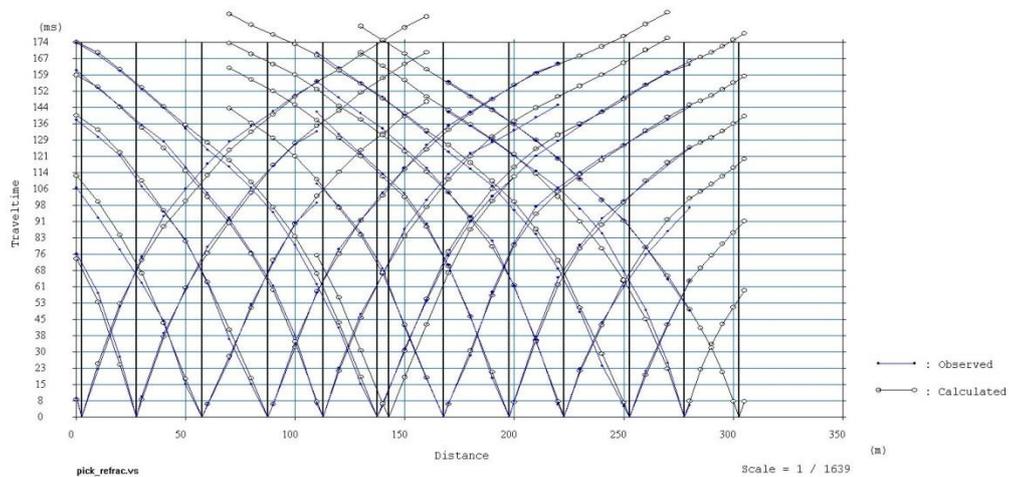


Figura 8. Curvas de tiempo - distancia obtenidas para la línea sísmica RS01-CH.

Para el análisis de los resultados e identificación del tipo de suelos en base a la velocidad 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 V_p (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 16 líneas de RS de las cuales 02 presentan resolución hasta profundidades de 50 metros (RS01-CH y RS02-CH) y el resto hasta los 40 metros. En la Figura 9, se presenta la sección de RS obtenida para la línea RS01-CH y en el Anexo I, las líneas restantes, siendo sus características las siguientes:

Sección sísmica RS01-CH: Línea realizada en la calle Coronel, desde el parque Cuadros y los resultados obtenidos han permitido identificar la presencia en el subsuelo de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad V_p (m/s)	Descripción
01	5 – 10	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	14 – 20	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

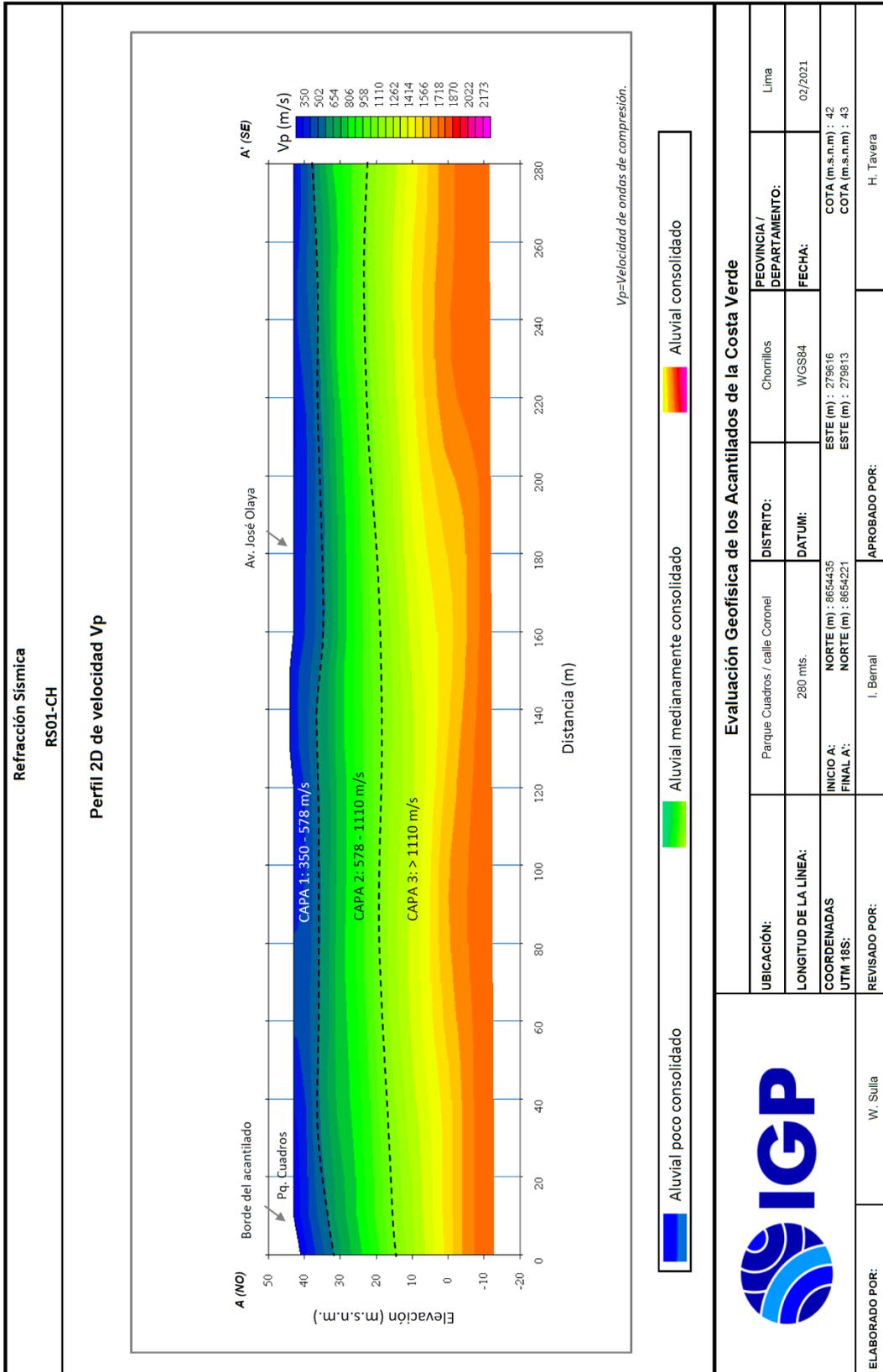


Figura 9. Resultados obtenidos con el método de Refracción Sísmica para la línea RS01-CH.

Sección sísmica RS02-CH: Línea realizada en la Av. Mcal. Castilla, desde el Malecón Grau y los resultados obtenidos han permitido identificar la presencia en el subsuelo de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	5 – 9	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	11 – 15	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS03-CH: Línea realizada en el Malecón Costa Sur, parque La Virgen y los resultados obtenidos han permitido identificar la presencia en el subsuelo de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 – 9	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	9 – 16	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS04-CH: Línea realizada en el parque Cuadros y los resultados obtenidos han permitido identificar la presencia en el subsuelo de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	6 – 8	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	-	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.

Sección sísmica RS05-CH: Línea realizada en el Malecón Grau y los resultados obtenidos han permitido identificar la presencia en el subsuelo de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	6 - 9	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 RS06-CH: Línea realizada en la calle Pastor Sevilla y los resultados obtenidos han permitido identificar la presencia en el subsuelo 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	15 - 22	578-1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS07-CH: Línea realizada en la Av. Elena Fray de Pastor y los resultados obtenidos han permitido identificar la presencia en el subsuelo 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	9 - 12	578-1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS08-CH: Línea realizada en la calle Gastaneta y los resultados obtenidos han permitido identificar la presencia en el subsuelo de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	3 - 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 RS09-CH: Línea realizada en la calle José Olaya y los resultados obtenidos han permitido identificar la presencia en el subsuelo de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	4 - 10	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	20 – 23	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS10-CH: Línea realizada en la calle Urrea y los resultados obtenidos han permitido identificar la presencia en el subsuelo de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	6 - 8	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 RS11-CH: Línea realizada en la calle Freundt y los resultados obtenidos han permitido identificar la presencia en el subsuelo de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	9 - 10	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.

Sección sísmica RS12-CH: Línea realizada en la Av. Chorrillos y los resultados obtenidos han permitido identificar la presencia en el subsuelo 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	14 – 15	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS13-CH: Línea realizada en la I. E. Sagrado Corazón Chalet y los resultados obtenidos han permitido identificar la presencia en el subsuelo de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	6 - 11	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	12 – 14	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS14-CH: Línea realizada en la Av. Malecón Grau y los resultados obtenidos han permitido identificar la presencia en el subsuelo de 2 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	11 - 12	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	-	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.

Sección sísmica RS15-CH: Línea realizada en la Av. Defensores del Morro y los resultados obtenidos han permitido identificar la presencia en el subsuelo de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	6 - 14	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	12 – 20	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1110	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS16-CH: Línea sísmica realizada en la Malecón Grau con la calle Viera y los resultados obtenidos han permitido identificar la presencia en el subsuelo de 2 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	20 - 22	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	-	578–1110	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.

b) Interpretación

Del total de secciones de RS, seis se inician en el borde del acantilado (RS01-CH, RS02-CH, RS06-CH, RS08-CH, RS011-CH y RS15-CH) y se extienden en dirección este y sureste (área urbana), y los diez restantes se realizaron paralelos al acantilado. En estas secciones, los suelos menos consistentes y de mayor espesor (aluviales sueltos a medianamente consolidados) están presentes en las proximidades del borde del acantilado (Figuras 10). Estos suelos presentan espesores mayores a 30 metros distribuidos por el Malecón Grau a la altura del parque Cuadros y Bajada Agua Dulce; mientras que, por el Malecón Costa Sur (extremo norte) y extremo sur del Malecón Grau, los suelos presentan espesores del orden de 18 a 20 metros.

En general, se observa que conforme se incrementa la profundidad, los suelos conformados por aluviales son más compactos. En las secciones paralelas al acantilado (análisis horizontal), se observa que los suelos presentes en el extremo suroeste del ACV (Malecón Grau) son menos consolidados en comparación con los suelos presentes en el extremo norte (Malecón Costa Sur).

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 (V_s) en el subsuelo, a partir del análisis de la dispersión de ondas superficiales, generados por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de estaciones sísmicas.

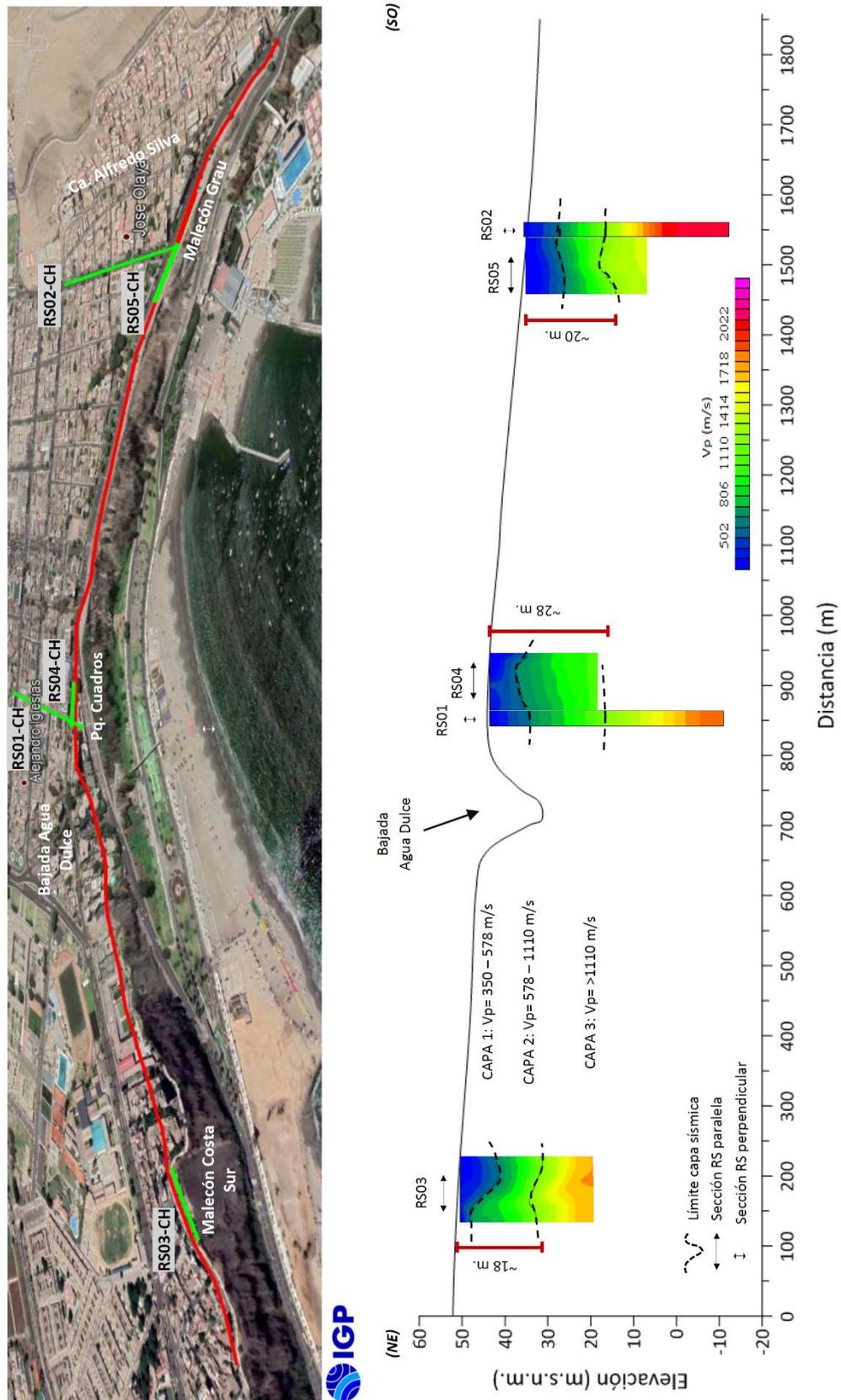


Figura 10. Correlación de los resultados obtenidos en cada sección de refracción sísmica e identificación de la estructura del subsuelo en los ACV del distrito de Chorrillos.

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 facilita 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 (GEODE) 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 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.

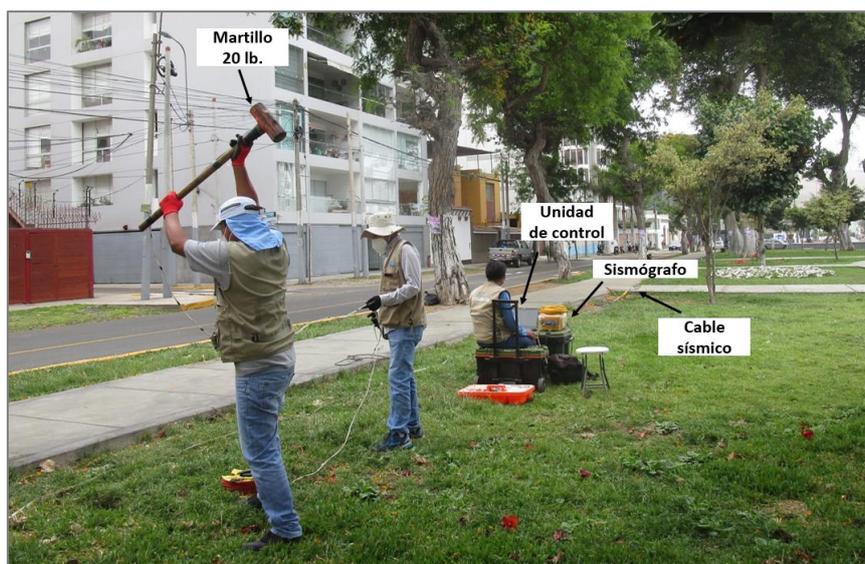


Figura 11. Equipos utilizados en la toma de datos por el método de MASW.

En el distrito de Chorrillos se realizaron 12 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.

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-CH	279725	8655085	49	4	92
LS02-CH	279643	8654729	6	4	92
LS03-CH	279628	8654382	42	3	69
LS04-CH	279766	8654274	43	3	69
LS05-CH	279236	8654234	3	3	69
LS06-CH	279004	8654101	33	3	69
LS07-CH	279136	8653938	37	3	69
LS08-CH	279926	8655139	53	4	92
LS09-CH	279784	8655064	50	4	92
LS10-CH	279720	8654816	48	4	92
LS11-CH	279523	8654198	43	4	92
LS12-CH	279318	8654153	40	4	92

Durante todo el proceso de adquisición de datos con la técnica MASW, las señales registradas fueron analizadas a fin de evaluar los 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).

En la Figura 13, se muestra la disposición del equipo en el parque Cuadros 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 12. Distribución espacial de las líneas MASW y MAM codificadas como LS01-CH,..., LS12-CH. Los códigos en gris, corresponden a líneas realizadas en la zona baja del acantilado.



Figura 13. Disposición del equipo de adquisición de datos – MASW (parque Cuadros) y el registro sísmico obtenido.

2.2.2.- Procesamiento y análisis

Los datos recolectados fueron procesados con el programa SeisImager y luego con la aplicación de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) se obtiene las curvas 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 V_s en una dimensión (1D) para el punto central de la línea, ver Figura 14.

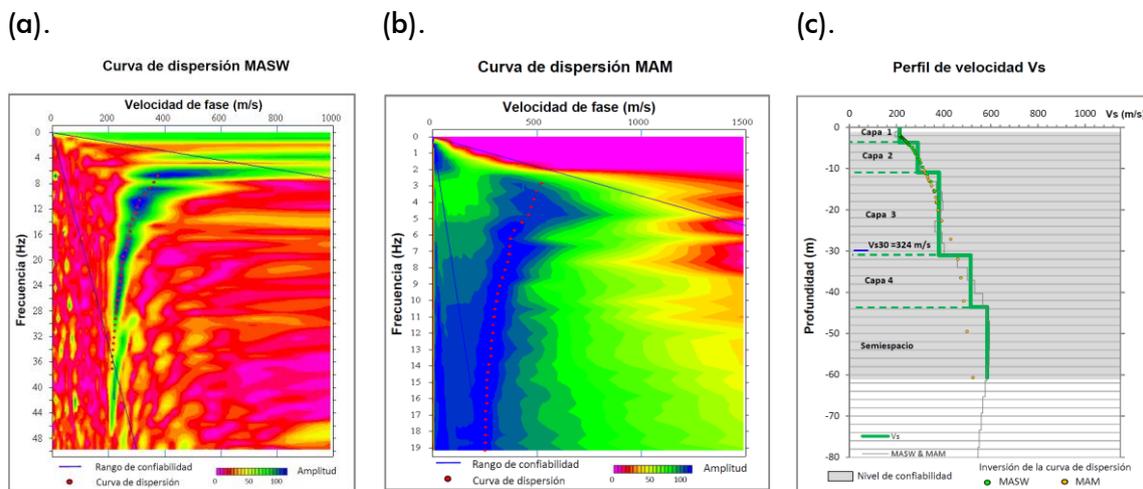


Figura 14. Curvas de dispersión obtenidas a partir de las técnicas MASW (a) y MAM (b) y el perfil de velocidad obtenido a partir de la combinación de ambas técnicas (c).

Para el análisis de los resultados obtenidos, se considera la clasificación de suelos propuesta por la Norma Diseño Sismorresistente (2018). En este caso, el rango de velocidad de los perfiles de 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, ver Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación del perfil de suelo a partir de la Norma de Diseño Sismorresistentes (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 12 líneas sísmicas MASW y MAM con resolución promedio hasta ~80 metros de profundidad. Los resultados obtenidos para la línea LS01-CH se observan 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-CH: Realizada en el Malecón Costa Sur - parque La Virgen, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 70 metros. Este perfil permite identificar en el subsuelo la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y

velocidad V_s de 183 m/s, junto a la segunda capa de 9 metros de espesor y velocidad V_s de 274 m/s están compuestas por material aluvial suelto a medianamente compacto. La tercera capa con V_s de 415 m/s y espesor de 7 metros corresponde a material aluvial medianamente compacto, y la cuarta capa con V_s de 605 m/s y espesor de 26 metros, junto al semiespacio con velocidad $V_s > 757$ m/s presentan material aluvial compacto.

Línea sísmica LS02-CH: Realizada por la Pileta de Agua Dulce y Circuito de Playas, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 72 metros. Este perfil permite identificar la existencia en el subsuelo de dos (2) capas sísmicas: La primera de 7 metros de espesor y velocidad V_s de 296 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto, y la segunda capa de 8 metros de espesor y velocidad V_s de 606 m/s compuesta por material aluvial compacto. El semiespacio con velocidad $V_s > 957$ m/s corresponde a material aluvial muy compacto

Línea sísmica LS03-CH: Realizada en el parque Cuadros, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 72 metros. Este perfil permite identificar la existencia en el subsuelo de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidad V_s de 220 m/s, y la segunda capa de 8 metros de espesor y velocidad V_s de 331 m/s, ambas compuestas por material aluvial suelto a medianamente compacto. La tercera capa con V_s de 437 m/s y espesor de 18 metros, corresponde a material aluvial medianamente compacto. La cuarta capa con velocidad V_s de 556 m/s y espesor de 12 metros junto al semiespacio con velocidad > 649 m/s, está compuesta por material aluvial compacto.

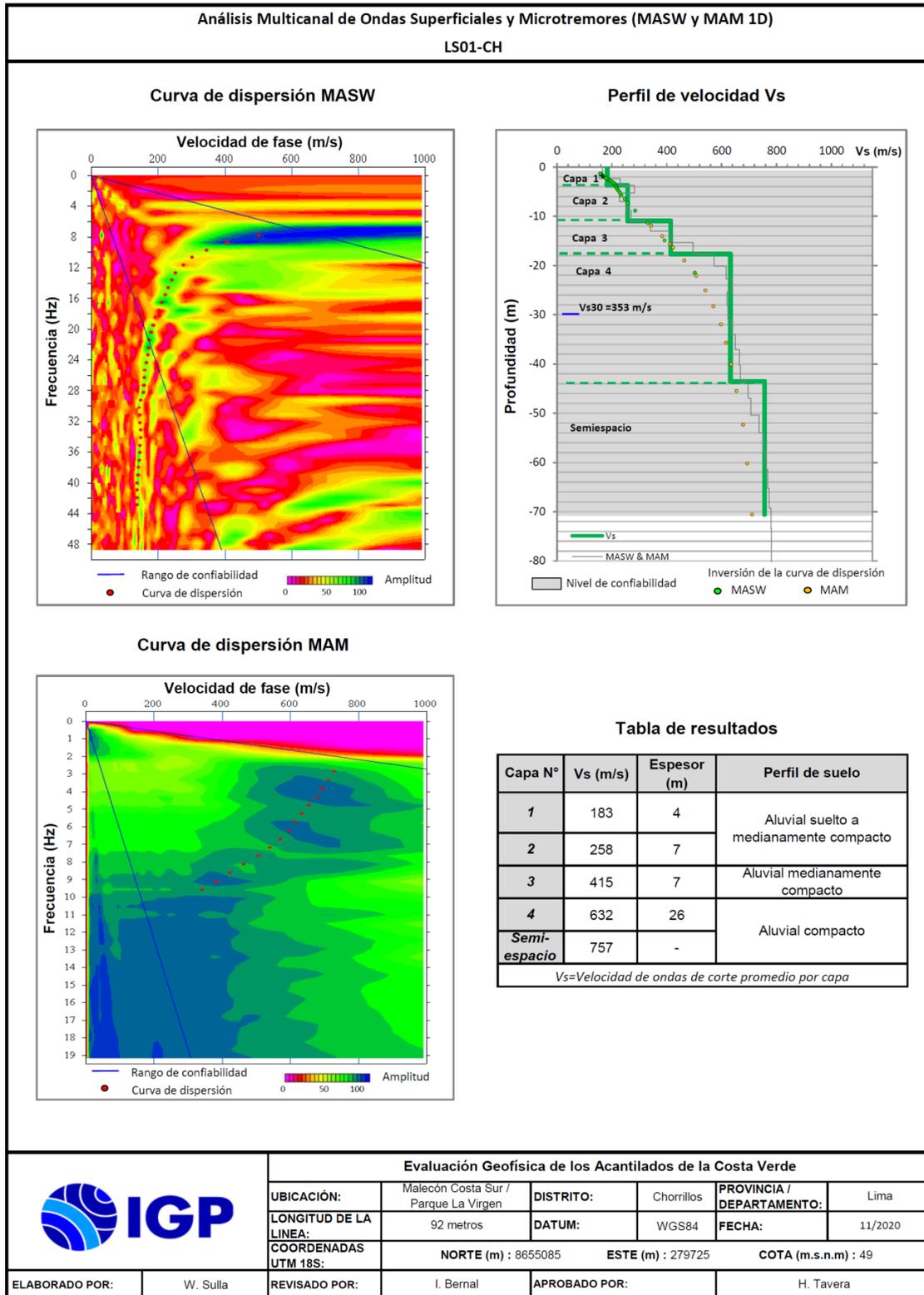


Figura 15. Resultados obtenidos con la técnica MASW y MAM para la línea sísmica LS01-CH.

Línea sísmica LS04-CH: Realizada en la calle Coronel (Av. José Olaya), siendo la profundidad de resolución promedio de 61 metros. Este perfil permite identificar la existencia en el subsuelo de cuatro (4) capas sísmicas: La primera, de 4 metros de espesor y velocidad de V_s 213 m/s, que junto a la segunda capa de 7 metros de espesor y velocidad de 290 m/s está compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto. La tercera capa con velocidad V_s de 380 m/s y 20 metros de espesor, estaría compuesto por material aluvial medianamente compacto. La cuarta capa de 12 metros de espesor y velocidad V_s de 514 m/s, que junto al semiespacio con velocidad $V_s > 584$ m/s estarían compuestas por material aluvial compacto.

Línea sísmica LS05-CH: Realizada en el Circuito de Playas frente al mercado pesquero, siendo la profundidad de resolución promedio de 38 metros. Este perfil permite identificar la existencia en el subsuelo de dos (2) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidad de V_s 246 m/s, corresponde a material aluvial suelto a medianamente compacto. La segunda capa de 10 metros de espesor y velocidad de 566 m/s, corresponden a material aluvial compacto. El semiespacio con velocidades $V_s > 1010$ m/s, sugieren material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS06-CH: Realizada en el Malecón Grau (altura de la Av. Mcal. Castilla), con una profundidad de resolución promedio de 38 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 173 m/s corresponden a material aluvial suelto, la segunda capa de 7 metros de espesor y velocidad V_s de 244 m/s corresponde a material aluvial suelto a medianamente compacto y la tercera capa de 7 metros de espesor y velocidad V_s de 354 m/s corresponde a material aluvial medianamente compacto. El semiespacio con velocidad $V_s > 603$ m/s, sugieren material aluvial compacto.

Línea sísmica LS07-CH: Realizada en la calle José Olaya (altura de la Av. Mcal. Castilla), siendo la profundidad de resolución promedio de 66 metros. Este perfil permite identificar la existencia en el subsuelo de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidad V_s de 214 m/s, que junto a la segunda capa de 8 metros de espesor y velocidad V_s de 320 m/s está compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto. La tercera capa de 12 metros de espesor y velocidad V_s de 452 m/s corresponde a material aluvial medianamente compacto. La cuarta capa con 18 metros de espesor y velocidad de 586 m/s, que junto al semiespacio con velocidad $V_s > 776$ m/s, está compuesta por material aluvial compacto.

Línea sísmica LS08-CH: Realizada en el parque ubicado entre la Av. Elena Fray de Pastor y la calle José Olaya, siendo la profundidad de resolución promedio de 64 metros. Este perfil permite identificar la existencia en el subsuelo de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidades V_s de 202 m/s, que junto a la segunda capa de 7 metros de espesor y velocidades V_s de 273 m/s está compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto. La tercera capa de 17 metros de espesor y velocidades V_s de 491 m/s corresponde a material aluvial medianamente compacto. La cuarta capa con 19 metros de espesor y velocidades de 673 m/s corresponde a suelos de tipo aluvial compacto y el semiespacio con velocidades $V_s > 854$ m/s, está compuesta por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS09-CH: Realizada en la calle Urrea, siendo la profundidad de resolución promedio de 60 metros. Este perfil permite identificar la existencia en el subsuelo de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidades V_s de 229 m/s, que junto a la segunda capa de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 326 m/s está compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto. La tercera capa de 14 metros de espesor y velocidades V_s de 440 m/s

corresponde a material aluvial medianamente compacto. La cuarta capa con 18 metros de espesor y velocidades de 537 m/s, que junto al semiespacio con velocidades $V_s > 695$ m/s, está compuesta por material aluvial compacto.

Línea sísmica LS10-CH: Realizada en la I.E. Sagrado Corazón Chalet, siendo la profundidad de resolución promedio de 80 metros. Este perfil permite identificar la existencia en el subsuelo de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 2 metros de espesor y velocidades V_s de 208 m/s, que junto a la segunda capa de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 285 m/s está compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto. La tercera capa de 16 metros de espesor y velocidades V_s de 380 m/s corresponde a material aluvial medianamente compacto. La cuarta capa con 21 metros de espesor y velocidad de 646 m/s, que junto al semiespacio con velocidades $V_s > 786$ m/s, está compuesta por material aluvial compacto.

Línea sísmica LS11-CH: Realizada en la Av. Defensores del Morro, siendo la profundidad de resolución promedio de 55 metros. Este perfil permite identificar la existencia en el subsuelo de tres (3) capas sísmicas: La primera de 7 metros de espesor y velocidades V_s de 227 m/s, que junto a la segunda capa de 11 metros de espesor y velocidades V_s de 325 m/s está compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto. La tercera capa de 26 metros de espesor y velocidades V_s de 525 m/s, que junto al semiespacio con velocidades $V_s > 728$ m/s, está compuesta por material aluvial compacto.

Línea sísmica LS12-CH: Realizada en el Malecón Grau (altura de la calle Viera) siendo la profundidad de resolución promedio de 80 metros. Este perfil permite identificar la existencia en el subsuelo de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidades V_s de 198 m/s, que junto a la segunda capa de 9 metros

de espesor y velocidades V_s de 266 m/s está compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto. La tercera capa de 14 metros de espesor y velocidades V_s de 442 m/s corresponde a material aluvial medianamente compacto. La cuarta capa con 20 metros de espesor y velocidades de 578 m/s, que junto al semiespacio con velocidades $V_s > 755$ m/s, está compuesta por material aluvial 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 obtenidos en cada uno de los perfiles de suelo (ver 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 Chorrillos permiten identificar la existencia en el subsuelo de 4 capas. Estas capas presentan diferente grado de compactación bien diferenciados en las cercanías del acantilado. Las características físicas y espesores de cada capa son discutidas a continuación.

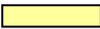
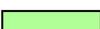
-Variación lateral de las propiedades físicas de los suelos: A lo largo del acantilado se ha identificado la presencia de materiales menos consolidados (aluviales sueltos a medianamente compactos). Estos suelos forman capas de 18 metros de espesor hacia el extremo norte del distrito (Malecón Costa Sur) y en dirección sur, a la altura del parque Cuadros, el espesor de la capa poco consolidada se incrementa a 30 metros, ver Figura 16. Por otro lado, en el extremo suroeste (Malecón Grau), los suelos menos compactos son parte de una capa que supera los 18 metros de espesor. En este último sector, se ha identificado a nivel superficial una capa de 4 metros de espesor

compuesto por suelos sueltos que representan mayor inestabilidad en el acantilado.

Hacia el interior del acantilado; es decir, hacia el área urbana, los suelos menos compactos son parte de una capa que supera los 20 metros de espesor, lo que sugiere que el espesor de la capa no decrece hacia el interior (área urbana). Por debajo de esta capa, la rigidez de los suelos se incrementa, presentando mayor consistencia.

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-CH	183	4	274	7	415	7	605	26	757	-	353
LS02-CH	296	7	606	8	957	-	-	-	-	-	561
LS03-CH	220	5	331	8	437	18	556	12	649	-	347
LS04-CH	213	4	290	7	380	20	514	12	584	-	324
LS05-CH	246	5	566	10	1010	-	-	-	-	-	547
LS06-CH	173	4	244	7	354	7	603	-	-	-	317
LS07-CH	214	5	320	8	452	12	586	18	776	-	352
LS08-CH	202	4	273	7	491	17	673	19	854	-	357
LS09-CH	229	4	326	5	440	14	537	18	695	-	385
LS10-CH	208	2	285	5	380	16	646	21	786	-	365
LS11-CH	227	7	325	11	525	26	728	-	-	-	337
LS12-CH	198	4	266	9	442	14	578	20	755	-	329

	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)

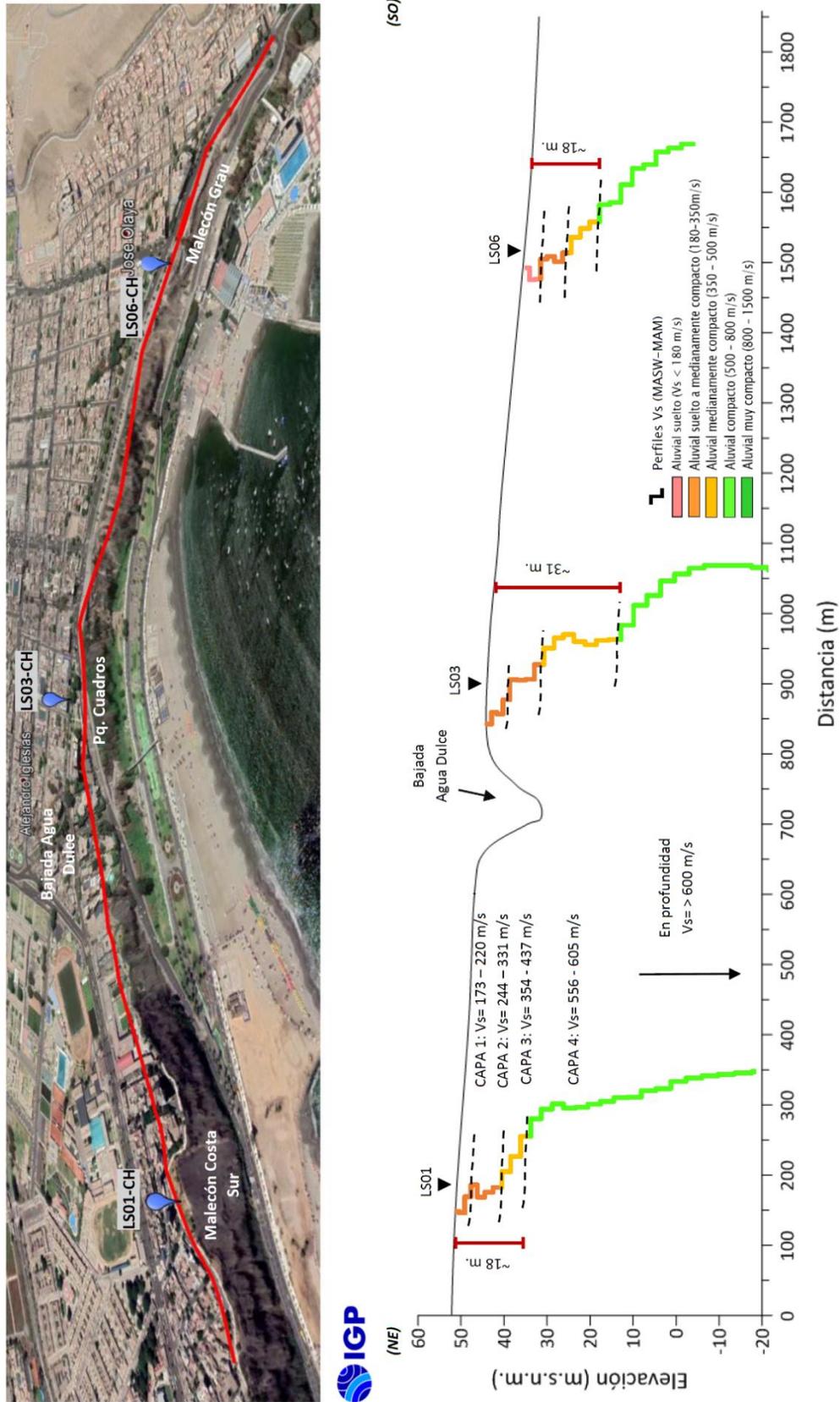


Figura 16. Correlación de los resultados obtenidos en cada perfil de velocidad V_s e identificación de la estructura del subsuelo en el ACV del distrito de Chorrillos.

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 para 12 líneas de ERT utilizando un equipo de Resistividad /IP Syscal Pro. En la Tabla 6, se detalla las características de las líneas ERT realizadas en los ACV del distrito de Chorrillos 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-CH	279716	8655047	37	10	160
	279830	8655143	49		
LE02-CH	279705	8655268	30	20	340
	279674	8654943	37		
LE03-CH	279649	8654855	14	20	480
	279521	8654373	12		
LE04-CH	279623	8654432	27	20	200
	279763	8654274	43		
LE05-CH	278854	8654096	32	20	200
	279186	8654130	28		
LE06-CH	279055	8654102	30	20	200
	279201	8653937	53		
LE07-CH	279859	8655354	55	20	260
	279833	8655097	52		
LE08-CH	279812	8654939	50	20	260
	279789	8654673	47		
LE09-CH	279653	8654559	27	20	240
	279893	8654497	45		
LE10-CH	279462	8654251	39	20	220
	279617	8654085	42		
LE11-CH	279166	8654085	38	20	240
	279386	8654191	41		
LE12-CH	279432	8654606	2	10	120
	279547	8654586	3		

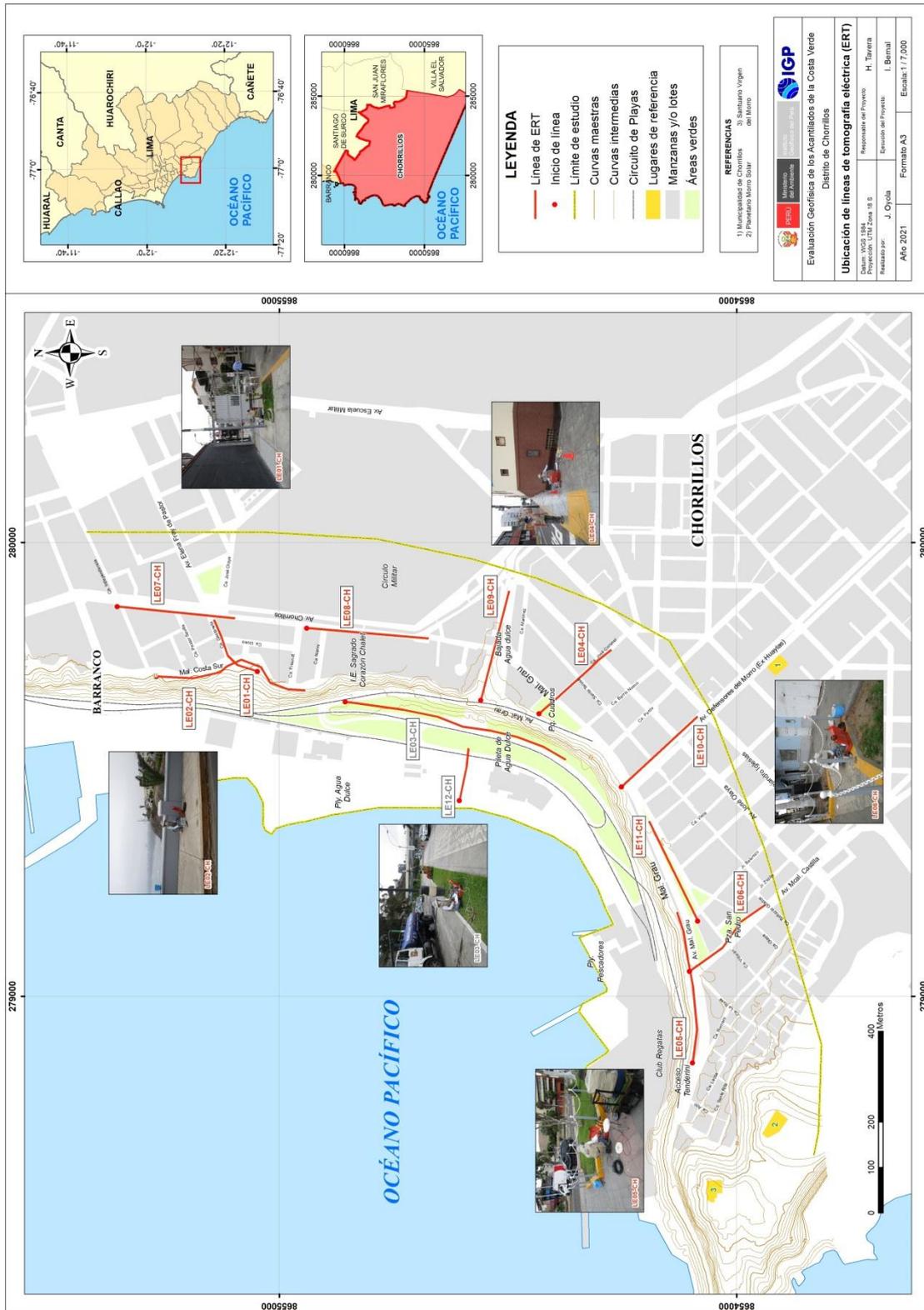


Figura 17. Distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica (ERT), codificadas como LE01-CH..., LE12-CH. Los códigos en gris, corresponden a líneas realizadas en la zona baja del acantilado.

