



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



EVALUACIÓN GEOFÍSICA DE LOS ACANTILADOS DE LA COSTA VERDE DISTRITO DE MIRAFLORES

Informe Técnico N°035-2021/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 Miraflores-

Autores

Isabel Bernal, Hernando Tavera, Wilfredo Sullá y Kelly Pari

Participantes:

Evaluación Geofísica: Wilfredo Sullá / Isabel Bernal / Fabiola Rosado / Liliana Torres / Jorge Salas / Mijael Berduzco / Juan Carlos Villegas / 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 / Edwin Choque / Ademir Cuya.

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

Apoyo administrativo: Marisol Enríquez / Susana Huaccachi

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

**EVALUACIÓN GEOFÍSICA
DE LOS ACANTILADOS DE LA COSTA VERDE

DISTRITO DE MIRAFLORES**

Lima - Perú
Octubre, 2021

RESUMEN

En el Acantilado de la Costa Verde (ACV) del distrito de Miraflores, 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 suelos distribuidos en tres capas de variado espesor y compuestos por materiales de diferente rigidez: a) La primera capa con espesores de 2 a 7 metros está constituida por materiales aluviales poco consolidados ($V_s=188-336$ m/s, $V_p=350-578$ m/s); b) La segunda capa con espesores de 5 a 15 metros, constituida por materiales aluviales medianamente compactos ($V_s=326-674$ m/s, $V_p=578-1186$ m/s) y c) La tercera capa, de ~20 metros de espesor constituida con materiales aluviales compactos ($V_s=514-771$ m/s, $V_p= >1186$ m/s). Estos resultados son coherentes con la profundidad de las interfaces a 4-7 metros y de 5-10 metros definidas en función de la densidad de los materiales (1.6 gr/cm³, 1.9 gr/cm³, 2.3 gr/cm³) distribuidos en la zona de estudio.

En los parques Champagnat, Domodossola y Armendáriz, se ha identificado la presencia de suelos compuestos por materiales menos consolidados en capas que superan los 18 metros de espesor; mientras que, en el C.D. Manuel Bonilla, y parques María Reiche y Antonio Raimondi, la misma capa presenta espesores de hasta 7 metros.

A lo largo del acantilado, se ha identificado la presencia de suelos con moderado a alto contenido de humedad con espesores que varían de 15 a 40 metros, principalmente en el complejo deportivo Manuel Bonilla, parques María Reiche, Grau, de Los Niños y Armendáriz. En estos sectores, existen áreas verdes con riego continuo que facilitan la ocurrencia de asentamientos y grietas que alcanzan profundidades de hasta 2.5 metros. Asimismo, en el parque Domodossola se ha identificado la presencia de grietas con desplazamientos del terreno que llegan hasta profundidades de 1 metro.

El comportamiento dinámico de los suelos en los ACV del distrito de Miraflores, 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 noroeste (NO) a sureste (SE), a una distancia de 35 a 180 metros. En este sentido, a la ocurrencia de un sismo que genere elevados niveles de sacudimiento del suelo, las zonas con mayor riesgo son: Malecón de la Marina, entre el borde del acantilado y el C.D. Manuel Bonilla, C.D. Chino Vázquez, parques María Reiche, del Libro, de Los Niños, Antonio Raimondi, Champagnat, Alfredo Salazar, Domodossola y Bajada de Armendáriz.

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

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

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

cárcavas y quebradas, para luego ser destinadas a parques, jardines y áreas deportivas.



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 caídas de rocas que han causado daños y efectos en la Vía Circuito de Playas y a sus usuarios (Figura 2). Es debido a esto que en el año 2019, el INDECI convocó a las entidades técnico-científicas para elaborar el “Informe Técnico Consolidado sobre los Acantilados de la Costa Verde” y en base al mismo, se declaró el Estado de Emergencia por peligro inminente ante nuevos derrumbes en los ACV de los distritos de San Miguel, Magdalena del Mar, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos. Luego mediante el Decreto Supremo N° 161-2019-PCM, el Estado de Emergencia fue extendido hasta la actualidad.

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

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



Figura 2. Deslizamientos en el ACV. a) Ocurrido el 08 de agosto de 2019 en el distrito de Magdalena del Mar y b) ocurrido el 18 de diciembre del 2019 en el distrito de Barranco. (Fuente: Diario Gestión y GEC-Perú21)

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

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

1.1.-Objetivo del estudio

El objetivo del presente estudio es conocer la estructura del subsuelo en los ACV del distrito de Miraflores, 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, al extremo suroeste de la provincia de Lima y el Callao, comprendiendo los distritos de San Miguel, Magdalena del Mar, 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 Miraflores, los ACV tienen una longitud de ~4.5 km y alturas entre 50 a 70 metros. En la Figura 3, se presenta el mapa con la delimitación del área de estudio a escala 1:15,000 y sobre ella, con interlinea de color naranja se muestra el límite del acantilado en el año 1943 y con línea roja, el límite actual, observándose claramente que muchas áreas fueron urbanizadas. Asimismo, sobre el mapa se indica la ubicación de los puntos críticos identificados en superficie como cárcavas, áreas de relleno, depósitos antrópicos, grietas, asentamientos y desplazamientos de tierra y piedras.

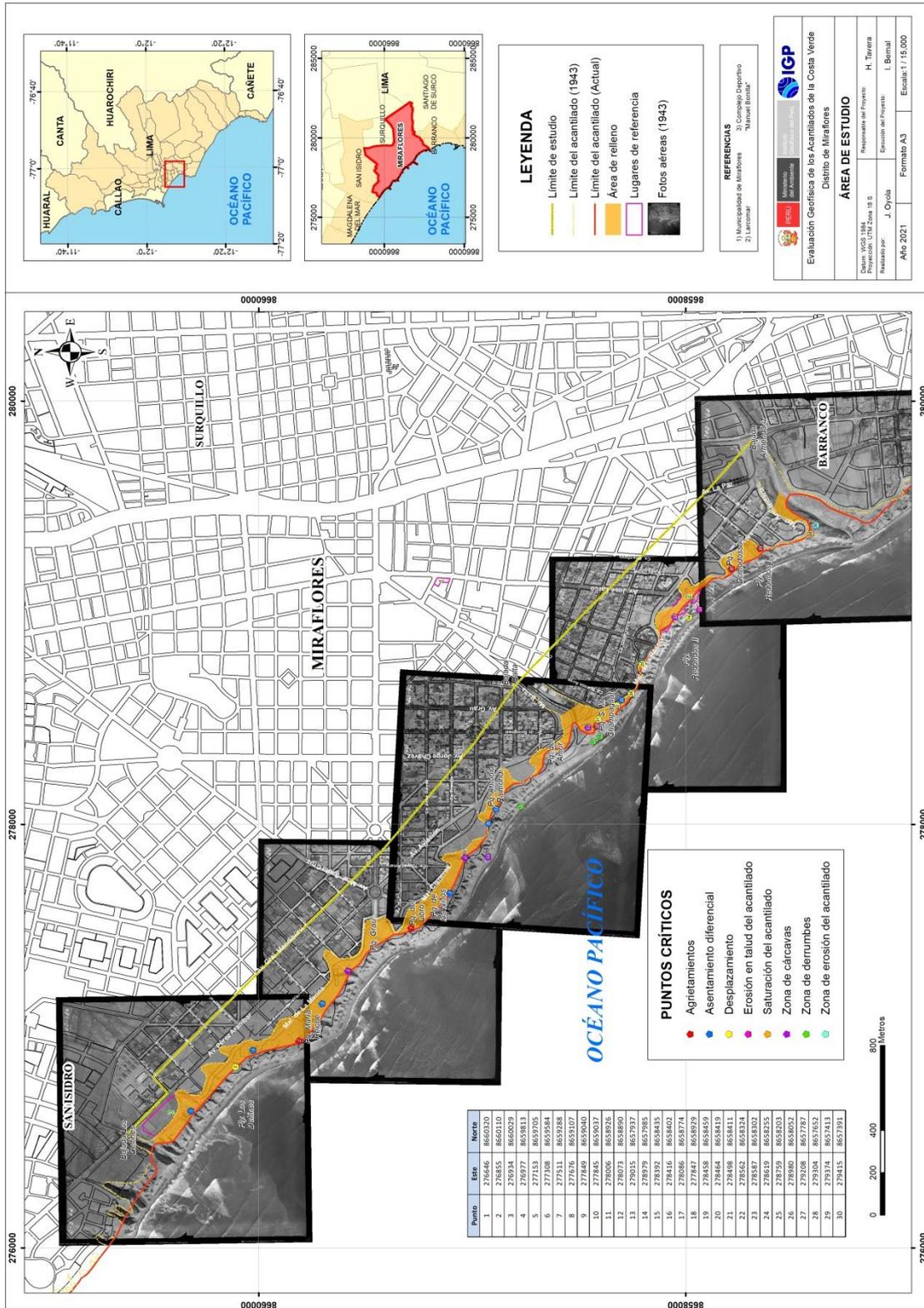


Figura 3. Mapa del área de estudio. La interlinea de color naranja indica el límite del acantilado en el año 1943 y la línea roja, el límite actual. Asimismo, se indica la ubicación de los puntos críticos identificados en el área de estudio (áreas de relleno, depósitos antrópicos, grietas, asentamientos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

2.- METODOLOGÍA, DATOS Y RESULTADOS

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

Según la información geológica, los suelos del ACV en el distrito de Miraflores, esta conformados por depósitos aluviales provenientes de la dinámica del río Rímac; conformado por clastos redondeados y soportados en matriz areno limosa arcillosa. Del mismo modo, en la parte media y baja del acantilado se evidencia la presencia de travertinos (disolución de roca caliza) que cubren a los clastos dando cierta estabilidad al acantilado y a los depósitos marinos (Figura 4a). Asimismo, en los acantilados se ha identificado la presencia de depósitos marinos que se evidencian en las playas, constituidos por cantos de forma redondeada y alargada como producto de la dinámica de las olas y áreas rellenas con material alóctono (rellenos antrópicos). El trabajo de campo realizado a pocos metros del acantilado como parte del presente estudio, ha mostrado en la morfología del acantilado, la presencia de asentamientos diferenciales del suelo, así como la presencia de grietas en el pavimento del suelo con longitudes variables, (Figura 4b).



Figura 4: a) Vista de la estratigrafía de los ACV en el distrito de Miraflores. Depósito aluvial, gravas sub redondeadas con intercalaciones de lentes de limos y travertinos en la parte inferior del talud.



Figura 4. b) Asentamientos del suelo y grietas en los ACV en el distrito de Miraflores. Foto tomada a espaldas del complejo deportivo Manuel Bonilla.

2.1.- Método de Refracción Sísmica

El método de Refracción Sísmica (RS) permite conocer parámetros físicos de los suelos como su espesor y rigidez en base al contraste de velocidades por efectos de la propagación de 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 (Figura 5). Se ha considerado tendidos lineales con espaciamiento entre geófonos de 5 metros y frecuencia de muestreo de 4000 Hz (0.25 ms). La ubicación de cada RS fue variable ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio y de su accesibilidad.



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

En el distrito de Miraflores se realizaron, 04 líneas de RS con longitudes de entre 220 - 335 metros y 31 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 de RS, el operador evaluaba 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 obtener datos geofísicos de calidad.

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-MR	277104	8659645	41	5	335
	277334	8659907	68		
RS02-MR	272470	8658729	56	5	335
	278203	8659082	70		
RS03-MR	279211	8657769	63	5	335
	279451	8658020	73		
RS04-MR	279406	8657410	55	5	335
	279293	8657714	70		
RS05-MR	277096	8659799	61	3	69
	277148	8659746	61		
RS06-MR	272901	8659495	66	4	92
	272981	8659464	66		
RS07-MR	273608	8659180	56	4	92
	273709	8669111	56		
RS08-MR	272901	8658369	61	3	69
	272981	8658321	61		
RS09-MR	276545	8660501	66	5	115
	276545	8660386	66		
RS10-MR	276593	8660378	65	5	225
	276753	8660220	67		
RS11-MR	276768	8660244	67	5	330
	277004	8660006	67		
RS12-MR	276880	8660100	67	3	69
	276948	8660117	68		
RS13-MR	276950	8660041	67	4	92
	277035	8660072	68		
RS14-MR	276989	8659889	61	5	115
	277056	8659793	62		
RS15-MR	277062	8659783	62	5	225
	277222	8659625	66		

Tabla 1: Continuación.....//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)			
RS16-MR	277408	8659717	69	3	69
	277457	8659662	69		
RS17-MR	277339	8659675	68	6	138
	277410	8659566	67		
RS18-MR	277434	8659538	68	5	225
	277507	8659327	67		
RS19-MR	277476	8659436	67	6	138
	277578	8659524	69		
RS20-MR	277566	8659245	52	5	115
	277621	8659346	67		
RS21-MR	277519	8659295	64	5	115
	277608	8659226	61		
RS22-MR	277647	8659138	57	5	115
	277729	8659225	67		
RS23-MR	277642	8659209	63	6	138
	277745	8659115	62		
RS24-MR	277795	8659213	68	4	92
	277897	8659210	68		
RS25-MR	277792	8659060	62	4	92
	277875	8659026	64		
RS26-MR	277920	8659098	68	5	115
	277982	8659004	69		
RS27-MR	278078	8658965	69	5	225
	278272	8658854	69		
RS28-MR	277987	8658978	69	5	335
	278262	8658779	69		
RS29-MR	278237	8658774	69	6	270
	278414	8658571	67		
RS30-MR	278517	8658570	66	5	115
	278541	8658681	68		
RS31-MR	278456	8658459	66	6	258
	278614	8658256	67		
RS32-MR	278698	8658222	72	4	92
	278782	8658182	72		
RS33-MR	278955	8658166	72	3	69
	279023	8658144	73		
RS34-MR	279119	8658074	75	4	92
	279181	8658017	73		
RS35-MR	279173	8657811	67	5	225
	279369	8657700	71		