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 Chorrillos se realizaron 12 secciones geoelectricas, con resolución hasta los 50 metros de profundidad. En la Figura 18, se presenta la sección geoelectrica para la línea LE01-CH y en el Anexo IV, para las secciones restantes. El análisis realizado para cada sección geoelectrica y/o tomografía eléctrica, permite tener los siguientes resultados:

Sección geoelectrica LE01-CH: Realizada en la calle Gastaneta sobre una longitud de 160 metros y en dirección SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan materiales con bajo contenido de humedad (>300 Ohm-m); sin embargo, a nivel superficial sobresale una franja angosta, donde predominan materiales con alto contenido de humedad, hasta una profundidad de 5 metros, principalmente a la altura del Malecón Costa Sur y a 10 metros de la calle Urrea

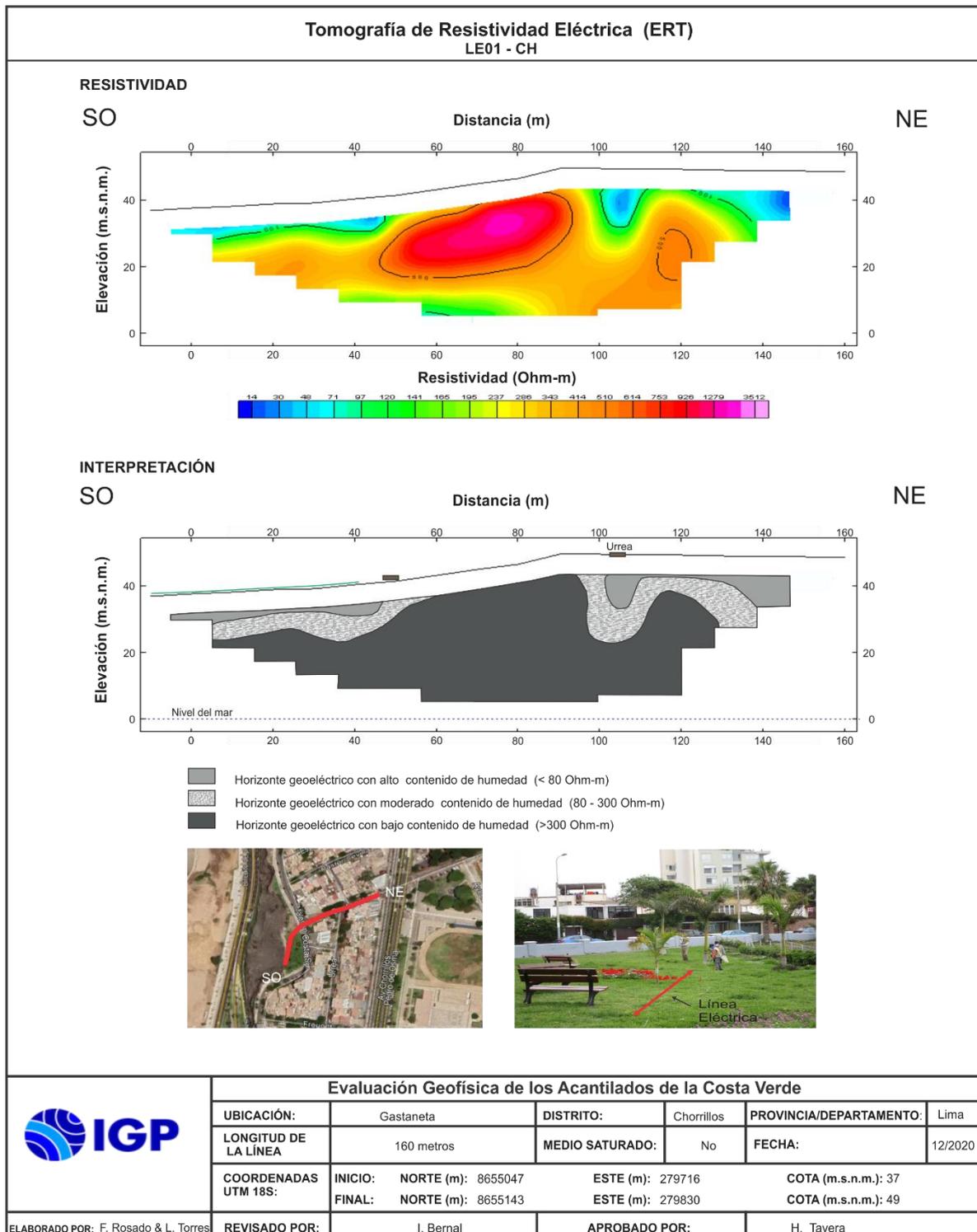


Figura 18. Resultados de tomografía eléctrica obtenidos para la línea LE01-CH.

Sección geoelectrica LE02-CH: Realizada en el Malecón Costa Sur sobre una longitud de 340 metros y en dirección NE-SO (paralela al acantilado). En esta sección, predomina un horizonte conformado por materiales con moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m). Asimismo, dentro de este horizonte a nivel superficial, sobresalen anomalías locales con valores bajos de resistividad hasta profundidades de 10 metros (alto contenido de humedad), principalmente a la altura de las calles Pastor y Freundt. A una profundidad de 30 metros se ha identificado la presencia de materiales con alto contenido de humedad, principalmente a la altura de las calles Freundt y Gastaneta.

Sección geoelectrica LE03-CH: Realizada en el Circuito de Playas sobre una longitud de 480 metros y en dirección NE-SO (paralela 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.

Sección geoelectrica LE04-CH: Realizada en la calle José Coronel sobre una longitud de 200 metros y en dirección NO-SE (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan depósitos de moderada resistividad (80 a 300 Ohm-m) con variaciones en dirección del acantilado hasta tener la presencia de depósitos con alto contenido de humedad hasta una profundidad de 40 metros entre la calle Santa Teresa y la Av. Malecón Grau. Estos mismos depósitos están presentes en el parque Cuadros por debajo de los 10 metros de profundidad. Asimismo, en este sector se identifica la presencia de grietas y asentamientos de suelos visibles en superficie.

Sección geoelectrica LE05-CH: Realizada en el Malecón Grau sobre una longitud de 320 metros y en dirección SO-NE (paralela 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. Contrariamente, a nivel superficial y hacia el tramo inicial de esta sección, a la altura de la calle Romero, existen depósitos con moderado contenido de humedad.

Sección geoelectrica LE06-CH: Realizada en la Av. Mcal. Castilla sobre una longitud de 200 metros y en dirección NO-SE (perpendicular al acantilado). En esta sección se ha identificado la presencia de 3 horizontes geoelectricos: El primero con bajo contenido de humedad (>300 Ohm-m) presente hasta una profundidad de 15 a 20 metros, por debajo de la calle. Luis Villarán. El segundo horizonte con moderado contenido de humedad presente entre la Av. Malecón Grau y la calle José Olaya. El tercer horizonte, a lo largo de toda la sección presenta alto contenido de humedad.

Sección geoelectrica LE07-CH: Realizada en la Av. Chorrillos sobre una longitud de 260 metros y en dirección NE-SO (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 a la altura de las calles Independencia, Pastor Sevilla y Gastanela, existen depósitos de suelos con alto contenido de humedad, hasta una profundidad que varía de 5 a 30 metros de profundidad.

Sección geoelectrica LE08-CH: Realizada en la Av. Chorrillos sobre una longitud de 260 metros y en dirección NE-SO (paralela al acantilado). En esta sección predominan los depósitos de moderada resistividad (80 a 300 Ohm-m) debido a la presencia de suelos aluviales con moderado contenido de humedad. Sin embargo, a nivel superficial a la altura de la I.E. Sagrado Corazón Chalet y a 200 metros desde el inicio de la sección, existen depósitos con alto contenido de

humedad. En profundidad se ha identificado un horizonte con bajo contenido de humedad.

Sección geoelectrica LE09-CH: Realizada en la Bajada Agua Dulce sobre una longitud de 240 metros y en dirección NO-SE (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 a la altura de la Av. Malecón Grau, existen depósitos de suelos con bajo contenido de humedad, hasta una profundidad que varía de 10 a 20 metros; asimismo, se tiene la presencia de depósitos de suelos con moderado contenido de humedad, a los 50 y 80 metros desde el inicio de la sección.

Sección geoelectrica LE10-CH: Realizada en la Av. Defensores del Morro sobre una longitud de 220 metros y en dirección NO-SE (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan los depósitos de suelos de baja resistividad (<80 Ohm-m) debido a la presencia de materiales aluviales con alto contenido de humedad. Sin embargo, a nivel superficial a la altura de la calle Santa Teresa y la Av. José Olaya, existen depósitos de suelos con moderado contenido de humedad que se extienden a mayores profundidades.

Sección geoelectrica LE11-CH: Realizada en la Av. Malecón Grau sobre una longitud de 240 metros y en dirección SO-NE (paralela al acantilado). En esta sección se ha identificado la presencia de 2 horizontes geoelectricos: El primero de baja resistividad (<80 Ohm-m), presente en toda la sección hasta una profundidad de ~ 40 metros. El segundo horizonte, a lo largo de toda la sección presenta moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m), con espesores de hasta 60 metros.

Sección geoelectrica LE12-CH: Realizada en la playa Agua Dulce sobre una longitud de 120 metros y en dirección NO-SE (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 a los 80 metros del inicio de la sección se presenta una zona anómala de moderado contenido de humedad y espesor de hasta 5 metros, en profundidad también se presentan estos valores.

b) Interpretación

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

-Hacia el extremo norte del distrito (Malecón Costa Sur), se ha identificado la presencia de una capa de suelos con bajo a moderado contenido de humedad y espesores de 10 a 40 metros. Así mismo, a nivel superficial y por sectores (altura de las calles Urrea, Pastor y Freundt), se identifica la presencia de suelos con alto contenido de humedad con espesores de hasta 10 metros. Por otro lado, a los 30 metros de profundidades se ha identificado un sector del subsuelo con alto contenido de humedad, principalmente a la altura de las calles Freundt y Gastaneta (Figura 19, Líneas LE01-CH y LE02-CH)

- En la zona central del distrito (entre la Bajada Agua Dulce y la calle José Coronel), perpendicular al acantilado se ha identificado la presencia de suelos con moderado y alto contenido de humedad en capas de 30 metros de espesor hacia el borde del acantilado. Por otro lado entre la Bajada Agua Dulce y Av. Malecón Grau, se ha identificado a nivel superficial la presencia de sectores de suelos con bajo contenido de humedad (Figura 19, Líneas LE04-CH y LE09-CH).

-En el extremo suroeste del distrito (entre la calle Romero y el Jr. B. Cruz), paralelo al acantilado, se ha identificado la presencia de suelos con alto contenido de humedad en capas de hasta 20 metros de espesor, por debajo de esta capa, el subsuelo contiene moderado contenido de humedad. A la altura de la calle Romero hay una disminución del nivel de humedad (Figura 19, Líneas LE05-CH y LE11-CH).

-Sobre la Av. Mariscal Castilla, perpendicular al acantilado se ha identificado la presencia de suelos con alto contenido de humedad; a pesar de que a nivel superficial, entre la calle Oyala y el Malecón Grau, se identifica suelos con bajo contenido de humedad hasta los 20 metros de espesor (Figura 19, Líneas LE06-CH).

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 lo largo de la Av. Malecón Grau, Bajada Agua Dulce y Av. Mariscal Castilla, 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 Malecón Costa Sur, Jr. Gastaneta, Ca Freundt, parque Cuadros. Estos niveles de humedad identificados sugieren que estos suelos representan un alto peligro a la ocurrencia de sismos.

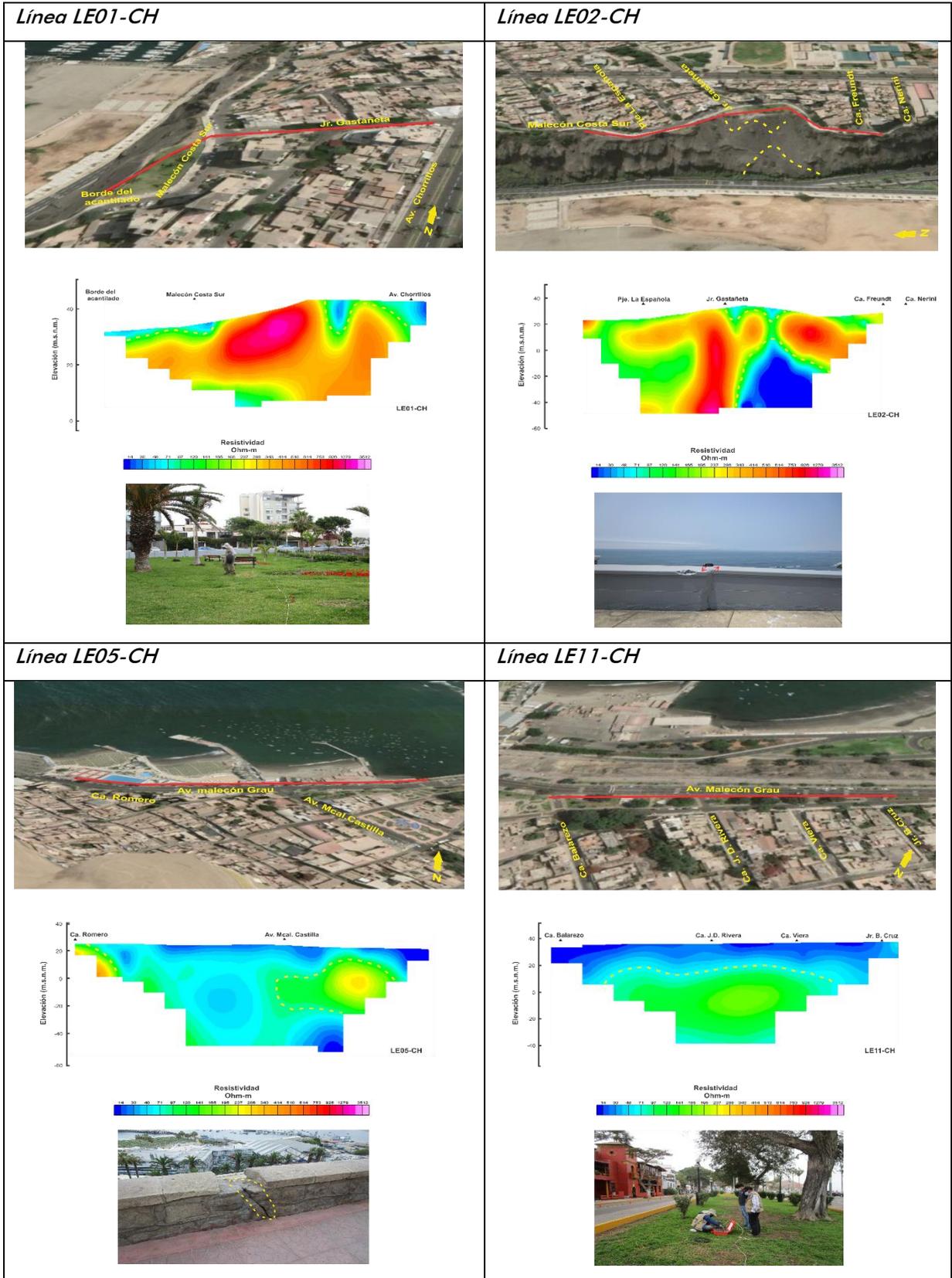


Figura 19. Ubicación y orientación de las líneas de tomografía eléctrica realizadas en el extremo Norte (LE01-CH, LE02-CH) y extremo SO (LE05-CH, LE11-CH) de los acantilados de la Costa Verde. Las líneas discontinuas en LE02-CH delimitan las zonas con mayor contenido de humedad y su proyección en el perfil del acantilado.

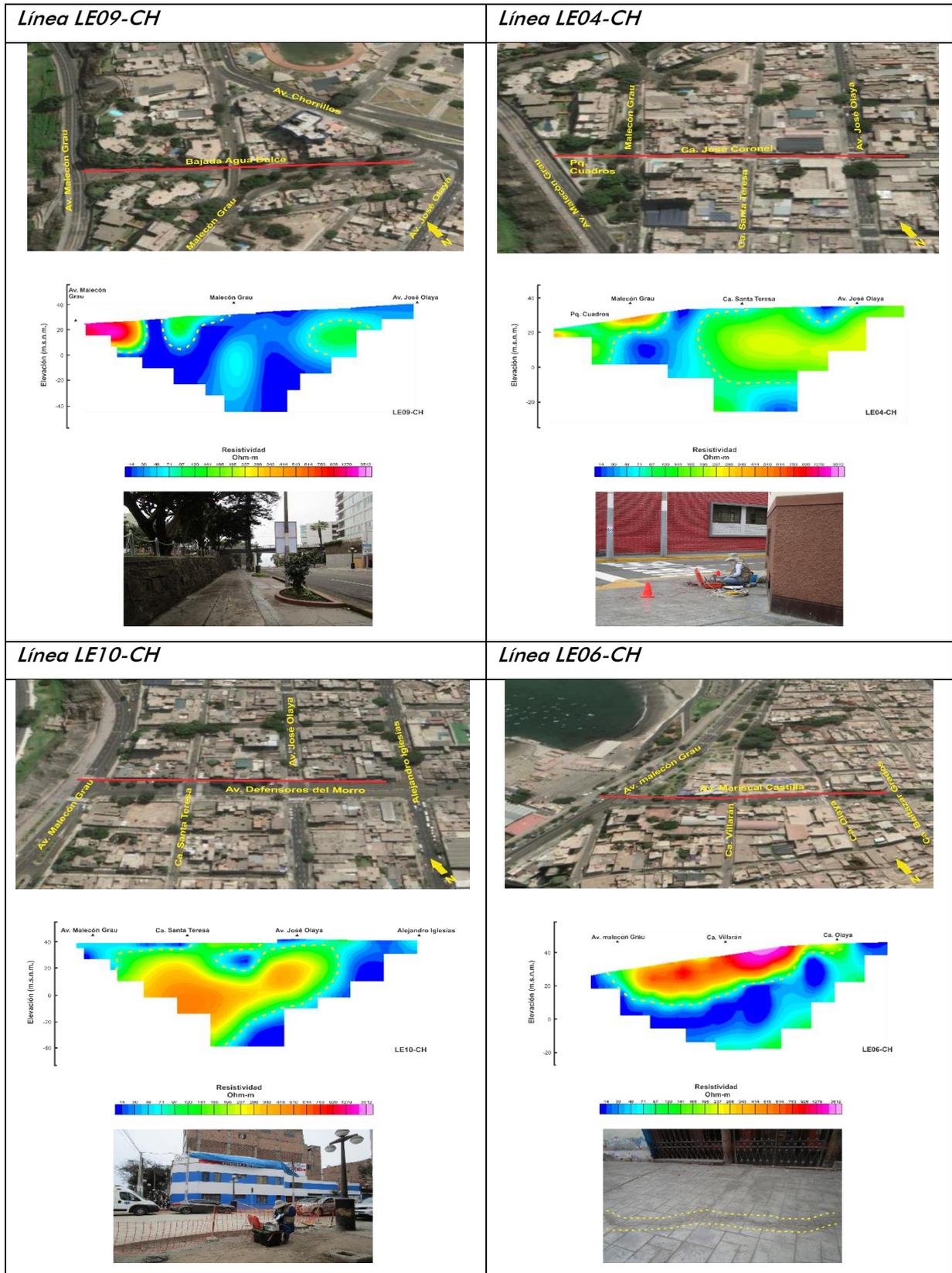


Figura 19. ...Continuación.../. Ubicación y orientación de las líneas de tomografía eléctrica realizadas en la zona central (LE09-CH, LE04-CH), y SO (LE10-CH, LE06-CH) de los acantilados de la Costa Verde. .

2.4.- Método de Georadar

El georadar es una técnica no destructiva orientada al estudio del subsuelo a nivel superficial y que se fundamenta en la capacidad de las ondas de radar de baja frecuencia (10 MHz - 2,5 GHz) para propagarse a través de medios poco conductivos y 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 será 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 21), 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.

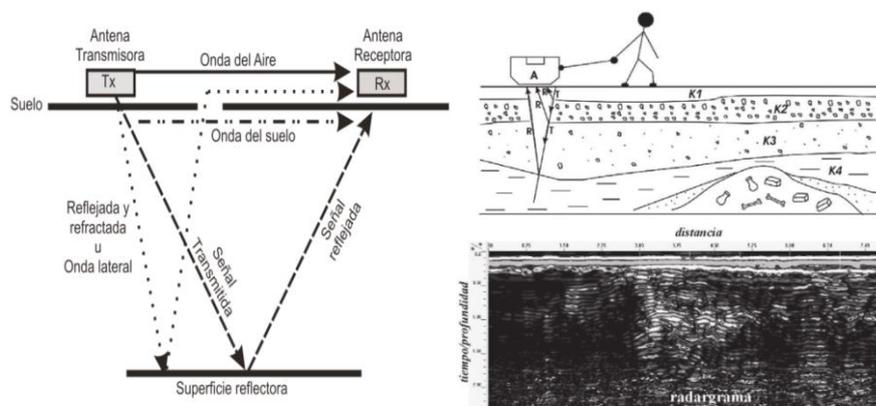


Figura 20. Esquema de la base del método de georadar y ejemplo del registro de un radargrama (Villela, 2013)

2.4.1.- Adquisición de datos

La exploración del subsuelo se realizó con un georadar GSSI, antena de 350 MHz y 100 MHz. La capacidad de penetración de la onda electromagnética dependerá de las condiciones de conductividad y permisividad del subsuelo, llegando con la antena de 350 MHz a profundidades de 6 metros y con la antena de 100 MHz hasta los 20 metros de profundidad. 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).



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

En el distrito de Chorrillos se realizaron 17 líneas de GPR (4 línea con la antena de 100 MHz y 8 líneas con 350 MHz) cuyas coordenadas son indicadas en la Tabla 8 y su distribución espacial en la Figura 22.

Durante los trabajos de campo, los datos registrados eran 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.

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)			
1	GPR01-CH	279715	8655092	48	335	350
		280024	8655230	52		
2	GPR02-CH	279713	8655273	45	410	350
		279689	8654919	45		
3	GPR03-CH	279680	8654970	44	133	350
		279810	8654957	49		
4	GPR04-CH	279644	8654394	43	163	100
		279748	8654520	38		
5	GPR05-CH	279900	8654462	45	171	350
		279731	8654479	42		
6	GPR06-CH	279813	8654215	44	292	350
		279617	8654430	42		
7	GPR07-CH	279397	8654273	2	416	100
		279603	8654656	3		
8	GPR08-CH	279399	8654230	39	185	100
		279551	8654328	39		
9	GPR09-CH	279688	8653977	41	370	350
		279436	8654248	39		
10	GPR10-CH	279463	8653930	39	327	350
		279245	8654166	37		
11	GPR11-CH	278798	8654114	29	459	100
		279241	8654163	36		
12	GPR12-CH	279324	8653789	37	424	350
		279036	8654101	33		
13	GPR13-CH	279872	8655238	60	630	350
		279777	8654612	56		
14	GPR14-CH	279665	8654556	36	230	350
		279890	8654497	52		
15	GPR15-CH	279637	8654890	11	560	350
		279568	8654347	49		
16	GPR16-CH	279424	8654603	13	111	350
		279535	8654587	15		
17	GPR17-CH	279393	8654271	15	240	350
		279169	8654193	13		

2.4.2.-Procesamiento y análisis

El procesamiento de los radargramas se realizó con el programa RADAN 7, utilizando filtros para la remoción del ruido de fondo, ganancia automática, pasa bandas, substracción de la media y filtro exponencial de ganancia. Debido a que en cada sitio el espesor del suelo, el relleno (natural o escombros) y el tipo de subsuelo son distintos, los valores de los parámetros de cada filtro fueron diferentes para cada perfil. También, en caso de que la señal perdiera su intensidad o no mejorará la respuesta a profundidad se eliminó alguno 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 con el uso de 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	Travertino	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

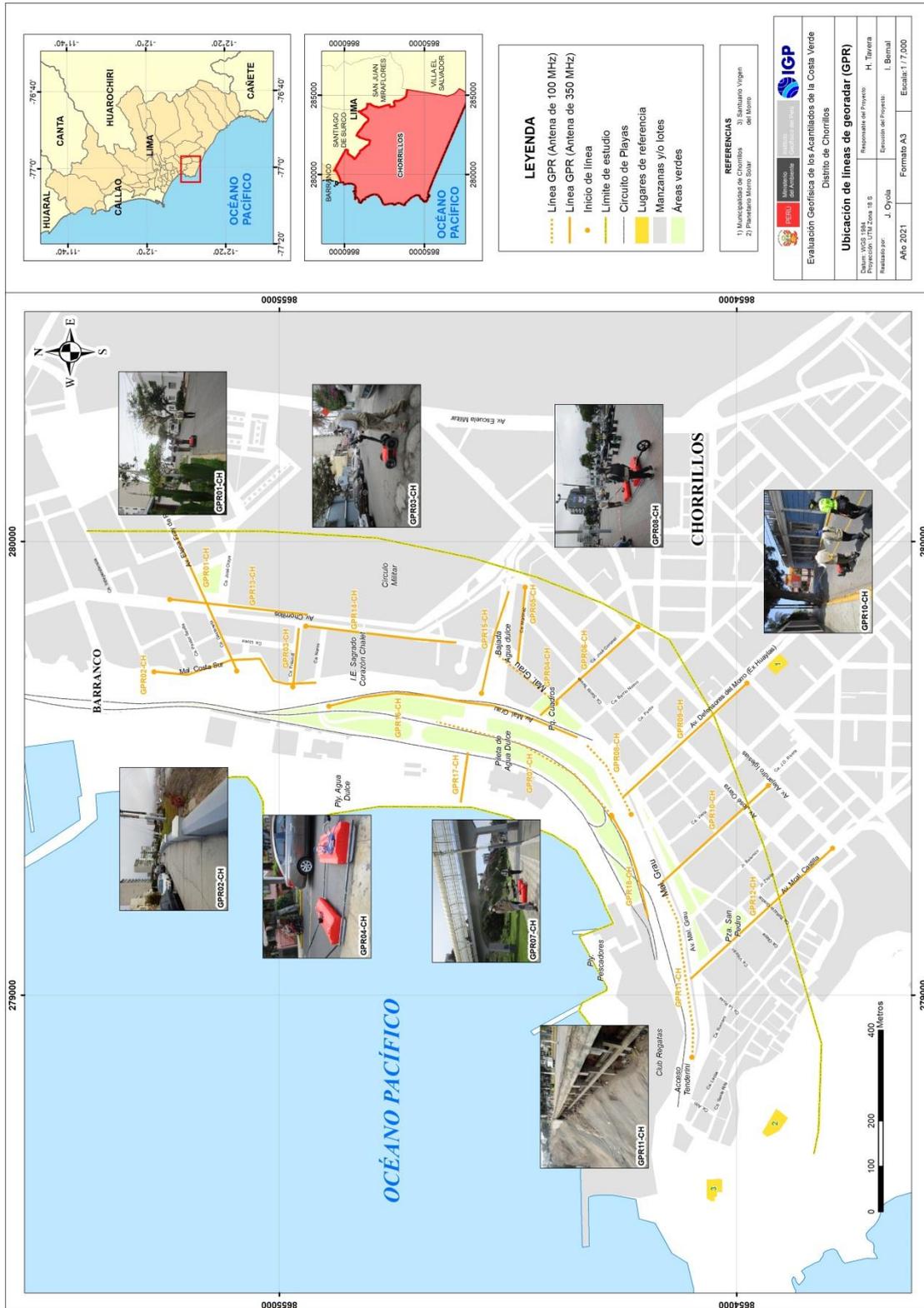


Figura 22. Distribución espacial de las líneas de GPR, codificadas como GPR01-CH, ..., GPR17-CH.

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, respetivamente. **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 otras similares vistas en superficie (Figura 23).

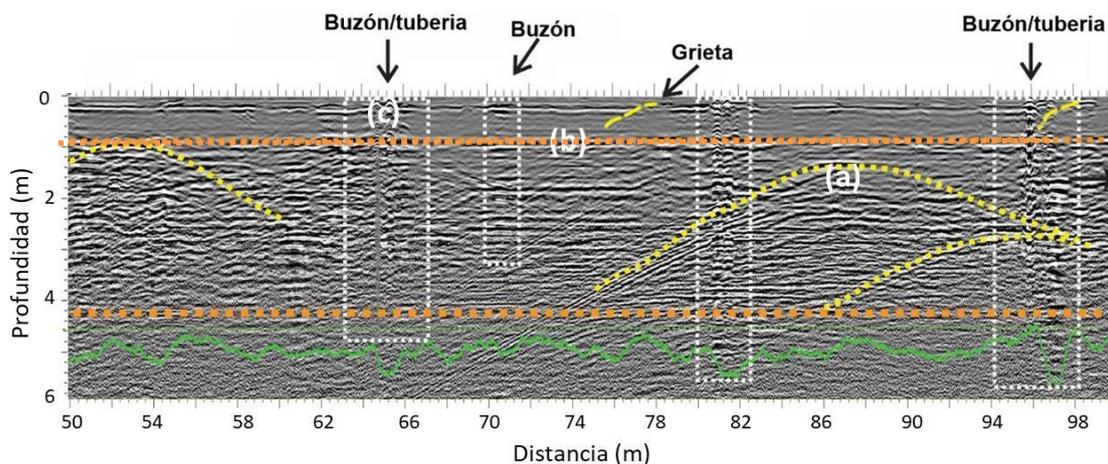


Figura 23. Radargrama, con los diferentes tipos de reflectores asociados a anomalías de tipo hiperbólico (a), lineal (b) y puntuales (c).

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 GPR02-CH 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-CH: Realizada en la Jr. Gastaneta con una longitud de 335 metros y orientada en dirección SO a NE, perpendicular al acantilado. En la línea se identifica la existencia de una capa de 1.5 metros de espesor conformado por material heterogéneo y anomalías en forma de pliegues a lo largo de todo el perfil. Los reflectores semi planos dispersos son características de la presencia grietas que llegan hasta 0.5 metros de profundidad. Asimismo, en superficie se observa la presencia de desniveles, asentamientos, fisuras en el suelo a lo largo de la segunda cuadra de la Jr. Gastaneta.

Línea GPR02-CH: Realizada en el Malecón Costa Sur con longitud de 410 metros, orientada en dirección N a S, paralela al acantilado. En esta línea se identifica la presencia de una capa de ~1.5 metros de espesor conformado por material heterogéneo, en el cual sobresalen grietas que alcanzan profundidades de hasta 1 metro, principalmente sobre la 6ta cuadra del Malecón Costa Sur. Asimismo, se identifica la existencia de una anomalía desde 12 hasta 90 metros de distancia asociada a la presencia de suelos deformados (Figura 24).

Línea GPR03-CH: Realizada en la calle Freundt con una longitud de 133 metros y orientada en dirección O a E, perpendicular al acantilado. En esta línea se observa la presencia de una capa de 1.5 metros de espesor conformado por material heterogéneo, y la presencia de anomalías con un grado de deformación a lo largo de todo el perfil. Asimismo, se identifica la existencia de anomalías a lo largo de la primera cuadra de la calle Freundt, asociadas a zonas de agrietamientos y anomalías puntuales debido a la presencia de tuberías y a cambios de materiales. Estas grietas llegarían hasta profundidades de 1 metro.

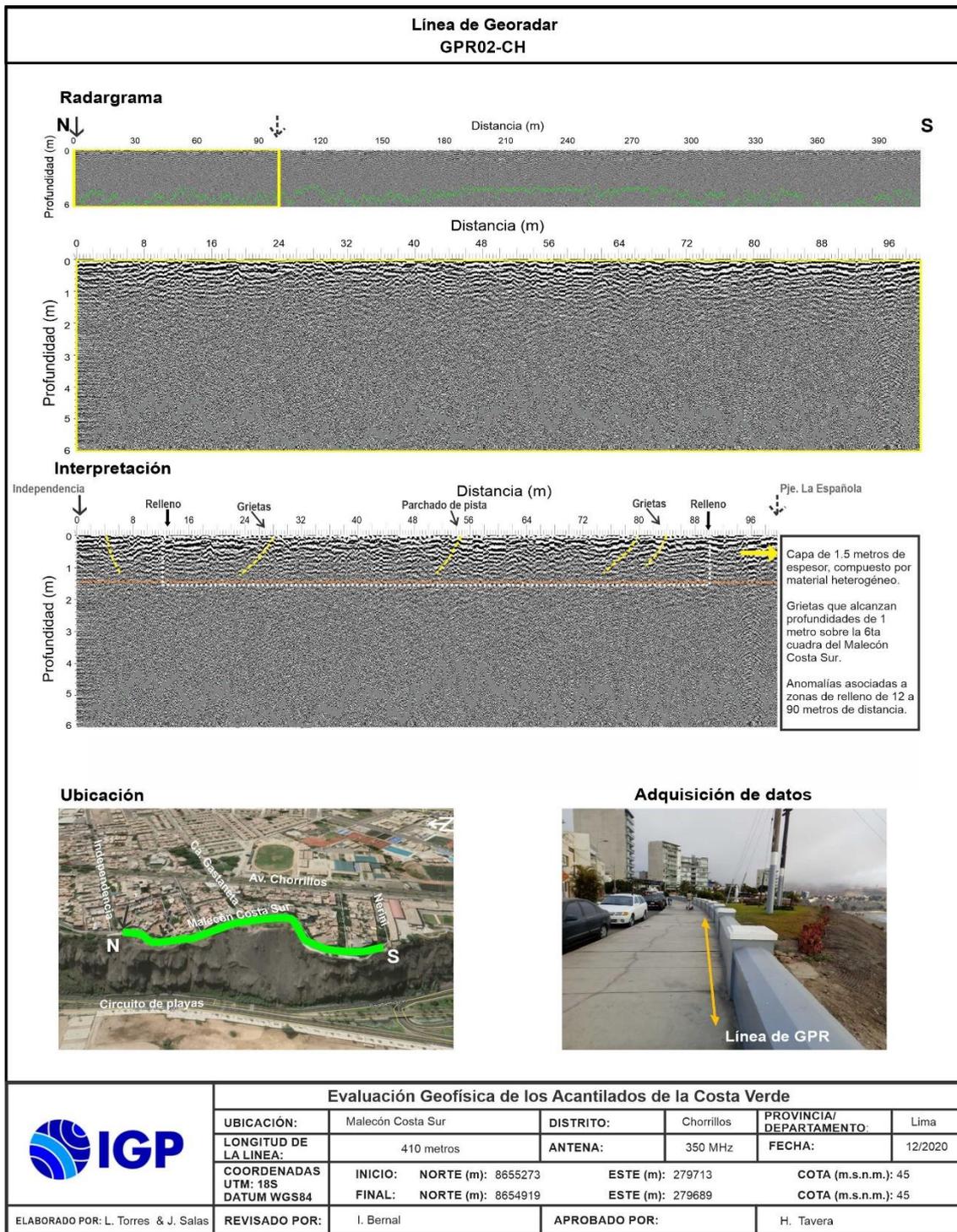


Figura 24. Resultados obtenidos con la técnica de georadar para la línea GPR02-CH.

Línea GPR04-CH: Realizada en la Av. Malecón Grau con una longitud de 163 metros y orientada en dirección SO a NE, paralela al acantilado. Para la exploración de esta línea se utilizó una antena de 100 MHz llegando a identificarse la presencia de una capa de 2 metros de espesor, compuesta por material heterogéneo. Además, se observa la presencia de fisuras en superficie entre la Bajada Agua Dulce y la calle Martínez.

Anomalías a los 106 y 154 metros a causa del aumento de la capa superficial hasta los 4.5 metros de profundidad.

Línea GPR05-CH: Realizada en la calle Martínez, con una longitud de 171 metros y orientada en dirección E a O, perpendicular al acantilado. En la línea se identifica la presencia de una capa de 1 metro de espesor conformado por material heterogéneo. Grietas que alcanzan profundidades de 1 metro sobre la 1ra. cuadra de la calle Martínez. Asimismo, anomalías puntuales asociadas a desniveles, buzones y pista dañada (huecos).

Línea GPR06-CH: Realizada en la calle José Coronel con una longitud de 292 metros y orientada en dirección SE a NO, perpendicular al acantilado. En esta línea se observa la presencia de una capa de 1 metro de espesor conformado por material heterogéneo y la presencia de grietas que alcanzan profundidades de 1 metro sobre la 1ra. cuadra de la calle José Coronel y el parque Cuadros Chorrillos. Asimismo, tenemos anomalías puntuales asociadas a tuberías, buzones y cambios de material.

Línea GPR07-CH: Realizada en el Circuito de Playas con una longitud de 416 metros y orientada en dirección SO a NE, paralela al acantilado. Para la exploración de esta línea se utilizó una antena de 100 MHz. En esta línea se identifica la presencia de una capa hasta los 4 metros de profundidad compuesta por material heterogéneo; además

de la presencia de en esta capa de una moderada deformación en todo el perfil.

Línea GPR08-CH: Realizada en la Av. Malecón Grau con una longitud de 185 metros y orientada en dirección de SO a NE, paralela al acantilado. Para la exploración de esta línea se utilizó una antena de 100 MHz. En la línea se identifica la existencia de una capa conformada por material heterogéneo hasta 2 metros de profundidad; además de grietas sobre la 6ta. y 7ma. Cuadra de la Av. Malecón Grau a la altura de la Av. Defensores del Morro.

Línea GPR09-CH: Realizada en la Av. Defensores del Morro con una longitud de 370 metros y orientada en dirección SE a NO, perpendicular al acantilado. En esta línea se identifica hasta la profundidad de 1 metro, la presencia de una capa compuesta por material heterogéneo, con grietas distribuidas a lo largo de 1ra. cuadra de la Av. Defensores del Morro con profundidades de 1 metro. Algunas fisuras se pueden apreciar en superficie. Asimismo, se observa anomalías puntuales asociadas a desniveles y cambios de material.

Línea GPR10-CH: Realizada en la calle Rivera con Jr. Julio Víctor Aguirre con una longitud de 372 metros y orientada en dirección SE a NO, perpendicular al acantilado. En la línea se observa la presencia hasta 1 metro de profundidad de una capa conformada por material heterogéneo; además de la presencia de grietas que alcanzan profundidades de 1 metro sobre la 1ra. cuadra del Jr. Aguirre. Asimismo, se observan anomalías puntuales asociadas a desniveles y cambio de material.

Línea GPR11-CH: Realizada en la Av. Malecón Grau con una longitud de 459 metros y orientada en dirección SO a NE, paralela al acantilado. Para la exploración de esta línea se utilizó una antena de

100 MHz. En esta línea se tiene una capa de 3 metros de espesor, compuesta por material heterogéneo. Se observa grietas dispersas que alcanzan los 2 metros de profundidad. Asimismo, sobre esta avenida se evidencia anomalías asociadas a asentamientos, de 136 a 177 y huecos de 307 a 341 metros de distancia. Alcanzan profundidades de 7 metros a la altura de la cuadra 11 de la Av. Malecón Grau.

Línea GPR12-CH: Realizada en la Av. Mariscal. Castilla con una longitud de 424 metros y orientada en dirección SE a NO, perpendicular al acantilado. En la línea se llegó a identificar la presencia de una capa de 2.5 metros de espesor conformado por materiales heterogéneos, la presencia de grietas que alcanzan profundidades de hasta 1.5 metros sobre la cuadra 4 y la última cuadra de la Av. Mariscal Castilla. Asimismo, se identifica la existencia de anomalías asociadas a tuberías, desniveles y cambios de material. Algunas fisuras se aprecian en superficie.

Línea GPR13-CH: Realizada en la Av. Chorrillos con una longitud de 630 metros y orientada en dirección de Norte a Sur, paralela al acantilado. En esta línea se identifica la presencia de una capa de 1.5 metros de espesor compuesta por material heterogéneo; además de la presencia de anomalías puntuales causadas por la presencia de buzones.

Línea GPR14-CH: Realizada en la Bajada Agua Dulce con una longitud de 230 metros y orientada en dirección NO a SE, perpendicular al acantilado. En esta línea se identifica, hasta la profundidad de 2 metros, la presencia de material heterogéneo; además de grietas distribuidas entre el Malecón Grau y la bajada Huaylas con profundidades de 1 metro. Asimismo, se observa la existencia de anomalías puntuales debido a la presencia de buzones por la vía Malecón Grau.

Línea GPR15-CH: Realizada en la Bajada Huaylas con una longitud de 560 metros y orientada en dirección Norte a Sur, perpendicular al acantilado. En la línea se observa la presencia, hasta 2 metros de profundidad, de una capa conformada por material heterogéneo. Asimismo, se tiene la presencia de anomalías puntuales debido a cambios de material en superficies ocupadas; por ejemplo, superficies de con losetas a cambio rápido a cemento

Línea GPR16-CH: Realizada en la parte baja del ACV (Playa Agua Dulce) con una longitud de 111 metros y orientada en dirección NO a SE, perpendicular al acantilado. Aquí se observa la presencia de una capa de 2 metros de espesor compuesta por material heterogéneo. Asimismo, se tiene desde el primer tramo hasta los 60 metros de distancia, anomalías locales debido a la presencia de variados tipos de superficies, sea madera, losetas, asfaltos, entre otros.

Línea GPR17-CH: Realizada en el Circuito de Playas (acceso Regatas/Playa Pescadores) con una longitud de 240 metros y orientada en dirección NE a SO, paralelo al acantilado. En la línea se llegó a identificar la presencia de una capa de 2 metros de espesor conformada por materiales heterogéneos. Asimismo, se identifica la existencia de anomalías puntuales, una al inicio y otra a la altura del acceso Tenderini, que no se logró identificar su fuente de origen.

b) Interpretación

Los radargramas obtenidos en los ACV del distrito de Chorrillos permiten identificar la presencia en el subsuelo de hasta 2 capas con espesores de 1 a 2.5 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, desde la calle Independencia hasta la Bajada Agua Dulce, se identificó la presencia de anomalías lineales con amplitudes que se incrementan en las zonas donde existen grietas y fisuras en el suelo, que desde la superficie, alcanzan los 0.5 y 1 metros de profundidad, principalmente en la zona del Malecón Costa Sur, y las calles de Gastaneta y Freundt (GPR02-CH, GPR03-CH).