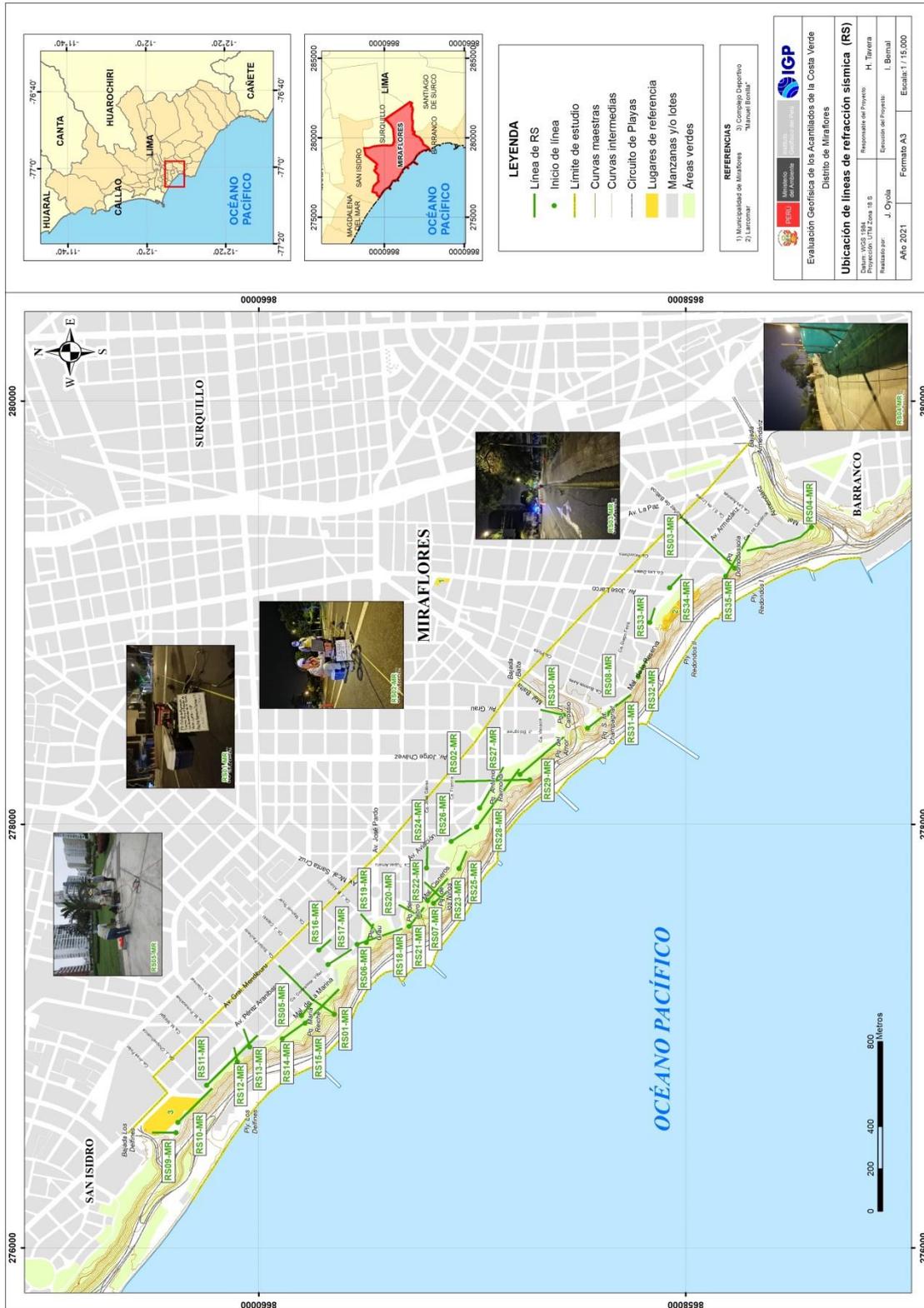


Figura 6. Distribución espacial de las líneas de RS, codificadas como RS01-MR,..., RS35-MR.

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

En la Figura 7, se muestra como ejemplo el punto de disparo para la línea sísmica RS01-MR que se inicia en el parque María Reiche y continúa en dirección de la calle Toribio Pacheco. Así como el sismograma contiene las señales sísmicas obtenidas para esta línea.



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

2.1.2.- Procesamiento y análisis

El procesamiento de los datos RS fue realizado con el programa SeisImager y se inició con el picado de los primeros arribos de la onda P en el registro, formando de esta manera curvas tiempo vs distancia (dromocronas), que después de un proceso de inversión permitieron obtener

la sección RS respectiva. En la Figura 8, se muestra un ejemplo de las curvas tiempo vs distancia para la línea sísmica RS01-MR.

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

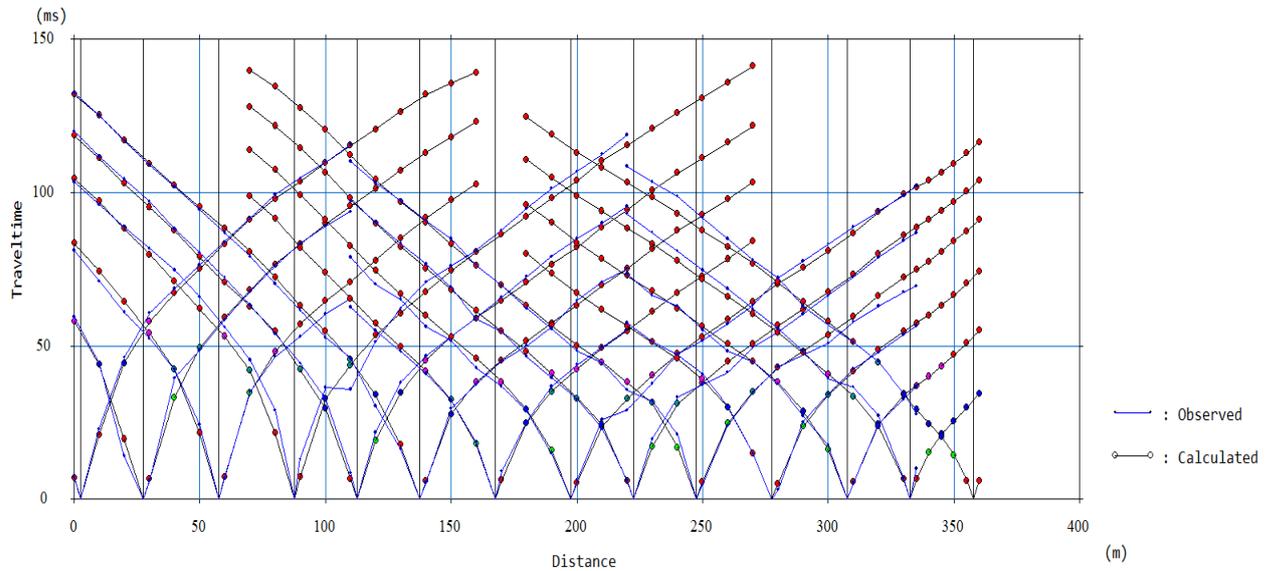


Figura 8. Curvas de tiempo - distancia obtenidas para la línea sísmica RS01-MR.

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 08 líneas de RS, y de ellas 4 presentan resolución hasta una profundidad de 50 metros (RS01-MR,..., RS04-MR) y el resto entre 30 y 40 metros (RS05-MR,..., RS35-MR). En la Figura 9, se presenta la sección de RS obtenida para la línea RS01-MR y en el Anexo I, para las líneas restantes. Después del xxxxx, siendo los resultados obtenidos de su análisis las siguientes:

Sección sísmica RS01-MR: Línea realizada en la calle Toribio Pacheco y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1 – 2	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	4 – 14	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS02-MR: Línea realizada en la calle Roma, desde el parque Antonio Raimondi y los resultados obtenidos han permitido identificar la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1 – 4	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	5 – 10	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

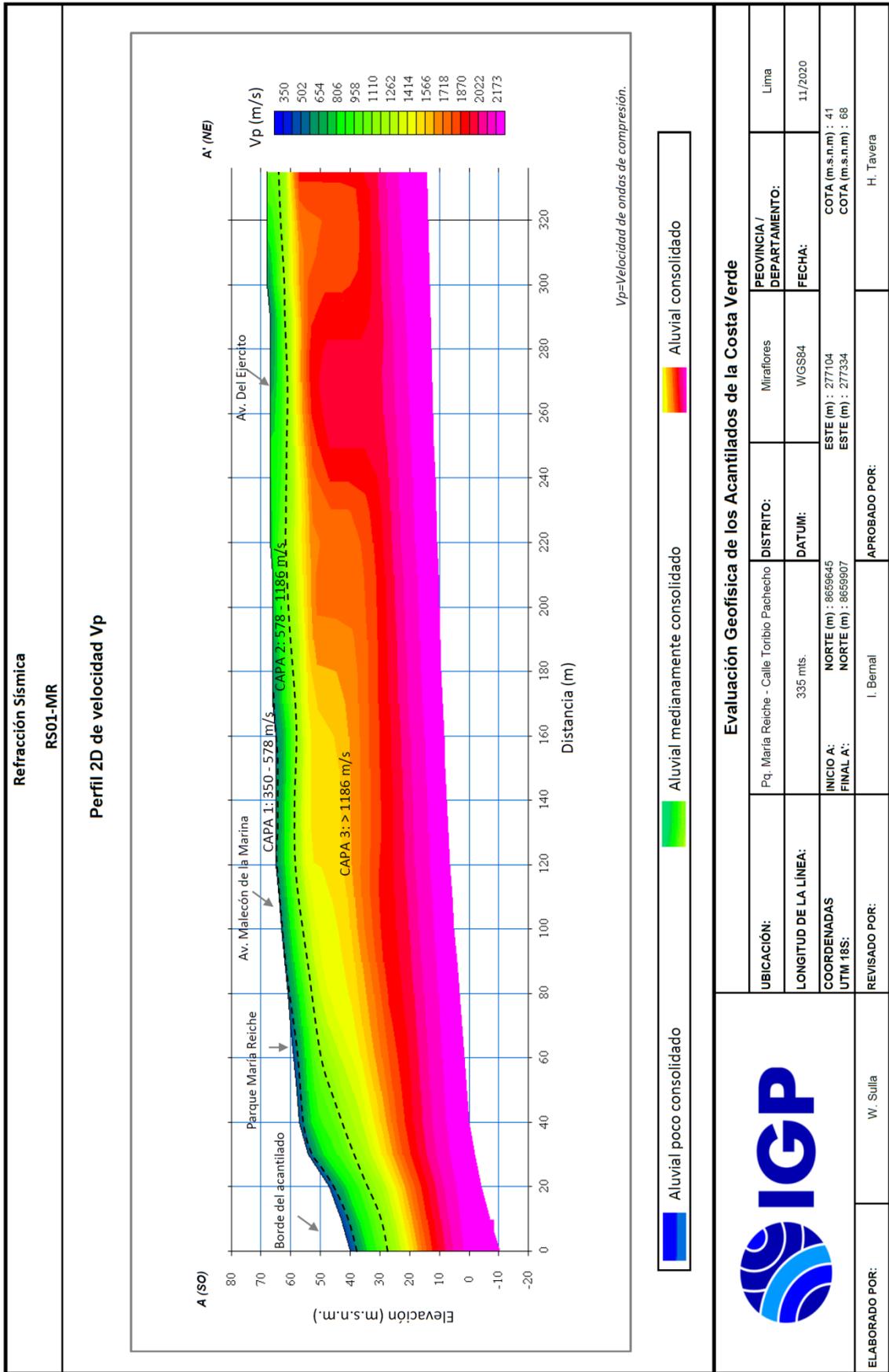


Figura 9. Resultados obtenidos con el método de refracción sísmica para la línea RS01-MR

Sección sísmica RS03-MR: Línea realizada en la Av. Vasco Núñez, desde el parque Domodossola y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 – 8	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	8 – 15	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS04-MR: Línea realizada en el Malecón de la Reserva en dirección al parque Domodossola y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	3 – 6	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	10 – 15	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

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

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	2 – 4	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS06-MR: Línea realizada en el parque Grau y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1 – 6	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	4 – 9	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS07-MR: Línea realizada en el parque de Los Niños y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 – 5	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	6 – 9	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS08-MR: Línea realizada en el parque San Marcelino Champagnat y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	4 – 5	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	6 – 12	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS09-MR: Línea realizada en el complejo deportivo Manuel Bonilla, desde el borde del acantilado y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1 – 3	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	8 – 11	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS10-MR: Línea realizada en el complejo deportivo Manuel Bonilla en dirección SE (Malecón de La Marina) y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	4 – 10	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	7 – 26	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS11-MR: Línea realizada en el Malecón de La Marina y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1 – 2	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	5 – 10	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS12-MR: Línea realizada en el parque Malecón de La Marina con orientación paralela al acantilado (altura de Ca. F. Villarreal) y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 – 5	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	10 – 14	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS13-MR: Línea realizada en el parque Malecón de La Marina, desde el borde del acantilado en dirección de la calle Federico Villareal y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 – 6	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	4 – 13	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS14-MR: Línea realizada en el parque María Reiche y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	3 – 4	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS15-MR: Línea realizada en el parque María Reiche y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1 – 2	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	4 – 12	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS16-MR: Línea realizada en la Av. Pérez Aranibar y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1 – 2	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	3 – 7	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS17-MR: Línea realizada en el Malecón de La Marina y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	2 – 7	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS18-MR: Línea realizada en el parque Grau y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1 – 2	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	5 – 11	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS19-MR: Línea realizada en el parque Grau en dirección de la calle J. B. Alcedo y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1 – 4	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	5 – 10	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS20-MR: Línea realizada en el parque del Libro en dirección de la Calle 7 de Junio y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 – 3	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	4 – 8	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS21-MR: Línea realizada en el parque del Libro y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1 – 2	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	4 – 10	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS22-MR: Línea realizada en el parque de los Niños en dirección a la calle Juan G. Moore y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1 – 3	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	3 – 9	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS23-MR: Línea realizada en el parque de los Niños y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	3 – 6	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS24-MR: Línea realizada en la calle José Gálvez y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1 – 2	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	6 – 8	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS25-MR: Línea ubicada en el Malecón Cisneros, a la altura de la calle Tupacama y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 – 5	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	7 – 17	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS26-MR: Línea realizada en el Malecón Cisneros y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1 – 2	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	5 – 9	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS27-MR: Línea ubicada en el parque Antonio Raimondi, paralelo al Malecón Cisneros y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1 – 3	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	5 – 9	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS28-MR: Línea ubicada en el parque Antonio Raimondi y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 – 6	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	5 – 10	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS29-MR: Línea realizada en el parque del Amor y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 – 4	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	7 – 10	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS30-MR: Línea realizada en el parque Juan Carossio, en dirección a la Av. Grau y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1 – 2	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	9 – 11	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS31-MR: Línea realizada en el parque San Marcelino Champagnat y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 – 6	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	7 – 12	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS32-MR: Línea realizada en el parque Letonia y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	5 – 7	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	6 – 10	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS33-MR: Línea realizada en el Malecón de la Reserva frente al parque Alfredo Salazar y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	4 – 5	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	5 – 9	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS34-MR: Realizada en el Malecón de la Reserva entre la Av. José Larco y la calle Las Dalias y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	2 – 4	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	5 – 14	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS35-MR: Realizada en el parque Domodossola y los resultados obtenidos han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	3 – 8	350 – 578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	8 – 18	578–1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	> 1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

b) Interpretación

Las tres primeras secciones de RS se inician en el borde del acantilado (RS01-MR, RS02-MR, RS03-MR) y se extienden en dirección noreste (área urbana); mientras que las otras cinco se realizaron paralelas al acantilado.

En las secciones, los suelos menos consistentes y de mayor espesor (suelos no consolidados a medianamente consolidados) están presentes en las proximidades del acantilado. Estos suelos presentan espesores mayores a 15 metros en los parques María Reiche y Grau, y conforme se tiende hacia su extremo norte disminuye a 5 metros. En los parques de Los Niños y Antonio Raimondi, estos mismos suelos presentan espesores del orden de 12 metros y por los parques San Marcelino Champagnat, Domodossola y el Malecón de la reserva, espesores del orden de 17 a 20 metros (Figura 10).

En general, se observa que conforme se incrementa la profundidad, los suelos son más compactos. En las secciones paralelas al acantilado (análisis horizontal), se evidencia que los suelos presentes en el extremo noroeste del ACV son más consolidados en comparación a los del extremo sureste.

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.

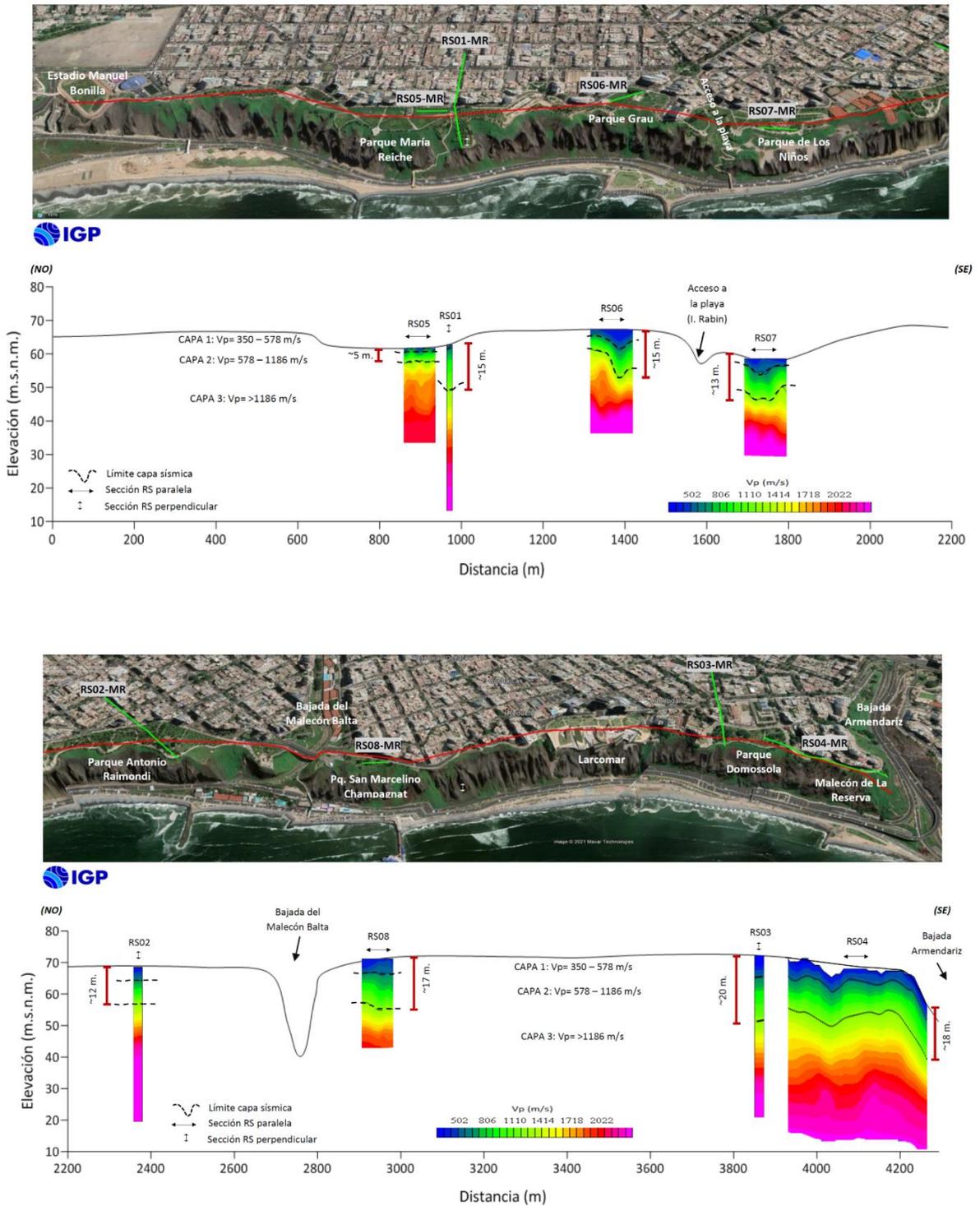


Figura 10. Correlación de los resultados obtenidos en cada sección de refracción sísmica e identificación de la estructura del subsuelo en los ACV del distrito de Miraflores.

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

2.2.1.- Adquisición de datos

Para el registro de señales sísmicas con la técnica MASW y MAM se ha utilizado un equipo sísmico GEODE (Geometrics) de 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Para la técnica MASW se usó como fuente de impacto y/o energía 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.

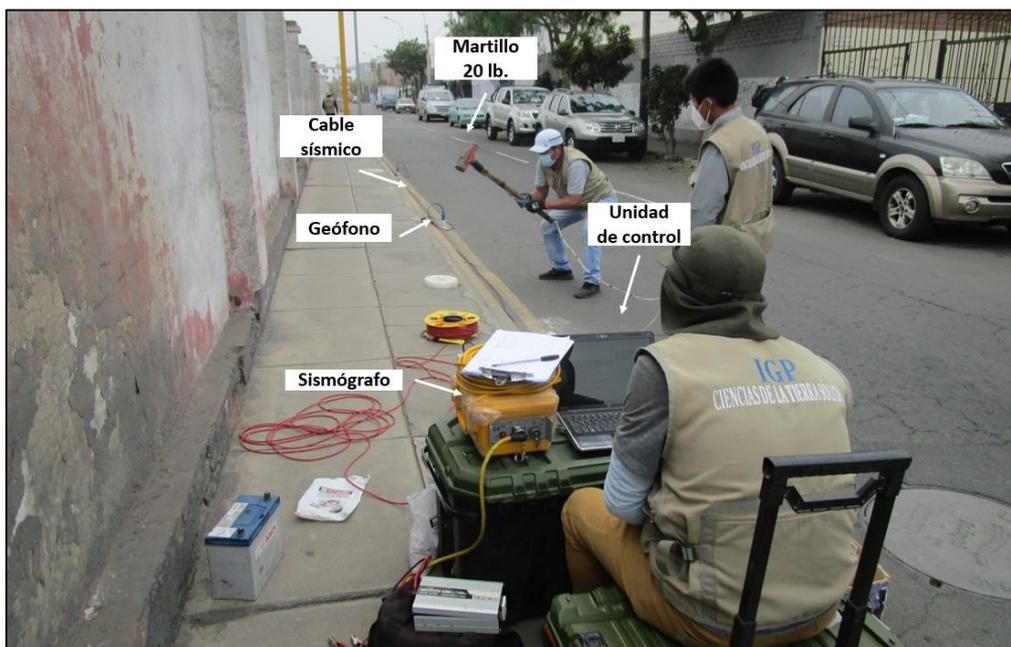


Figura 11. Equipos utilizados en la toma de datos por el método de MASW.

En el distrito de Miraflores se realizaron 28 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-MR	276829	8660504	68	6	138
LS02-MR	276582	8660271	20	3	69
LS03-MR	276557	8660167	6	4	92
LS04-MR	277398	8659971	70	4	92
LS05-MR	277121	8659770	61	3	69
LS06-MR	276869	8659766	11	3	69
LS07-MR	277487	8659482	66	4	92
LS08-MR	277660	8659144	56	4	92
LS09-MR	278431	8658982	72	2.5	57.5
LS10-MR	278545	8658344	62	3	69
LS11-MR	279489	8658010	74	3	69
LS12-MR	279358	8657681	72	4	92
LS13-MR	279094	8657764	14	3	69
LS14-MR	279360	8657471	67	2.5	57.5
LS15-MR	276541	8660444	66	5	115
LS16-MR	276635	8660338	66	5	115
LS17-MR	276810	8660205	67	5	115
LS18-MR	277028	8659769	61	4	92
LS19-MR	277306	8659590	67	4	92
LS20-MR	277568	8659247	52	3	69
LS21-MR	277835	8659047	62	4	92
LS22-MR	278037	8658949	69	5	115
LS23-MR	278287	8658723	69	6	138
LS24-MR	278497	8658409	69	6	138
LS25-MR	278990	8658158	73	3	69
LS26-MR	279494	8657615	70	3	69
LS27-MR	276713	8660330	74	4	92
LS28-MR	278256	8658817	82	4	92

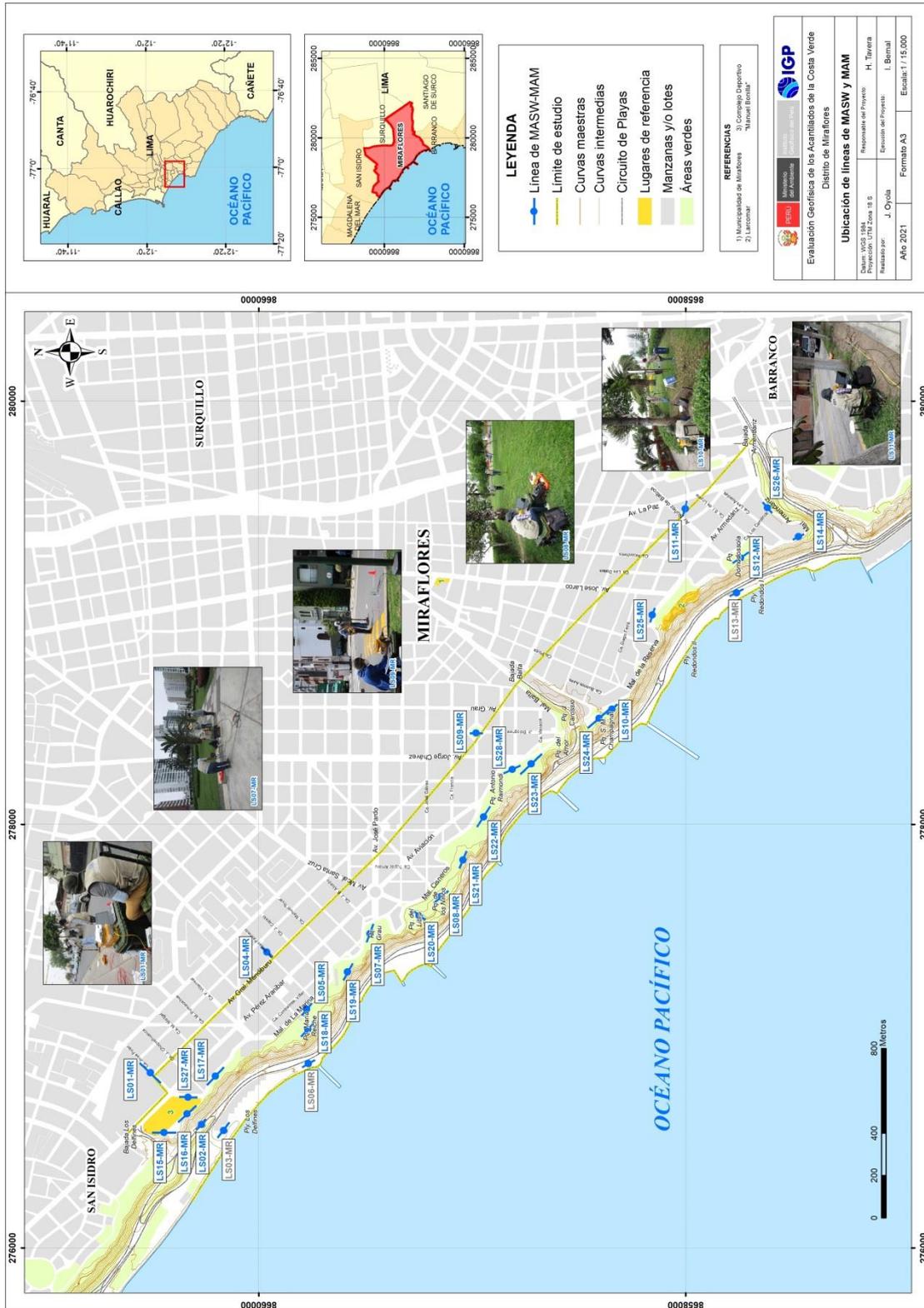


Figura 12. Distribución espacial de las líneas MASW-MAM, codificadas como LS01-MR,..., LS28-MR. Los códigos en gris, corresponden a líneas realizadas en la zona baja del acantilado.