-Hacia la zona central, desde la Bajada Agua Dulce hasta la Av. Defensores del Morro, se observa la presencia de grietas que en la Av. Malecón Grau, alcanzan profundidades de hasta 1 metro. Asimismo, se identifica la presencia de pliegues entrelazados en el primer metro de profundidad y la existencia de varias grietas visibles en superficie, tal como ocurre en la calle Coronel y la Av. Defensores del Morro (GPR09-CH). En superficie, estas grietas presentan aberturas de hasta 1 centímetro y profundidades entre 0.5 y 1 metro.

-En el extremo sur, entre las avenidas Defensores del Morro y Mariscal Castilla (próximo al Morro Solar), se identifica la existencia de mayor cantidad de discontinuidades que se relacionaría con la presencia de fisuras o grietas a lo largo del Jr. Aguirre y la Av. Mariscal Castilla (GPR12-CH). Estas fisuras alcanzan profundidades de hasta 1.5 metros y en superficie aberturas de 2 centímetros con desniveles en los suelos. Asimismo, sobre la 11va y 12va cuadra del Malecón Grau se observaron la presencia de zonas con asentamientos y otra cóncava o vacía que alcanza la profundidad de 2.5 metros (GPR11-CH).

A lo largo del acantilado se identifica la presencia de anomalías puntuales que están asociadas con la presencia de servicios de alcantarillado, buzones de agua, entre otros (GPR06-CH).

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 superficial, 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.



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

2.5.1.- Adquisición de datos

Durante la adquisición de datos se recolectaron registros de vibración ambiental en 142 puntos utilizando sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 25). Los puntos de registro se distribuyen siguiendo 22 líneas perpendiculares al acantilado (perfiles) con longitudes del orden de

300 a 400 metros e intervalos de registro entre punto y punto de 40 a 50 metros (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.

En la Figura 27, se muestra ejemplos de señales de vibración ambiental registrados en el punto ubicado en la calle Santa Teresa, con presencia de ruido de poca amplitud y/o saltos transitorios (CH07-03, suelos compactos); otro en el Malecón Grau, sobre el acantilado con presencia de ruido de fondo constante (CH10-05, suelos heterogéneos); y finalmente, otro ubicado en el Circuito de Playas con presencia de altos niveles de ruido (CH05-06, 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.

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

- ✓ 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, y así 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.

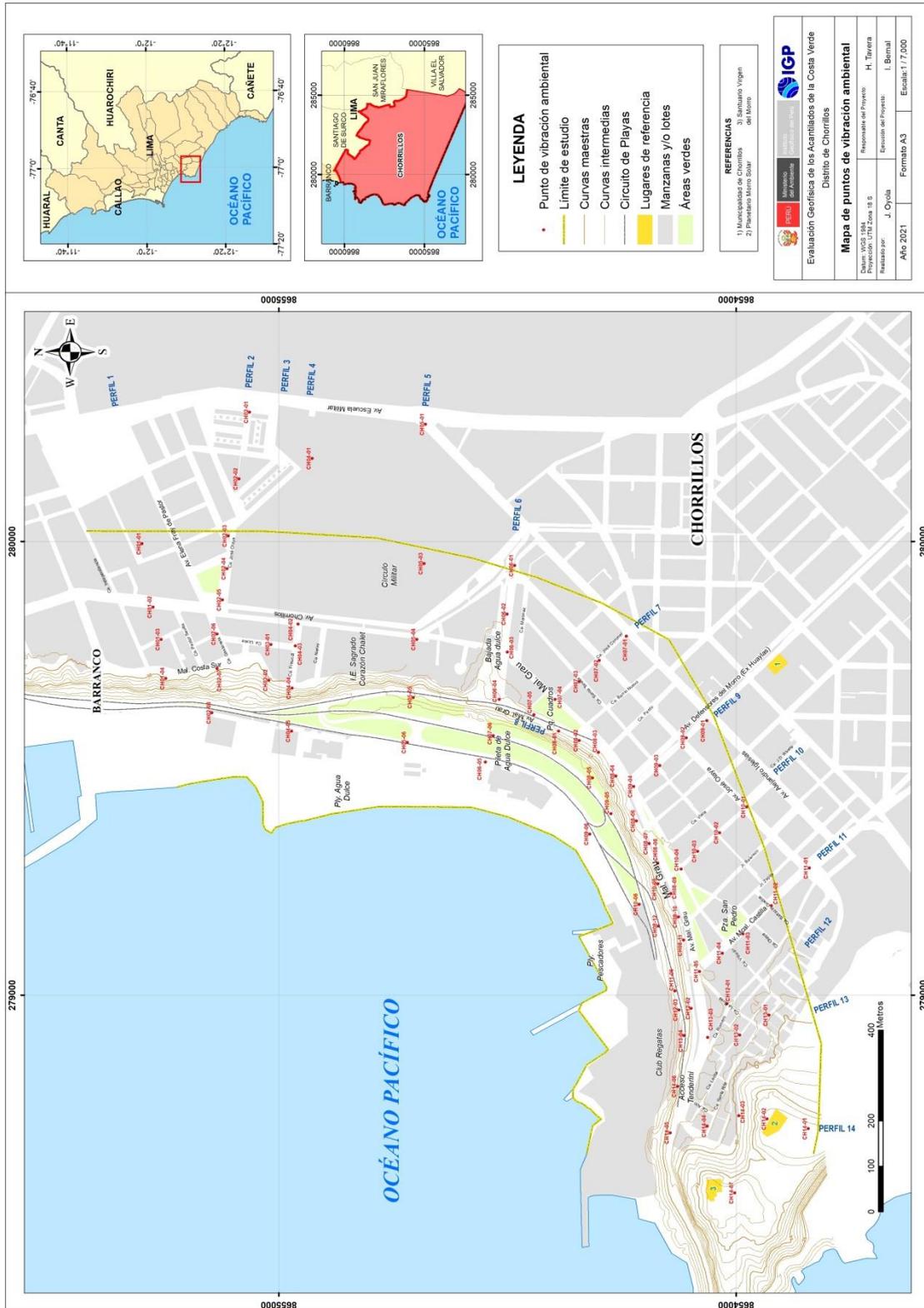


Figura 26. Distribución espacial de los puntos de registros de vibración ambiental, en los ACV del distrito de Chorrillos. Los perfiles, consideran puntos distribuidos siguiendo líneas perpendiculares al acantilado. Los códigos en gris, corresponden a puntos de registro en la zona baja del acantilado.

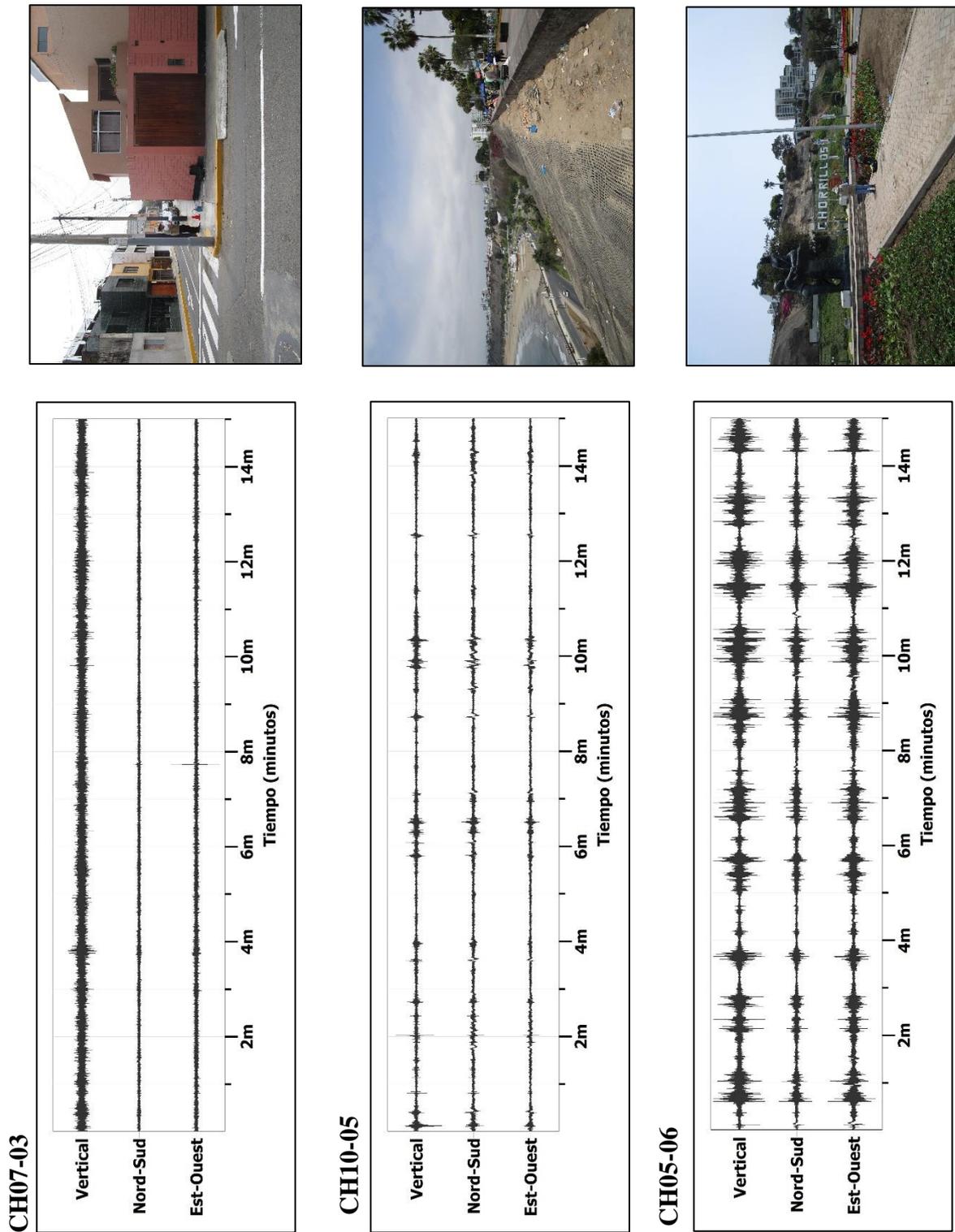


Figura 27. Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Registros obtenidos en la calle Santa Teresa con ruido transitorio (CH07-03); en el Malecón Grau con ruido constante (CH10-05) y en el circuito de playas (CH05-06). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

2.5.2.-Procesamiento y análisis

- ✓ 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.

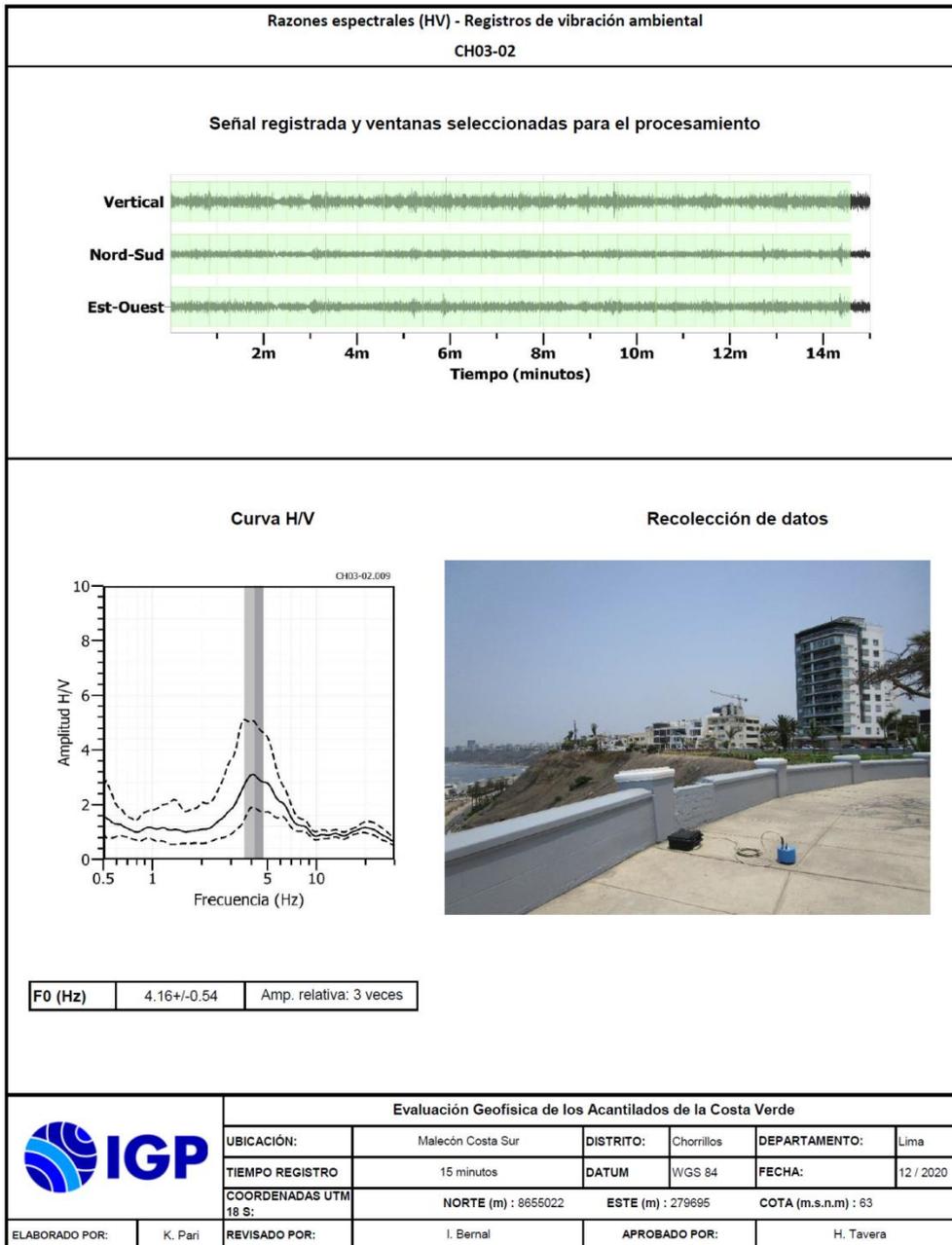


Figura 28. Resultados obtenidos con el método de razones espectrales (H/V) para el punto CH03-02. Arriba, la señal registrada y abajo la curva promedio de las razones espectrales (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

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).
- ✓ Para la interpretación de los resultados obtenidos en este estudio, se consideró la información geológica, geomorfológica y geotécnica disponible para la zona de estudio.

2.5.3.- Resultados e interpretación

En los ACV del distrito de Chorrillos, los suelos responden principalmente a frecuencias mayores a 2.0 Hz ($F_0 > 2.0$ Hz) y en unos pocos puntos presentan frecuencias menores a este valor. La distribución espacial de estos valores muestra que en toda el área de estudio prevalece un pico de frecuencia bien definido con las mayores amplificaciones hacia el borde del acantilado y de manera puntual, hacia el Malecón Grau, se registra un segundo pico de frecuencia con mínimas amplificaciones. Estas características sugieren que en las cercanías del borde del acantilado los suelos son menos compactos y más heterogéneos.

- **Frecuencias predominantes F_r :** En la Figura 29, se muestra la distribución espacial en el área de estudio de valores de frecuencias predominantes que fluctúan entre 3.0 a 12 Hz (0.1-0.3 segundo), con amplificaciones de 2 a 4 veces. Asimismo, en la cercanía al borde del acantilado en el Malecón Grau, cerca de la Bajada Agua Dulce, los

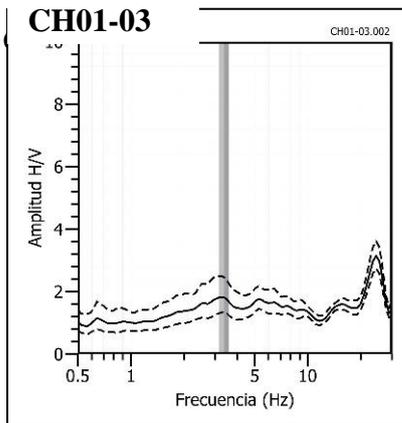
suelos responden a dos picos de frecuencia evidenciando la presencia de suelos heterogéneos, depositados sobre estratos compactos. Del mismo modo, existen áreas en las que los suelos no responden a frecuencias predominantes, indicando que los suelos son homogéneos. En la zona que corresponde al Circuito de Playas, se identifica un pico de frecuencia bien definido entre 5 a 12 Hz; con amplificaciones de hasta 8 veces, lo cual sugiere la presencia de suelos blandos.

En la Figura 30 se muestra ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos CH01-03, CH07-03 y CH11-04 ubicados a 90, 110 y 100 metros del borde del acantilado, próximos a las calles Torres, Santa Teresa y Luis Villarán. En estos espectros sobresalen picos con frecuencias a 3.3 (CH01-03), 4.1 (CH07-03) y 4.3 (CH11-04) Hz con amplificaciones de 1.8, 1.7 y 1.9 veces respectivamente.

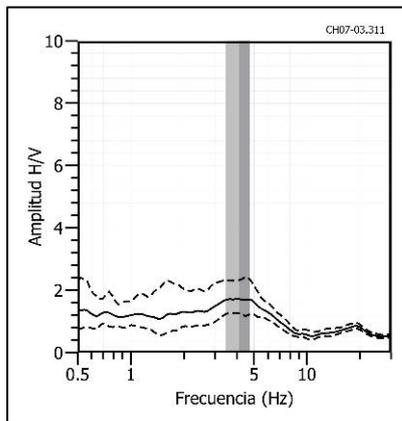
Asimismo, en esta misma figura se muestra ejemplos de razones espectrales para los puntos CH02-07, CH08-01 y CH08-11, ubicados próximos al borde del acantilado. En estos puntos resaltan la presencia de frecuencias de 4.7, 3.6 y 4.1 Hz con amplificaciones de 3.2, 2.5 y 3.6 veces. Es notorio que los niveles de amplificación aumentan considerablemente cerca del acantilado.

A fin de evaluar el cambio en el comportamiento dinámico del suelo a lo largo de los ACV del distrito de Chorrillos, se analiza de manera conjunta la información contenida en cada gráfico de razones espectrales (H/V) para los 14 perfiles perpendiculares al acantilado. En la Figura 31a, se muestra los gráficos de razones espectrales correspondientes a puntos del perfil P-02 (extremo norte), siendo sus características las siguientes:

- En el punto CH02-06 ubicado a 70 metros del borde del acantilado en la calle Pastor, no sobresale ningún pico de frecuencias, lo que evidencia la presencia de suelos rígidos.



CH07-03



CH11-04

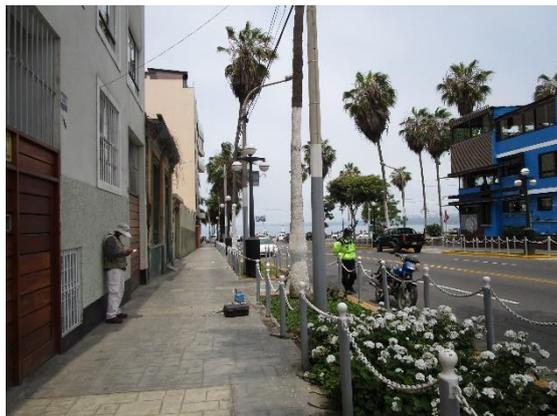
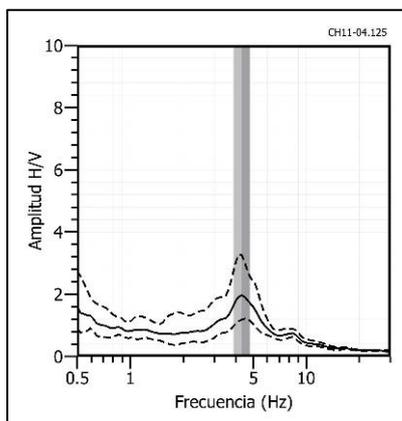
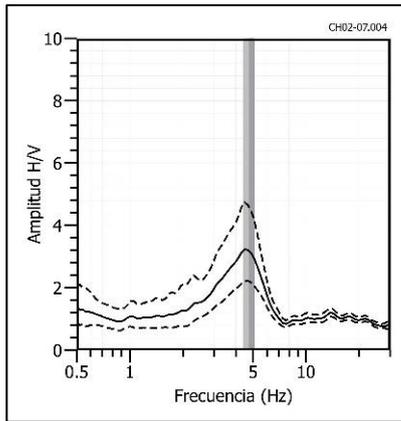
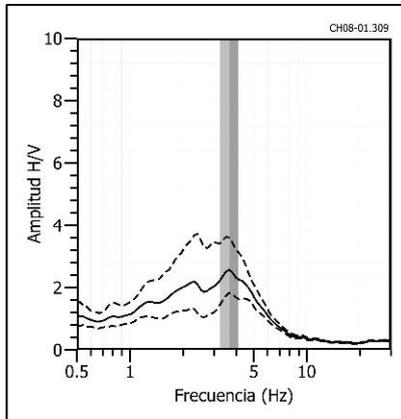


Figura 30. Ejemplos de razones espectrales (H/V): puntos CH01-03, CH07-03 y CH11-04, ubicados a 90, 110 y 100 metros del borde del acantilado. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

CH02-07



CH08-01



CH08-11

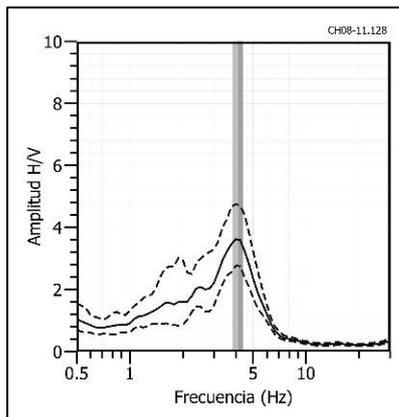


Figura 30. Continuación... Ejemplos de razones espectrales (H/V): puntos CH02-07, CH08-01 y CH08-11, ubicados próximos al borde del acantilado. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

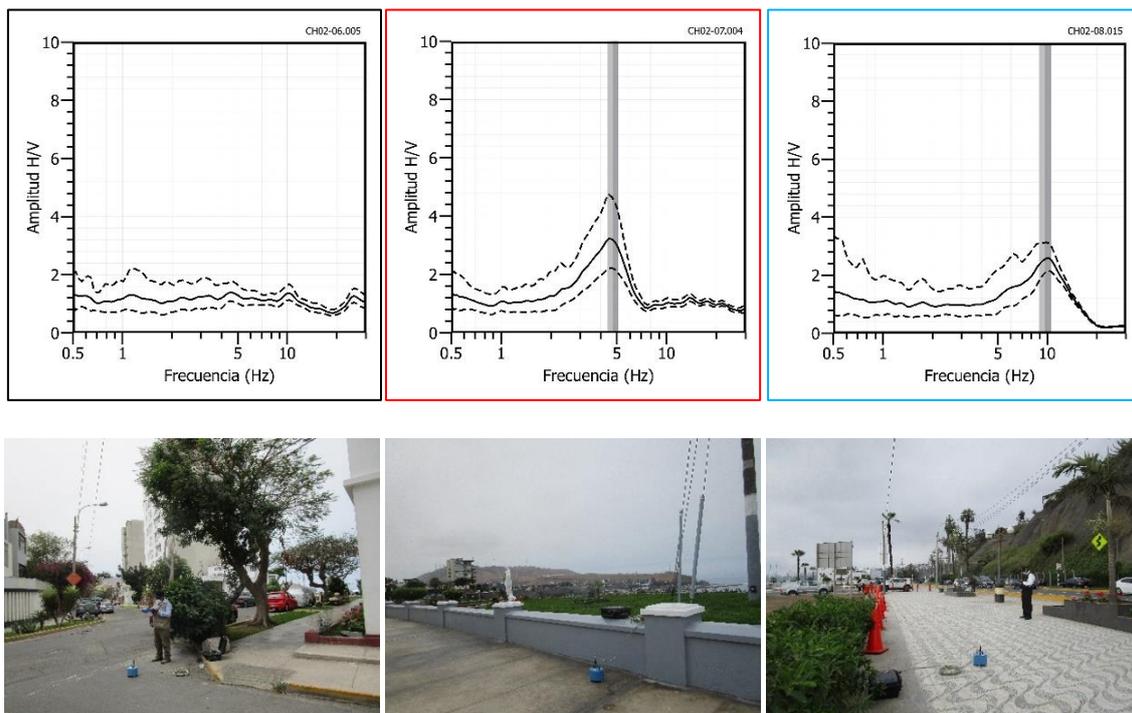


Figura 31.a) Razones espectrales obtenidas para puntos del perfil P-02 (CH02-06, CH02-07 y CH02-08), ubicados de Este a Oeste, a 70 metros del acantilado, a 2 metros del borde del acantilado y el tercero en la Vía Circuito de Playas.

- En el punto CH02-07 ubicado en el Malecón Costa Sur sobre el borde del acantilado, se observa un pico de frecuencia bien definido a 4.45 Hz con amplificaciones mayores a 3 veces.
- En el tercer punto CH02-08, ubicado en el Circuito de Playas, sobresale un pico de frecuencia a 9.7 Hz con amplificaciones de 2.5 veces.

Asimismo, en la Figura 31b, se muestra los gráficos de razones espectrales correspondientes a puntos del perfil P-10 (extremo sur), siendo sus características las siguientes:

- En el punto CH10-04 ubicado a 60 metros del borde del acantilado en el cruce de las calles Rivera y Villarán, sobresale un pico de frecuencia con mínimas amplificaciones a 4.5 Hz.
- Para el punto CH10-05 ubicado sobre el borde del acantilado en el Malecón Grau, se observa un pico a frecuencias de 3.8 Hz con amplificaciones de 4.4 veces.

- Para el tercer punto CH10-06, ubicado en la Vía Circuito de playas, sobresalen dos picos de frecuencias a 1.9 y 11.3 Hz con amplificaciones de 5 veces.

De acuerdo a este análisis, el pico de frecuencia predominante, formas de las curvas y factores de amplificación relativa, muestran un cambio en el comportamiento dinámico del suelo a diferentes distancias del borde del acantilado. A mayor distancia del borde del acantilado, el suelo responde a un pico de frecuencia con bajas amplificaciones, evidenciando que estos son más estables, situaciones diferentes se observa en el borde del acantilado y Vía Circuito de Playas, donde el suelo también responden a un pico de frecuencia pero con mayores amplificaciones, evidenciando que son más heterogéneos y no compactos.

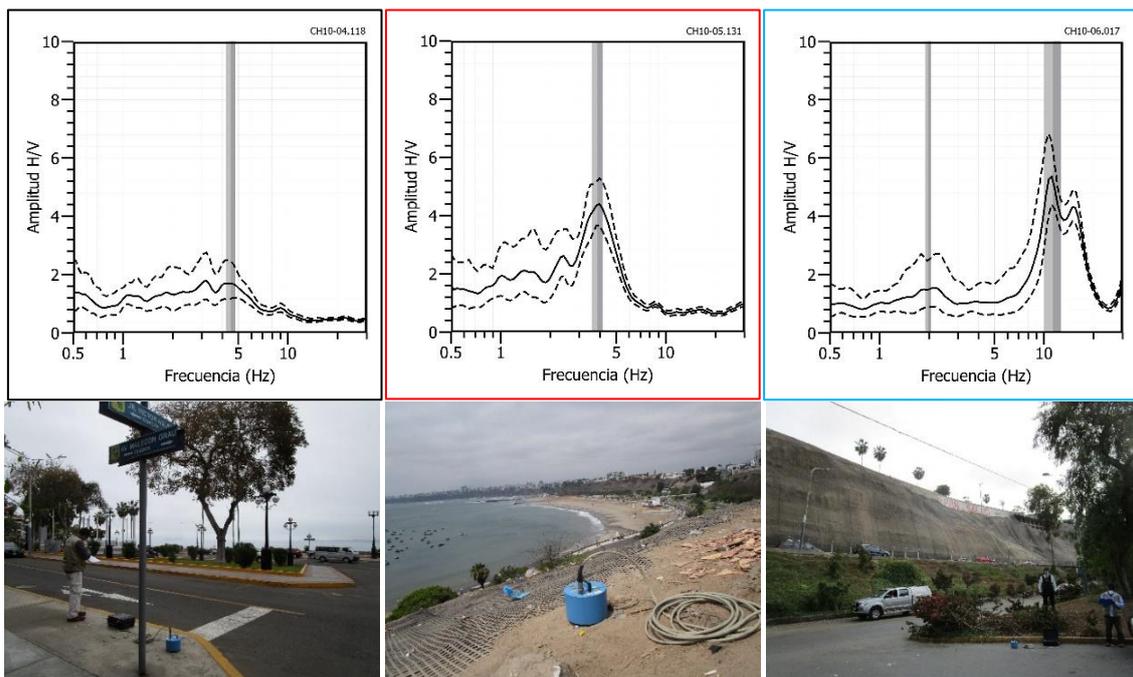


Figura 31.b) Razones espectrales obtenidas para puntos del perfil P-10 (CH10-04, CH10-05 y CH10-06), ubicados de Este a Oeste, a 60 metros del acantilado, a 1.0 metros del borde del acantilado y el tercero en el Circuito de Playas.

Asimismo, se observa que los suelos del acantilado tienen un comportamiento dinámico complejo e irregular, ya que presentan un pico bien definido con moderada a alta amplificación.

- **Periodos Dominantes:** Para los resultados finales, los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes y para construir el mapa de periodos, se asignó a cada punto de medición un radio de confiabilidad de 10 metros, esto facilita la zonificación de los suelos. Según la Figura 32, los periodos dominantes fueron agrupados, 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 Chorrillos responden a periodos entre 0.1 a 0.3 segundos, predominando los periodos de 0.3 segundos hacia el borde del acantilado y de 0.2 segundos hacia el área urbana. La distribución espacial de los periodos dominantes evidencia que hacia el borde del acantilado, la capa superficial de material heterogéneo presenta mayor espesor y son menos compactos debido a sus altas amplificaciones ($A_{max} > 2$ veces).

Asimismo, algunos puntos distribuidos en el Malecón Grau (desde la Bajada Agua Dulce hasta la Av. Defensores del Morro) presentan periodos de 0.6 a 0.8 segundos evidenciando la presencia de suelos con un comportamiento dinámico complejo ante la ocurrencia de sismos de moderada a alta magnitud.

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 masa en los 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. Los primeros factores pueden ser corregidos 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 (Telford et al., 1990).

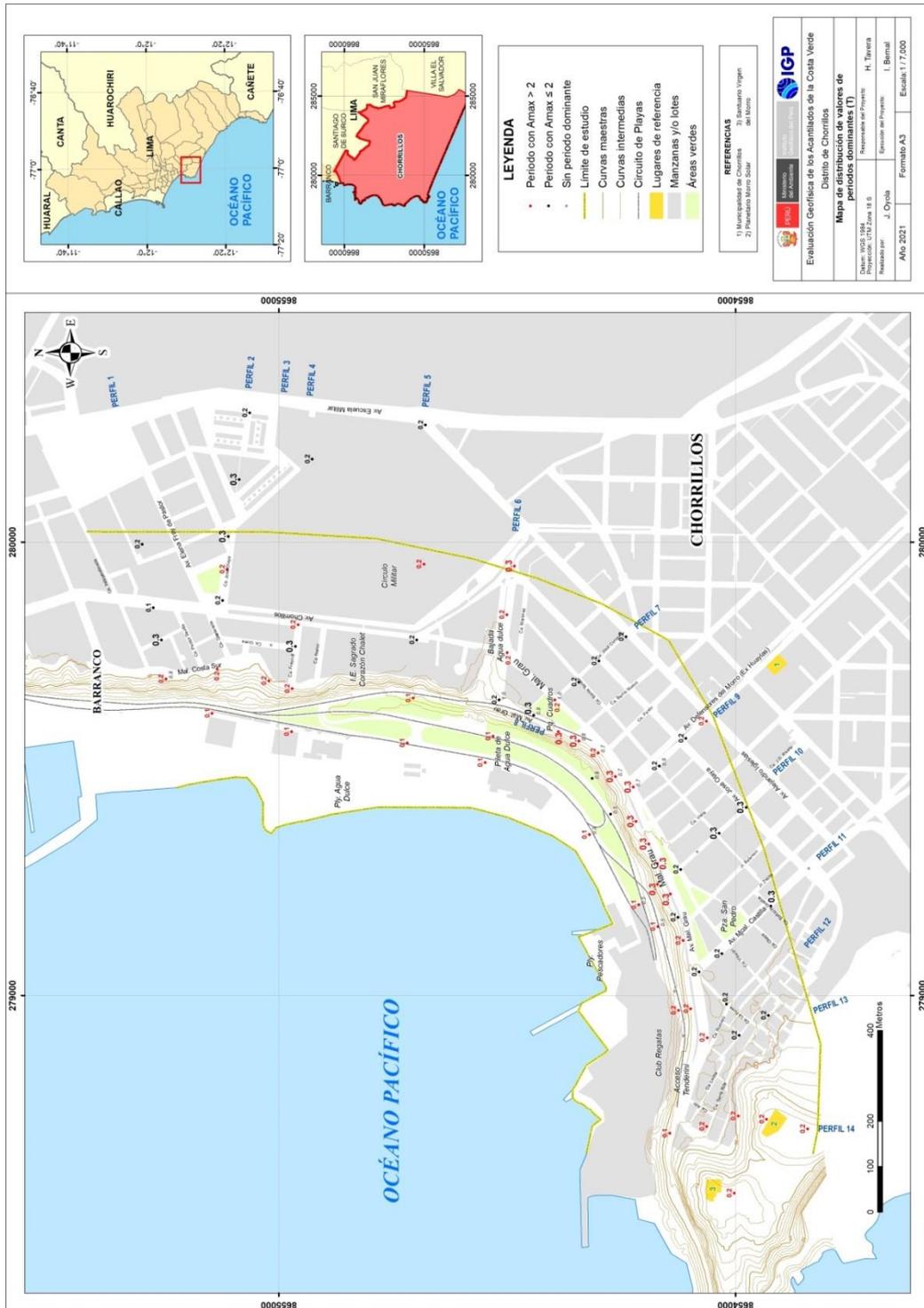


Figura 32. Distribución espacial de los valores de períodos dominantes del suelo para el distrito de Chorrillos. Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2 veces.

2.6.1.- Adquisición de datos

En el área de estudio, se recolectaron 25 datos gravimétricos distribuidos en 02 líneas con longitudes de 539 y 458 metros; orientadas de manera perpendicular a los acantilados del distrito (Figura 33). La distancia entre cada punto de medición fue de 50 metros en promedio. Los valores de gravedad se registraron con un gravímetro LaCoste & Romberg con una precisión $\pm 0,01$ mGal, ver Figura 34. 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 obtenida en la estación SAMI (978285.488 mGal), ubicada en el distrito de San Miguel (273478.1432 E, 8663109.829N y 56.75 metros de elevación).

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 corrección de Bouguer (Kane, 1962; Nagy, 1966), con la finalidad de obtener los valores de la anomalía de Bouguer corregida. El procesamiento para el cálculo de la anomalía de Bouguer se realizó en el software Oasis Montaj de Geosoft, utilizando un valor de densidad media para las rocas de 2.67 g/cm^3 (Hinze et al., 2005). Posteriormente, a fin de separar los efectos gravimétricos que corresponden a las 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.

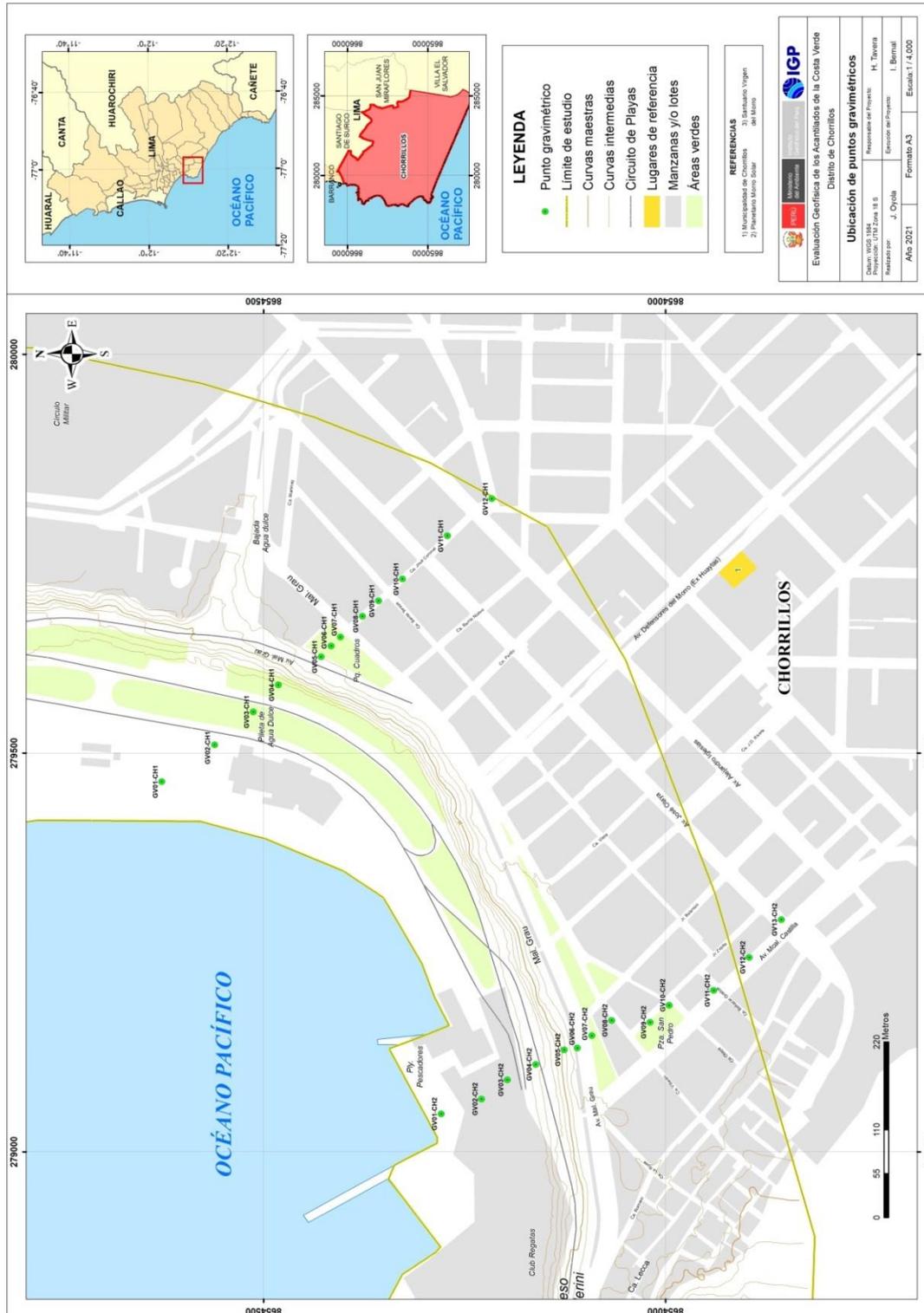


Figura 33. Distribución espacial de los puntos gravimétricos tomados en los ACV del distrito de Chorrillos.



Figura 34. Estación gravimétrica base SAMI ubicada en el distrito de San Miguel.

2.6.3.- Resultados e interpretación

a) Resultados

En los perfiles, los valores de anomalía residual van de -0.2 a 0.2 mGal (Figura 35), centrándose los valores bajos en el borde del acantilado a la altura del parque Cuadros (Perfil CH01) y Malecón Grau (Perfil CH02) y en este caso, asociados a una capa de material heterogéneo menos consolidada y de gran espesor. Los valores altos (0.1 a 0.2 mGal) están presentes en la parte baja del acantilado, alrededor de la zona de las playas Agua Dulce y Los Pescadores, y también en la calle Coronel (Perfil CH01) y la Av. Mcal. Castilla (Perfil CH02).

Seguidamente, utilizando como datos de entrada los valores de anomalías residuales de Bouguer y la topografía local del área de estudio, se realizaron dos perfiles gravimétricos (CH01 y CH02), haciendo uso del módulo GM-SYS del software Oasis Montaj.