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

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

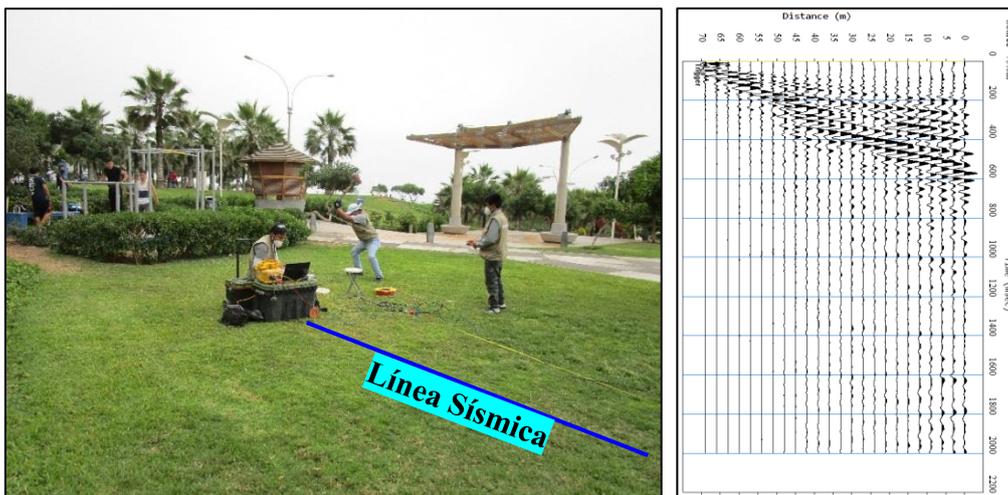


Figura 13. Disposición del equipo de adquisición de datos - MASW (parque María Reiche) y registro sísmico obtenido.

2.2.2.- Procesamiento y análisis

Los datos sísmicos recolectados fueron procesados con el programa Seislmager y se aplicó la Transformada Rápida de Fourier (FFT) para obtener la curva de dispersión que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia (Reynolds, 2011). Seguidamente, cada curva de dispersión perteneciente a un mismo arreglo (MASW y MAM), fue

sometida a un proceso de inversión a fin de obtener los perfiles de velocidad Vs en una dimensión (1D) para el punto central de la línea, ver Figura 14.

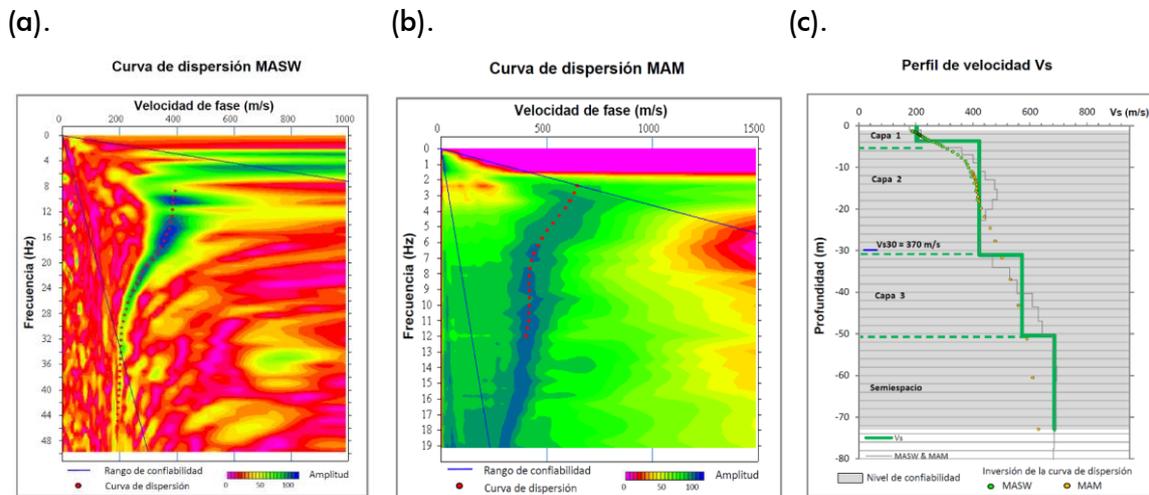


Figura 14. Curvas de dispersión obtenidas a partir de las técnicas MASW (a) y MAM (b) y el perfil de velocidad obtenido a partir de la combinación de ambos ensayos (c).

Para el análisis de los resultados obtenidos, se considera la clasificación de suelos propuesta por la Norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018). En este caso, el rango de velocidad de los perfiles 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, tal como se muestra en la Tabla 4.

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

Clasificación de los perfiles de Suelo					
Nº	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 28 líneas sísmicas MASW y MAM con resolución hasta una profundidad de ~80 metros. Los resultados obtenidos para la línea LS01-MR se muestran en la Figura 15 y en el Anexo II, para las líneas restantes. El análisis realizado para cada línea sísmica es mostrado a continuación:

Línea sísmica LS01-MR: Realizada en la calle Jorge Polar, altura de la calle Gral. Mendiburu con una profundidad de resolución del orden de 65 metros. En este perfil se identifica la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidades V_s de 392 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto. La segunda capa de 12 metros de espesor y velocidades V_s de 712 m/s compuesta por material aluvial compacto; la tercera capa tendría un espesor de 25 metros y velocidades V_s de 938 m/s y el semiespacio con velocidades $V_s > 1117$ m/s; ambas compuestas por material aluvial muy compacto.

Líneas sísmicas LS02-MR: Realizada en la Vía Circuito de Playas, a la altura del complejo deportivo Manuel Bonilla, siendo la profundidad de resolución del orden de 25 metros. En este perfil se identifica la presencia de dos (2) capas sísmicas: La primera, de 7 metros de espesor y velocidades V_s de 321 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto y la segunda capa, de 13 metros de espesor y velocidades V_s de 663 m/s compuesta por material aluvial compacto. El semiespacio presentaría velocidades $V_s > 1158$ m/s compuesto por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS03-MR: Realizada en la Vía Circuito de Playas, a la altura del parque Los Pinos, siendo la profundidad de resolución del orden de 26 metros. En este perfil se identifica la existencia de dos (2) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 241 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto y la segunda capa, con un espesor de 8 metros y velocidades V_s 497 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto. El semiespacio tiene velocidades $V_s > 1037$ m/s y corresponderían a material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS04-MR: Realizada en la calle Toribio Pacheco, altura de la calle Gral. Mendiburu con una profundidad de resolución de 44 metros. En este perfil se identifica la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 496 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto; la segunda capa, con un espesor de 10 metros y velocidades V_s de 776 m/s y la tercera capa con un espesor de 7 metros y velocidades V_s de 675 m/s, ambas compuestas por material aluvial compacto. En el semiespacio, se tiene velocidades $V_s > 917$ m/s y correspondería a material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS05-MR: Realizada en el parque María Reiche con una profundidad de resolución de 78 metros. En este perfil se identifica la presencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 470 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto. La segunda capa de 6 metros de espesor y velocidades V_s de 762 m/s y la tercera capa de 7 metros de espesor y V_s de 514 m/s, ambas compuestas por material aluvial compacto. La cuarta capa tendría un espesor de 29 metros y velocidades V_s de 927 m/s y el semiespacio presentaría velocidades $V_s > 1030$ m/s, ambos capas estarían compuestas por material aluvial muy compacto.

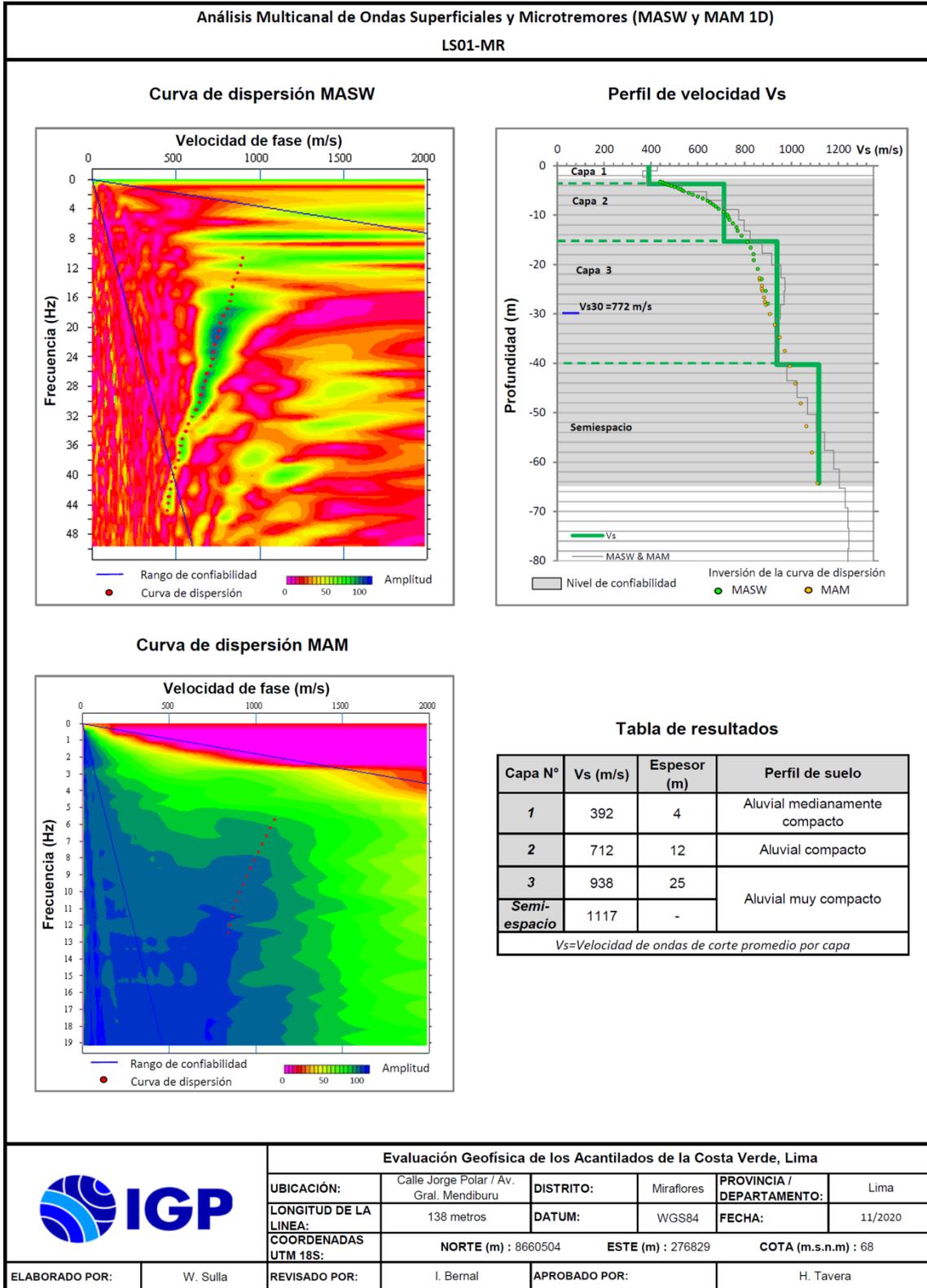


Figura 15. Resultados obtenidos con la técnica MASW y MAM para la línea sísmica LS01-MR.

Línea sísmica LS06-MR: Realizada en el Circuito de Playas, altura de la Playita Costa Verde con una profundidad de resolución de 36 metros. Este perfil permite identificar la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera, de 7 metros de espesor y velocidades V_s de 264 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; la segunda capa de 11 metros de espesor y velocidades V_s de 661 m/s compuesta por material aluvial compacto y la tercera capa de 10 metros de espesor y V_s de 1078 m/s. El semiespacio presenta velocidades $V_s > 1440$ m/s, que corresponde a material aluvial muy compacto.

Líneas sísmicas LS07-MR: Realizada en el Parque Grau con una profundidad de resolución de 74 metros. En este perfil se identifica la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera, de 5 metros de espesor y velocidades de V_s 188 m/s y la segunda capa de 8 metros de espesor y velocidades V_s de 326 m/s, ambas capas compuestas por material aluvial suelto a medianamente compacto. La tercera capa con velocidades de 674 m/s y 18 metros de espesor compuesto por material aluvial compacto. El semiespacio con velocidades $V_s > 1049$ m/s, sugiere material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS08-MR: Realizada en el parque de Los Niños con una profundidad de resolución de 72 metros. En este perfil se identifica la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 249 m/s compuesta por material suelto a medianamente compacto y la segunda capa, con velocidades V_s de 482 m/s y espesor de 8 metros corresponde a material aluvial medianamente compacto. La tercera capa con velocidades V_s de 742 m/s y espesor de 21 metros que junto al semiespacio, con velocidades $V_s > 1447$ m/s estarían compuestas por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS09-MR: Realizada en el Ovalo Bolognesi con una profundidad de resolución de 62 metros. Este perfil permite identificar la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 356 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto; la segunda de 8 metros de espesor y velocidades V_s de 557 m/s y la tercera capa de 18 metros de espesor y velocidades V_s de 771 m/s, ambas compuestas por material aluvial compacto. El semiespacio con velocidades $V_s > 939$ m/s, sugiere la presencia de material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS10-MR: Realizada en el parque San Marcelino Champagnat con una profundidad de resolución de 64 metros. En este perfil se identifica la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 7 metros de espesor y velocidades V_s de 296 m/s, compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; la segunda con velocidades V_s de 479 m/s y espesor de 11 metros compuesta por material aluvial medianamente compacto, La tercera capa con velocidades V_s de 655 m/s y 16 metros de espesor y junto al semiespacio con velocidades $V_s > 769$ m/s, están compuestas por material aluvial compacto.