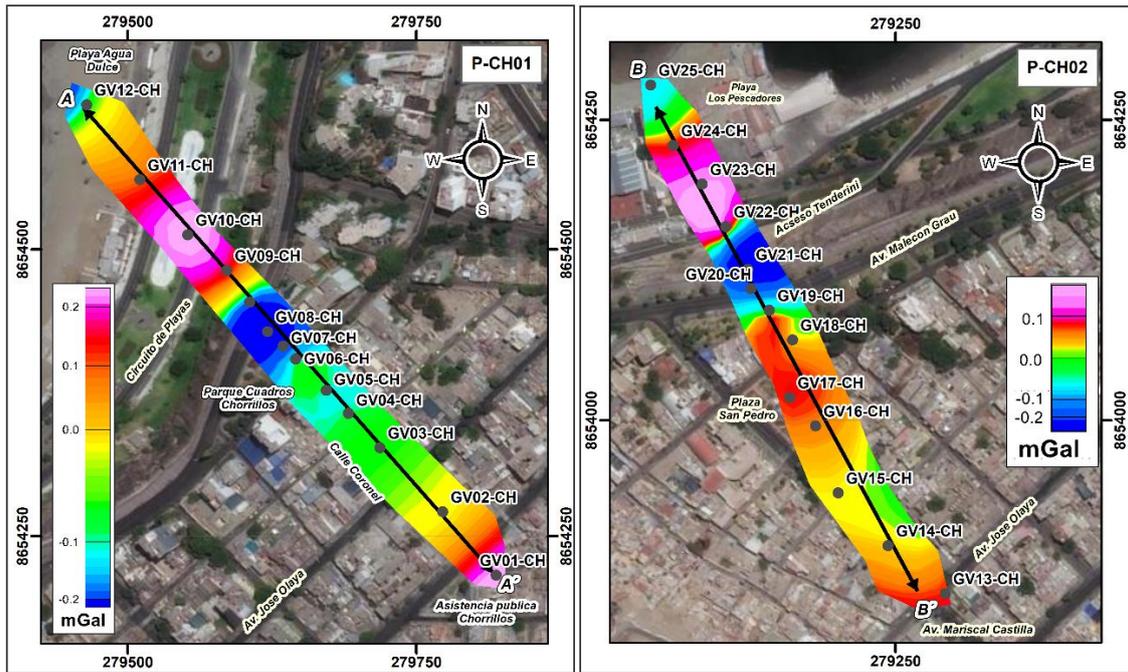


Figura 35. Mapa de anomalía residual de Bouguer. Los perfiles A-A' y B-B' corresponden a los perfiles CH01 y CH02, que cruzan el parque Cuadros y Malecón Grau, respectivamente.

Perfil gravimétrico CH01: En la Figura 36 se observa que las variaciones de las anomalías residuales reflejan cambios en la densidad de los materiales del subsuelo en profundidad (puntos negros). El perfil obtenido define la existencia de suelos distribuidos en tres capas:

- La primera capa de baja densidad (1.7 gr/cm^3) y 8 metros de espesor próximo al acantilado y hacia el interior del área urbana (calle Coronel).
- La segunda capa con una densidad de 1.95 gr/cm^3 y espesores de 15 a 18 metros.
- La tercera capa con una densidad de 2.35 gr/cm^3 y espesores que superan los 20 metros.

Finalmente, el perfil 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.

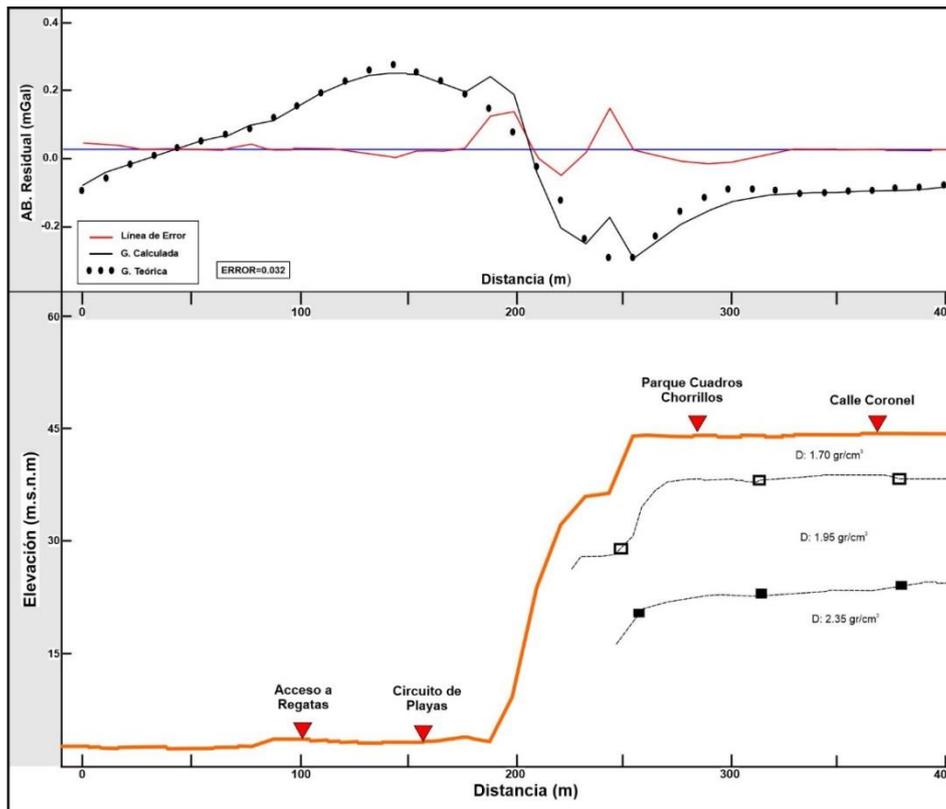


Figura 36. Sección gravimétrica CH01, orientada de noroeste-sureste. En el extremo superior, los puntos representan la gravedad observada y la curva negra la gravedad calculada. En el extremo inferior se muestra el perfil gravimétrico propuesto.

Perfil gravimétrico CH02: En la Figura 37 se observa que las variaciones de las anomalías residuales reflejan cambios en la densidad de los materiales en profundidad (puntos negros). El perfil sugiere que el subsuelo está conformado por tres capas:

- La primera capa presenta una densidad de 1.7 gr/cm³ con espesores que varían de 4 a 8 metros.
- La segunda capa presenta una densidad de 1.95 gr/cm³, y espesores que varían de 12 a 16 metros, siendo mayor en el Malecón Grau y menor hacia la Av. Mcal. Castilla.
- La tercera capa tiene una densidad de 2.35 gr/cm³ y espesores de hasta 20 metros.

Finalmente, el perfil sugiere la existencia de una capa a mayor profundidad con valores de densidad mayores a 2.5 gr/cm³.

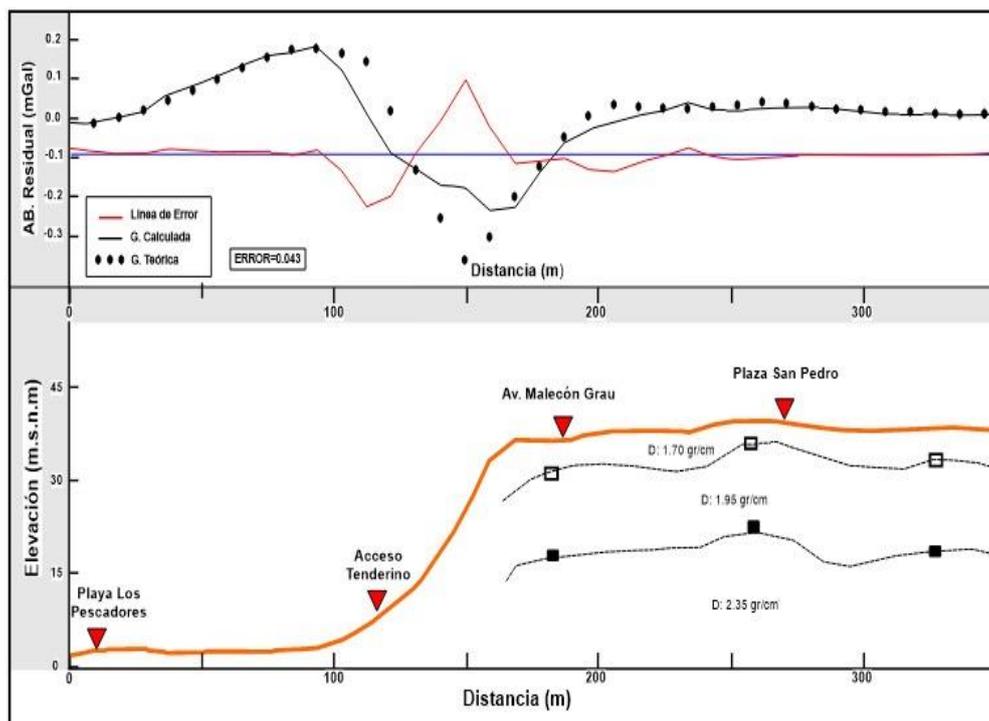


Figura 37. Sección gravimétrica CH02, orientada de noroeste-sureste. En el extremo superior, los puntos representan la gravedad observada y la curva negra la gravedad calculada. En el extremo inferior se muestra el perfil gravimétrico propuesto.

b) Interpretación

Los resultados obtenidos del análisis realizado sobre los perfiles gravimétricos CH01 y CH02, fueron correlacionados con la información obtenida de los estudios de refracción sísmica, MASW, tomografía eléctrica y HV. En los ACV del distrito de Chorrillos, se ha identificado la existencia en el subsuelo de tres capas con espesores bien definidos y valores de densidad que se incrementan gradualmente de 1.7 a 2.35 gr/cm^3 :

- La primera capa presenta espesores que varían de 4 a 8 metros. Esta capa estaría compuesta por materiales heterogéneos y/o rellenos poco consolidados.

- La segunda capa presentaría espesores de 12 a 18 m, y estaría constituida por gravas y conglomerados,
- La tercera presenta espesores que superan los 20 metros y estaría constituida por gravas y conglomerados 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 Chorrillos fue realizada usando datos e información generada usando métodos geofísicos y su correlación con la información geológica, siendo los resultados obtenidos los siguientes:

3.1. Estructura del subsuelo

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

En base a los resultados obtenidos, los ACV del distrito de Chorrillos han sido divididos en 3 sectores para un mejor análisis de sus características físicas y que se detallan a continuación:

Extremo norte

Entre las calles Sevilla y Nerini (Malecón Costa Sur), se ha identificado en el subsuelo la presencia de 3 capas (Figura 38):

- *La primera capa, está constituida por material aluvial suelto a medianamente compacto ($V_s = 183-258$ m/s; $V_p = 433$ m/s)*

con espesores del orden de 11 metros. Estos suelos presentan moderado contenido de humedad y de manera puntual, en el parque Virgen María, se identifica la presencia de material de relleno con alto contenido de humedad.

- *La segunda capa está constituida por material heterogéneo y aluvial medianamente compacto ($V_s=415$ m/s; $V_p= 850$ m/s) con espesores de hasta 7 metros. Estos suelos presentan bajo contenido de humedad, solo a la altura del parque La Virgen, los suelos presentan un moderado a alto contenido de humedad como producto de la filtración del agua.*
- *La tercera capa de 26 metros de espesor ($V_s=632$ m/s; $V_p=1472$ m/s) compuesto por material compacto como gravas, con bajo contenido de humedad; sin embargo, a la altura del parque, se ha identificado la presencia de suelos con alto contenido de humedad.*

En este sector y a nivel superficial, se ha identificado la presencia de grietas en el suelo entre las calles Independencia y Sevilla con profundidades de hasta 1.0 metros. Asimismo, al borde del acantilado se han identificado presencia de antiguas quebradas rellenas y cubiertas de vegetación (material heterogéneo y/o relleno) con alto contenido de humedad, lo cual genera la inestabilidad del acantilado.

Zona central

A la altura del parque Cuadros, sobre la calle J. Coronel (Figura 39), se ha identificado la presencia en el subsuelo de 3 capas:

- *La primera capa está constituida por material aluvial suelto a medianamente compacto ($V_s = 220-331$ m/s; $V_p = 482$ m/s)*

con espesores del orden de 13 metros. Estos suelos presentan diferentes contenidos de humedad, destacando la 1ra cuadra de la calle Coronel que presenta moderada a alta humedad (triangulo amarillo).

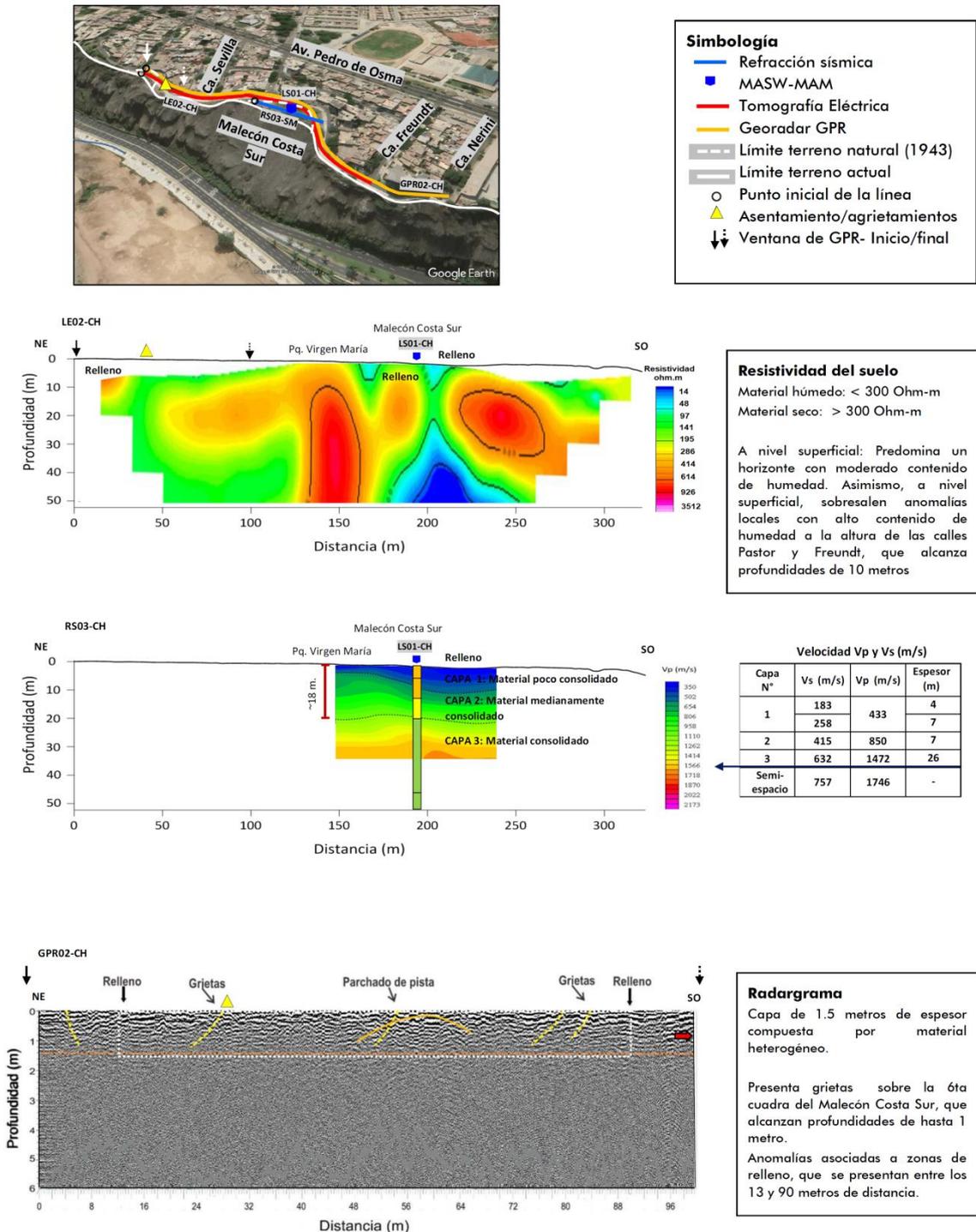


Figura 38. Correlación de los resultados obtenidos con los métodos de tomografía eléctrica, refracción sísmica, MASW-MAM y georadar para el extremo Norte del distrito de Chorrillos (Malecón Costa Sur).

- *La segunda capa está constituida por material aluvial medianamente compacto ($V_s=437$ m/s; $V_p= 948$ m/s) con espesores de hasta 18 metros. Estos suelos presentan moderado contenido de humedad, principalmente a la altura de la 1ra cuadra de la calle Coronel. La capa está compuesta por material fino de mediana compacidad.*
- *La tercera capa de 12 metros de espesor ($V_s=556$ m/s; $V_p=1434$ m/s), corresponde a un estrato de alta compacidad compuesta por gravas y con moderado contenido de humedad. A mayor profundidad se observa el incremento en la velocidad de las ondas de corte ($V_s > 650$ m/s) y la presencia de suelos húmedos.*

En este sector, se ha identificado la presencia de grietas a lo largo de 24 metros sobre la 1ra cuadra de la calle Coronel con profundidades de 1.0 metro; por lo tanto, esta área es susceptible a sufrir asentamientos. En el área analizada, se identifica la presencia de suelos heterogéneos compuestos predominantemente, en superficie, por material aluvial fino con espesores constantes, desde el borde del acantilado hasta la calle J. Olaya (área urbana),

Extremo sur

Sobre el Malecón Grau y la calle Mcal. Castilla (Figura 40), se ha identificado en el subsuelo la presencia de 3 capas:

- *La primera capa está compuesta por material aluvial sueltos a medianamente compactos ($V_s = 173 - 244$ m/s; $V_p = 409$ m/s) con espesores de hasta 11 metros. Estos suelos presentan diferentes niveles de humedad, que se incrementan hacia el Malecón Grau y por la Av. José Olaya, pero disminuye hacia la calle. Luis Villarán.*

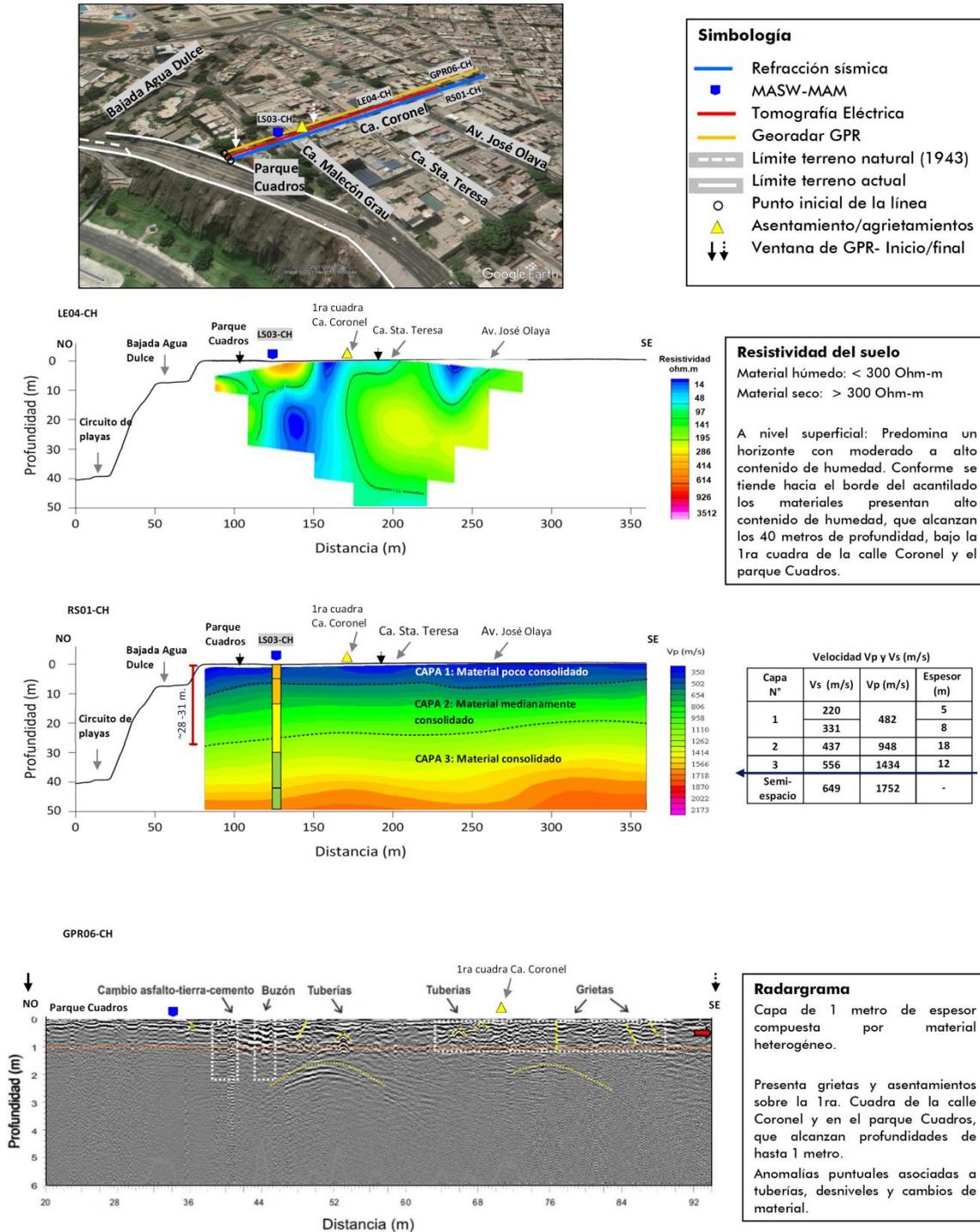


Figura 39. Correlación de los resultados obtenidos con los métodos de tomografía eléctrica, refracción sísmica, MASW-MAM y georadar para el sector central del distrito de Chorrillos (parque Cuadros y calle Coronel).

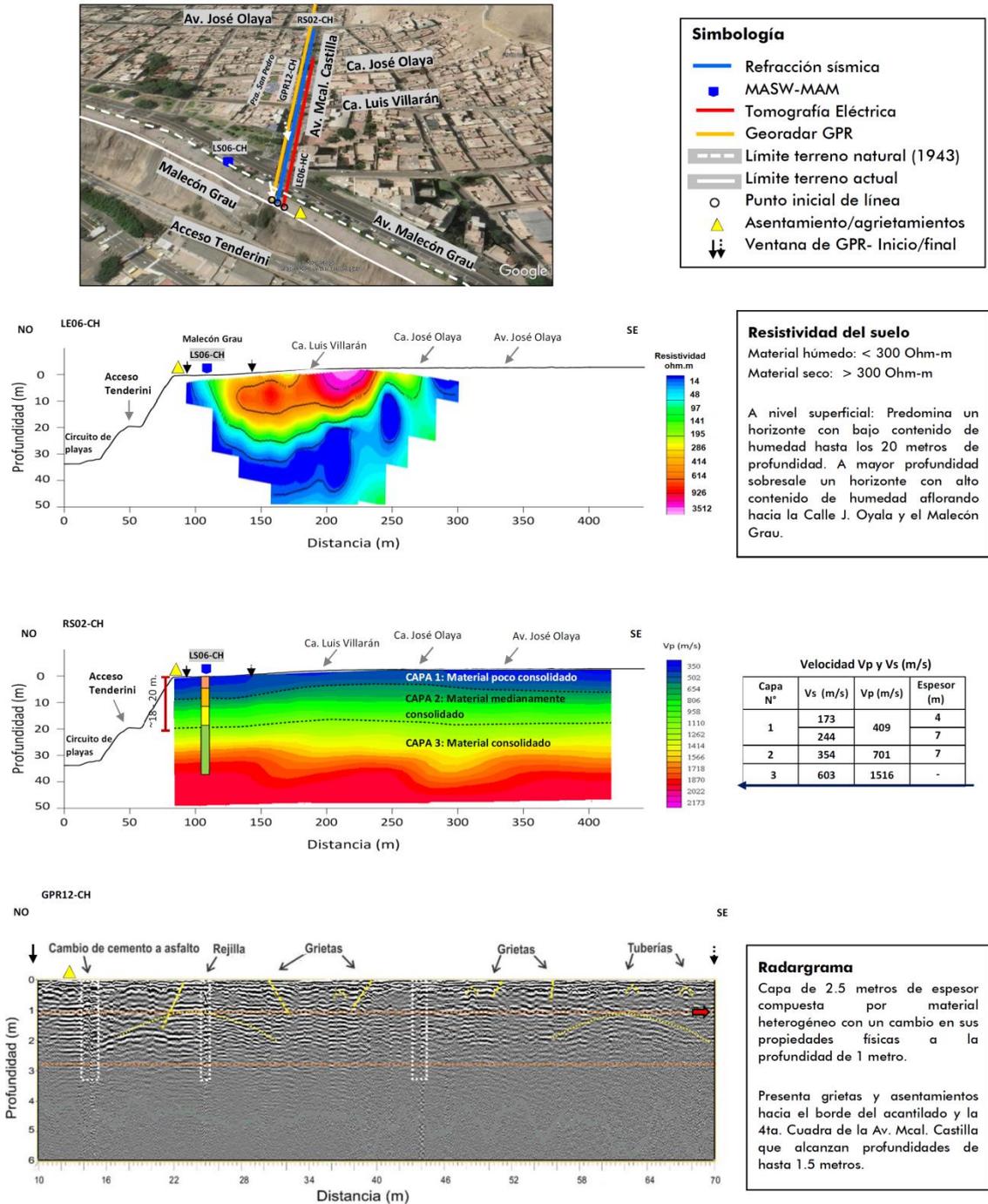


Figura 40. Correlación de los resultados obtenidos con los métodos de tomografía eléctrica, refracción sísmica, MASW-MAM y georadar para el extremo Suroeste del distrito de Chorrillos (Malecón Grau y calle Mcal. Castilla).

- *La segunda capa está constituida por material aluvial medianamente compacto ($V_s=354$ m/s; $V_p= 701$ m/s) con espesores de hasta 7 metros. Estos suelos presentan de moderado a alto contenido de humedad.*
- *La tercera capa, compuesta por material aluvial compacto ($V_s=603$ m/s; $V_p = 1516$ m/s), debido a que está conformado por gravas, con moderado a alto contenido de humedad. A mayor profundidad se observa el incremento en la velocidad de las ondas de corte V_s y de compresión V_p .*

En este sector, se identifica la presencia de grietas y asentamientos próximos al acantilado (Malecón Grau) con profundidades de 3.0 metros.

En general, en el distrito de Chorrillos se ha identificado que los suelos con poca a moderada consistencia son parte de las dos primeras capas ($V_s < 500$ m/s), ambas presentan similar composición y comportamiento dinámico. Estas capas, en el extremo centro y sur, tienen espesores de 28 y 20 metros respectivamente y están presentes, desde el borde del acantilado hasta más de 250 metros hacia el área urbana, tal como se observa en las Figuras 38 y 39.

Asimismo, se ha identificado que el espesor de la capa de suelo en el extremo norte y suroeste son menores a diferencia del sector central; sin embargo, los suelos menos consolidados a nivel superficial, se encuentran en el extremo suroeste (Malecón Grau), identificándose niveles de material fino con diferentes espesores. Por ejemplo, en la Figura 41 se observa el predominio de material fino en una capa de ~ 16 m de espesor asentada sobre material gravoso (Figura 40).



Figura 41. Material aluvial identificado en el acantilado, a la altura de la Pileta Agua Dulce, donde sobresale material fino en la parte superior sobre el material gravoso.

Analizando imágenes frontales del acantilado (a pesar de estar cubierto con mallas) y su correlación con los resultados obtenidos con los métodos sísmicos y de eléctrica, se distingue la presencia de dos capas superficiales con las siguientes características (Figura 42):

- A la altura del Malecón Costa Sur (próximo al límite del distrito de Barranco), se observa la presencia de un estrato de material heterogéneo de 18 metros de espesor con el predominio de suelos finos; además de material de relleno por debajo del parque Virgen María, coherente con las dos primeras capas identificadas con los métodos sísmicos ($V_s < 500 \text{ m/s}$). Este material heterogéneo presenta moderado contenido de humedad a la altura del parque, y hacia los extremos, el material es seco.
- A la altura del parque Cuadros, se identifica con mejor resolución la presencia de un estrato de mayor espesor compuesto por suelos heterogéneos con predominio de finos emplazada sobre capas de grava. Según los resultados obtenidos con los métodos sísmicos, se tiene el predominio de material suelto a medianamente compacto en las primeras capas de 30 metros de espesor, para luego disminuir conforme se tiene hacia su extremo norte y suroeste. Asimismo, se evidencia la presencia, en superficie, de pequeñas quebradas

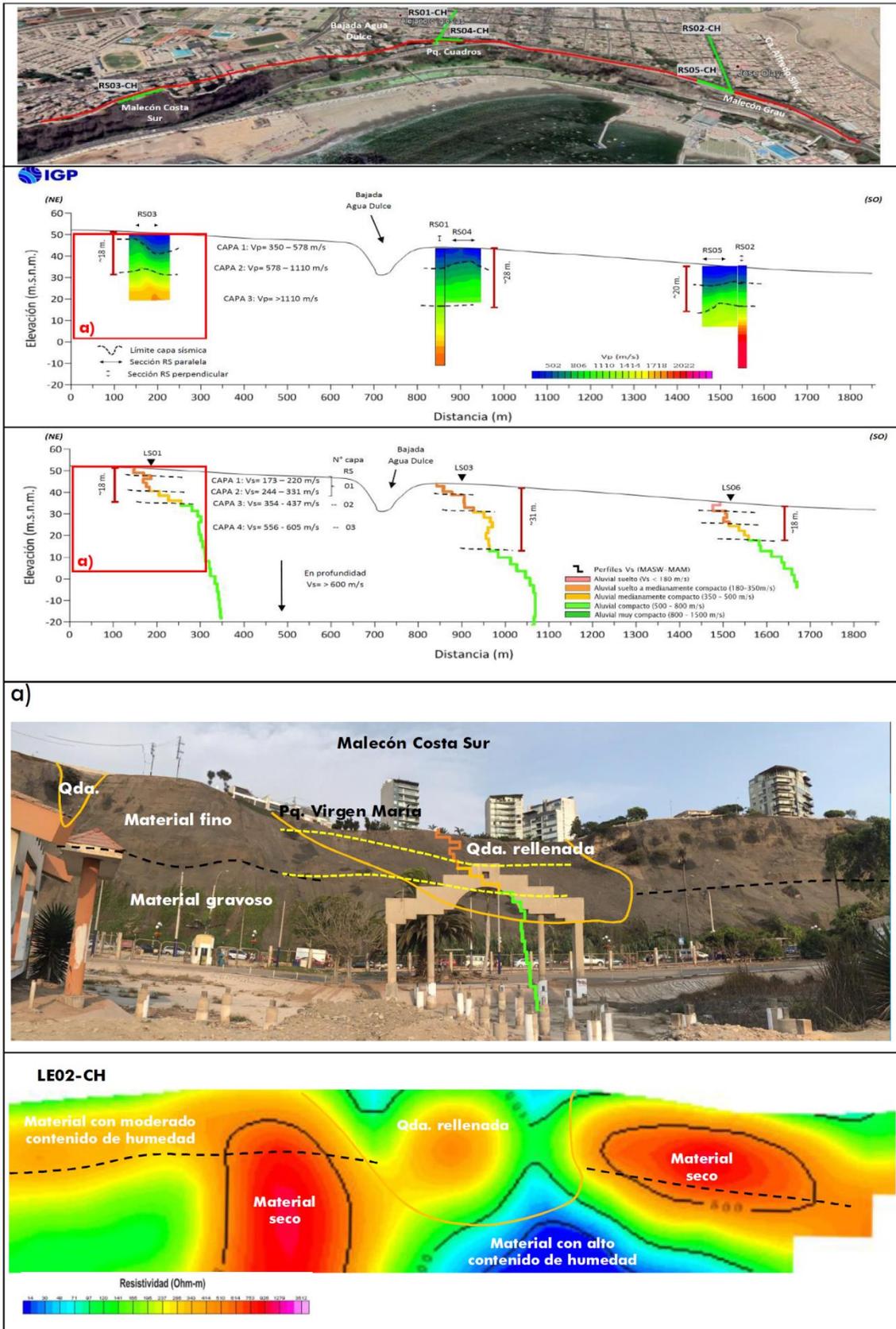


Figura 42. Correlación de los resultados obtenidos con los métodos sísmico y eléctrico, con la cara expuesta del ACV, a la altura del Malecón Costa Sur.

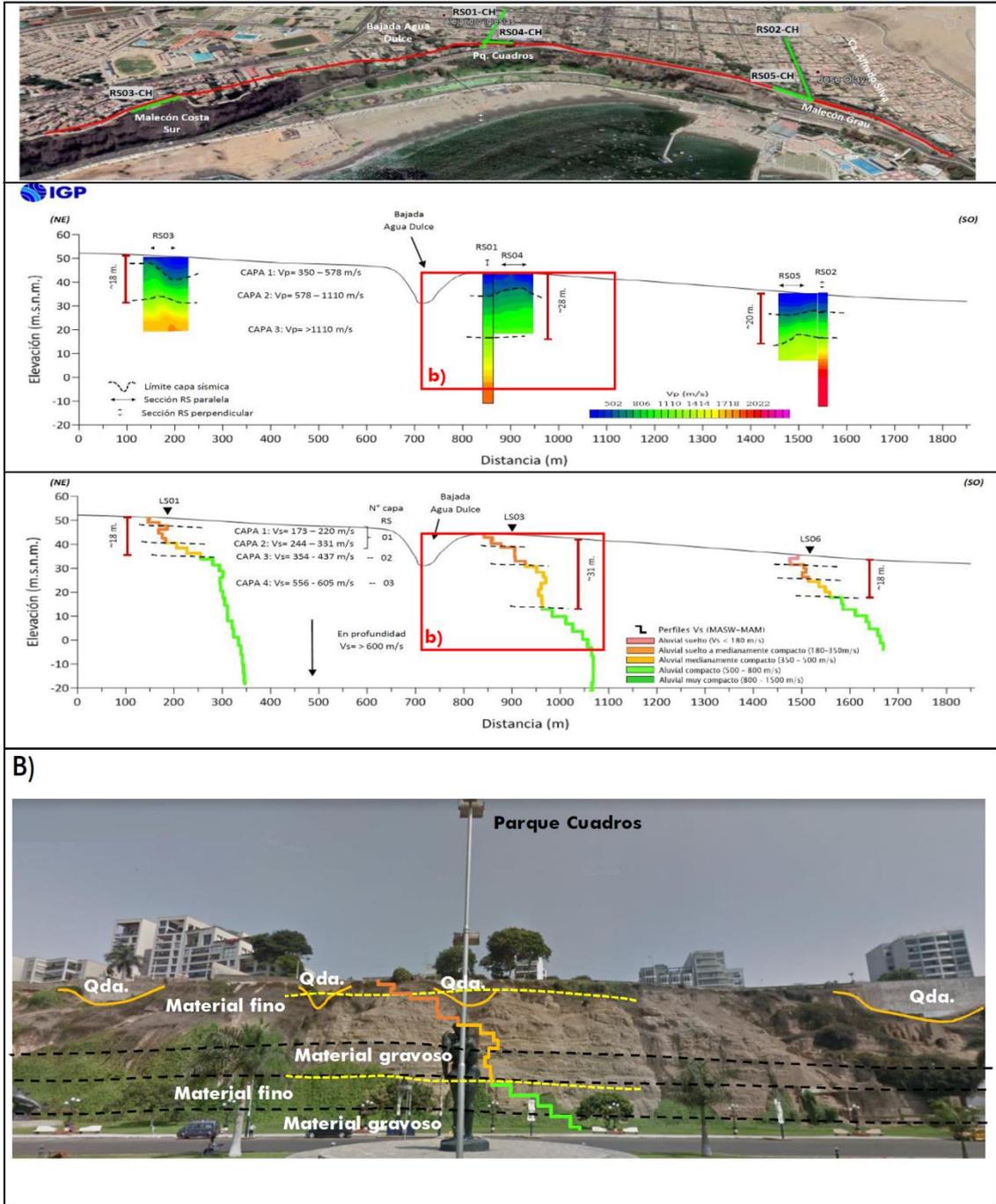


Figura 42. ...Continuación.../. Correlación entre los resultados obtenidos con los métodos sísmicos y la cara expuesta del ACV, a la altura del parque Cuadros, sector Centro.

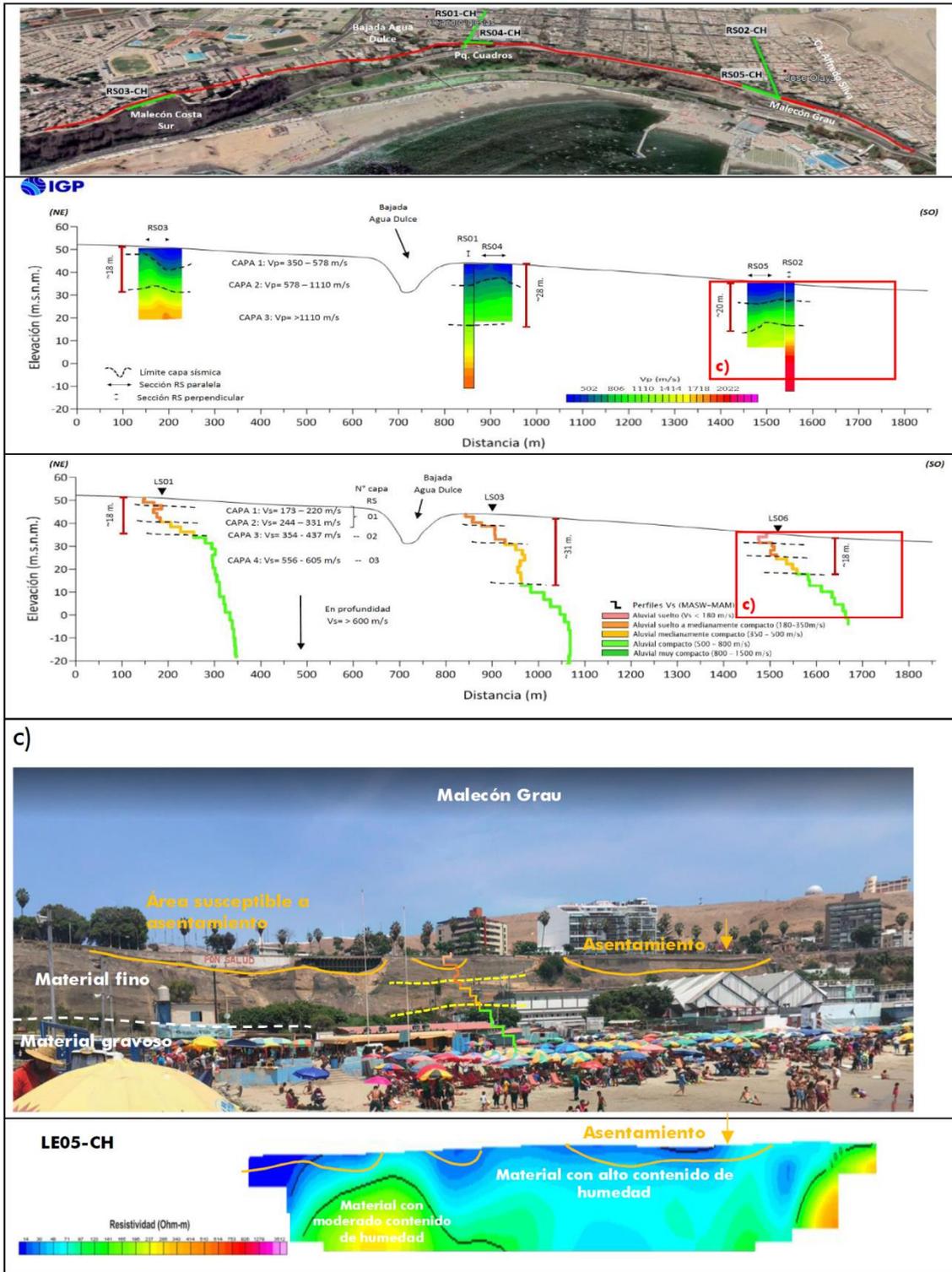


Figura 42. ...Continuación.../. Correlación entre los resultados obtenidos con los métodos sísmicos y eléctricos, con la cara expuesta del ACV, a la altura del Malecón Grau.

rellenadas con materiales heterogéneos. A nivel superficial, este material heterogéneo muestra moderado a alto contenido humedad, principalmente en la 1ra cuadra de la calle Coronel.

- A la altura del Malecón Grau, se identifica la presencia de una capa superficial compuesta por material heterogéneo suelto, emplazada sobre capas de 20 metros de espesor con mayor contenido de suelos finos (arena y limos). Hacia el extremo suroeste del Malecón Grau, los suelos presentan moderado a alto contenido de humedad, son altamente permeables y poco consolidados, alcanzando profundidades del orden de 30 metros, razón por la cual, la deformación del suelo en superficie, es evidenciada con la presencia de asentamientos que vienen generando daños estructurales a lo largo del malecón, ver Figura 43.



Figura 43. Daños estructurales debido a la deformación del suelo.

En conclusión, en el distrito de Chorrillos y a nivel superficial, los suelos presentan baja compacidad y densidad por estar constituidos por materiales heterogéneos, finos y de rellenos; mientras que, a mayor profundidad las capas son más compactas y densas por estar constituidas por gravas y conglomerados consolidados. De manera local, hacia el extremo suroeste

del distrito (Malecón Grau), se tiene la presencia de una capa de muy baja velocidad con contenido de humedad a nivel superficial, y hacia el Malecón Costa Sur (extremo Norte), se identifica quebradas rellenadas de material heterogéneo, que actualmente corresponden a áreas verdes constantemente regadas (parques y malecones), entonces estas capas son propensas a desarrollar deslizamientos ante la ocurrencia de sismos de gran magnitud y/o gravedad por pérdida de consistencia y estabilidad (Figura 44).



Figura 44. Antiguas quebradas rellenadas, en el Malecón Costa Sur, límite con Barranco.

3.2. Zonas de quebradas

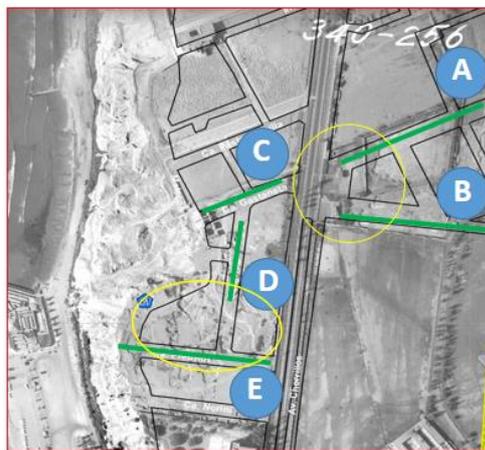
Haciendo uso de fotografías aéreas del año 1946, en los ACV del distrito de Chorrillos se ha identificado la presencia de áreas que inicialmente fueron cárcavas o quebradas y con el tiempo fueron rellenas con la finalidad de aprovechar el espacio. En algunos casos, estas áreas fueron destinadas a parques,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

Para conocer la constitución de los suelos en estas quebradas y su comportamiento dinámico ante la posible ocurrencia de sismos, en las quebradas Q1 y Q2, se realizaron un mayor número de líneas de RS y su análisis permitió tener los siguientes resultados:

Quebrada Q1: Presente entre el Malecón Costa Sur y la Villa Militar. Aquí se ha realizaron 5 líneas de RS adicionales y distribuidas según la Figura 45. Los resultados indican que hacia el extremo Este, a una distancia de 200 metros del borde del acantilado, sobre la Av. Elena Fray de Pastor y Ca. José Oyola (secciones A y B), las capas de suelos presentan espesores de hasta 6 metros y conforme se avanza en dirección de la Av. Chorrillos, el espesor se incrementa a 9 metros. Asimismo, la sección C, ubicada en la Ca. Gastaneta, la misma capa de suelos también presenta 6 metros de espesor hacia la Av. Chorrillos.

Hacia el extremo Oeste, entre la Av. Chorrillos y el borde del acantilado, específicamente sobre la Ca. Freundt (sección E) y la intersección con la Ca. Urrea (sección D), la capa de suelos presenta un espesor de 9 metros y conforme se avanza en dirección Norte hacia la Ca. Gastaneta (sección C), el espesor de la capa disminuye hasta los 3 metros.

Quebrada Q1



Fotografía aérea, 1946

- Aluvial poco consolidado o relleno
- Aluvial medianamente consolidado
- Aluvial consolidado
- Límite capa sísmica
- Sección sísmica

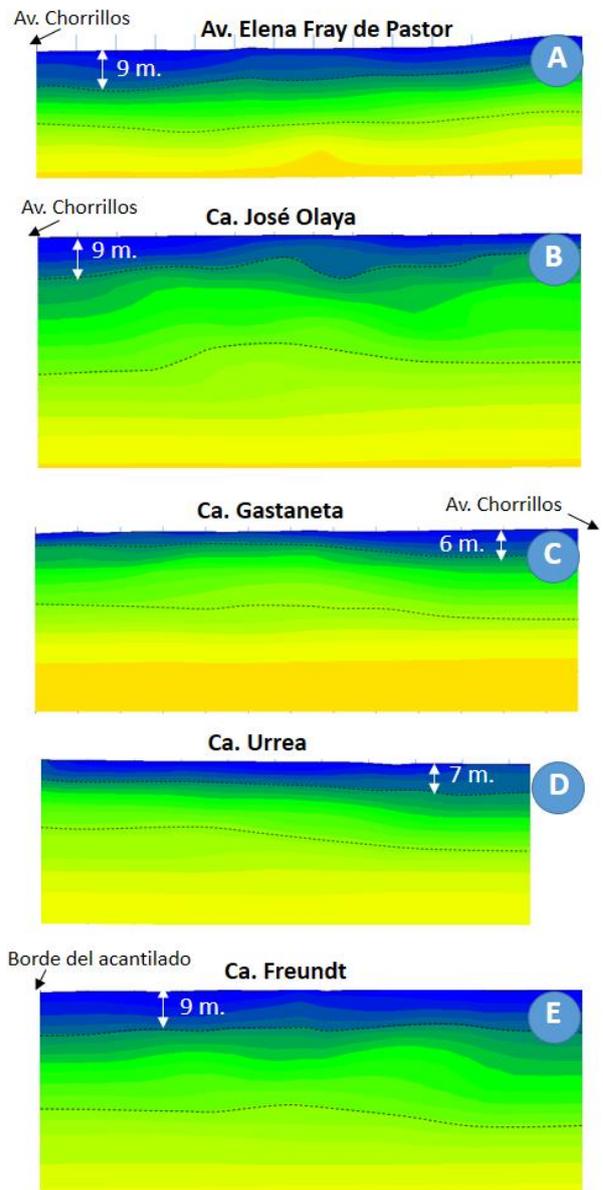


Figura 45. Análisis de los resultados obtenidos entre el Malecón Costa Sur y la Villa Militar.

Quebrada Q2: Presente entre la I.E. Sagrado Corazón Chalet y la Bajada Agua Dulce. Aquí se realizó una línea de RS adicional sobre la Av. Chorrillos (sección F), ver Figura 46.

Esta quebrada es visible desde la parte baja del acantilado, se extiende desde el borde del acantilado hasta una distancia de 90 metros hacia el interior y está limitado por la Av. Chorrillos. En este punto, el espesor de la capa es del orden de 5 metros y está compuesta por material poco consolidado como rellenos y sugiere que la misma llegaría a cortar la AV. Chorrillos y parte del Círculo Militar.

Quebrada Q2

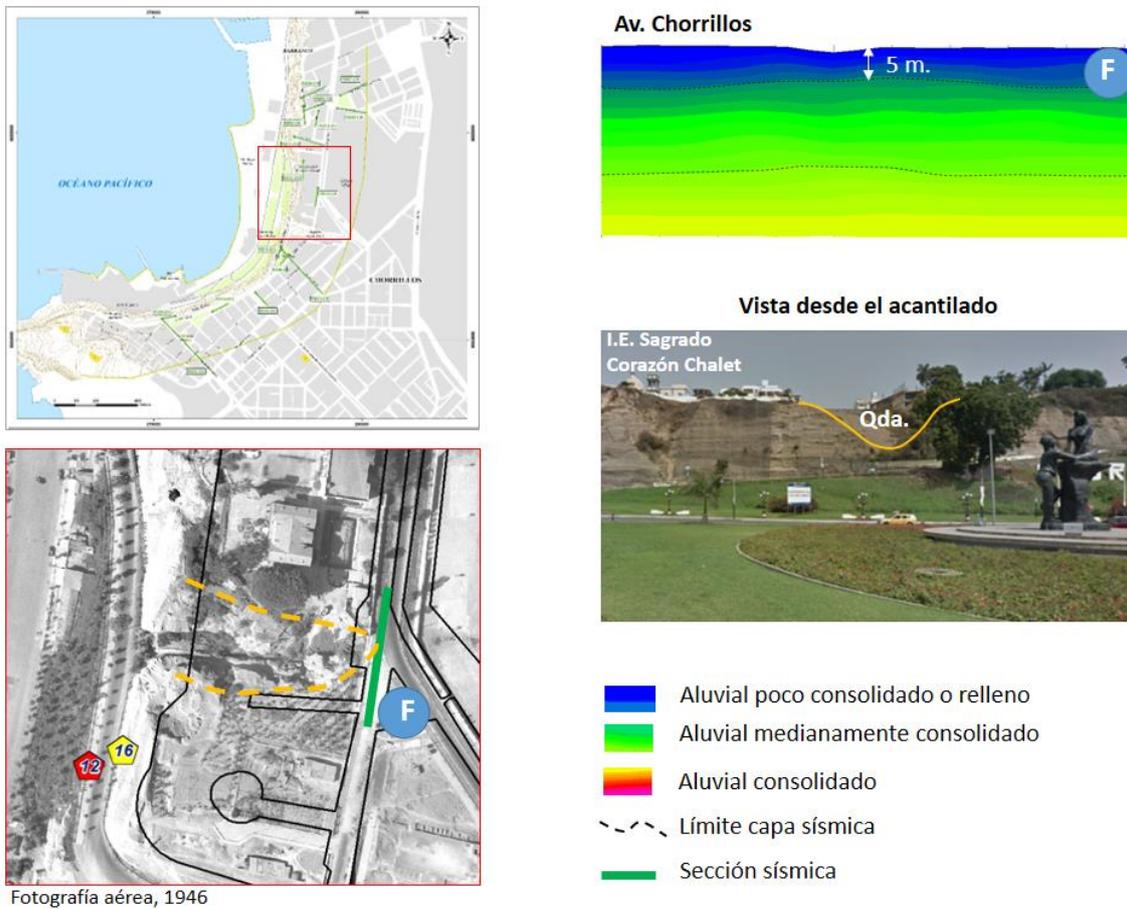


Figura 46. Análisis de los resultados obtenidos entre la I.E. Sagrado Corazón Chalet y la Bajada Agua Dulce.

Según estos resultados, en la Quebrada Q1 existen viviendas familiares que podrían sufrir altos niveles de sacudimiento debido a que los suelos compuestos por rellenos amplificarían a las ondas sísmicas.

3.3. Delimitación de zonas de mayor riesgo por sismo

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 separa los suelos estables de los inestables y que ante la ocurrencia de un sismo de elevada magnitud podrían experimentar asentamientos diferenciales y/o deslizamientos en dirección de la Vía Circuito de Playas. Para el distrito de Chorrillos, el análisis de los resultados se realiza de manera sectorizada de acuerdo a la Figura 47:

Sector A - CH: *Considera el área del acantilado, entre el Malecón Costa Sur (extremo norte) y la I.E. Sagrado Corazón Chalet. En este sector el límite que separa, en superficie, los suelos con diferente comportamiento dinámico, se encuentra a 15 metros del borde del acantilado hacia el área urbana, para disminuir progresivamente hasta los 10 metros hacia el extremo sur, altura de la calle Nerini.*

En este sector, se ha identificado la presencia de suelos con moderado contenido de humedad y en superficie de manera irregular se observa la presencia de suelos con alto contenido de humedad compuestos por material de relleno que han dado origen a la formación de grietas, asentamientos y daños estructurales en el cerco del malecón.

Sector B – CH: *Considera el área del acantilado, entre la I.E. Sagrado Corazón Chalet (extremo norte) y la calle Pardo. En este sector, el límite que separa en superficie, los suelos con diferente comportamiento dinámico se encuentra a 110 metros del borde del acantilado hacia el área urbana (altura de la Bajada Agua Dulce) y disminuye rápidamente hasta los 20 metros hacia su extremo norte y sur.*

Asimismo, en este sector se presenta los suelos presentan los mayores espesores mostrando bajo a moderada compacidad (entre 28 y 31 metros). Asimismo, los suelos presentan moderado a alto contenido de humedad debido a la presencia de áreas verdes que generan procesos geotécnicos como grietas y asentamientos de suelos. Localmente, a la altura de la 1ra cuadra de la calle Coronel, se ha identificado que los suelos presentan alto grado de humedad desde la superficie; por lo tanto, el área es potencialmente susceptible a experimentar asentamientos.

Sector C – CH: *Considera el área del acantilado entre la calle Pardo (extremo norte) y el Malecón Grau. En este sector el límite en superficie que separa, los suelos con diferente comportamiento dinámico se encuentra a 45 metros de distancia desde el borde del acantilado hacia el área urbana y disminuye progresivamente hasta 15 metros hacia su extremo suroeste. En este sector los suelos son menos compactos y con mayor contenido de humedad, por lo que actualmente se generan procesos geotécnicos como grietas y asentamientos del suelo que llegan a ocasionar daños estructurales en el Malecón Grau.*

CONCLUSIONES

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

- *A lo largo del acantilado, se define la existencia de tres capas sísmicas:*
 - *La primera capa con velocidades $V_p = 350$ a 578 m/s y $V_s = 173$ a 331 m/s, presenta espesores de 11 a 13 metros. Los suelos corresponden a material aluvial suelto a medianamente compacto (densidad de 1.7 gr/cm³).*
 - *La segunda capa con velocidades $V_p = 578$ a 1110 m/s y $V_s = 354$ a 437 m/s, presenta espesores de 8 a 20 metros. Estos suelos están compuestos de material aluvial medianamente compacto (1.95 gr/cm³).*
 - *La tercera capa con velocidades $V_p > 1110$ m/s y $V_s = 556$ a 605 m/s, presenta espesores que superan los 12 metros. Estos suelos están compuestos por material aluvial compacto (2.35 gr/cm³).*
 - *A mayor profundidad, la velocidad de las ondas V_s supera los 700 m/s, indicando la presencia de suelos gravosos muy compactos.*

- *En el sector central de los ACV, la capa está compuesta por suelos poco a medianamente consolidados con espesores de 28 metros constantes, desde el acantilado hacia el interior del área urbana. Asimismo, en los extremos norte y suroeste del acantilado, los espesores son de 18 y 20 metros respectivamente. De acuerdo a estos resultados, los suelos presentes en el extremo sur evidencian menor consistencia respecto a su extremo norte.*

- *Al borde del acantilado, a la altura del Malecón Grau (extremo SO), se ha identificado la existencia de horizontes geoelectrónicos de 30 a 40 metros de espesor, cuyo material aluvial presenta alto a moderado contenido de humedad debido a la presencia de amplias áreas verdes que están siendo*

regadas continuamente, y que en el tiempo generan problemas geotécnicos como asentamientos de suelos, desplazamientos en el terreno y la formación de grietas. Asimismo, bajo el Malecón Costa Sur (extremo norte), se ha identificado el predominio de material aluvial con bajo contenido de humedad; sin embargo, a nivel superficial se observa un moderado contenido de humedad en capas de hasta 10 metros de espesor, principalmente a la altura de las calles Urrea, Pastor, Gastaneta y Freundt

•De acuerdo a los resultados obtenidos con el georadar, en el Malecón Costa Sur, sobre la 6ta cuadra de este malecón, en la 1ra cuadra de la calle Freundt y Gastaneta, hacia el Malecón Grau sobre la primera cuadra de las calles Martínez, J. Coronel, Defensores del Morro y Jr. Aguirre se ha identificado la presencia de áreas afectadas por asentamientos y grietas que alcanzan profundidades entre 0.5 y 1.0 metros,

Asimismo, entre las calles Rivera y Romero, se identifica la presencia de anomalías asociadas a la existencia de zonas de vacío que alcanzan profundidades de ~2.5 metros.

•De acuerdo a los resultados obtenidos con razones espectrales, se evidencia que los suelos próximos al acantilado compuestos por materiales poco compactos responden principalmente a periodos de 0.3 segundos con amplificaciones de hasta 4 veces. A mayor distancia, en dirección del área urbana, los suelos son más compactos y responden a periodos de 0.2 segundos.

•A lo largo del Acantilado de la Costa Verde en el distrito de Chorrillos, el límite que separa los suelos estables de los inestables y cuyo comportamiento dinámico representa un alto riesgo ante la ocurrencia de sismos de gran magnitud, se encuentra demarcado por el Malecón Costa Sur al norte, la Av. Malecón Grau por el centro y el Malecón Grau al suroeste. Este límite, se encuentra hacia el extremo norte y sur, a distancias

que varían entre los 10 y 45 metros del borde del acantilado hacia el área urbana y de manera sectorizada a la altura de la Bajada Agua Dulce, se extiende hasta una distancia de 110 metros.

•Finalmente, las zonas del acantilado con mayor probabilidad de experimentar un comportamiento dinámico anómalo ante la posible ocurrencia de sismos de gran magnitud son: Malecón Costa Sur, parte posterior de la I.E. Sagrado Corazón Chalet, Bajada Agua Dulce, parque Cuadros y todo el sector que corresponde al Malecón Grau.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM D6432-11, Standard Guide for using the Surface ground Penetrating Radar Method for Subsurface, Investigation.
<https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/astm>.

CISMID - UNI (2010). Microzonificación Sísmica del distrito de Chorrillos.

Copello V. (2015). Propuesta de remediación del Talud de la Costa Verde, (Tramo Barranco) mediante el técnica de hidrosiembra. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

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

Marrios A. Sánchez-Sesma F. (2015). Full microtremor H/V (Z;f) inversion for shallow subsurface characterization. Geophysical Journal International.

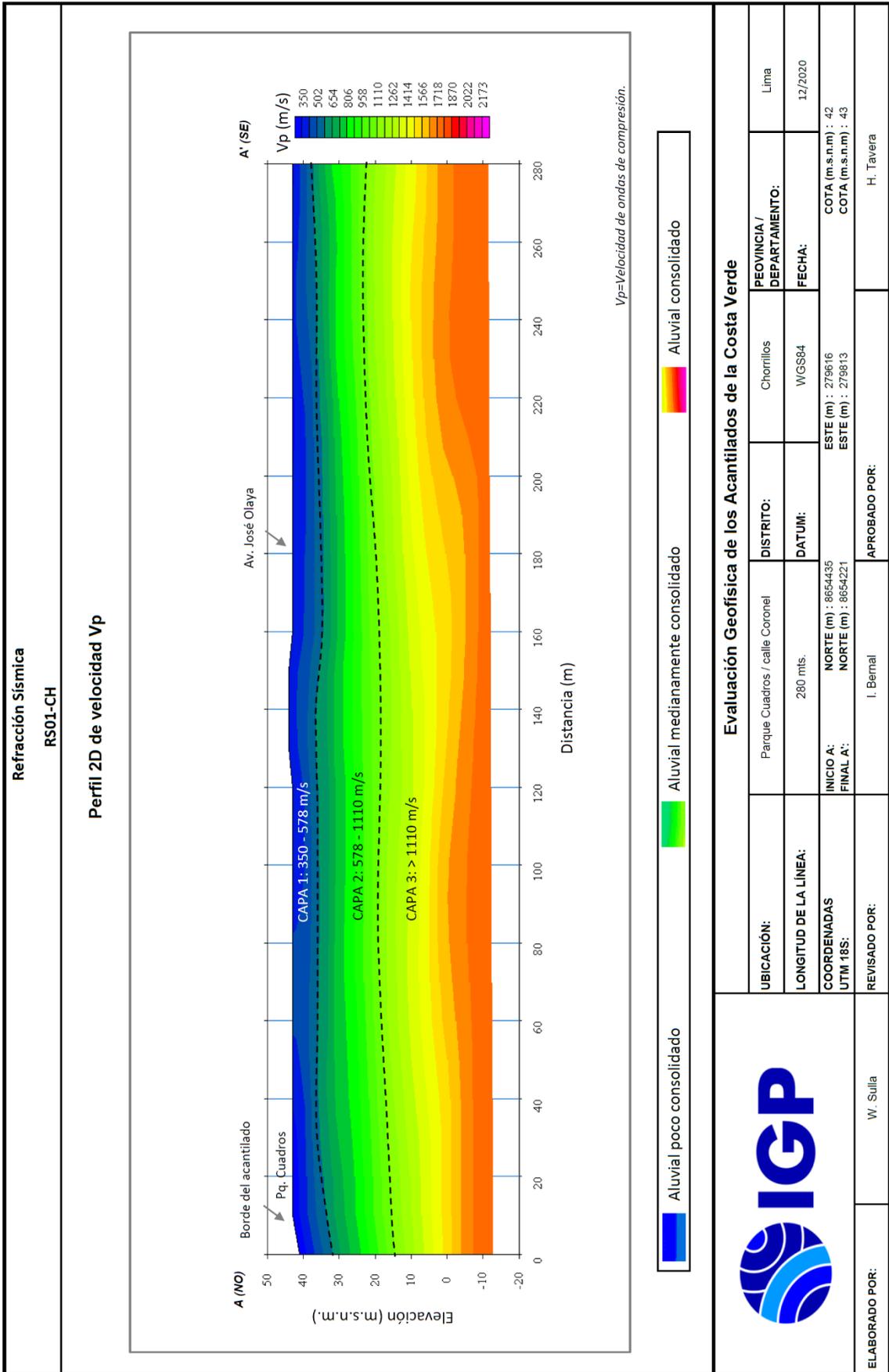
Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface, Quaterly Report of Railway Technical Research Institute, 30(1):25-33.

Orellana, E (1982). "Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua". 2ª ed. Madrid: Paraninfo Volumen 1.

- Pueyo. (2016). Ground penetrating radar evaluation of the internal structure of fluvial tufa deposits (Devanos-A navieja system, NE Spain). *Geophysical Journal International*. 564-566 pp.
- Quintana A. (2013). Aplicación de la Tomografía Eléctrica en la Caracterización del Deslizamiento de Doña Mencía. Tesis de grado para optar el título de maestría en Geofísica y Meteorología. Universidad de Granada, España.
- Reynolds, J.M. (2011). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Richards B.G. (1985). "Geotechnical aspects of Residual Soils". Southeast Asian Geotechnical. Society, Scorpion Press, Hong Kong.
- SESAME. 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.
- 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

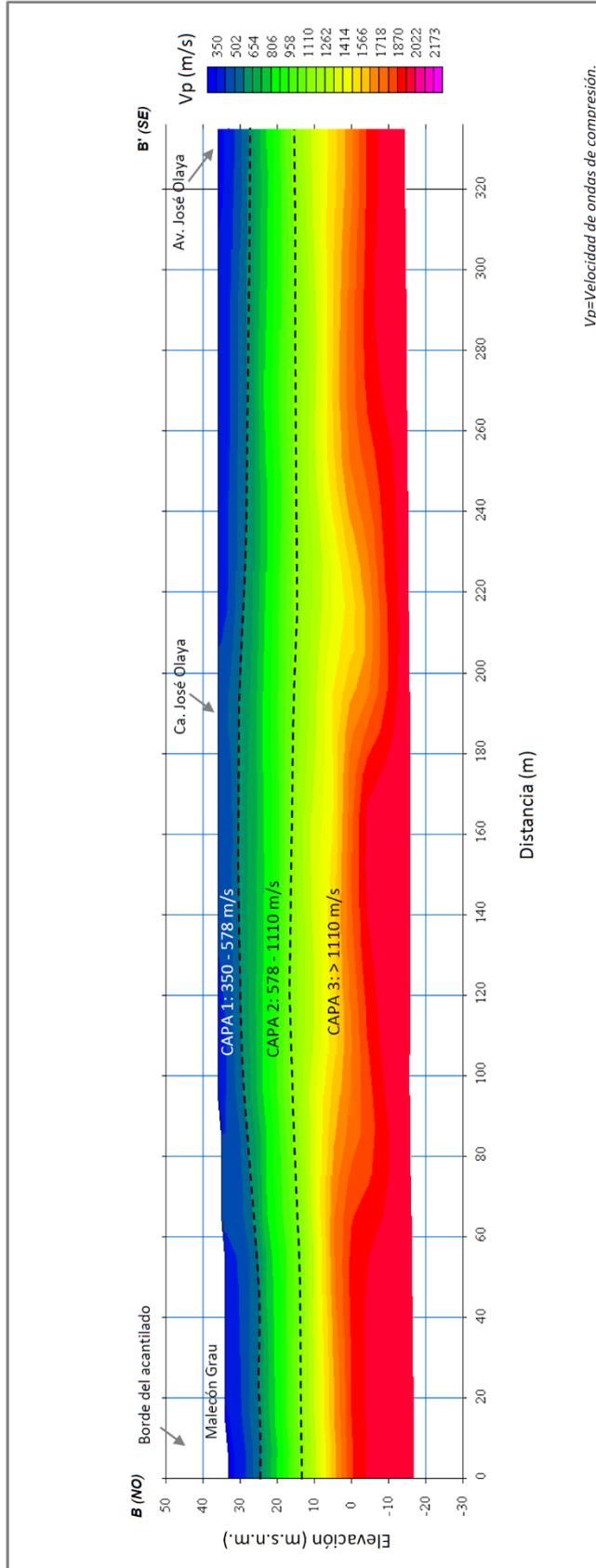
Secciones de Refracción Sísmica



Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde	
UBICACIÓN: Parque Cuadros / calle Coronel	PROVINCIA / DEPARTAMENTO: Chorrillos / Lima
LONGITUD DE LA LÍNEA: 280 mts.	DATUM: WGS84
COORDENADAS UTM 18S: INICIO A: NORTE (m) : 8654435 FINAL A': NORTE (m) : 8654221	FECHA: 12/2020
REVISADO POR: W. Sullia	APROBADO POR: H. Tavera
ESTE (m) : 279616 ESTE (m) : 279813 COTA (m.s.n.m.) : 42 COTA (m.s.n.m.) : 43	

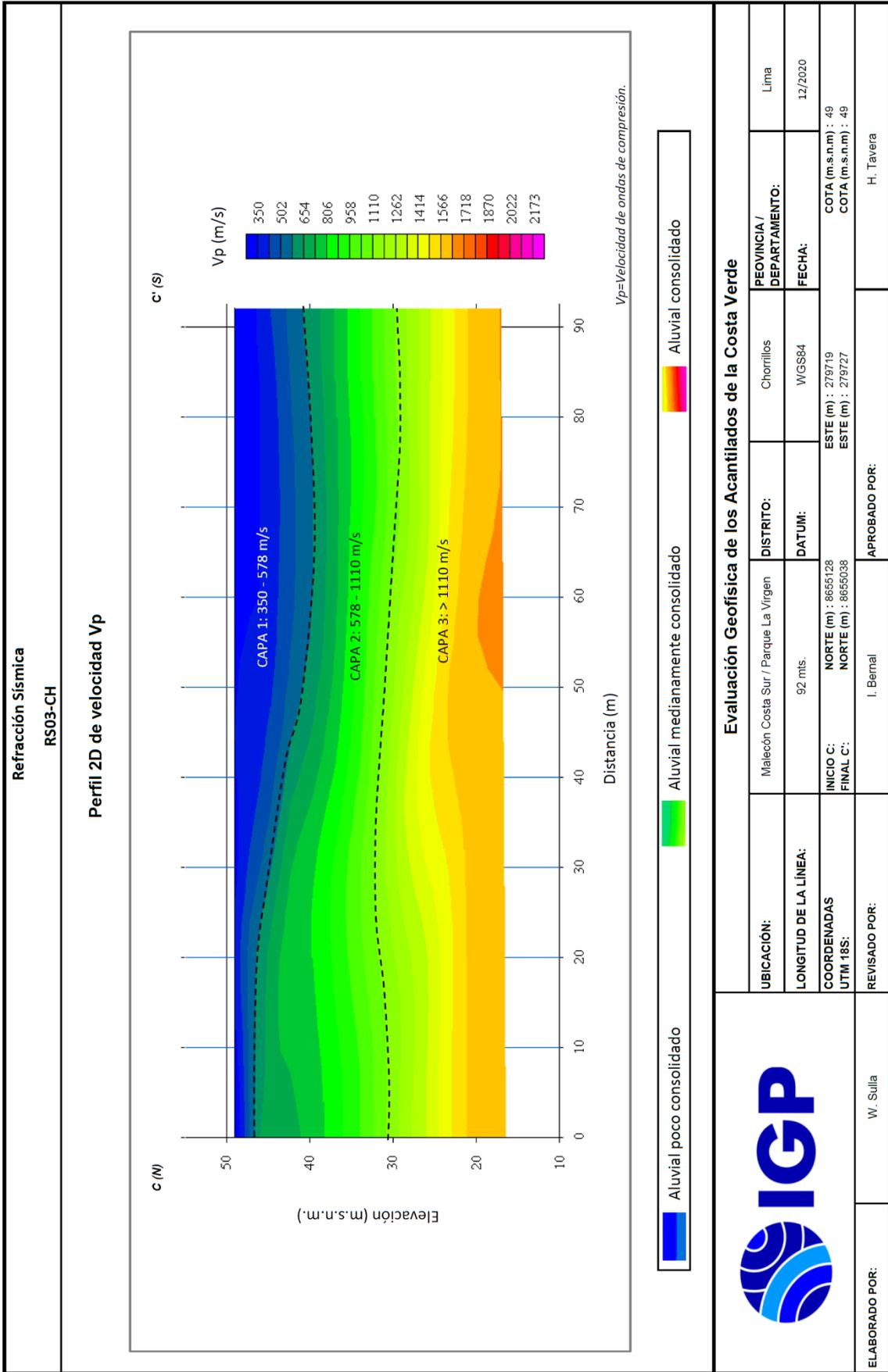
Refracción Sísmica
RS02-CH

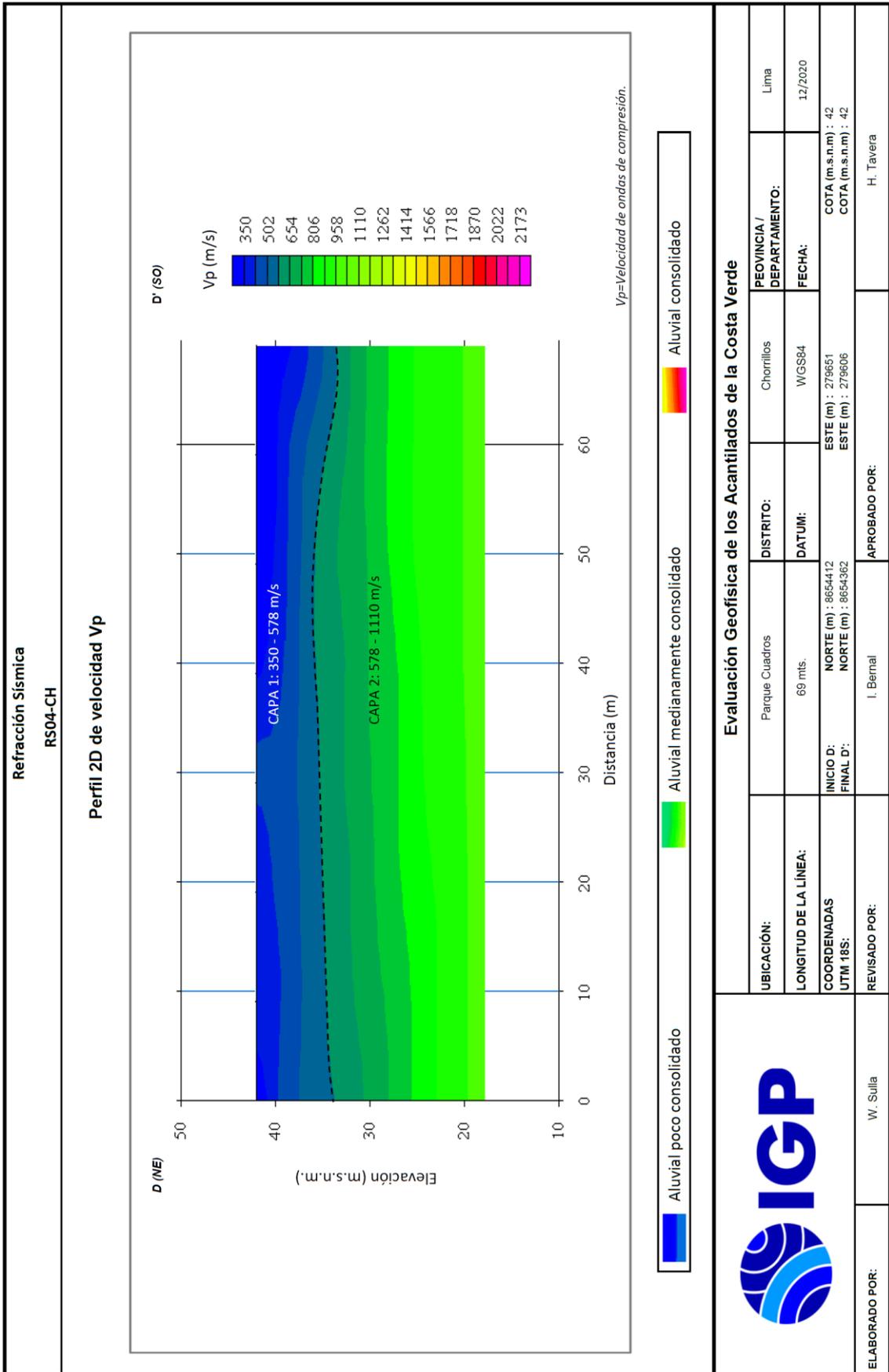
Perfil 2D de velocidad Vp



Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde

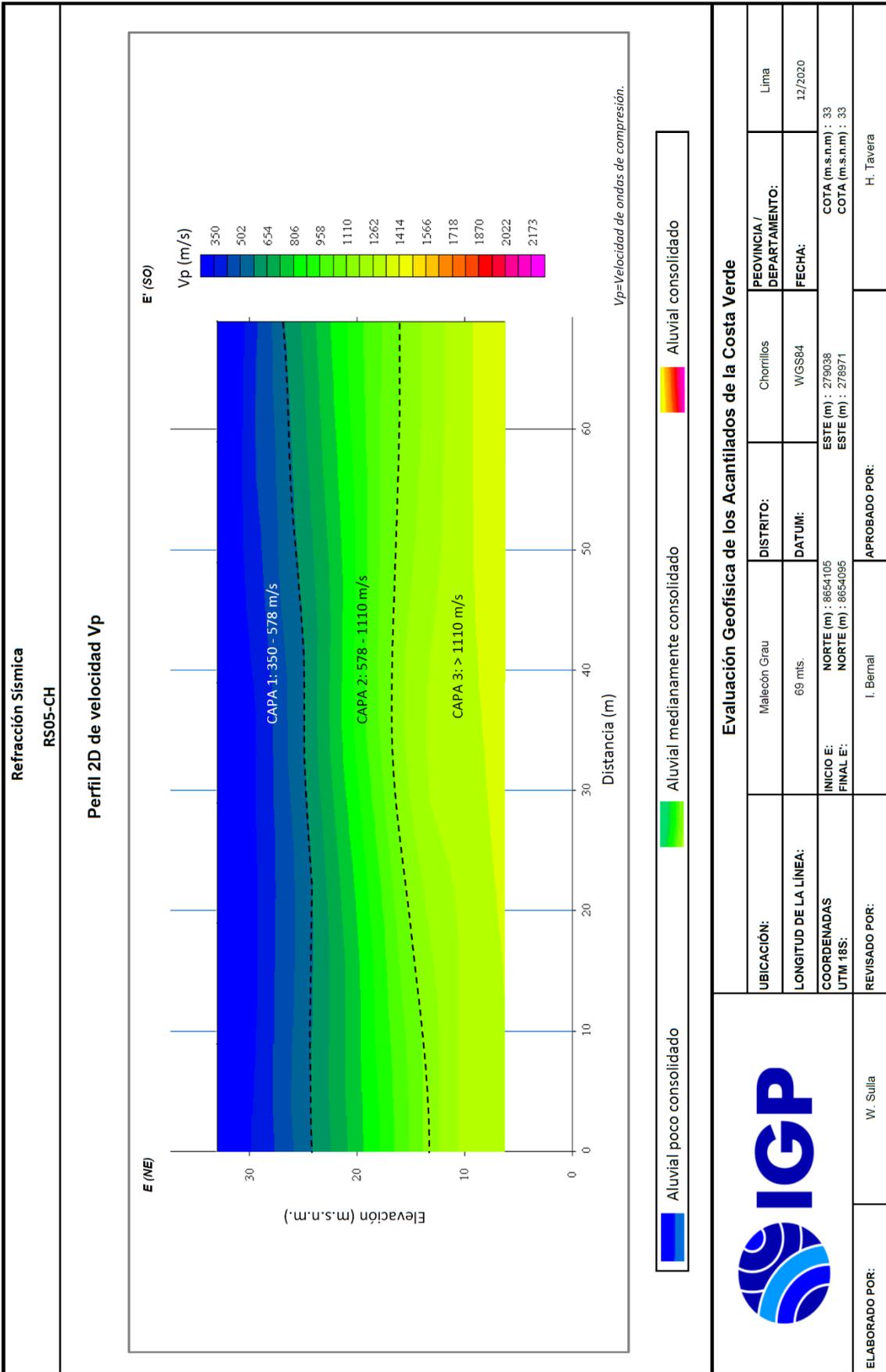
	UBICACIÓN:	Malecón Grau / Av. Mcal. Castilla	DISTRITO:	Chorrillos	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LÍNEA:	335 mts.	DATUM:	WGS84	FECHA:	12/2020
	COORDENADAS UTM 18S:	NORTE B: 8654101 FINAL B: 8653852	ESTE (m): 279039 ESTE (m): 279276	COTA (m.s.n.m): 33 COTA (m.s.n.m): 36		
	REVISADO POR:	W. Sullia	APROBADO POR:	H. Tavera		

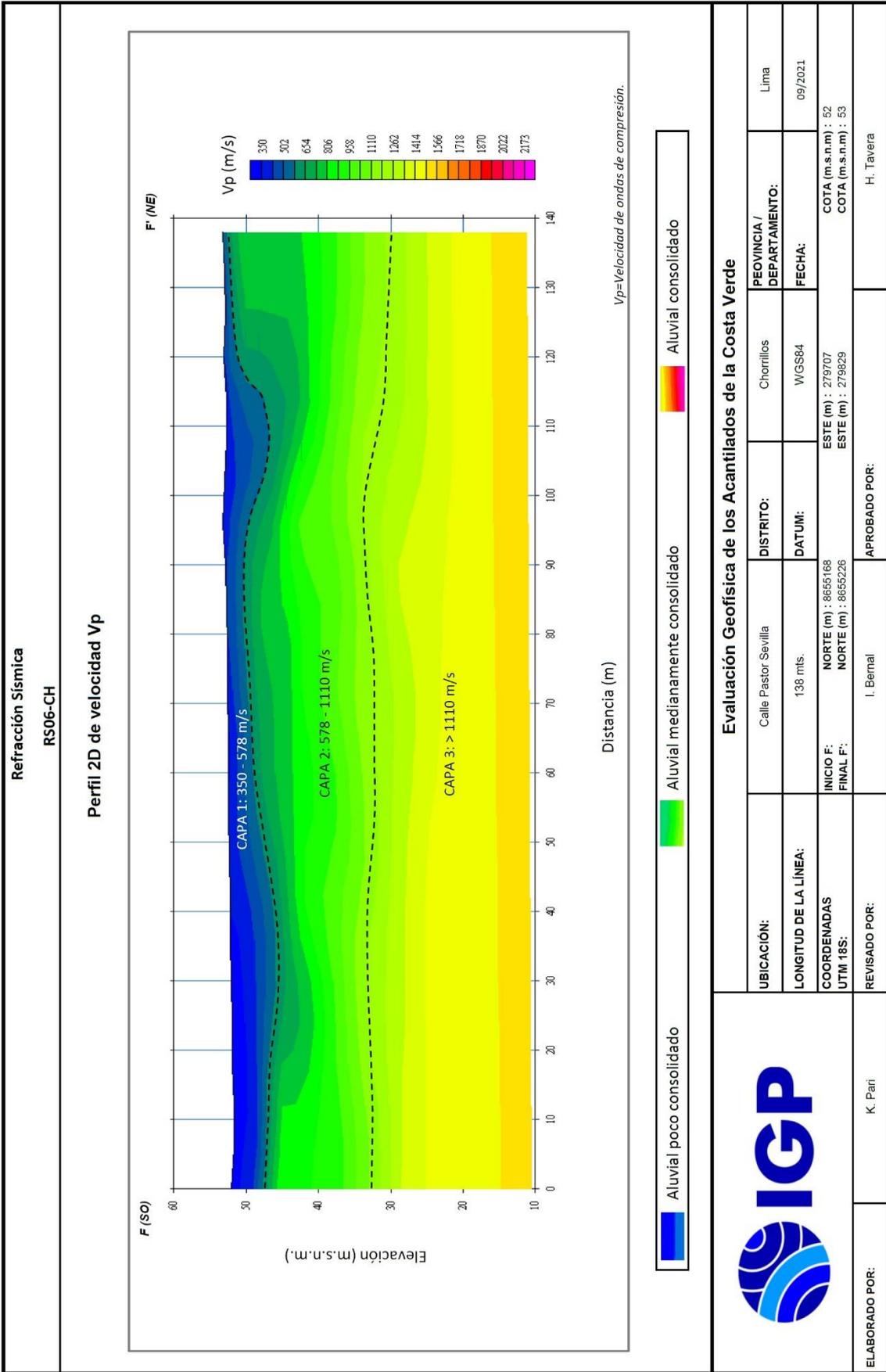




Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde

UBICACIÓN:	Parque Cuadros	DISTRITO:	Chorrillos	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LÍNEA:	69 mts.	DATUM:	WGS84	FECHA:	12/2020
COORDENADAS UTM 18S:	INICIO D: NORTE (m) : 8654412	ESTE (m) : 279651	COTA (m.s.n.m) : 42		
	FINAL D: NORTE (m) : 8654362	ESTE (m) : 279606	COTA (m.s.n.m) : 42		
REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera		
ELABORADO POR:	W. Sullia				





Evaluación Geofísica de los Acanuilados de la Costa Verde

UBICACIÓN:	Calle Pastor Sevilla	DISTRITO:	Chorrillos	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LÍNEA:	138 mts.	DATUM:	WGS84	FECHA:	09/2021
COORDENADAS UTM 18S:	INICIO F: NORTE (m) : 8655168 FINAL F: NORTE (m) : 8655226	ESTE (m) : 279707	ESTE (m) : 279829	COTA (m.s.n.m) : 52 COTA (m.s.n.m) : 53	
REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera		