Línea sísmica LS11-MR: Realizada en la calle Arístides Aljovín, altura de la Av. Vasco Núñez, con una profundidad de resolución de 64 metros. En este perfil se identifica la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 302 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; la segunda de 15 metros de espesor y velocidades V_s de 591 m/s que junto a la tercera capa de 14 metros de espesor y velocidades V_s de 737 m/s estarían compuestas por material aluvial compacto. El semiespacio con velocidades $V_s > 855$ m/s sugiere la presencia de material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS12-MR: Realizada en el parque Domodossola con una profundidad de resolución de 72 metros. En este perfil se identifica la presencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 210 m/s compuesta por material suelto a medianamente compacto y la segunda, con velocidades V_s de 383 m/s y espesor de 10 metros compuesta por material aluvial medianamente compacto. La tercera capa con velocidades V_s de 639 m/s y espesor de 25 metros corresponde a material aluvial compacto y la cuarta capa de 17 metros de espesor y velocidades V_s de 877 m/s, que junto al semiespacio que presenta velocidades $V_s > 994$ m/s, estarían compuestas por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS13-MR: Realizada en la playa Redondo II con una profundidad de resolución de 60 metros. En este perfil se identifica la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 196 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto y la segunda, de 10 metros de espesor y velocidades V_s de 627 m/s compuesta por material aluvial compacto. La tercera capa de 22 metros de espesor y velocidades V_s de 1033 m/s, que junto al semiespacio de velocidades $V_s > 1360$ m/s estarían compuestas por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS14-MR: Realizada en el Malecón de la Reserva con una profundidad de resolución de 52 metros. En este perfil se identifica la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 3 metros de espesor y velocidades V_s de 273 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto y la segunda, con velocidades V_s de 435 m/s y espesor de 8 metros compuesta por material aluvial medianamente compacto. La tercera capa con velocidades V_s de 535 m/s y 23 metros de espesor, que junto con el semiespacio con $V_s > 637$ m/s, estarían compuestas por material aluvial compacto.

Línea sísmica LS15-MR: Realizada en el complejo deportivo Manuel Bonilla, altura de la Av. Ejército con resolución hasta los 80 metros de profundidad. Este perfil permite identificar la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera, de 4 metros de espesor y velocidades V_s de 274 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; y la segunda, de 7 metros de espesor y velocidades V_s de 420 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto. La tercera capa de 12 metros de espesor y velocidades V_s de 597 m/s, y la cuarta presenta un espesor de 14 metros y velocidades V_s de 726 m/s; ambas compuestas por material aluvial compacto. En el semiespacio, se tiene velocidades $V_s > 968$ m/s y corresponderían a materiales aluviales muy compactos.

Línea sísmica LS16-MR: Realizada en el complejo deportivo Manuel Bonilla con resolución hasta los 80 metros de profundidad. Este perfil permite identificar la presencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera, de 4 metros de espesor y velocidades V_s de 233 m/s; y la segunda, de 7 metros de espesor y velocidades V_s de 315 m/s, ambas compuestas por materiales aluviales sueltos a medianamente compactos. La tercera capa de 20 metros de espesor y velocidades V_s de 413 m/s, y la cuarta capa de 23 metros de espesor y velocidades V_s de 766 m/s; ambas corresponderían a material aluvial medianamente compacto; mientras que, el semiespacio, se tiene velocidades $V_s > 993$ m/s y correspondería a materiales aluviales muy compactos.

Línea sísmica LS17-MR: Realizada en el Malecón de la Marina, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 80 metros. En este perfil se identifica la presencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera, de 2 metros de espesor y velocidades V_s de 224 m/s; la segunda, de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 342 m/s; ambas compuestas por material aluvial suelto a medianamente compacto. La tercera capa con un espesor de 16 metros y velocidades V_s de 579 m/s compuesta por

material aluvial compacto. La cuarta capa tendría un espesor de 28 metros y velocidades V_s de 826 m/s; mientras que, el semiespacio presentaría velocidades $V_s > 1018$ m/s, y en este caso, ambas capas estarían compuestas por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS18-MR: Realizada al borde del acantilado en el Parque María Reiche, siendo su profundidad de resolución promedio del perfil de 80 metros. En este perfil se identifica la presencia de dos (2) capas sísmicas: La primera, de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 303 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; y la segunda, de 17 metros de espesor y velocidades V_s de 469 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto. El semiespacio presentaría velocidades $V_s > 924$ m/s y estaría compuesta por materiales aluviales muy compactos.

Línea sísmica LS19-MR: Realizada al borde del acantilado en el circuito de Bicicrós, altura de la calle Manuel Tovar, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 80 metros. En este perfil se identifica la presencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera, de 3 metros de espesor y velocidades V_s de 244 m/s; y la segunda, de 6 metros de espesor y velocidades V_s de 346 m/s; ambas compuestas por materiales aluviales sueltos a medianamente compactos. La tercera capa tendría un espesor de 14 metros y velocidades V_s de 434 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto, y la cuarta capa, también con 14 metros de espesor y velocidades V_s de 665 m/s correspondería a un material aluvial compacto; mientras que, el semiespacio presentaría velocidades $V_s > 993$ m/s compuesto por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS20-MR: Ubicada en el parque del Libro, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 70 metros. Este perfil permite identificar la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera,

de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 250 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto. La segunda capa de 12 metros de espesor y velocidades V_s de 537 m/s, y la tercera capa de 19 metros de espesor con velocidades V_s de 757 ms/s, ambas corresponderían a material aluvial compacto. El semiespacio presenta velocidades $V_s > 950$ m/s compuesto por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS21-MR: Realizada en el Malecón Cisneros a la altura de la calle Tupacama, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 38 metros. En este perfil se identifica la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera, de 7 metros de espesor y velocidades V_s de 238 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; y la segunda, de 11 metros de espesor y velocidades V_s de 403 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto. La tercera capa tendría un espesor de 10 metros y velocidades V_s de 616 m/s compuesta de material aluvial compacto. El semiespacio presentaría velocidades $V_s > 815$ m/s compuesto por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS22-MR: Realizada en el parque Antonio Raimondi, próximo al faro de La Marina, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 80 metros. En este perfil se identifica la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera, de 9 metros de espesor y velocidades V_s de 253 m/s compuesta por material suelto a medianamente compacto; y la segunda, con un espesor de 14 metros y velocidades V_s de 516 m/s conformada por material aluvial compacto. La tercera capa con un espesor de 11 metros y velocidades V_s de 822 m/s; mientras que, el semiespacio presenta velocidades $V_s > 1077$ m/s, y en este caso, ambas capas estarían compuestas por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS23-MR: Realizada en el parque del Amor, próximo al Puente Villena Rey con resolución hasta los 80 metros de profundidad. Este perfil permite identificar la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera, de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 264 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; y la segunda, de 10 metros de espesor y velocidades V_s de 457 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto. La tercera capa de 28 metros de espesor y velocidades V_s de 778 m/s correspondería a un material aluvial compacto. La cuarta capa de 18 metros de espesor y velocidades V_s de 1073 m/s y el semiespacio con velocidades $V_s > 1378$ m/s; ambas corresponderían a materiales aluviales muy compactos.

Línea sísmica LS24-MR: Ubicada en el parque San Marcelino Champagnat, próximo al Puente Villena Rey, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 80 metros. Este perfil permite identificar la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera, de 9 metros de espesor y velocidades V_s de 271 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; y la segunda, de 22 metros de espesor y velocidades V_s de 593 m/s compuesta de material aluvial compacto. La tercera capa de 16 metros de espesor con velocidades V_s de 818 m/s; mientras que, el semiespacio presenta velocidades $V_s > 1005$ m/s; ambas corresponderían a un material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS25-MR: Realizada en el Malecón de la Reserva, frente al parque Salazar, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 44 metros. Este perfil permite identificar la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera, de 4 metros de espesor y velocidades V_s de 216 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; y la segunda, de 12 metros de espesor y velocidades V_s de 467 m/s compuesta de material aluvial medianamente compacto. La tercera capa de 19 metros de espesor con velocidades V_s de 681 m/s;

mientras que, el semiespacio presenta velocidades $V_s > 860$ m/s, y en este caso, ambas corresponderían a un material aluvial compacto.

Línea sísmica LS26-MR: Realizada en el Malecón Armendáriz, altura de la calle Los Carolinos, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 58 metros. Este perfil permite identificar la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera, de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 259 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; y la segunda, de 17 metros de espesor y velocidades V_s de 478 m/s compuesta de material aluvial medianamente compacto. La tercera capa de 18 metros de espesor con velocidades V_s de 707 m/s; mientras que, el semiespacio presenta velocidades $V_s > 558$ m/s, ambas corresponderían a un material aluvial compacto.

A continuación, se adjunta la información presentada en el estudio: "Evaluación de peligros geofísicos en el distrito de Miraflores", realizando por el IGP en el año 2019:

Línea sísmica LS27-MR: Ubicada al costado del complejo deportivo Manuel Bonilla, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 58 metros. Este perfil permite identificar la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera, de 2 metros de espesor y velocidades V_s de 268 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; y la segunda, de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 458 m/s compuesta de material aluvial medianamente compacto. La tercera capa de 37 metros de espesor con velocidades V_s de 740 m/s corresponde al material aluvial compacto; mientras que, el semiespacio presenta velocidades $V_s > 1028$ m/s, correspondería a un material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS28-MR: Ubicada en el parque Antonio Raimondi al costado del complejo deportivo Manuel Bonilla, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 80 metros. Este perfil permite identificar la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera, de 7 metros de espesor y velocidades V_s de 336 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto; y la segunda, de 21 metros de espesor y velocidades V_s de 674 m/s compuesta de material aluvial compacto. La tercera capa de 15 metros de espesor con velocidades V_s de 895 m/s; mientras que, el semiespacio presenta velocidades $V_s > 1109$ m/s, ambos corresponderían a un material aluvial muy compacto.

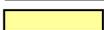
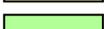
Finalmente, en la Tabla 5, se presenta el resumen de los valores de velocidades de ondas de corte (V_s) y espesores de capas obtenidos en cada uno de los perfiles del suelo (Tabla 4). Asimismo, en el Anexo III, se presenta los parámetros sísmicos identificados para cada uno de los perfiles de velocidad.

Tabla 5. Espesores y velocidades V_s para los perfiles sísmicos obtenidos en el área de estudio.

Línea Sísmica	Superficie → Profundidad										VS30 (m/s)
	N° DE CAPA										
	1		2		3		4		Semiespacio		
	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	
LS01-MR	394	4	712	12	938	25	1117	-	-	-	772
LS02-MR	321	7	663	13	1158	-	-	-	-	-	588
LS03-MR	241	5	497	8	1037	-	-	-	-	-	580
LS04-MR	496	5	776	10	675	7	917	-	-	-	692
LS05-MR	470	5	762	6	514	7	927	29	1030	-	667
LS06-MR	264	7	661	11	1078	10	1440	-	-	-	564
LS07-MR	188	5	326	8	674	18	1049	-	-	-	377
LS08-MR	249	5	482	8	742	21	1107	16	1447	-	482
LS09-MR	356	5	557	8	771	18	939	-	-	-	585

Tabla 5. Continuación.../// Espesores y velocidades Vs para los perfiles sísmicos obtenidos en el área de estudio.

Superficie \longrightarrow 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)	
LS10-MR	296	7	479	11	655	16	769	-	-	-	560
LS11-MR	302	5	591	15	737	14	855	-	-	-	530
LS12-MR	210	5	383	10	639	25	877	17	994	-	398
LS13-MR	196	5	627	10	1033	22	1360	-	-	-	560
LS14-MR	273	3	435	8	535	23	637	-	-	-	458
LS15-MR	274	4	420	7	597	12	726	14	968	-	490
LS16-MR	233	4	315	7	413	20	766	23	993	-	350
LS17-MR	224	2	342	5	579	16	826	28	1018	-	492
LS18-MR	303	5	469	17	924	-	-	-	-	-	466
LS19-MR	244	3	346	6	434	14	665	14	993	-	401
LS20-MR	250	5	537	12	757	19	950	-	-	-	491
LS21-MR	238	7	403	11	616	10	815	-	-	-	392
LS22-MR	253	9	516	14	822	11	1077	-	-	-	417
LS23-MR	264	5	457	10	778	28	1073	18	1378	-	488
LS24-MR	271	9	593	22	818	16	1005	-	-	-	437
LS25-MR	216	4	467	12	681	19	860	-	-	-	467
LS26-MR	259	5	478	17	707	18	558	-	-	-	441
LS27-MR	268	2	458	5	740	37	1028	-	-	-	599
LS28-MR	336	7	674	21	895	15	1109	-	-	-	548

	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)

b) Interpretación

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

-Variación lateral de las propiedades físicas de los suelos: A lo largo del acantilado los suelos son menos consolidados ($V_s < 500$ m/s) en comparación con los que se encuentran a mayores distancias hacia el área urbana. Estos suelos forman capas de 5 a 7 metros de espesor hacia el extremo noroeste del distrito, a la altura del complejo deportivo Manuel Bonilla y por el parque María Reiche; mientras que, en la zona centro, a la altura de los parques Grau y de Los Niños, el espesor de la capa poco consolidada se incrementa a 13 metros (Figura 16).

Asimismo, hacia el extremo sureste los mismos suelos son parte de una capa que varía de espesor entre 15 y 20 metros, presentándose los mayores espesores en los parques San Marcelino Champagnat y Domodossola; mientras que, hacia el Malecón de la Reserva su espesor disminuye hasta los 11 metros. Estas características físicas de los suelos, evidencian su heterogeneidad contribuyendo a la formación de fisuras y el desarrollo de importantes asentamientos visibles en superficie.

En la Figura 17 se observa que en el borde del acantilado, a la altura del parque Antonio Raimondi, los suelos superficiales son erosionados y muestran gran irregularidad topográfica. Asimismo, en la cara expuesta del acantilado a nivel inferior, se identifica la presencia de una capa conformada por material travertino que se comporta como suelos compactos, pero al estar expuesto genera inestabilidad y más si el horizonte presenta humedad.

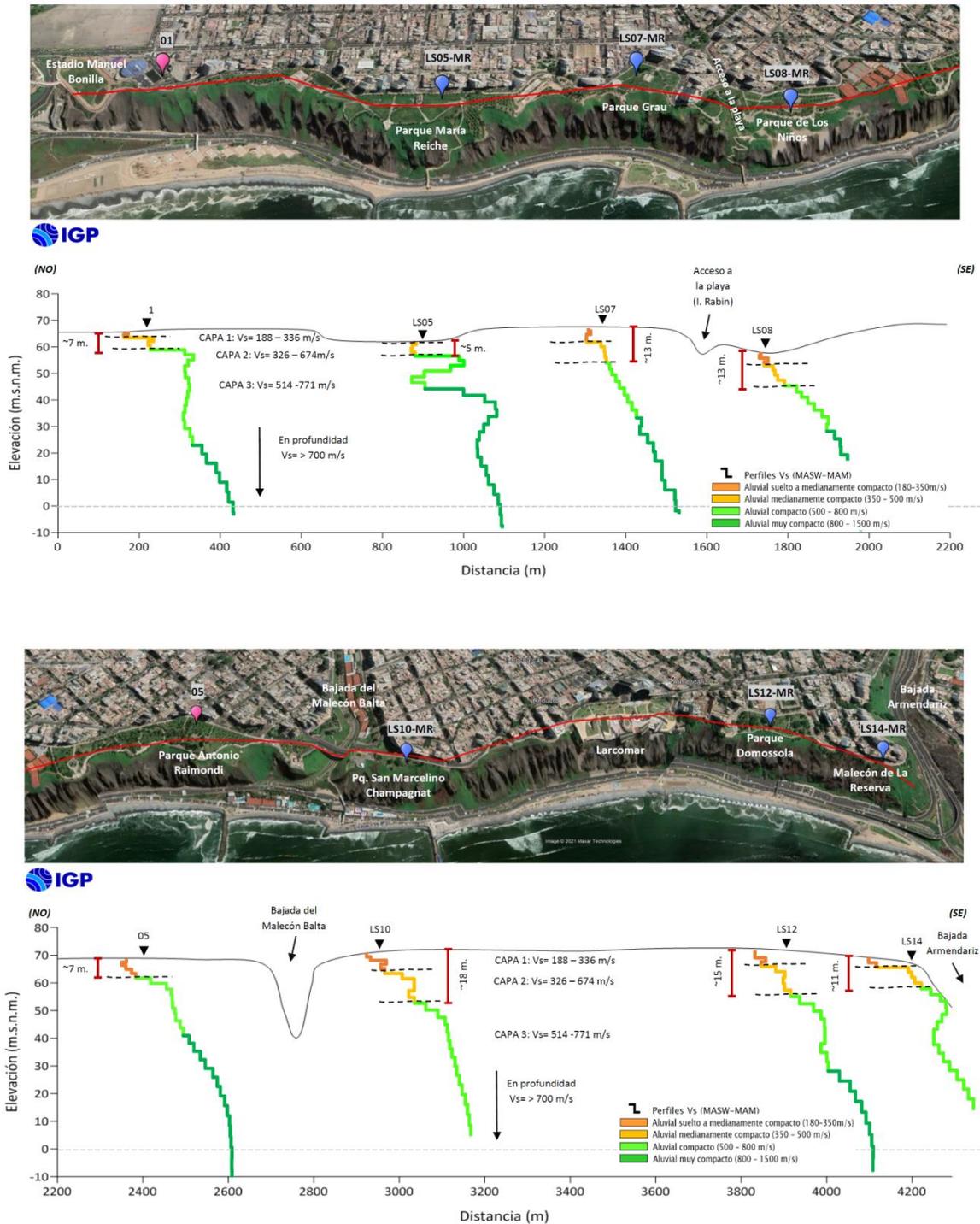


Figura 16. Correlación de los resultados obtenidos en cada perfil sísmico (V_s) e identificación de la estructura del subsuelo en los ACV del distrito de Miraflores.

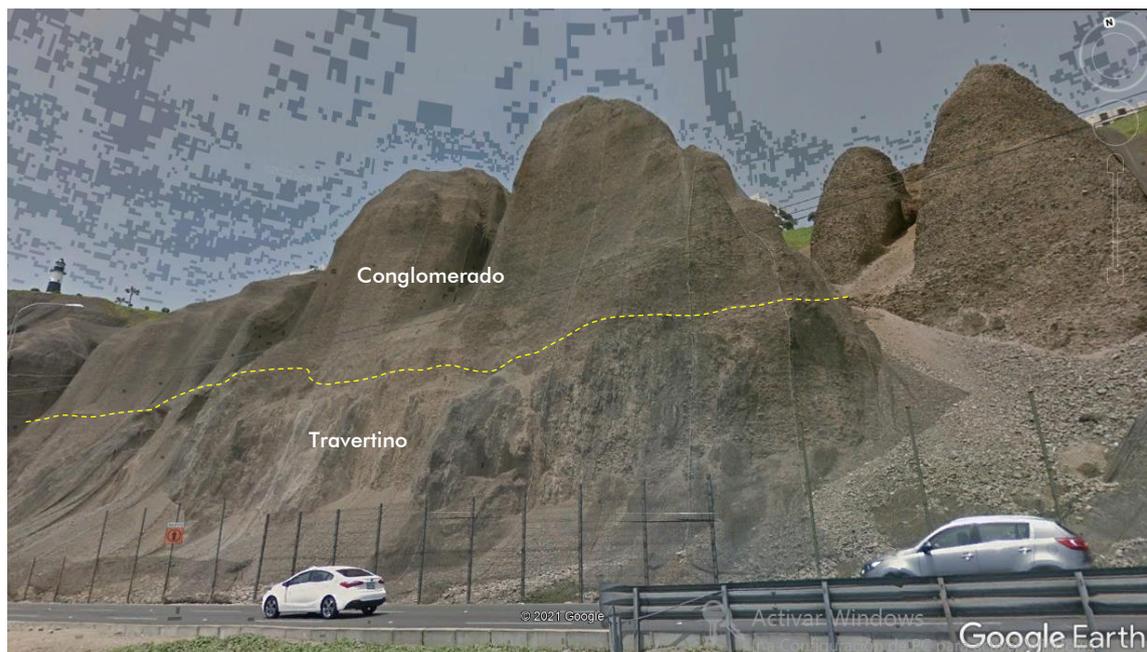


Figura 17. Identificación de una capa conformada por material de travertino, a la altura del parque Antonio Raimondi en el distrito de Miraflores (Imagen de Google Earth, 2020).

2.3.- Método de Tomografía Eléctrica

El método de tomografía eléctrica (ERT) permite determinar las variaciones de resistividad y conductividad eléctrica de las rocas y suelos para conocer 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, de la conductividad de las partículas y del contenido de agua o de sales disueltas en las fracturas de las rocas.

2.3.1.- Adquisición de datos

Los datos recolectados en campo corresponden al registro de valores de resistividad obtenidos en 23 líneas de ERT distribuidas en el área de estudio, de las cuales 3 se realizaron en el año 2019, tal como se observa en la Figura 18. El instrumental utilizado en campo corresponde al equipo de Resistividad /IP Syscal Pro más cables y accesorios. En la Tabla 6, se detalla

las características de las líneas ERT realizadas en los ACV del distrito de Miraflores.

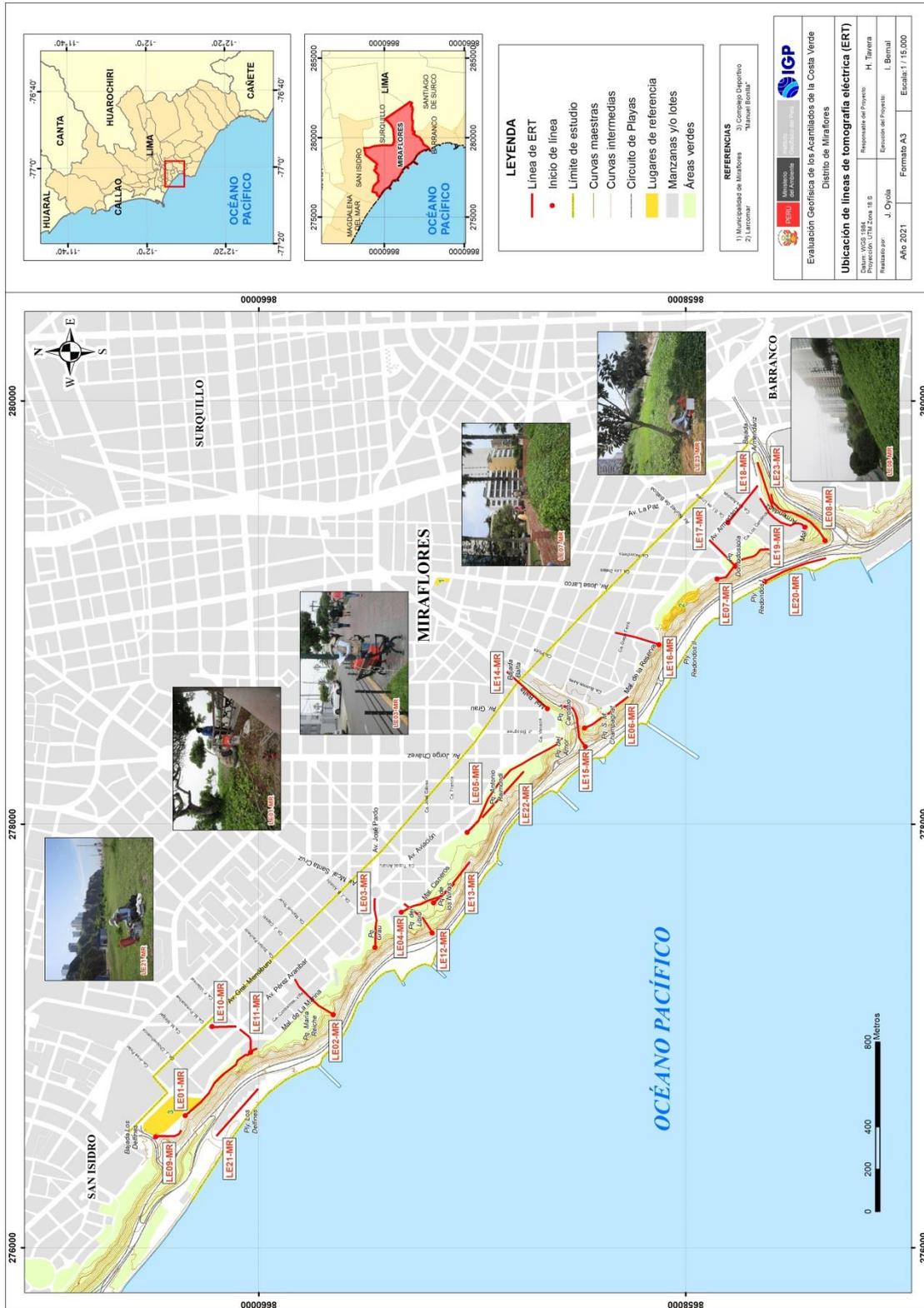


Figura 18: Distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica (ERT), codificadas como LE01-MR,..., LE23-MR.