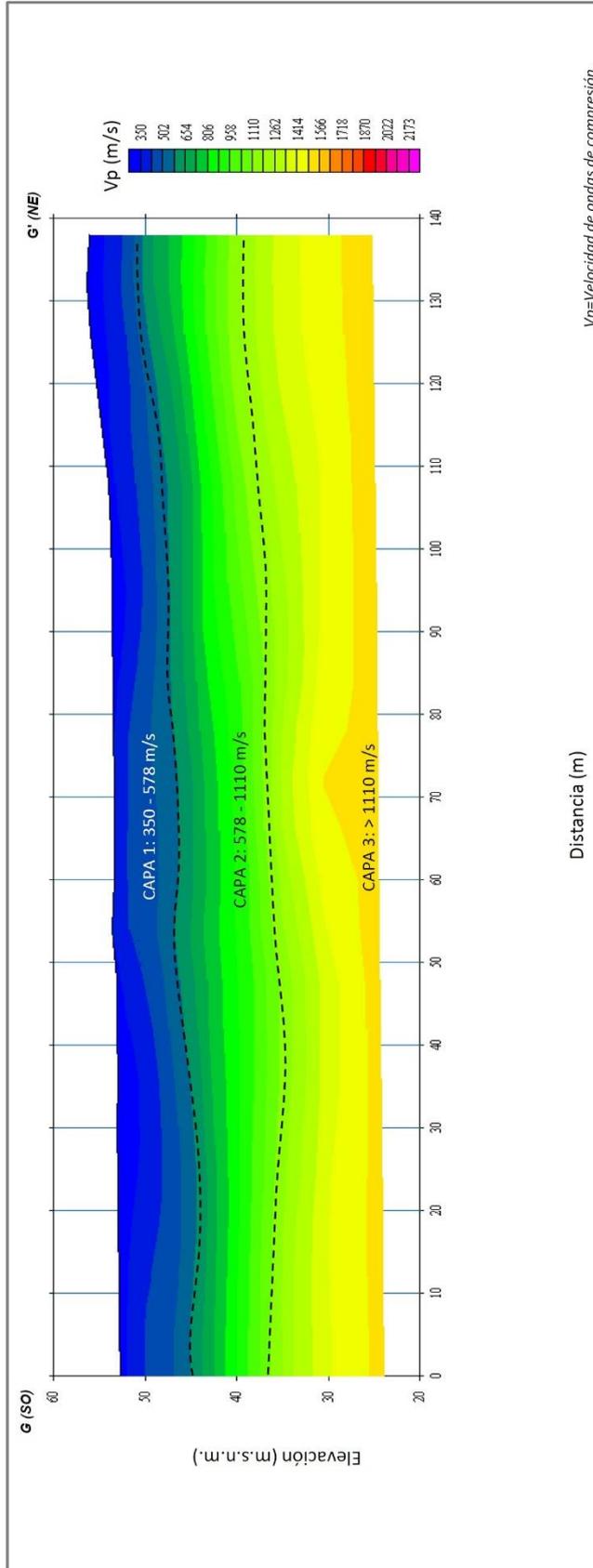
IGP

ELABORADO POR: K. Parí

Refracción Sísmica

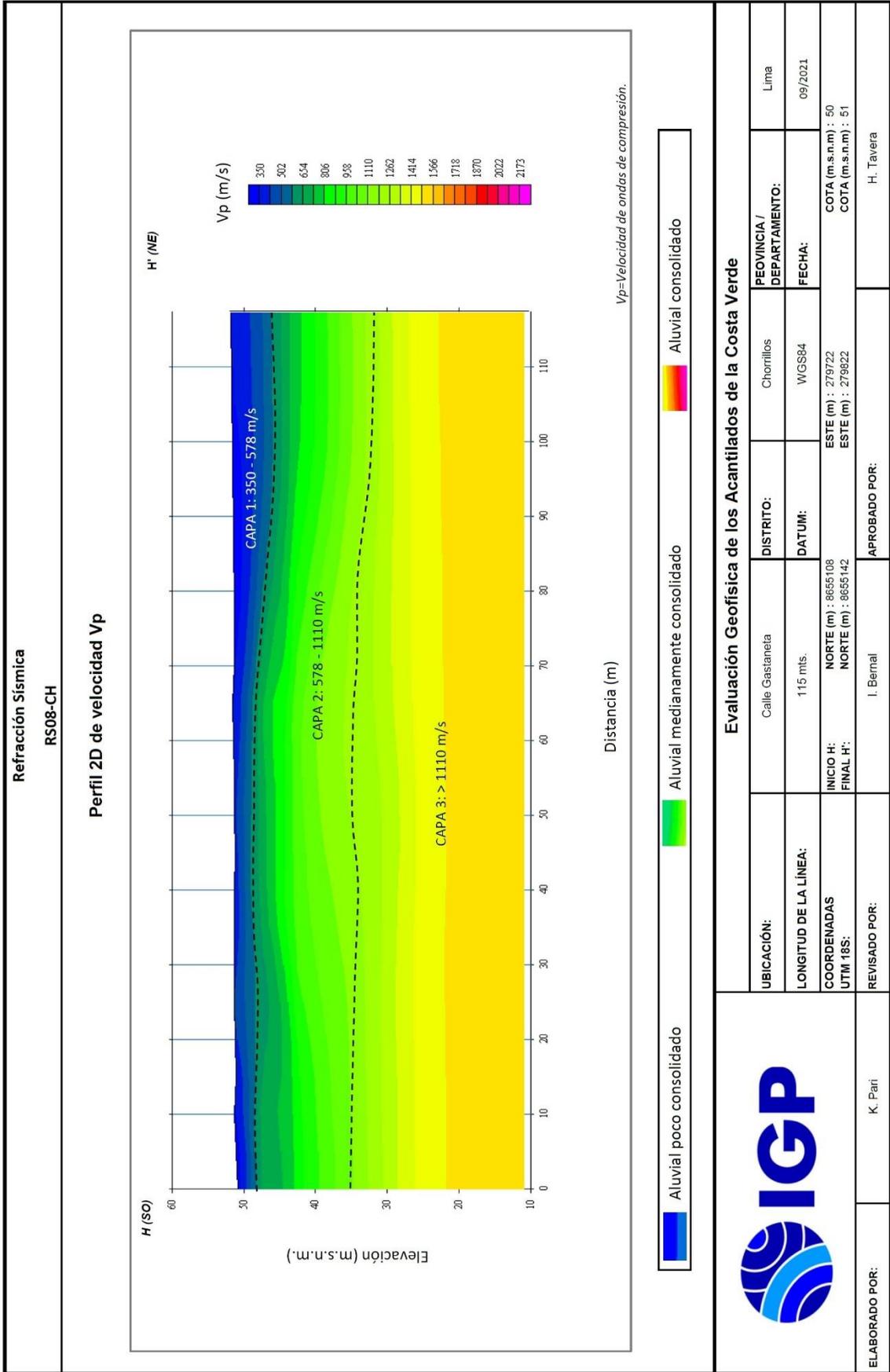
RS07-CH

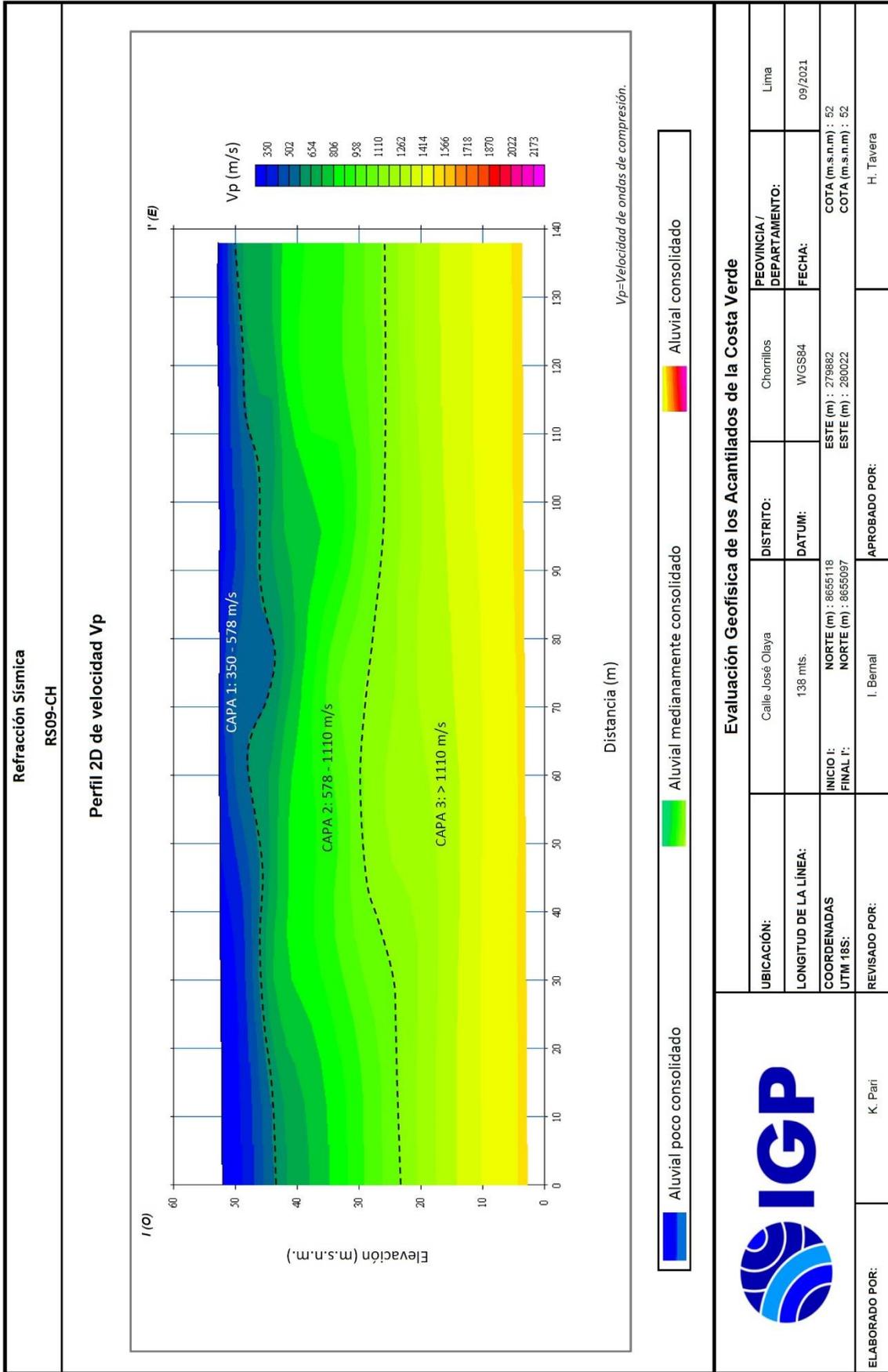
Perfil 2D de velocidad Vp



Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde

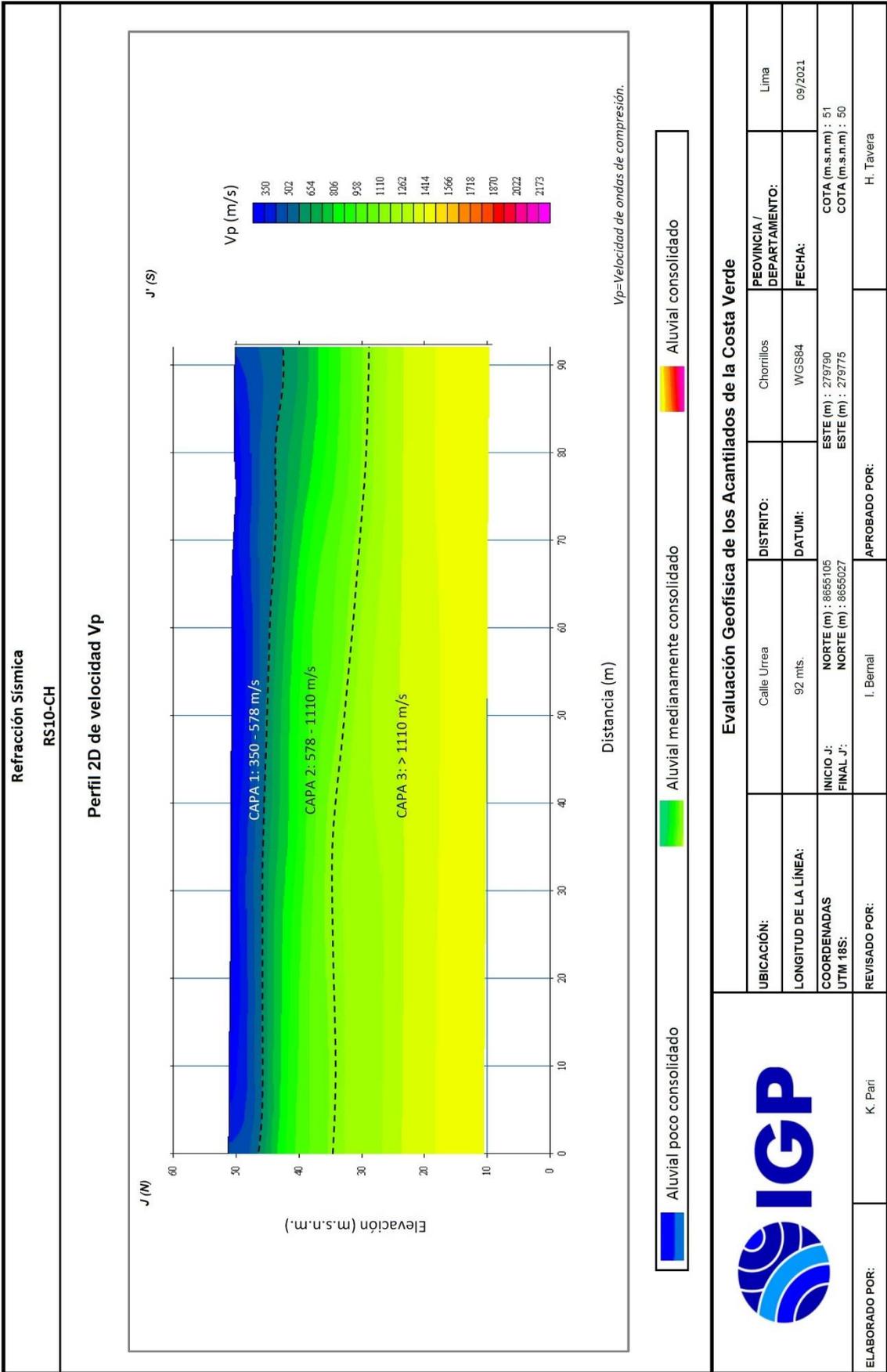
	UBICACIÓN:	Av. Elena Fray de Pastor	DISTRITO:	Chorrillos	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LÍNEA:	138 mts.	DATUM:	WGS84	FECHA:	09/2021
COORDENADAS UTM 18S:	NORTE G: 8665181 FINAL G: 8665243	NORTE (m): 279896 ESTE (m): 270025	COTA (m.s.n.m.): 52 COTA (m.s.n.m.): 56			
ELABORADO POR:	K. Parí	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera		

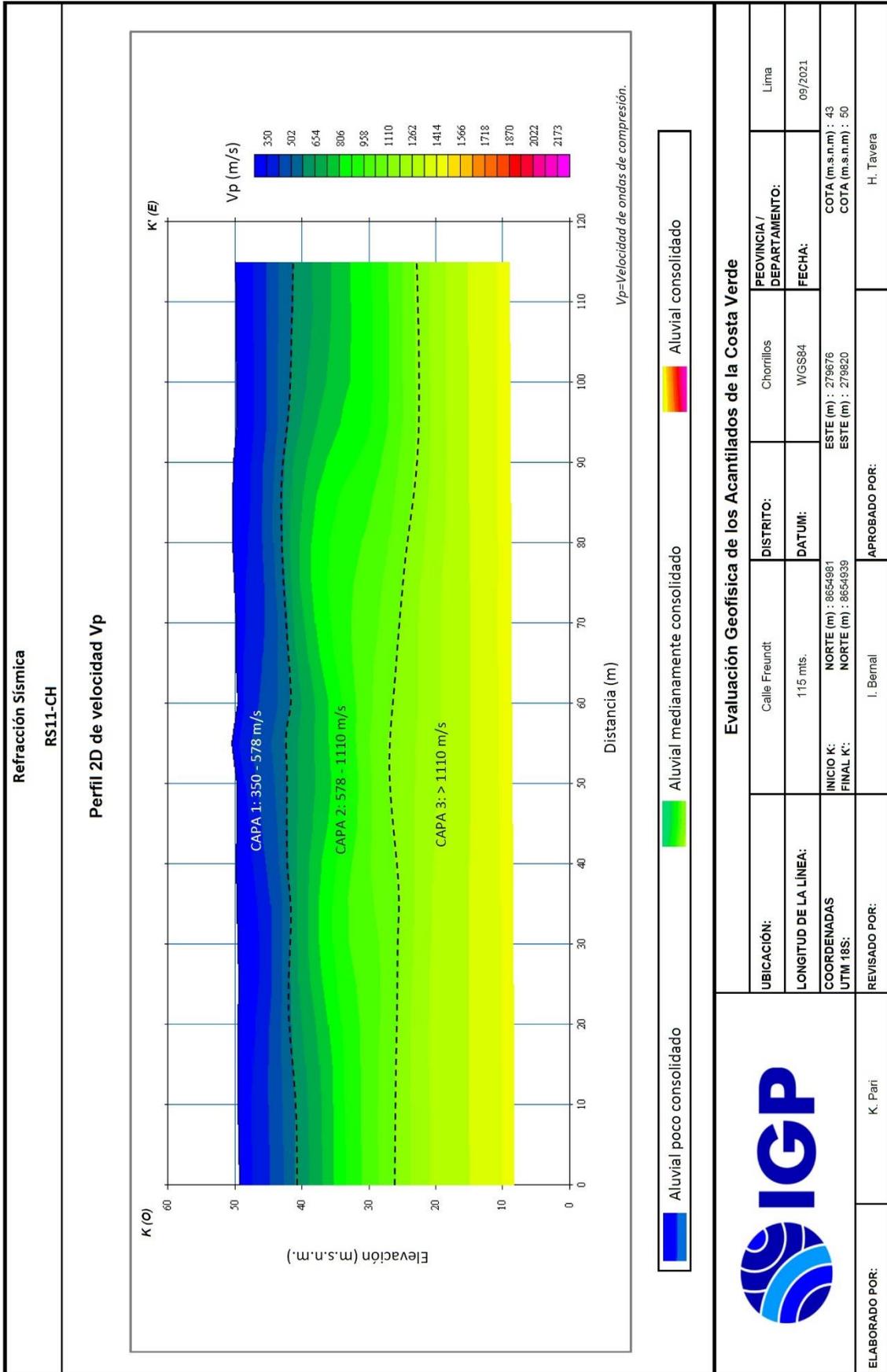


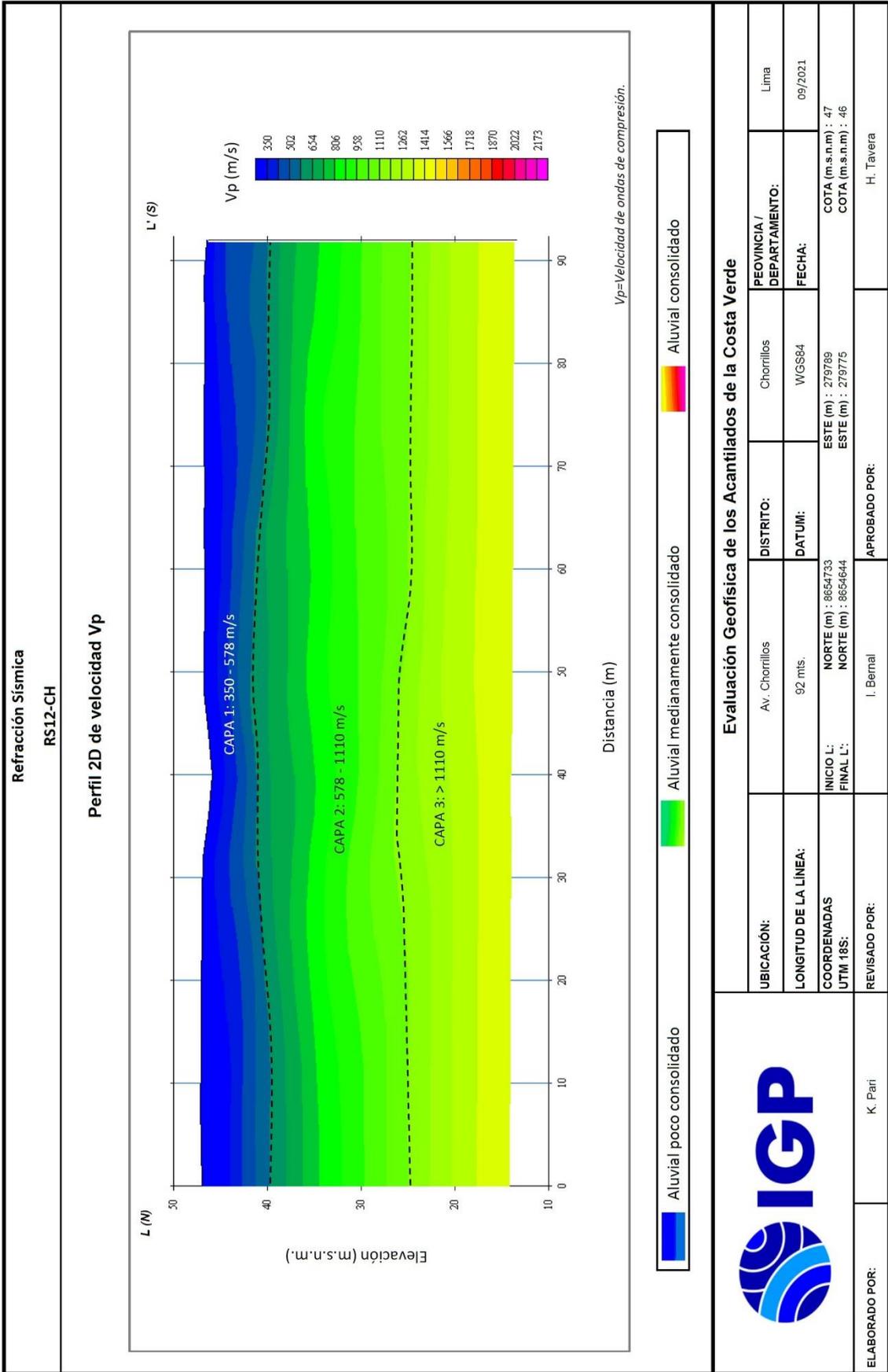


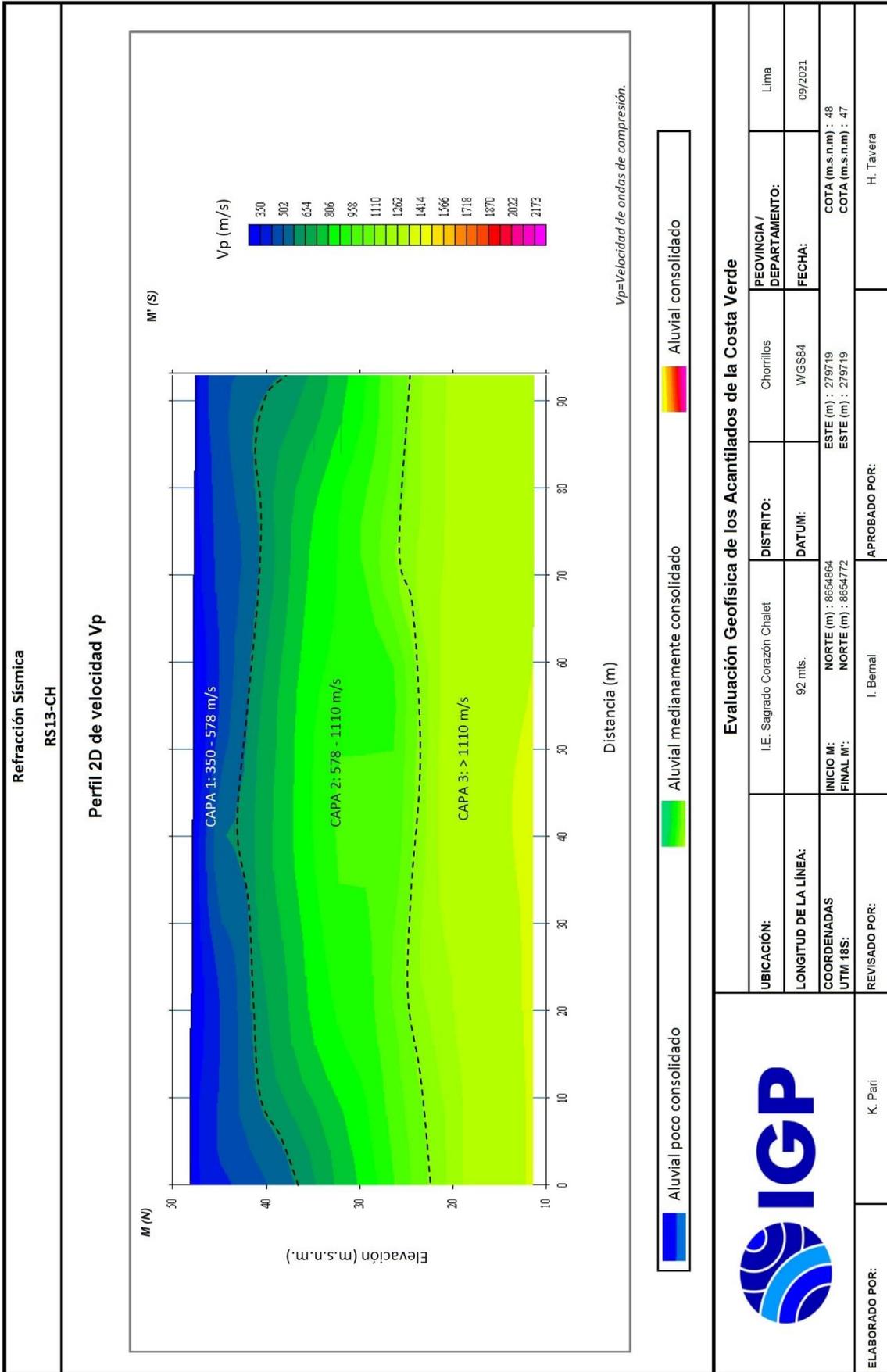
Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde

UBICACIÓN:	Calle José Olaya	DISTRITO:	Chorrillos
LONGITUD DE LA LÍNEA:	138 mts.	DATUM:	WGS84
COORDENADAS UTM 18S:	INICIO I: NORTE (m) : 8655118 FINAL I: NORTE (m) : 8655097	FECHA: 09/2021	
REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera
ELABORADO POR:	K. Parí	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
		ESTE (m) : 279882 ESTE (m) : 290022	COTA (m.s.n.m) : 52 COTA (m.s.n.m) : 52



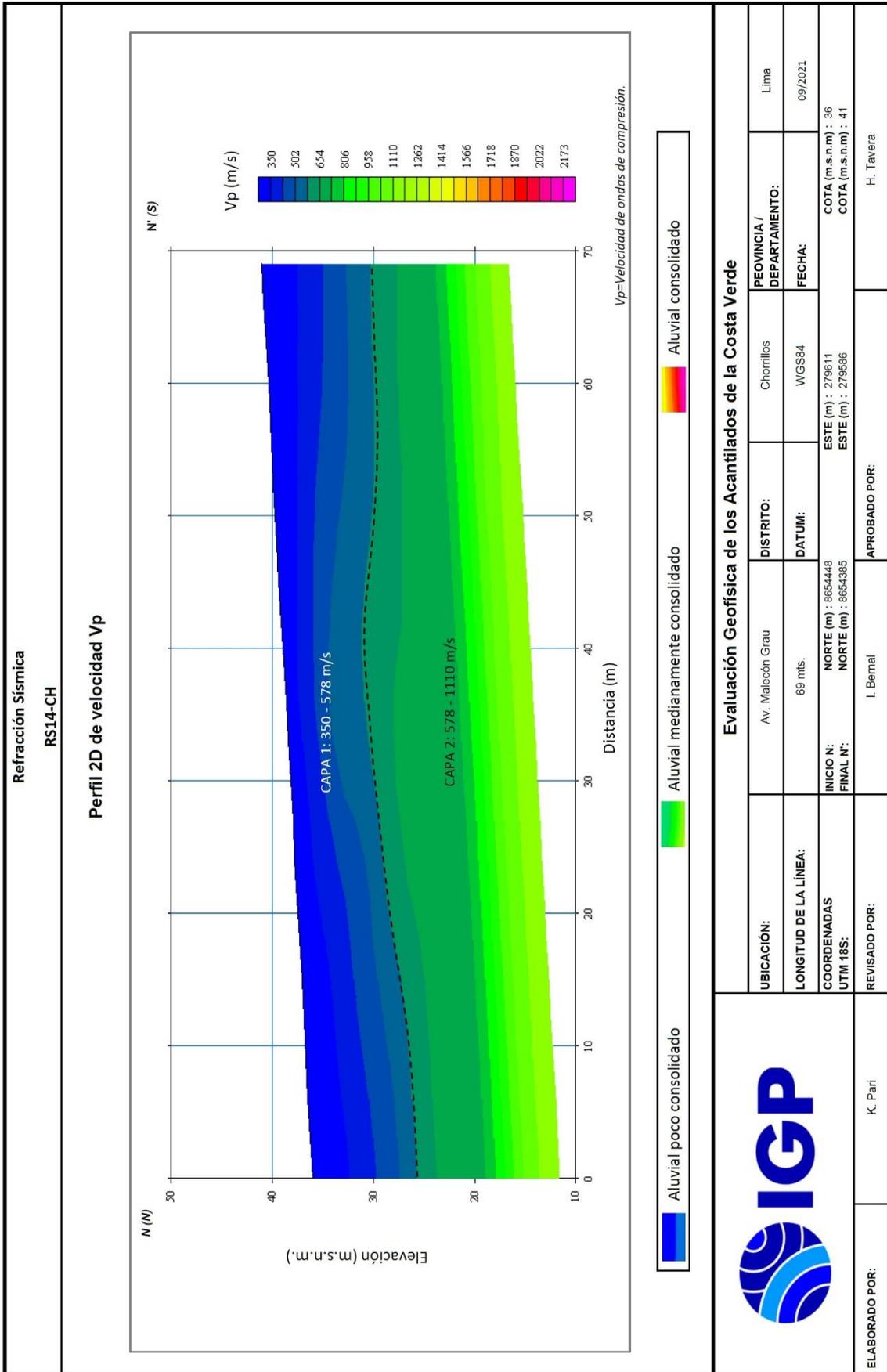






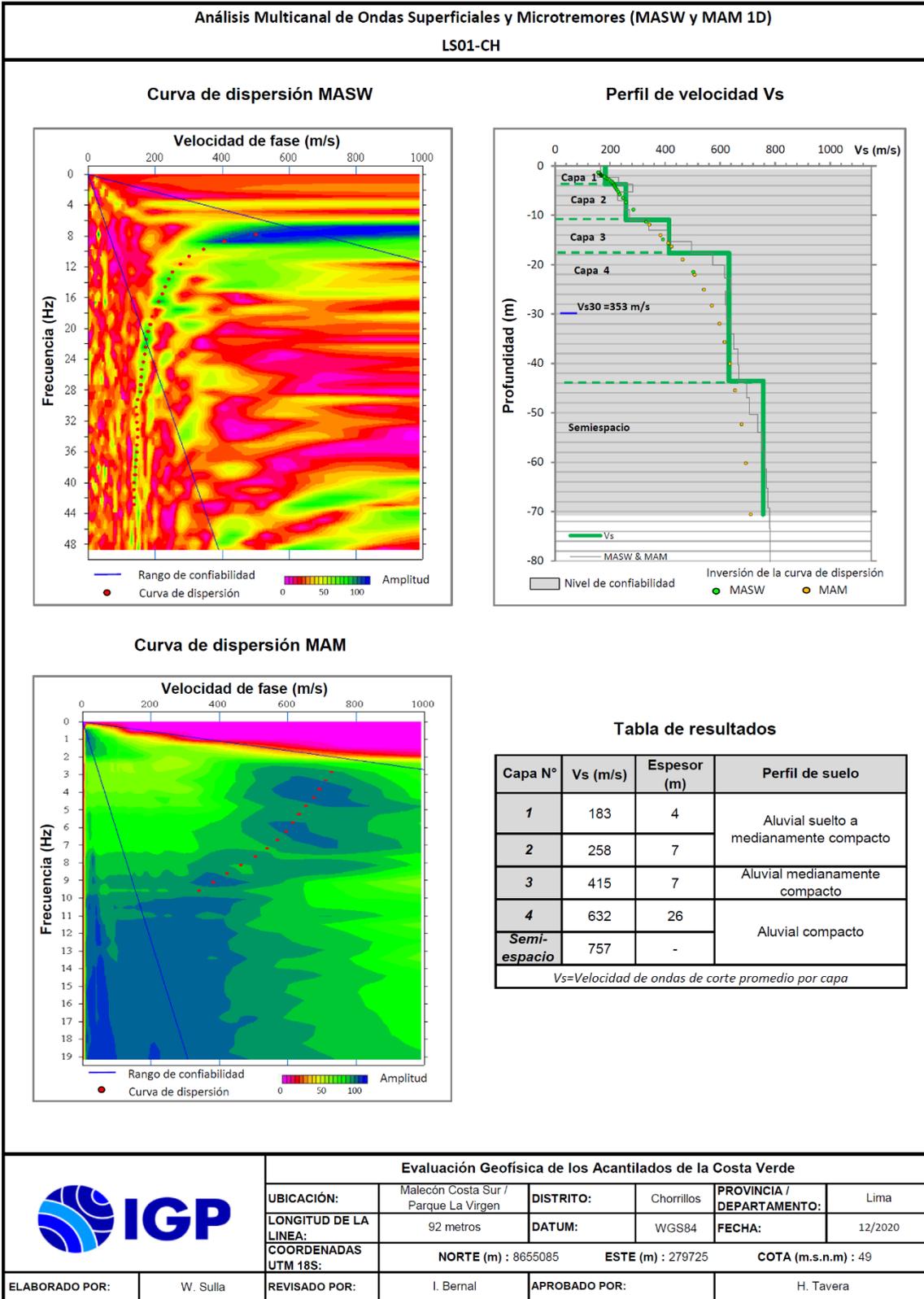
Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde

UBICACIÓN:	I.E. Sagrado Corazón Chalet	DISTRITO:	Chorrillos	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LÍNEA:	92 mts.	DATUM:	WGS84	FECHA:	09/2021
COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8654864 ESTE (m) : 279719	INICIO M:	NORTE (m) : 8654772 ESTE (m) : 279719	COTA (m.s.n.m) : 48 COTA (m.s.n.m) : 47	
REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera		
ELABORADO POR:	K. Pari				



ANEXO II

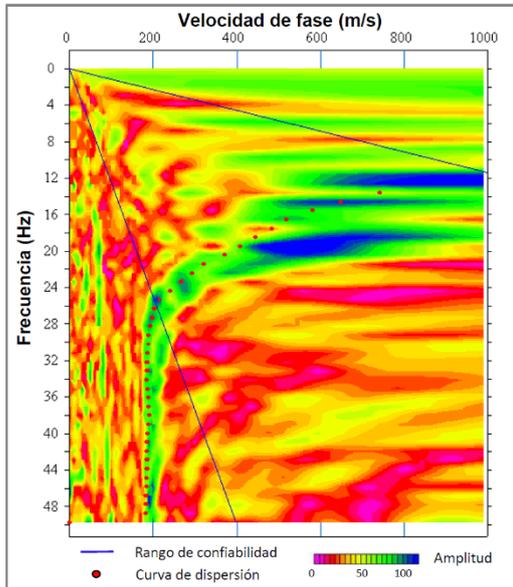
Perfiles MASW y MAM.



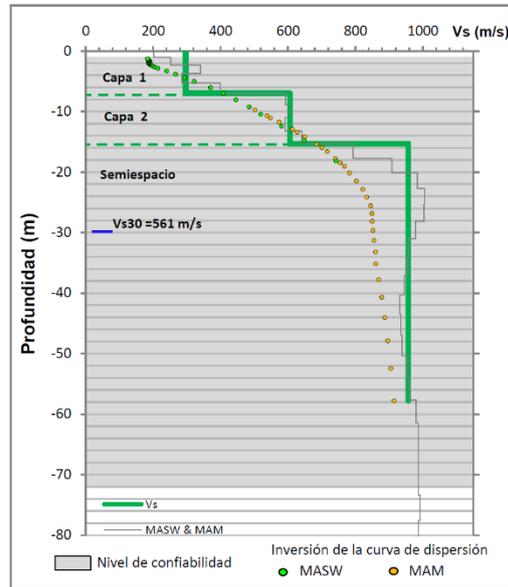
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y Microtremores (MASW y MAM 1D)

LS02-CH

Curva de dispersión MASW



Perfil de velocidad Vs



Curva de dispersión MAM

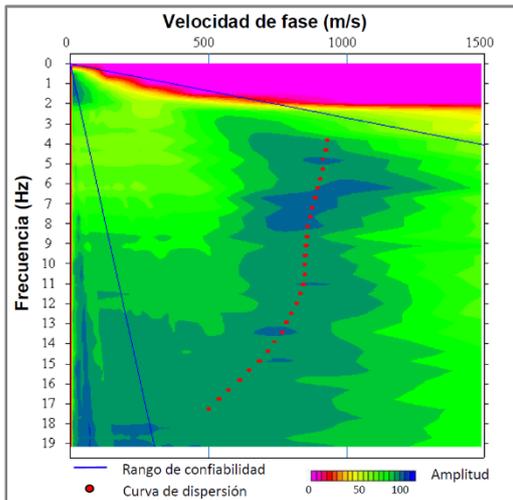
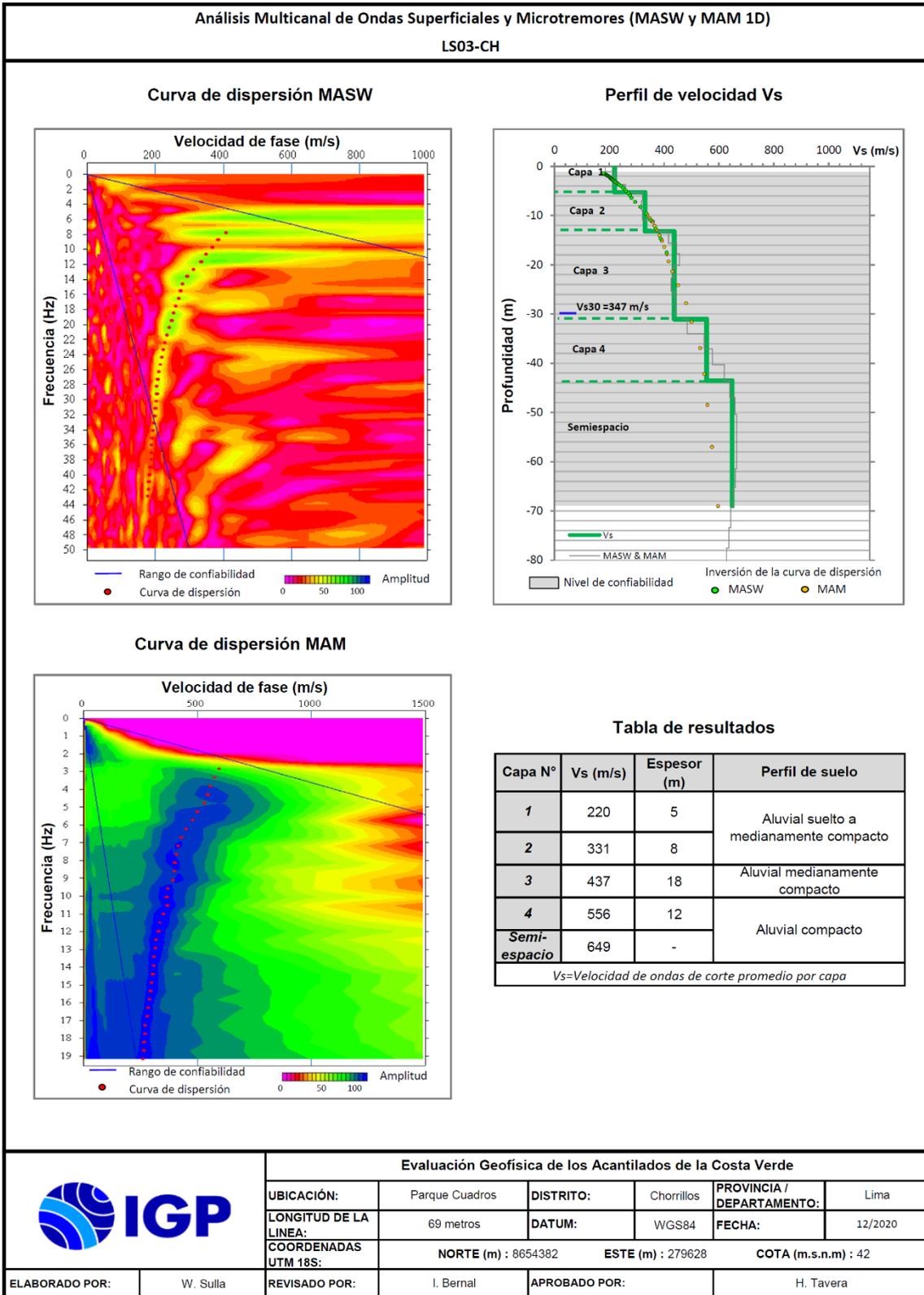