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-MR	276625	8660343	57	20	480
	276941	8660007	54		
LE02-MR	277101	8659650	31	20	240
	277269	8659832	60		
LE03-MR	277419	8659455	45	20	200
	277652	8659457	60		
LE04-MR	277585	8659331	60	20	260
	277720	8659083	52		
LE05-MR	277962	8659023	60	20	640
	278408	8658578	57		
LE06-MR	278456	8658473	52	20	240
	278602	8658270	55		
LE07-MR	279159	8657852	55	20	280
	279299	8657608	48		
LE08-MR	279341	8657346	28	20	340
	279560	8657600	61		
LE09-MR	276524	8660482	73	10	140
	276555	8660364	78		
LE10-MR	277046	8660106	69	10	140
	277041	8660232	69		
LE11-MR	276924	8660037	67	10	130
	277031	8660090	68		
LE12-MR	277488	8659186	17	20	220
	277624	8659320	67		
LE13-MR	277630	8659181	59	20	260
	277823	8659011	39		
LE14-MR	278547	8658647	68	20	260
	278721	8658838	62		
LE15-MR	278368	8658469	17	20	260
	278560	8658589	50		
LE16-MR	278849	8658124	67	20	220
	278905	8658332	73		
LE17-MR	279219	8657766	69	10	170
	279343	8657889	73		
LE18-MR	279426	8657801	72	20	220
	279599	8657663	73		
LE19-MR	279404	8657440	66	20	260
	279541	8657653	72		
LE20-MR	279147	8657627	5	20	300
	279256	8657343	5		
LE21-MR	276527	8660199	26	10	290
	276750	8660003	27		
LE22-MR	278031	8658953	87	10	290
	278250	8658758	87		
LE23-MR	279494	8657592	82	10	220
	279710	8657663	87		

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 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 Miraflores se realizaron 23 secciones geoelectricas, con resolución hasta los 50 metros de profundidad. En la Figura 19, se presenta la sección para la línea LE01-MR 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:

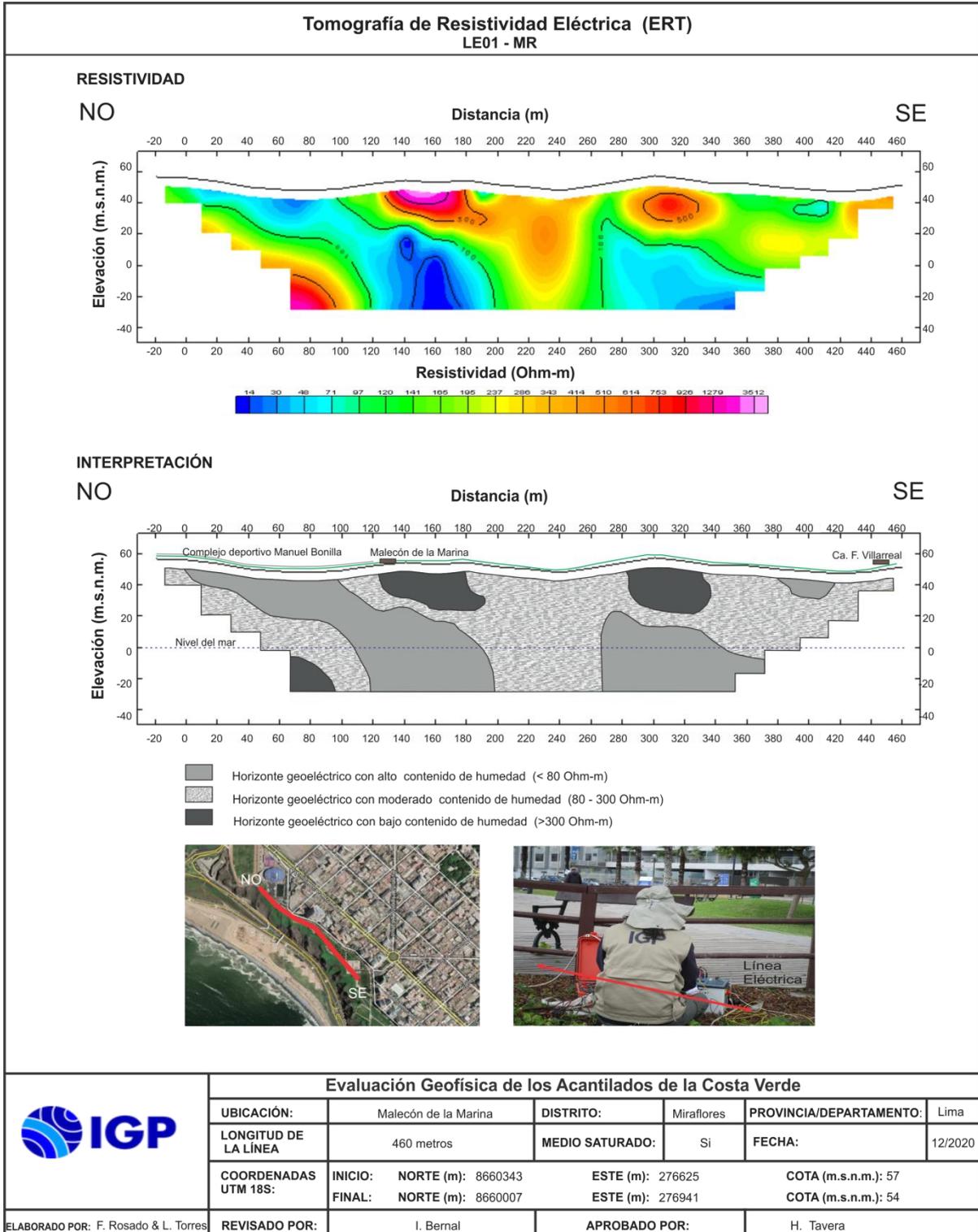


Figura 19: Resultado de tomografía eléctrica para la línea LE01-MR.

Sección geoelectrica LE01-MR: Realizada en el Malecón de la Marina sobre una longitud de 460 metros y en dirección NO-SE (paralela al acantilado). En esta sección predomina la presencia de un horizonte geoelectrico de moderada resistividad debido a la presencia de materiales aluviales con moderado contenido de humedad; sin embargo, sobresale la presencia de intrusiones y/o franjas de materiales con alto contenido de humedad y que atraviesan a este horizonte (<80 Ohm-m) hasta aflorar hacia el extremo NO de la sección próximo al complejo deportivo Manuel Bonilla. Este mismo horizonte se encuentra a mayor profundidad (20 metros) hacia el extremo SE del perfil. Asimismo, a nivel superficial se ha identificado áreas anómalas con alta resistividad (>300 Ohm-m) pero con longitudes pequeñas y espesores de hasta 20 metros.

Sección geoelectrica LE02-MR: Realizada en el parque María Reiche y la calle Toribio Pacheco sobre una longitud de 240 metros y en dirección SO-NE (perpendicular al acantilado). En el centro de esta sección, entre la calle Contralmirante Villar y el parque María Reiche, se tiene el predominio de materiales con alto contenido de humedad hasta una profundidad de 30 metros, rodeada por materiales de bajo contenido de humedad.

Sección geoelectrica LE03-MR: Realizada en el parque Grau y Av. José Pardo sobre una longitud de 200 metros y en dirección SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección se ha identificado la presencia de 2 horizontes geoelectricos: El primero presenta materiales con moderado a alto contenido de humedad, extendiéndose desde la superficie hasta los 30 metros de profundidad- En esta sección y a nivel superficial sobresale una anomalía en forma de elipse con valores altos de resistividad, presente bajo el Malecón de La Marina. El segundo

horizonte presenta bajo contenido de humedad (>300 Ohm-m) y bordea al primer horizonte.

Sección geoelectrica LE04-MR: Realizada en los parques del Libro y de Los Niños sobre una longitud de 260 metros y en dirección NO-SE (paralela al acantilado). En esta sección se ha identificado la presencia de 2 horizontes geoelectricos: El primer horizonte está presente a lo largo de toda la sección y compuesto por materiales con moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m) y espesores de 20 a 40 metros. En el segundo horizonte, presente en la parte baja de la sección, los materiales presentan alto contenido de humedad (>80 Ohm-m).

Sección geoelectrica LE05-MR: Realizada en los parques Antonio Raimondi y del Amor sobre una longitud de 640 metros y en dirección NO-SE (paralela al acantilado). En esta sección se tiene el predominio de un horizonte conformado por materiales con moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m). Aquí y a nivel superficial, sobresalen anomalías locales con valores bajos de resistividad (alto contenido de humedad), principalmente a la altura de las calles Madrid y Venecia. Asimismo, en su extremo SE, se observa la presencia de valores altos de resistividad (bajo contenido de humedad) hasta una profundidad de 30 metros, principalmente a la altura del parque del Amor.

Sección geoelectrica LE06-MR: Realizada en el Malecón de la Reserva sobre una longitud de 240 metros y en dirección NO-SE (paralela al acantilado). En esta sección se tiene el predominio de un horizonte conformado por materiales con moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m). Asimismo, dentro de este horizonte y a nivel superficial, sobresalen anomalías locales con valores altos de resistividad (menor contenido de humedad), principalmente a la altura del parque S.M. Champagnat y hacia ambos extremos de la sección. De manera local, a

la altura del Malecón 28 de Julio, se observa que los suelos incrementan su contenido de humedad.

Sección geoelectrica LE07-MR: Realizada en el parque Domodossola, sobre una longitud de 280 metros y en dirección NO-SE (paralela al acantilado). En esta sección predominan materiales con bajo contenido de humedad (>300 Ohm-m), pero a nivel superficial sobresale la presencia de una franja angosta con el predominio de materiales con moderado contenido de humedad, presente hasta una profundidad máxima de 10 metros, principalmente a la altura de la Av. Vasco Núñez.

Sección geoelectrica LE08-MR: Realizada el parque Armendáriz, sobre una longitud de 340 metros y con orientación SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan los depósitos de moderada resistividad (80 a 300 Ohm-m) debido a la presencia de materiales aluviales con moderado contenido de humedad. Sin embargo, a nivel superficial se ha identificado la presencia de dos zonas anómalas de baja y alta resistividad. La zona de baja resistividad presenta espesores de 10 a 20 metros (<80 Ohm-m) y se encuentra ubicada al suroeste de la calle Los Carolinos y la zona de alta resistividad (>300 Ohm-m), se encuentra al noreste de la calle Los Carolinos.

Sección geoelectrica LE09-MR: Realizada en el complejo deportivo Manuel Bonilla sobre una longitud de 140 metros y en dirección NO-SE (paralela al acantilado). En esta sección se han identificado la presencia de 3 horizontes geoelectricos: El primero con alto contenido de humedad (< 80 Ohm-m) hasta una profundidad de 50 metros. El segundo horizonte, con moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m) presente a lo largo de toda la sección. El tercer horizonte presenta bajo contenido de humedad (> 300 Ohm-m).

Sección geoelectrica LE10-MR: Realizada en la Av. Hipólito Unanue sobre una longitud de 140 metros y en dirección S-N (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan los depósitos de moderada resistividad (80 a 300 Ohm-m) debido a la presencia de materiales aluviales con moderado contenido de humedad. Sin embargo, a nivel superficial se ha identificado la presencia de zonas anómalas de baja y alta resistividad: las bajas resistividades se presentan a los 30 metros del inicio de la sección y a la altura de la calle M. Pumacahua en capas con espesores de 2 a 5 metros. La zona anómala de alta resistividad se presenta a los 60 metros del inicio de la sección y se extiende a profundidad.

Sección geoelectrica LE11-MR: Realizada en la calle Federico Villareal, sobre una longitud de 130 metros y en dirección SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan los depósitos de moderada resistividad (80 a 300 Ohm-m) debido a la presencia de materiales aluviales con moderado contenido de humedad. Sin embargo, a nivel superficial se ha identificado la presencia de dos zonas anómalas de baja resistividad, la primera desde el inicio de la sección hasta la altura del malecón de la Marina, extendiéndose a profundidad. La segunda zona se presenta a 110 metros del inicio de la sección en una capa de 2 metros de espesor próximo a la Av. Pérez Aranibar.

Sección geoelectrica LE12-MR: Realizada en la Calle 7 de Junio y parque de Los Niños sobre una longitud de 220 metros y en dirección SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan los depósitos de moderada resistividad (80 a 300 Ohm-m) debido a la presencia de materiales aluviales con moderado contenido de humedad en capas que alcanzan espesores mayores a 50 metros.

Sección geoelectrica LE13-MR: Realizada en el parque de Los Niños sobre una longitud de 260 metros y en dirección NO-SE (paralela al acantilado). En esta sección predominan los depósitos de moderada resistividad (80 a 300 Ohm-m) debido a la presencia de materiales aluviales con moderado contenido de humedad, en capas que alcanzan espesores mayores a 50 metros. Sin embargo, a nivel superficial se ha identificado dos zonas anómalas de baja resistividad, la primera a la altura de la calle comandante Juan G. Moore y a los 100 metros del inicio de la sección en capas de suelos con espesores de 1 a 6 metros. En profundidad se ha identificado dos zonas anómalas de baja y alta resistividad.

Sección geoelectrica LE14-MR: Realizada en el Malecón Balta sobre una longitud de 260 metros y en dirección SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan los depósitos de moderada resistividad (80 a 300 Ohm-m) debido a la presencia de materiales aluviales con moderado contenido de humedad, en capas que alcanzan espesores mayores a 50 metros. Sin embargo, a nivel superficial se ha identificado la existencia de zonas anómalas de baja y alta resistividad: las primeras se presentan a los 40 y 120 metros del inicio de la sección, en capas con espesores de 8 a 20 metros; las zonas de alta resistividad se presentan a los 140 y 220 metros del inicio de la sección, próxima a la calle Tripoli en capas con espesores de 8 a 50 metros.

Sección geoelectrica LE15-MR: Realizada en el Malecón Balta sobre una longitud de 260 metros y en dirección SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan los depósitos de alta resistividad (> 300 Ohm-m) debido a la presencia de materiales aluviales con bajo contenido de humedad en capas con espesores de 5 a 40 metros, presentándose los mayores espesores a la altura del Malecón de la Reserva. Sin embargo, a nivel superficial se ha identificado la existencia de zonas anómalas de moderada resistividad,

hacia el final de la sección (extremo NE). En profundidad se ha identificado zonas de baja resistividad.

Sección geoelectrica LE16-MR: Realizada en la calle Colón sobre una longitud de 220 metros y en dirección SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan los depósitos de moderada resistividad (80 a 300 Ohm-m) debido a la presencia de materiales aluviales con moderado contenido de humedad en capas con espesores de 5 a 30 metros, presentándose los mayores espesores a la altura de la calle Diego Ferré. Sin embargo, a nivel superficial se ha identificado la existencia de dos zonas anómalas de baja resistividad, hacia el inicio de la sección (extremo SO) y a la altura de la calle Juan Fanning, en capas con espesores de 20 y 40 metros. Además en profundidad se ha identificado una zona de alta resistividad.