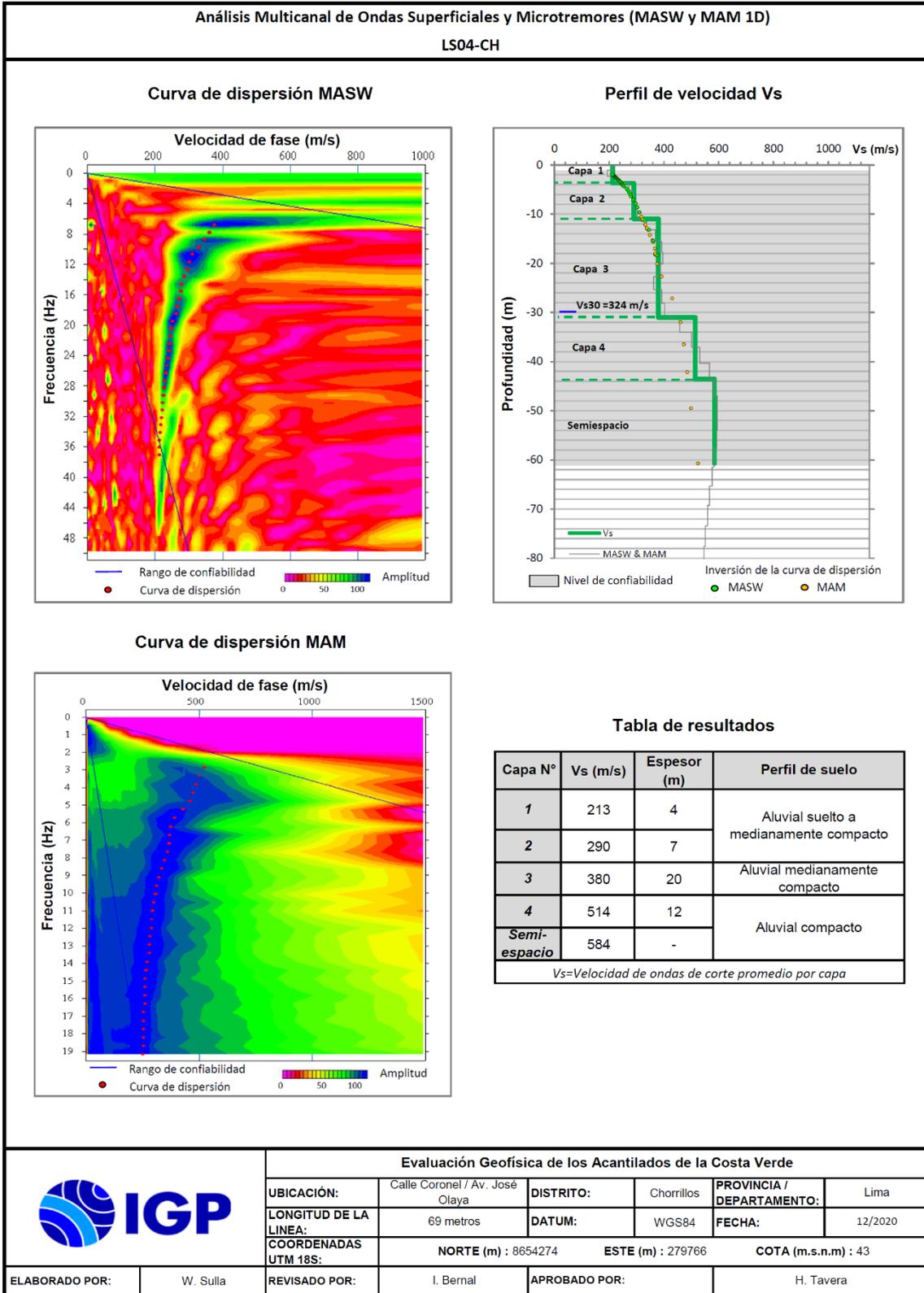
Tabla de resultados

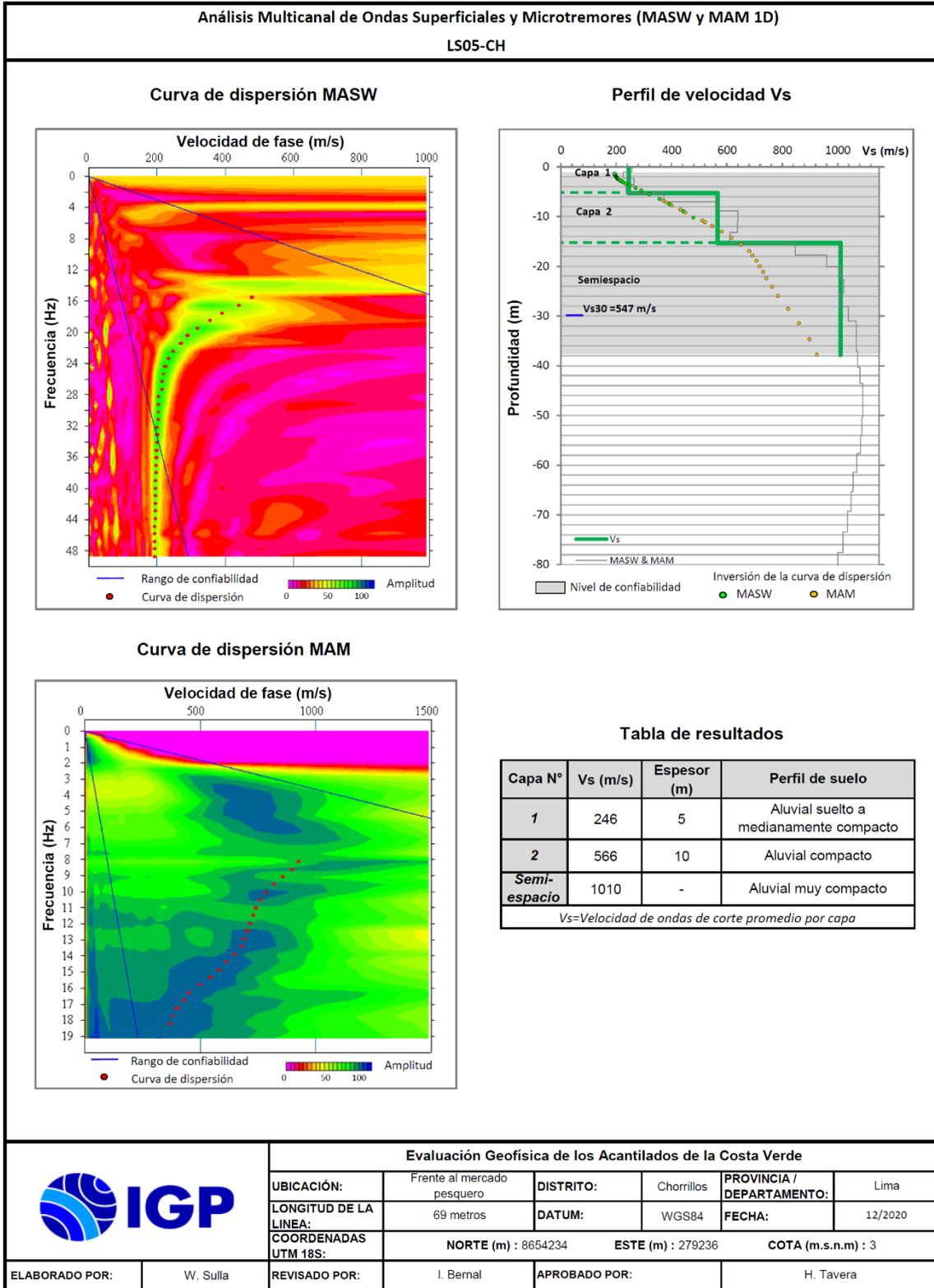
Capa N°	Vs (m/s)	Espesor (m)	Perfil de suelo
1	296	7	Aluvial suelto a medianamente compacto
2	606	8	Aluvial compacto
Semi-espacio	957	-	Aluvial muy compacto

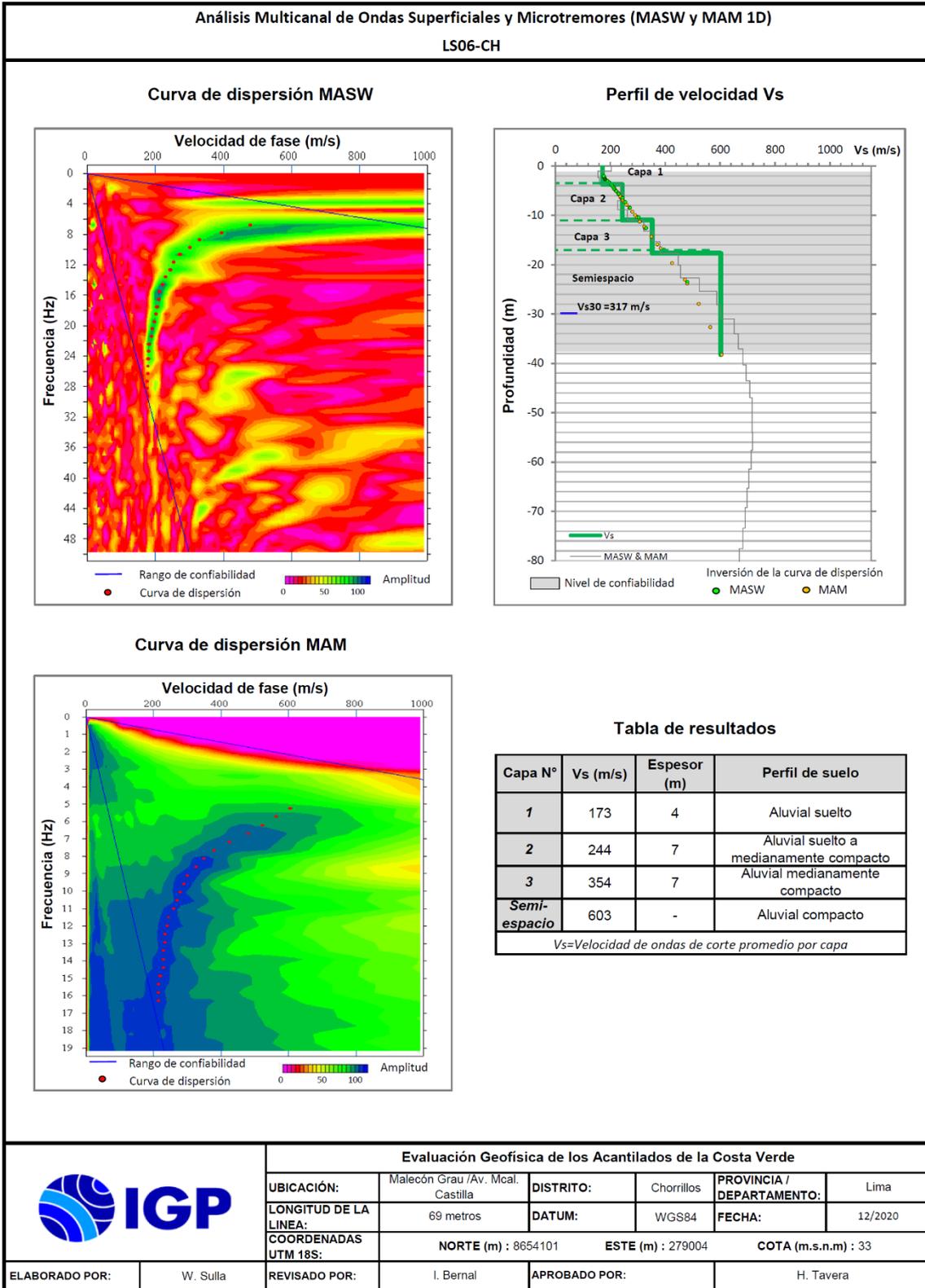
Vs=Velocidad de ondas de corte promedio por capa

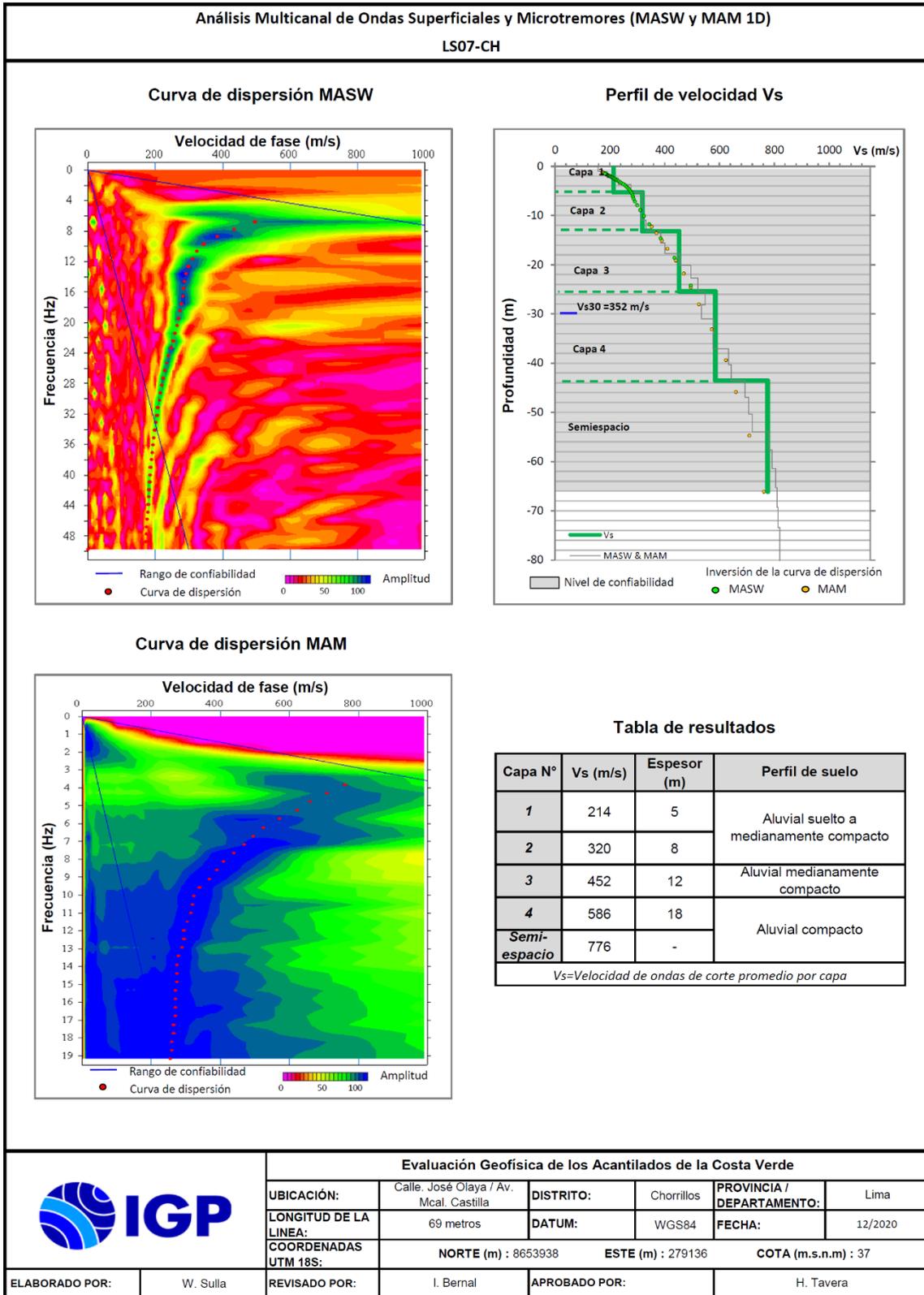
	Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde					
	UBICACIÓN:	Pileta de Agua Dulce	DISTRITO:	Chorrillos	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LINEA:	92 metros	DATUM:	WGS84	FECHA:	12/2020
	COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8654729	ESTE (m) : 279643	COTA (m.s.n.m) : 6		
	ELABORADO POR:	W. Sullá	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera

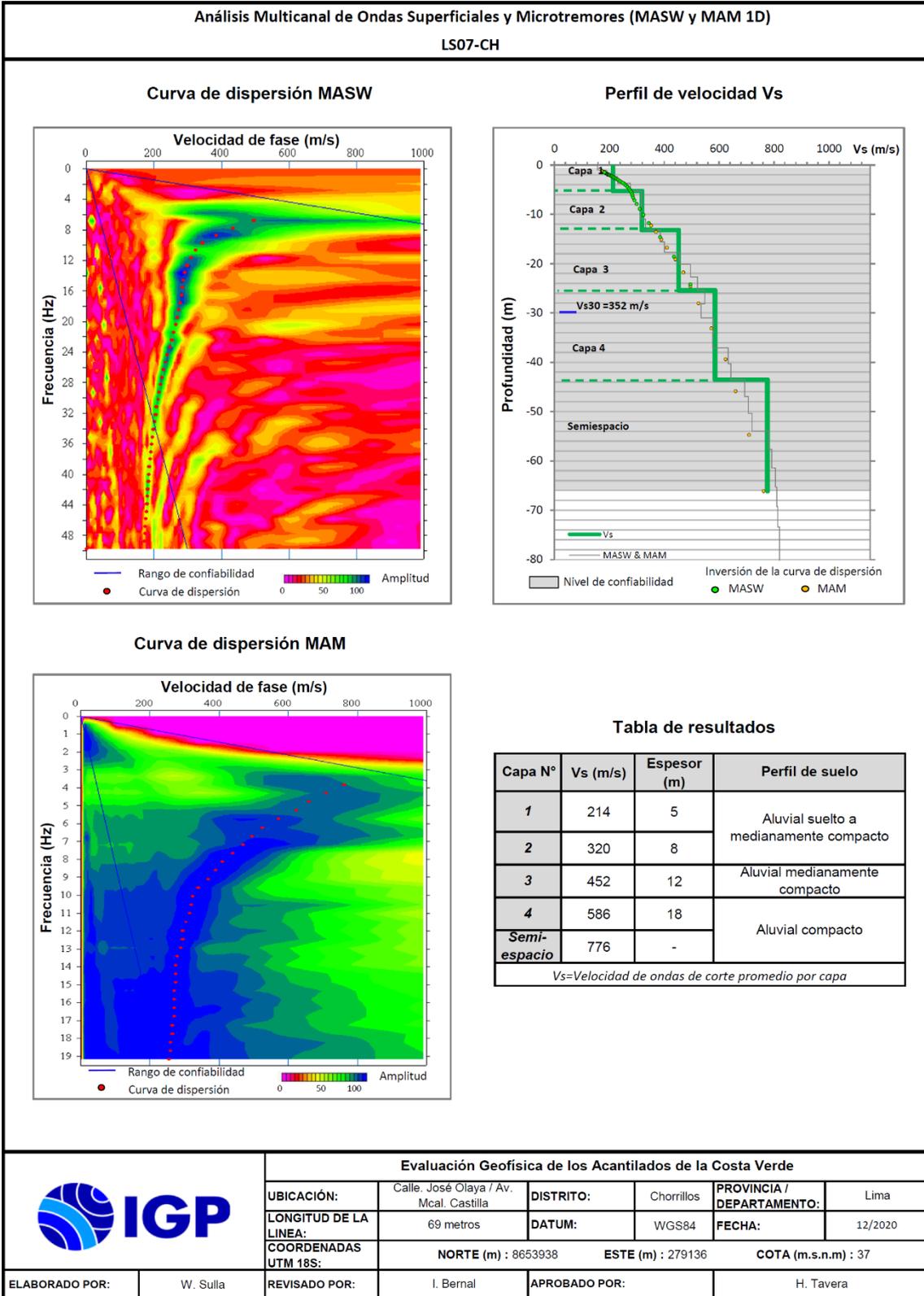


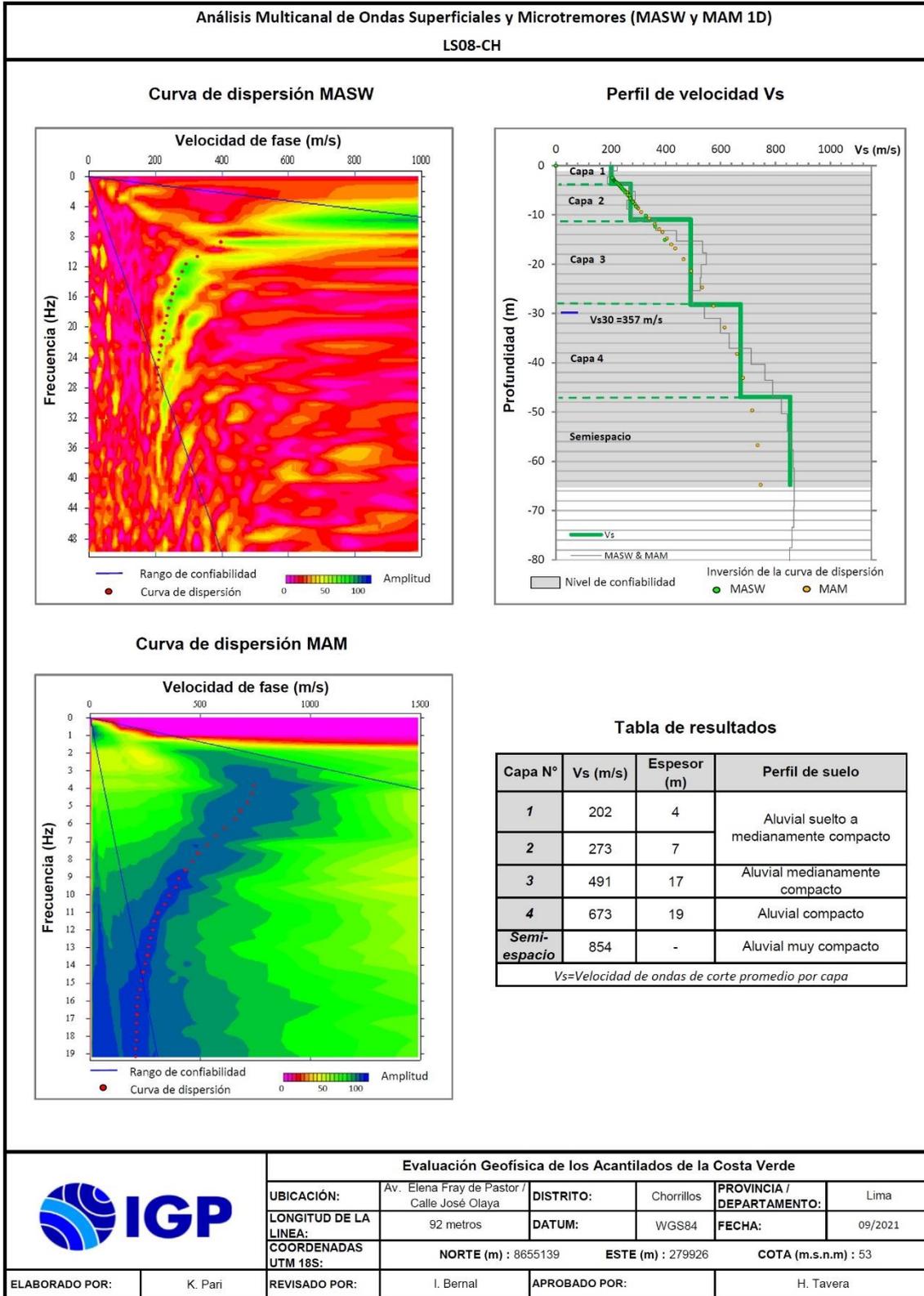


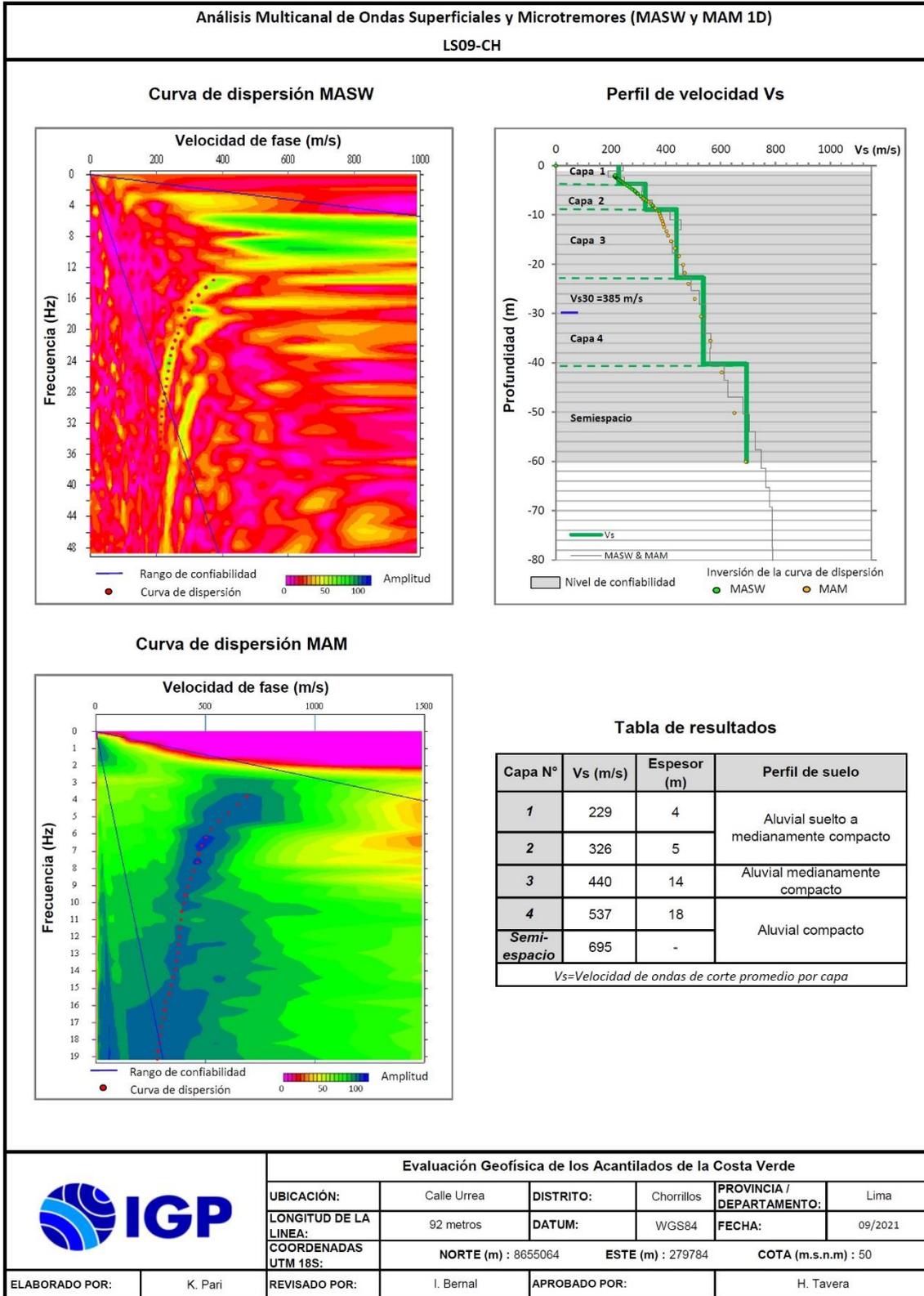


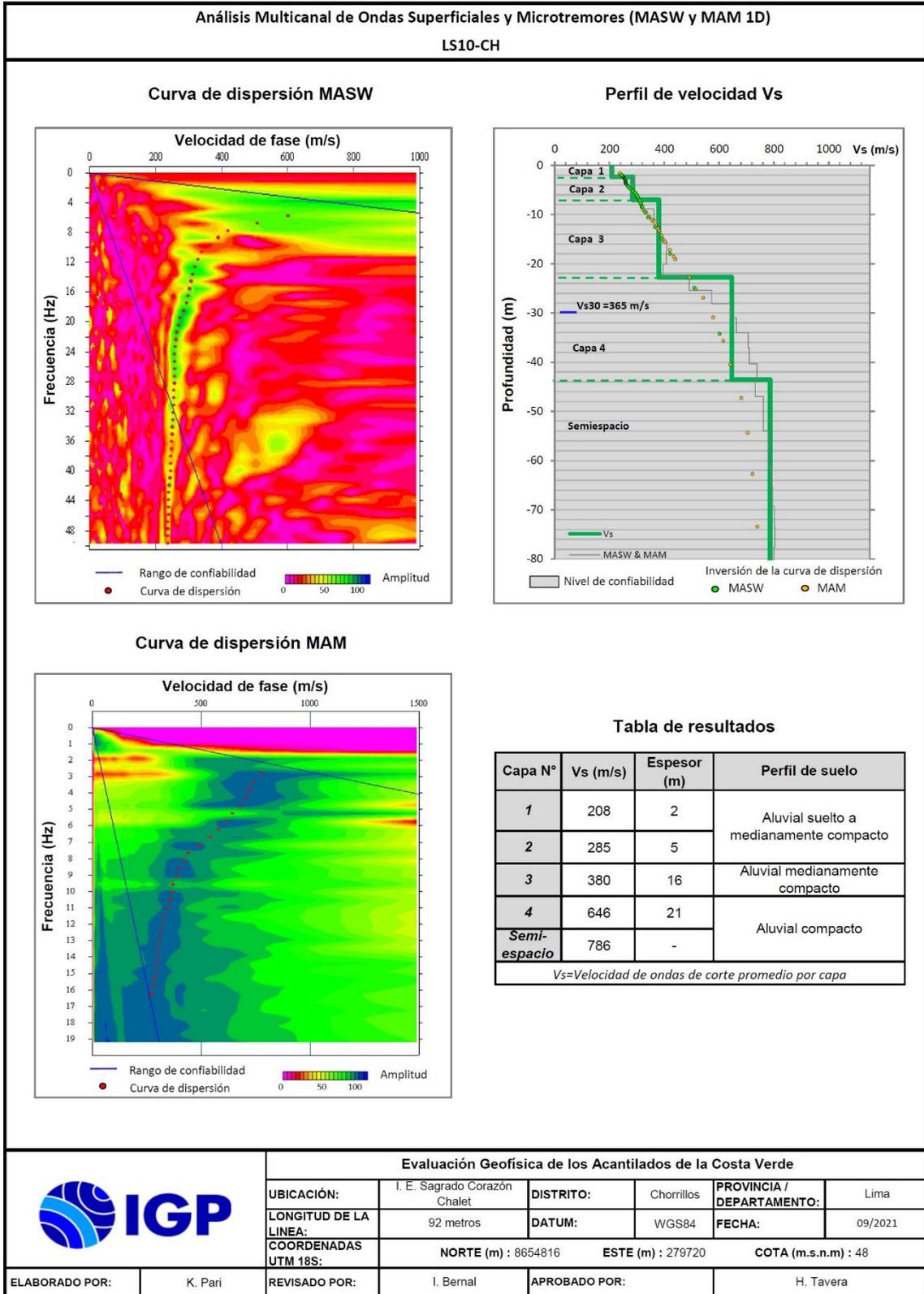


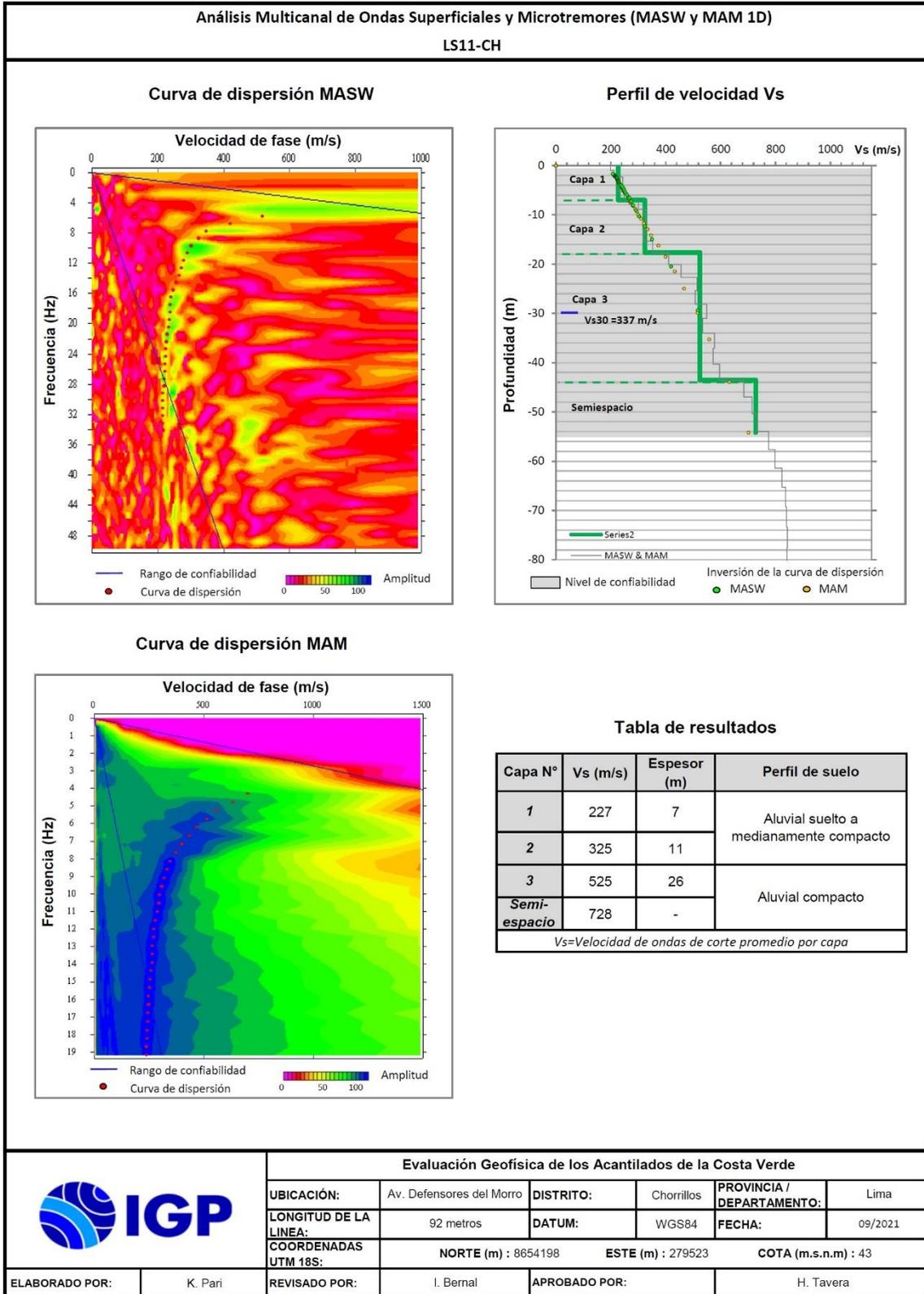


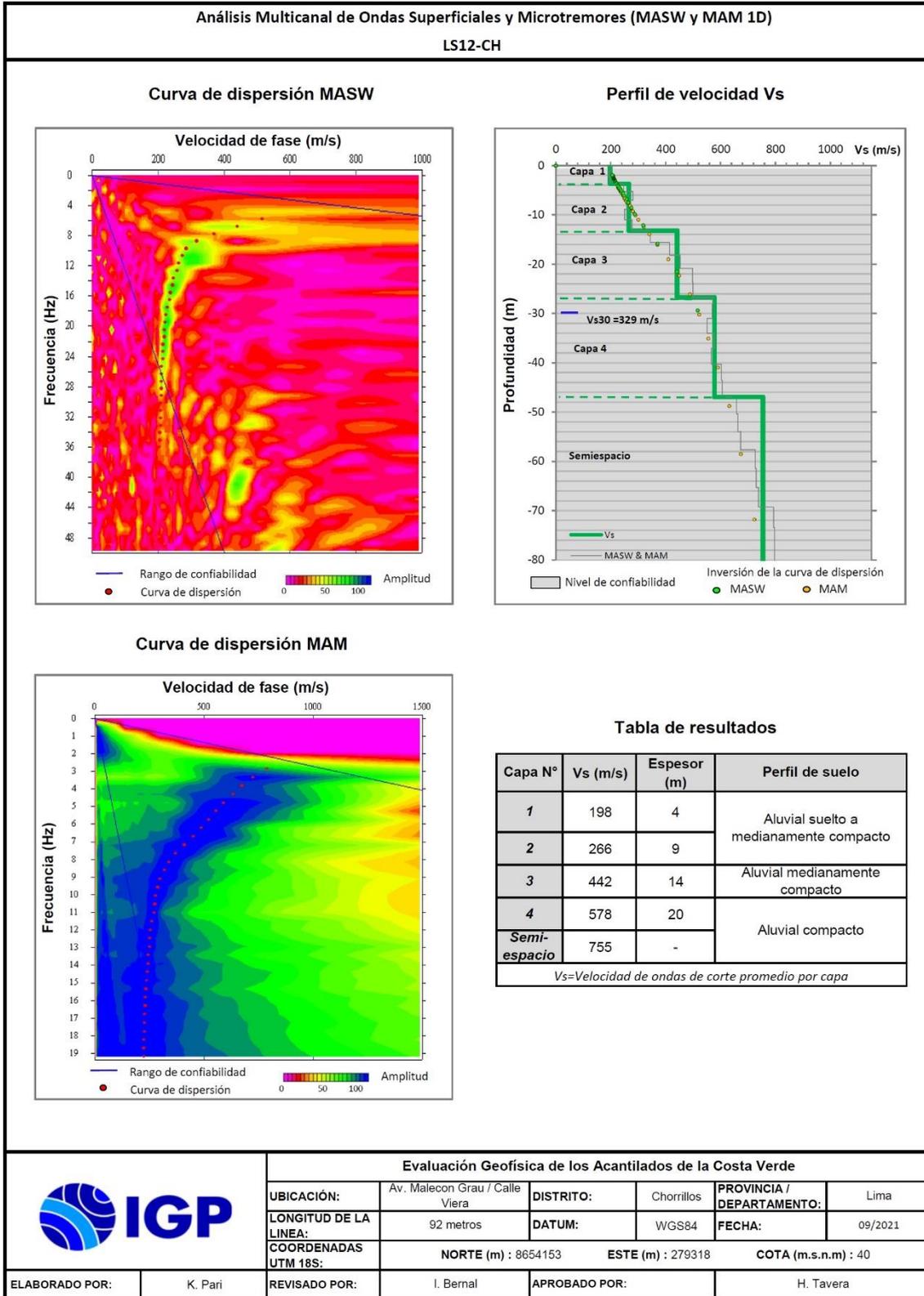












ANEXO III

Tablas con parámetros sísmicos

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	183	372	4
2	258	495	7
3	415	850	7
4	632	1472	26
Semi-espacio	757	1746	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	296	616	7
2	606	1716	8
Semi-espacio	957	2484	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	220	397	5
2	331	568	8
3	437	948	18
4	556	1434	12
Semi-espacio	649	1752	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	213	362	4
2	290	531	7
3	380	946	20
4	514	1433	12
Semi-espacio	584	1669	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	246	724	5
2	566	1918	10
Semi-espacio	1010	2500	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	173	337	4
2	244	482	7
3	354	701	7
Semi-espacio	603	1516	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	214	461	5
2	320	664	8
3	452	1084	12
4	586	1466	18
Semi-espacio	776	965	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	202	373	4
2	273	595	7
3	491	992	17
4	673	1374	19
Semi espacio	854	1747	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	229	327	4
2	326	609	5
3	440	1077	14
4	537	1353	18
Semi espacio	695	1948	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	208	320	2
2	285	545	5
3	380	886	16
4	646	1234	21
Semi espacio	786	1570	-

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

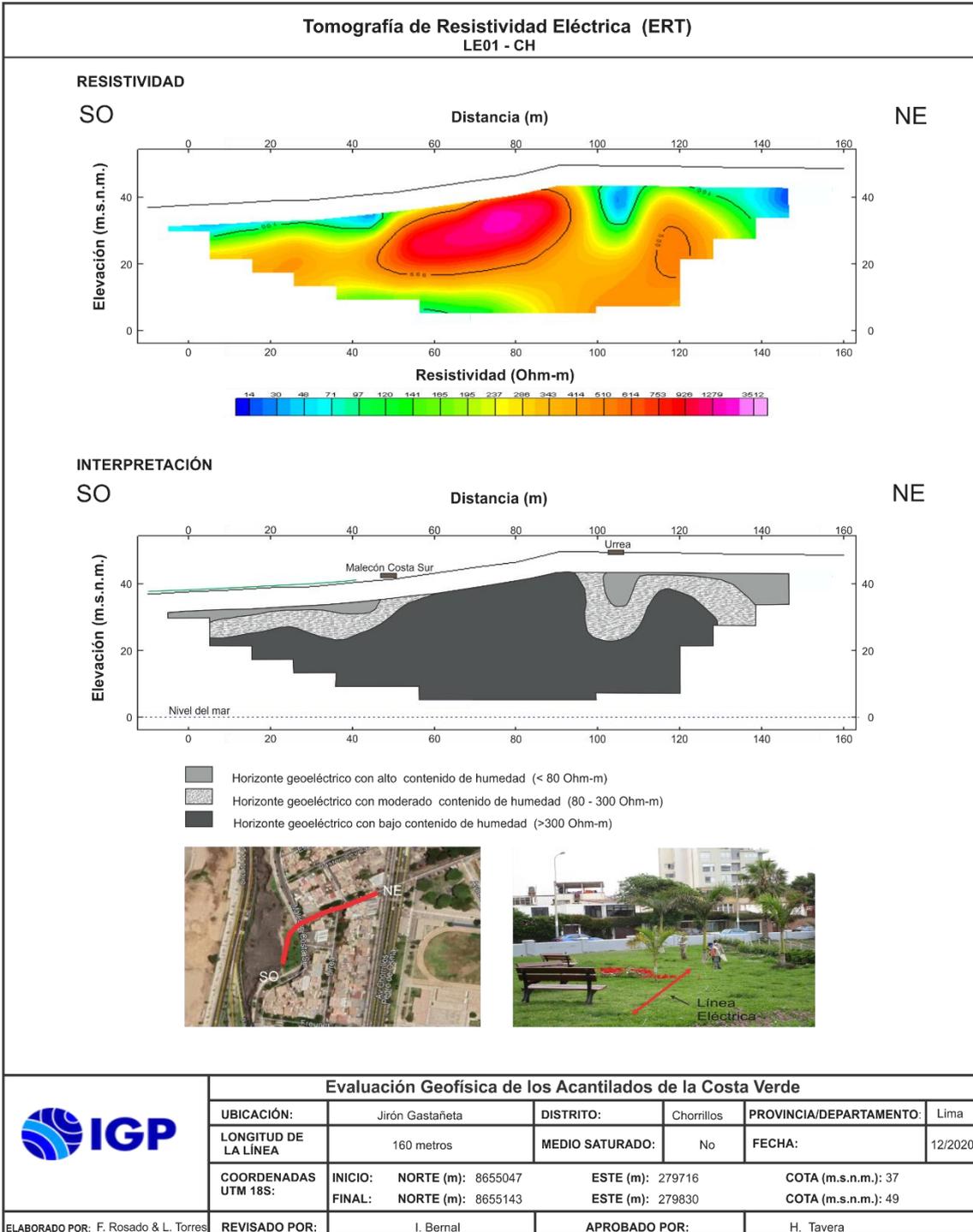
Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	227	458	7
2	325	779	11
3	525	1130	26
Semi espacio	728	1581	-

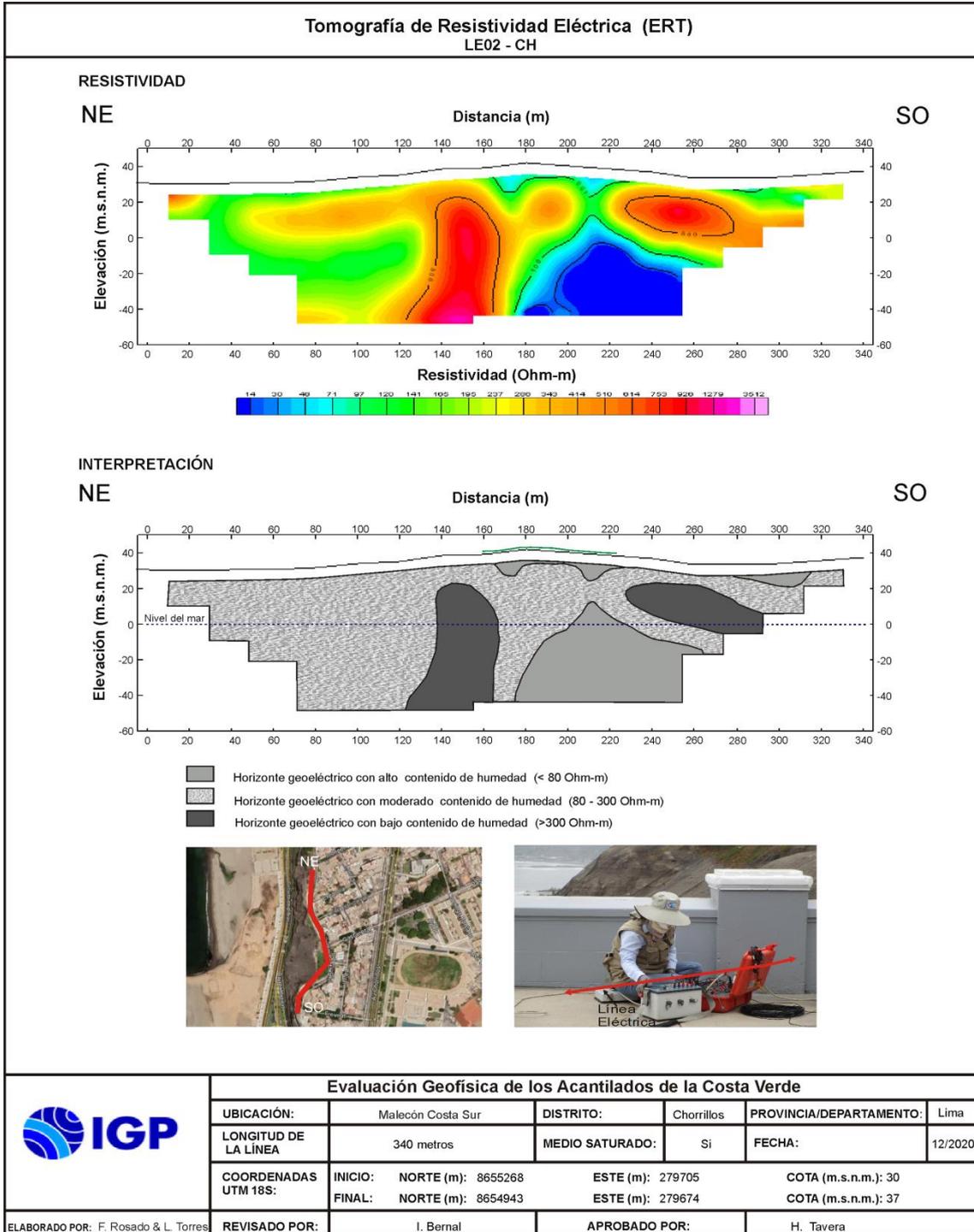
Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS12-CH.

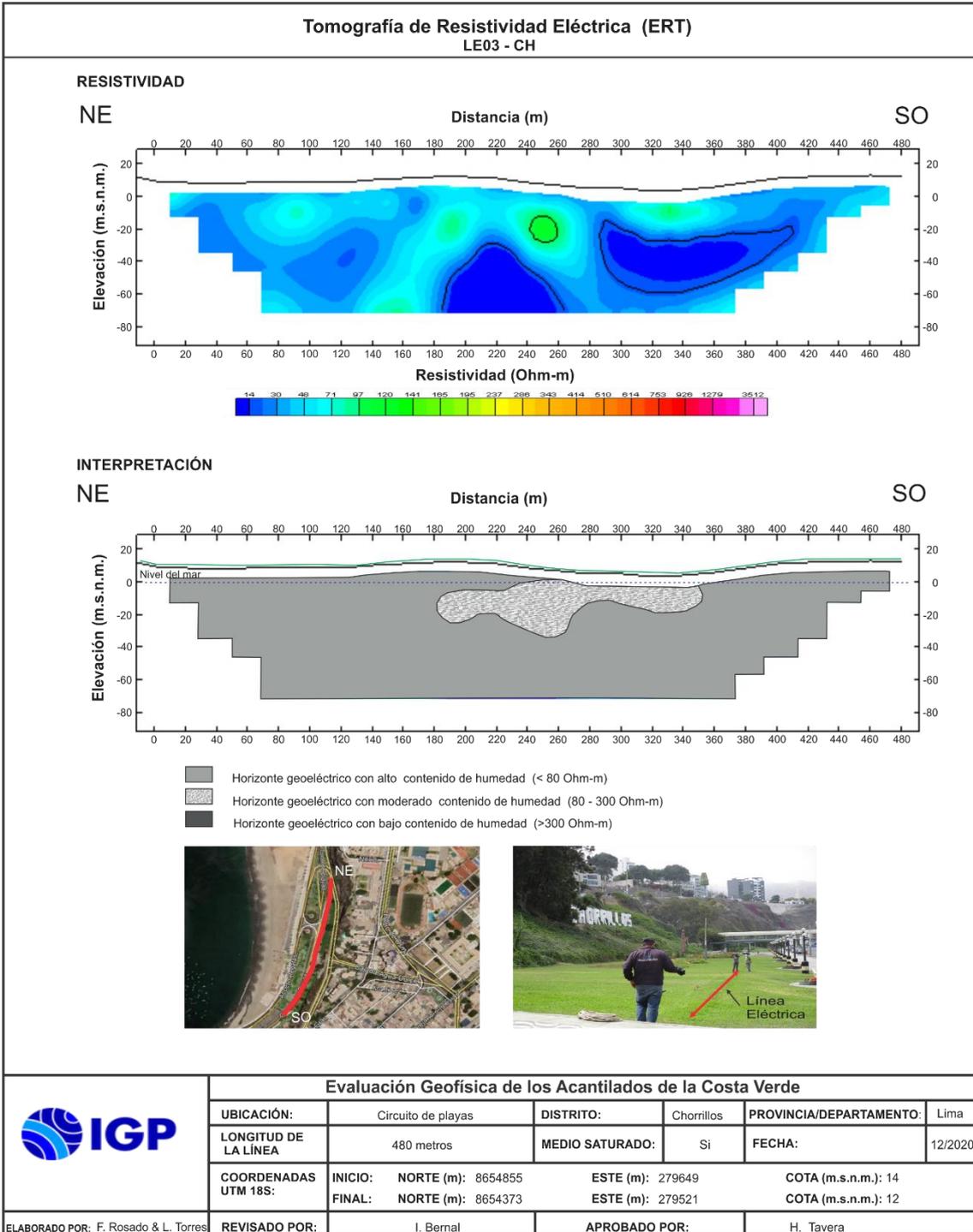
Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	198	336	4
2	266	470	9
3	442	578	14
4	578	931	20
Semi espacio	755	1122	-

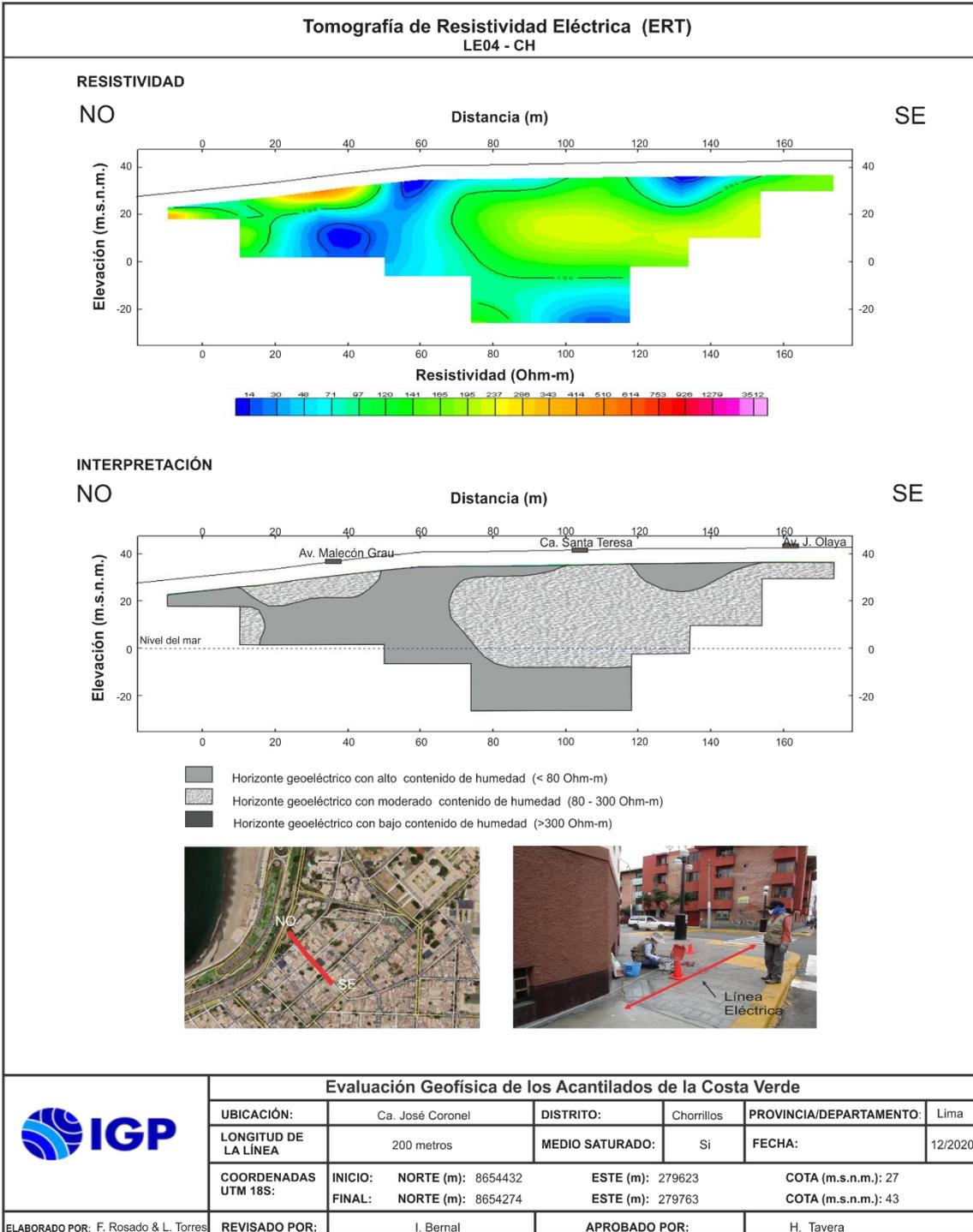
ANEXO IV

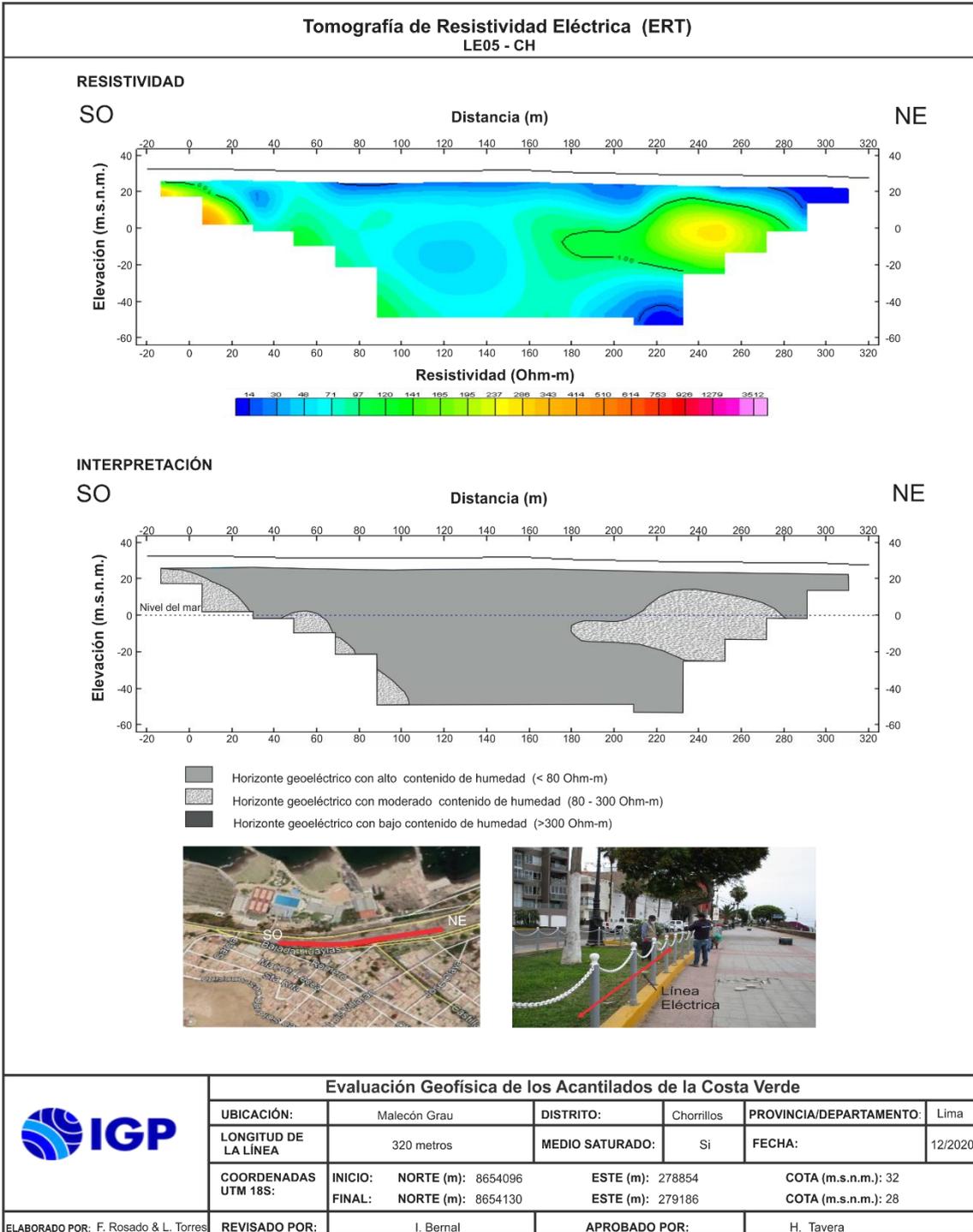
Secciones geoeléctricas

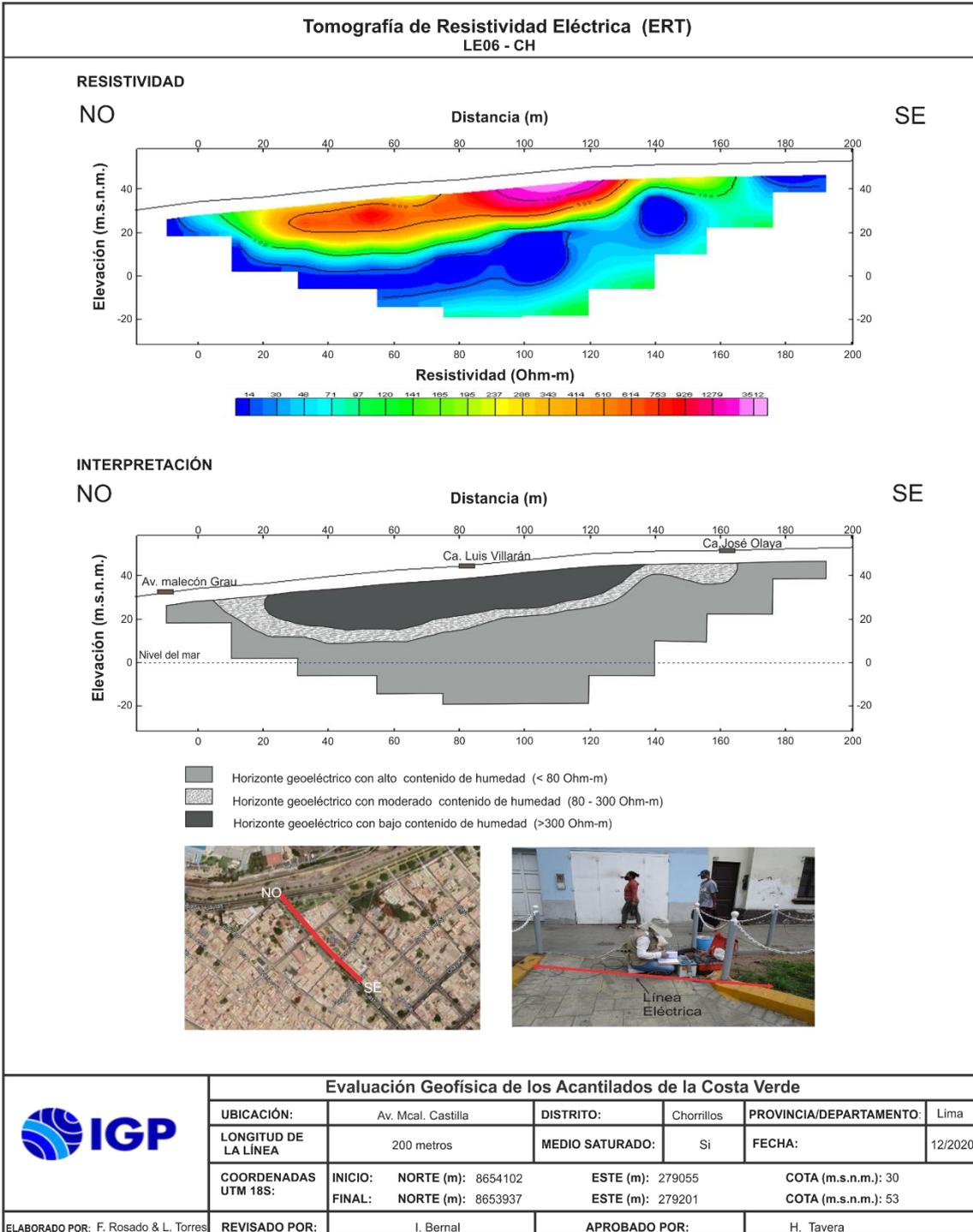


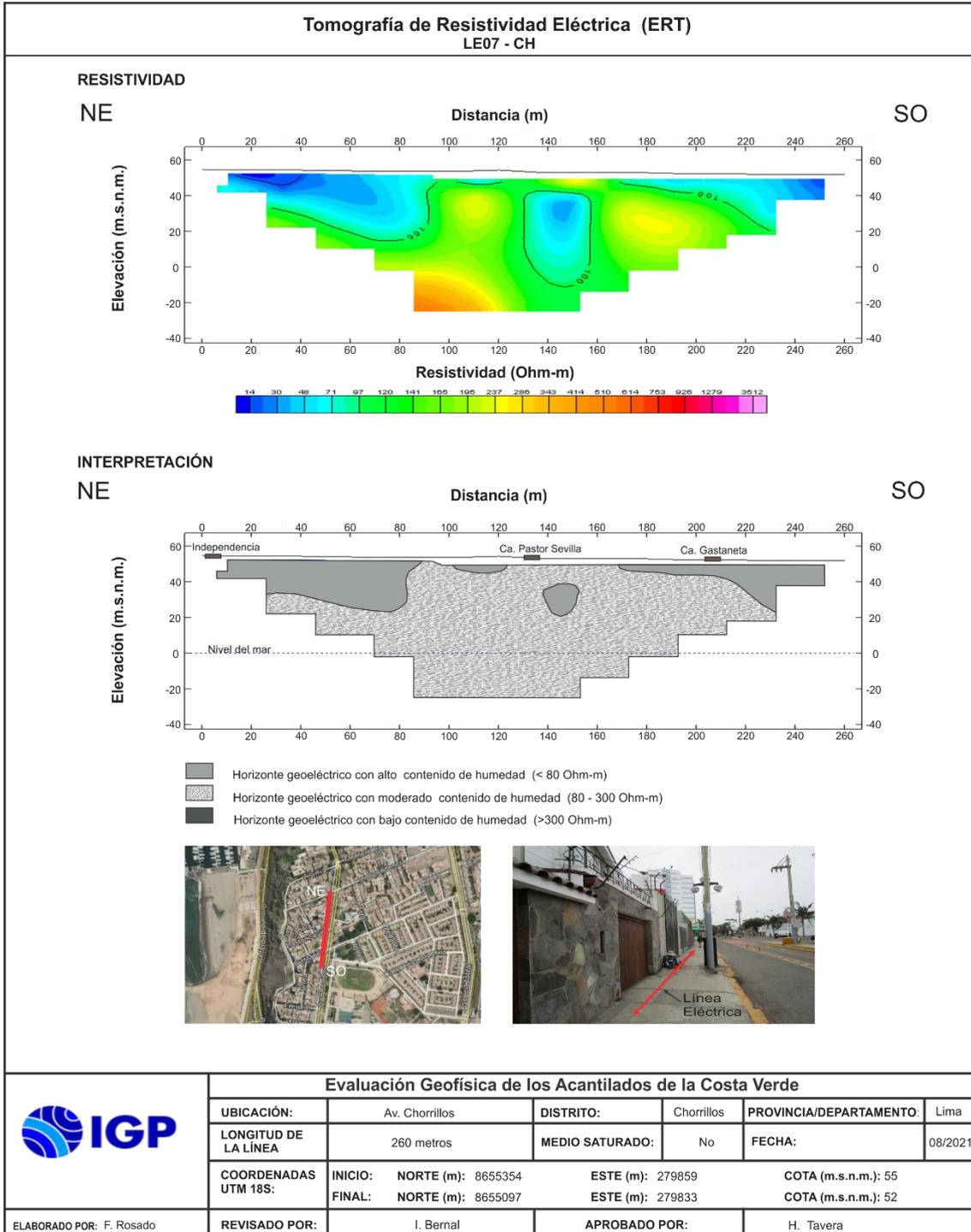


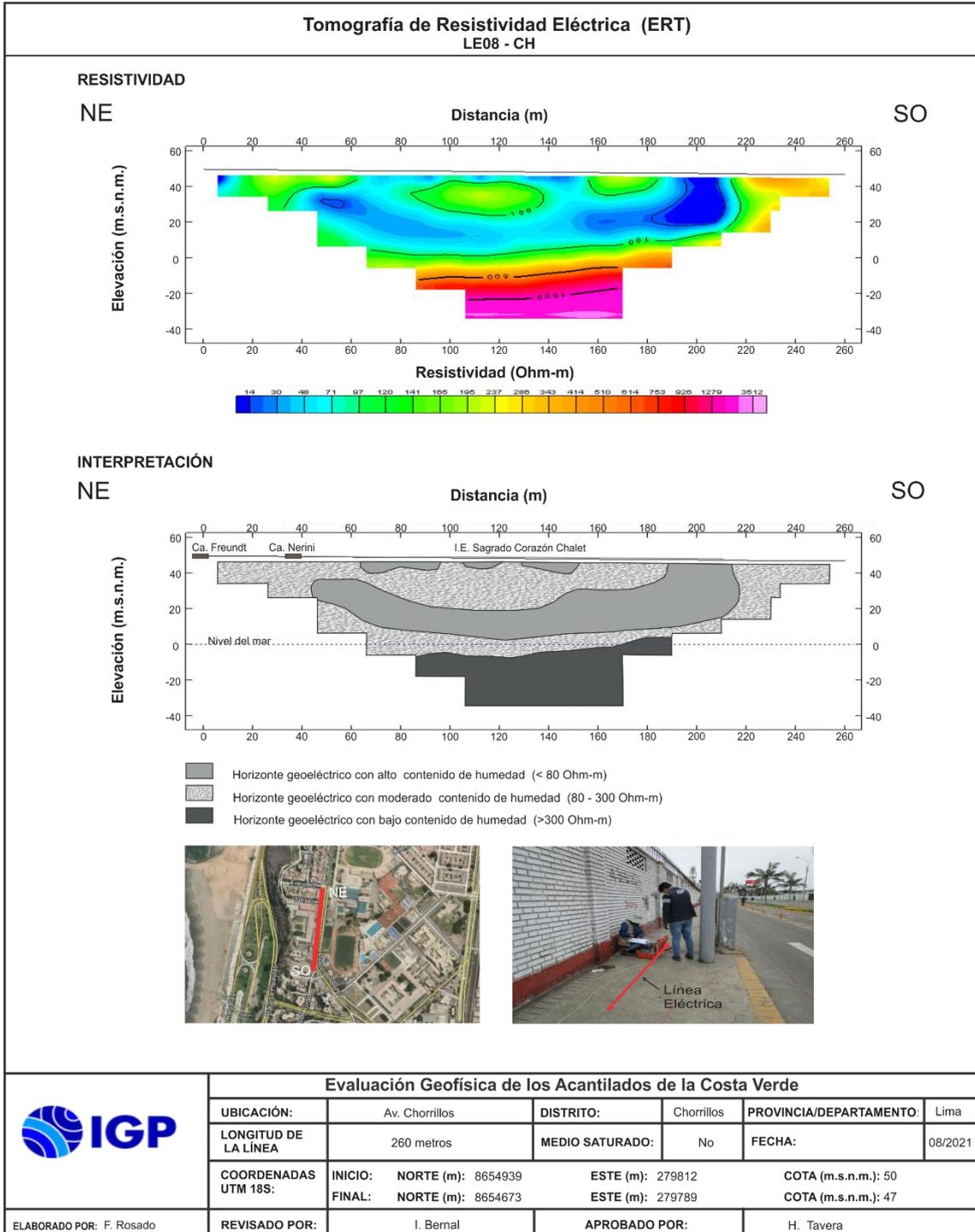


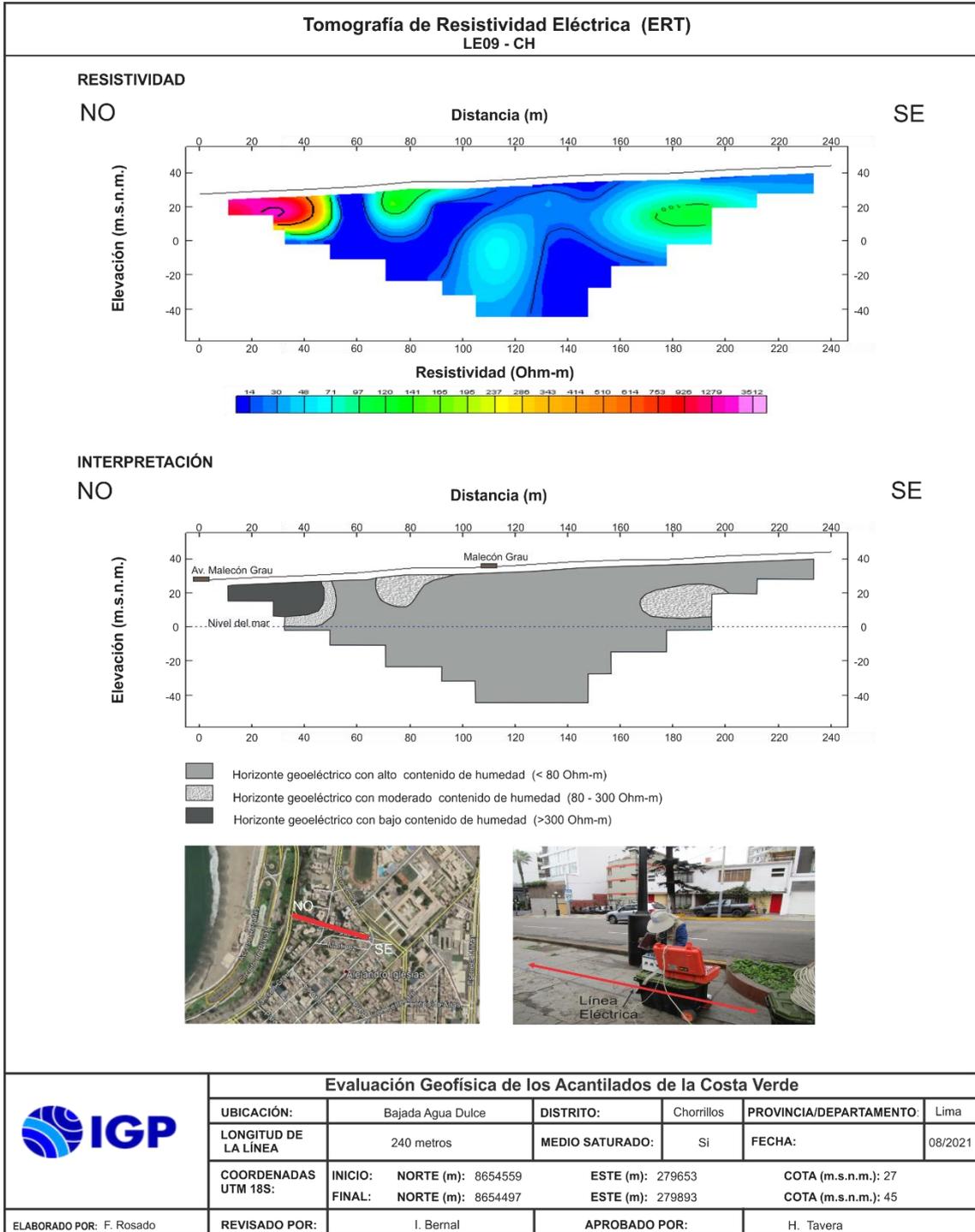


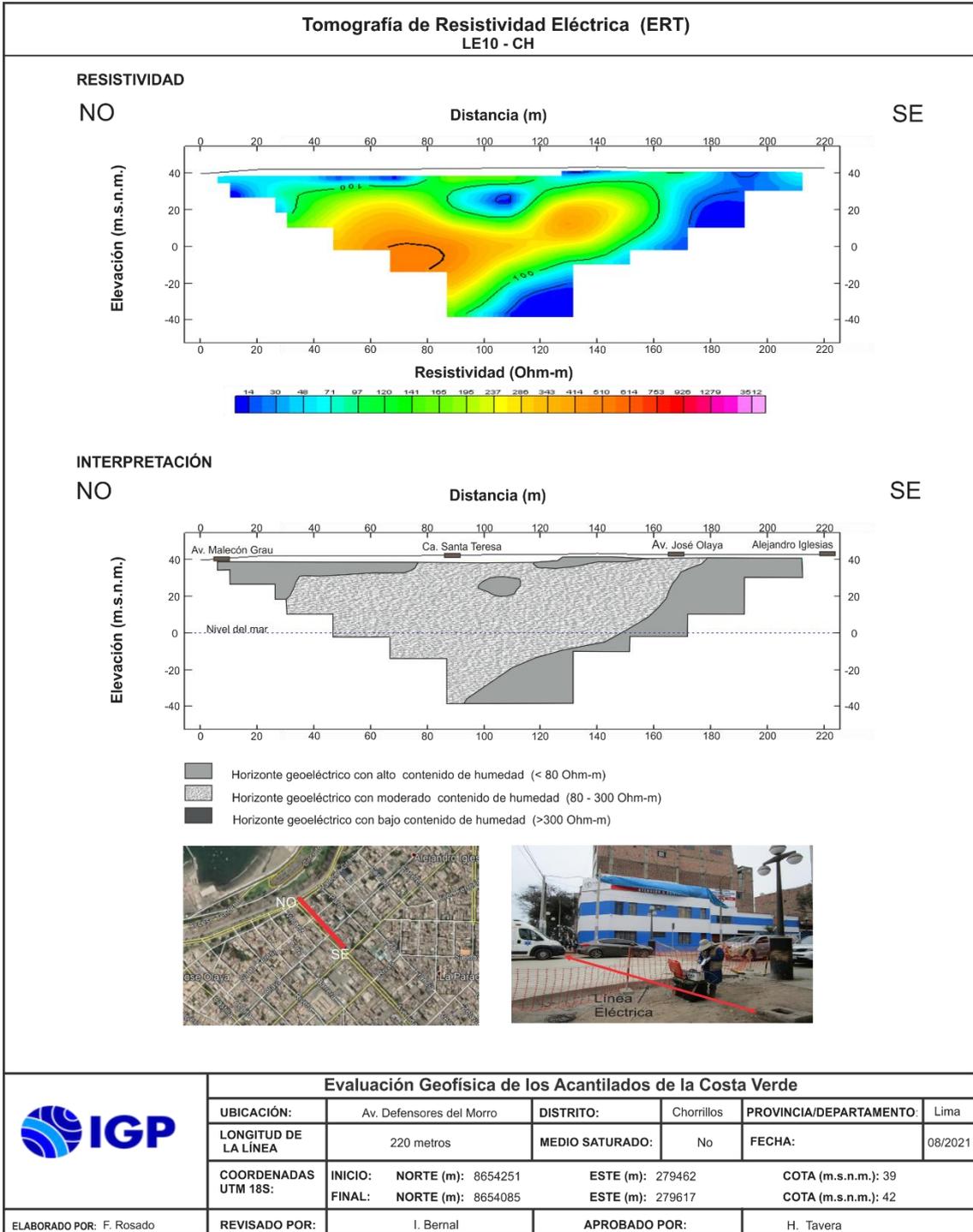


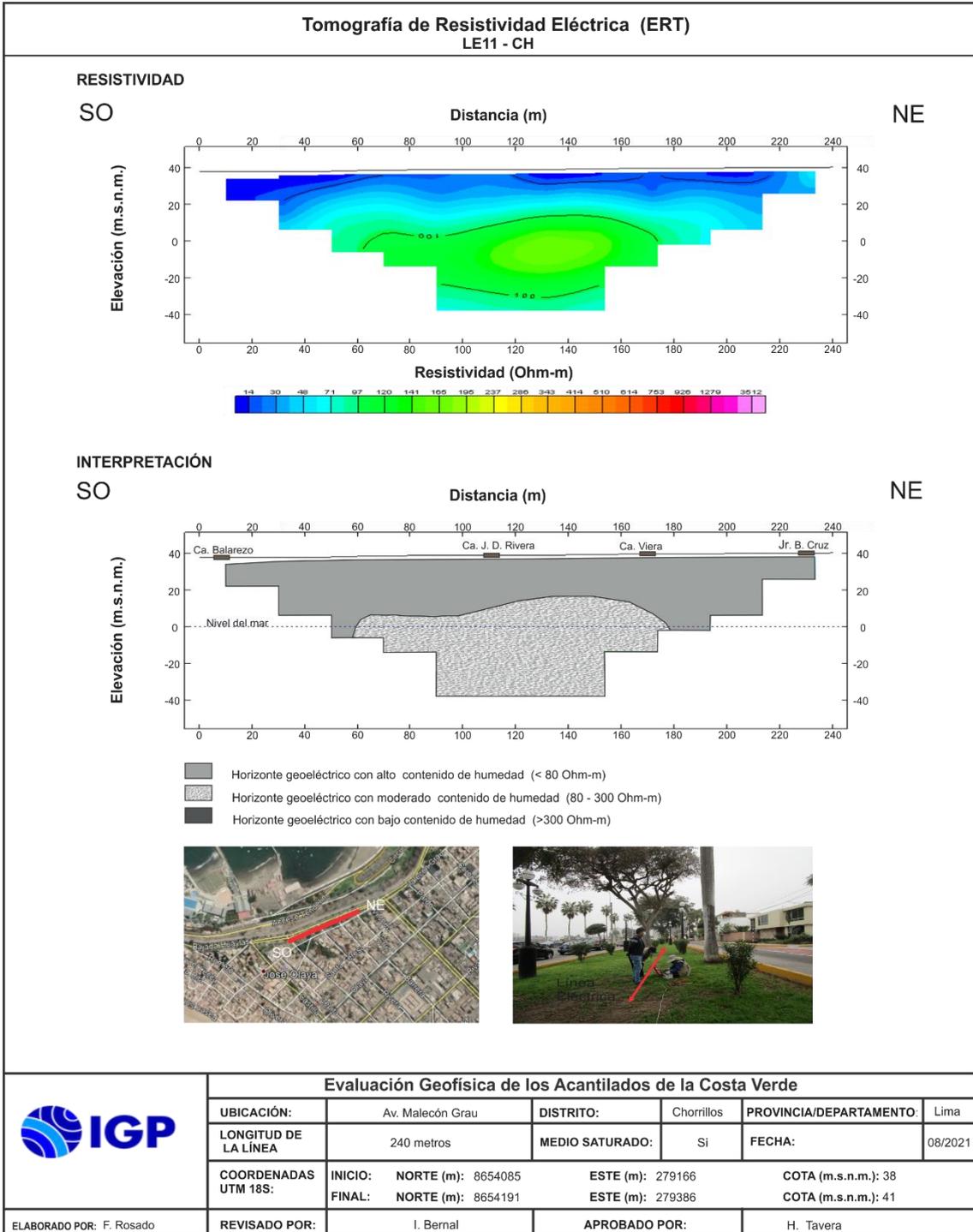


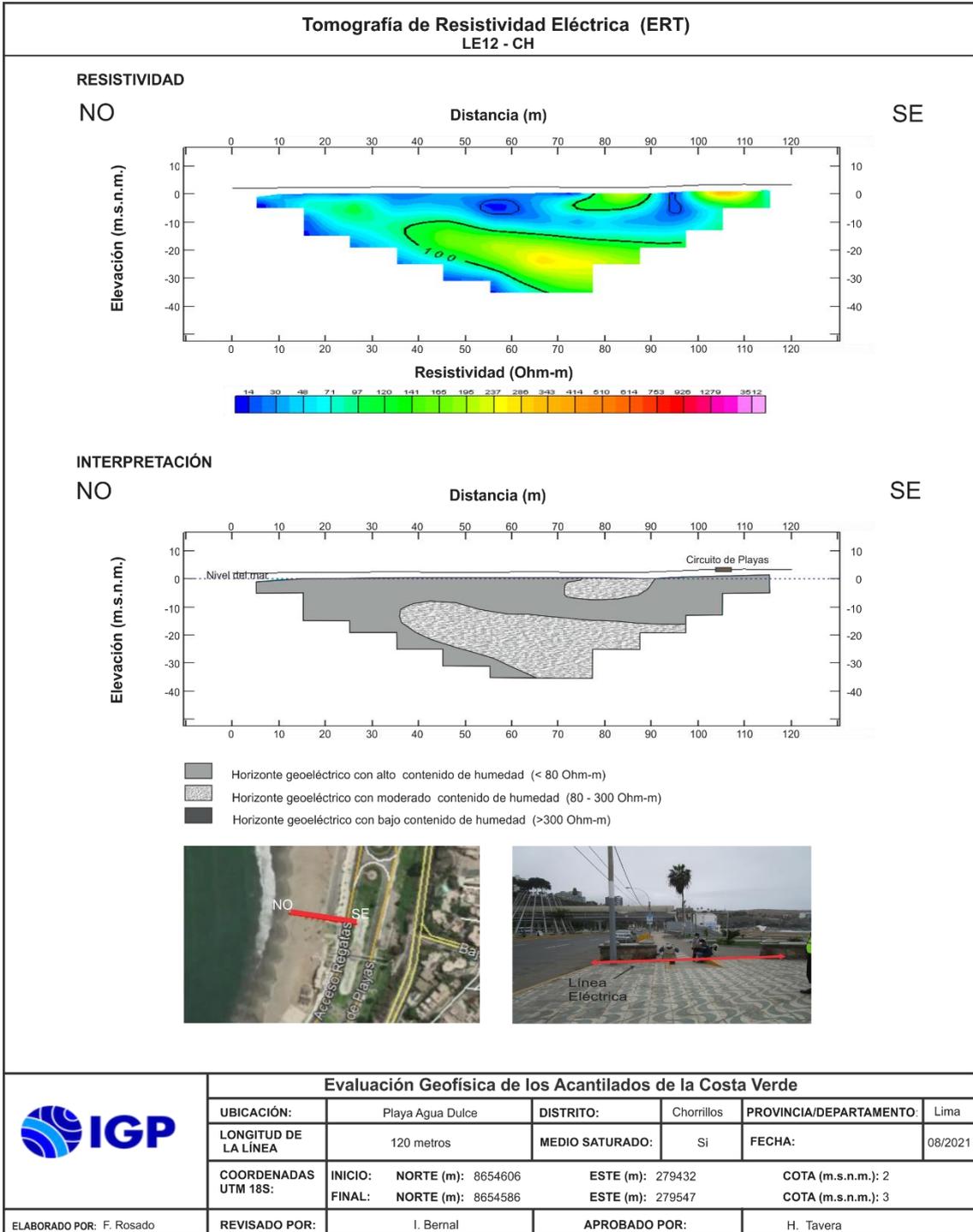












ANEXO V

Secciones de Radargramas