Sección geoelectrica LE17-MR: Realizada en la Av. Vasco Núñez de Balboa sobre una longitud de 170 metros y en dirección SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección se presentan 3 horizontes geoelectricos: El primero de baja resistividad (<80 Ohm-m) hasta una profundidad de 2 a 15 metros, el mayor espesor se presenta en el parque Domodossola. El segundo horizonte, con moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m) presente a lo largo de toda la sección en capas con espesores de hasta 30 metros. El tercer horizonte, presenta bajo contenido de humedad.

Sección geoelectrica LE18-MR: Realizada en el Jr. Armendáriz sobre una longitud de 220 metros y en dirección NO-SE (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 en capas con espesores de hasta 40 metros. Sin embargo, a nivel superficial se han identificado la existencia de zonas anómalas de moderada y alta resistividad; a 50 y 120 metros

del inicio de la sección se presentan zonas de moderada resistividad y a la altura de las calles S.I. de Loyola y las Acacias se presentan zonas de alta resistividad (>300 Ohm-m) en capas con espesores de 5 a 15 metros.

Sección geoelectrica LE19-MR: Realizada en el Malecón de la Reserva sobre una longitud de 280 metros y en dirección SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan los depósitos de moderada resistividad (80 a 300 Ohm-m) debido a la presencia de materiales aluviales con moderado contenido de humedad en capas con espesores de 10 a 50 metros. Sin embargo, a nivel superficial se ha identificado la presencia de zonas anómalas de baja y alta resistividad. Las primeras se presentan a 160 y 240 metros del inicio de la sección en capas con espesores de 5 a 20 metros. Las zonas anómalas de alta resistividad se presentan a la altura de la calle Los Carolinos. Además en profundidad se ha identificado una zona de baja resistividad.

Sección geoelectrica LE20-MR: Realizada en la playa Redondos I-Circuito de Playas sobre una longitud de 300 metros y en dirección NO-SE (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 en capas con espesores de hasta 50 metros. Sin embargo, a nivel superficial se ha identificado dos zonas anómalas de moderada y alta resistividad, la primera se presenta a los 220 metros desde el inicio de la sección, la segunda a los 260 metros y ambas se extienden a profundidad.

A continuación, se adjunta la información presentada en el estudio: "Evaluación de peligros geofísicos en el distrito de Miraflores", realizando por el IGP en el año 2019:

Sección geoelectrica LE21-MR: Realizada la playa los Delfines, sobre una longitud de 290 metros y con orientación NO-SE (paralela al acantilado). Aquí los valores obtenidos son medianamente resistivos a niveles superficiales y bajos resistivos (<100 Ohm-m) a niveles más profundos debido a su proximidad con el mar.

Sección geoelectrica LE22-MR: Realizada el parque Antonio Raimondi, sobre una longitud de 290 metros y con orientación NO-SE (paralela al acantilado). En esta sección se ha identificado la presencia de 2 horizontes geoelectricos: El primer horizonte compuesto por materiales con bajo contenido de humedad (<80 Ohm-m) y espesores de hasta 15 metros, está presente a nivel superficial a lo largo de toda la sección. El segundo horizonte, con bajo contenido de humedad es atravesado a la altura de las calles Italia y Roma, por dos intrusiones verticales de material húmedo (>80 Ohm-m).

Sección geoelectrica LE23-MR: Realizada el parque Armendáriz, sobre una longitud de 220 metros y con orientación SO-NE (perpendicular al acantilado). Presenta materiales con moderado a bajo contenido de humedad hacia el extremo norte de la sección (>100 Ohm-m) y alto contenido de humedad hacia el extremo SO, a la altura de la calle Los Carolines; es decir, cerca del acantilado y que podría deberse a la presencia de materiales calcáreos en proceso de saturación.

b) Interpretación

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

- **Hacia el extremo noroeste del distrito** alrededor del complejo deportivo Manuel Bonilla se ha identificado la presencia de una capa de suelos con alto contenido de humedad y espesor de hasta 20 metros. Entre las calles Choquehuanca y F. Villarreal el suelo presenta moderado contenido de humedad en una capa con espesor de 40 metros; sin embargo, de manera local a la altura de la calle F. Villarreal, entre el borde del acantilado y el Malecón de la Marina, se identifica la presencia de suelos con alto contenido de humedad hasta los 10 metros de profundidad (Figura 20, Líneas LE01-MR, Línea LE09-MR, LE11-MR).

- Sobre la calle Toribio Pacheco, entre la calle Contralmte. Villa y el Malecón la Marina, se ha identificado la presencia de suelos con alto contenido de humedad en capas con espesores de 30 metros y que se profundiza conforme tiende hacia el borde del acantilado (Figura 20, Línea LE02-MR).

- **En la zona central del distrito** (parque Antonio Raimondi), predominan suelos con moderado contenido de humedad en capas con espesor mayor a 50 metros. Así mismo, hacia el extremo sur del parque Raimondi, se identifica la presencia un sector angosto cuyos suelos superficiales presentan alto contenido de humedad hasta los 30 metros de profundidad (Figura 20, Línea LE05-MR).

- En el parque Grau, se ha identificado la presencia de una capa de suelos con alto contenido de humedad en una capa de 20 metros de espesor y que se extiende en dirección de la Av. José Pardo. Por debajo de esta capa se presentan suelos con moderado y bajo contenido de humedad (Figura 20, Línea LE03-MR).

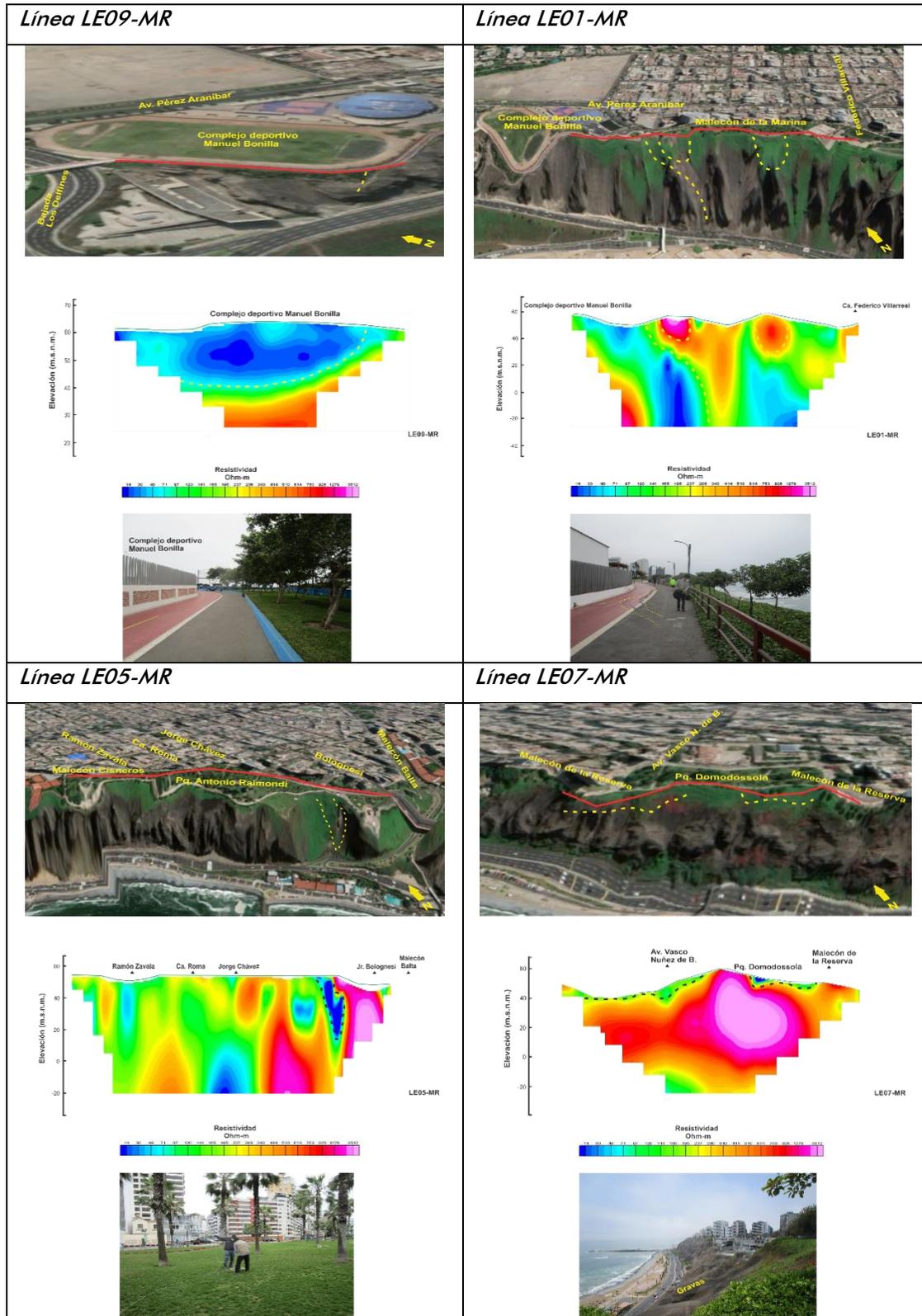


Figura 20. Ubicación y orientación de las líneas de tomografía eléctrica realizadas en el extremo NO (LE09-MR, LE01-MR), Central (LE05-MR) y SE (LE07-MR) de los ACV. Las líneas discontinuas delimitan las zonas con mayor contenido de humedad en cada sección y su proyección en el perfil del acantilado.

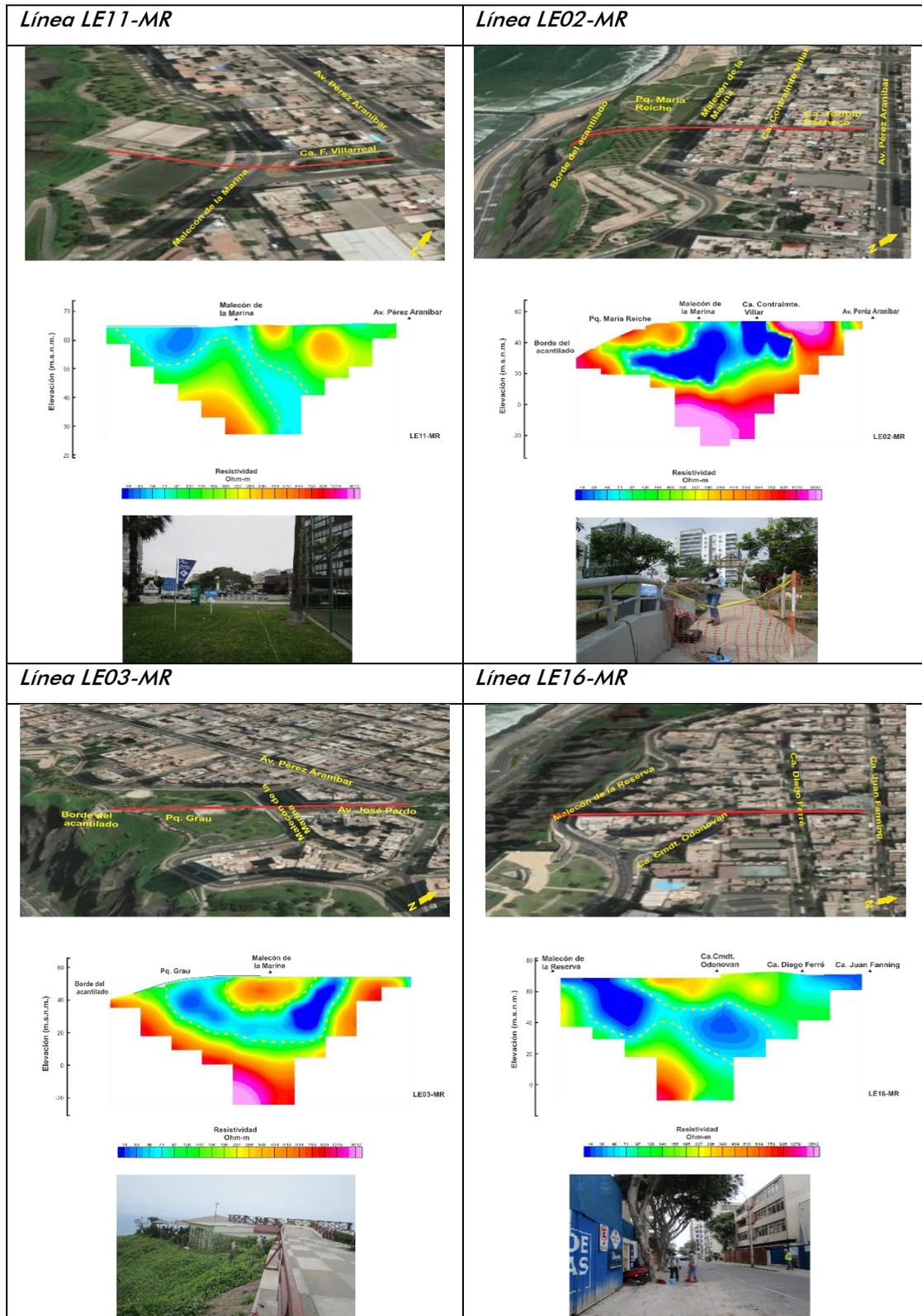


Figura 20. ...Continuación.../. Ubicación y orientación de las líneas de tomografía eléctrica realizadas en el extremo NO (LE11-MR, LE02-MR), Central (LE03-MR) y SE (LE16-MR) de los ACV. Las líneas discontinuas delimitan las zonas con mayor contenido de humedad en cada sección y su proyección en el perfil del acantilado.

- **En el extremo sureste del distrito** (Malecones de la Reserva y Armendáriz), hacia el extremo norte del Larcomar y borde del acantilado, se identifica la presencia de suelos con alto contenido de humedad a la altura de la calle Diego Ferré hasta profundidades de 30 metros. Hacia el extremo sur del Larcomar, a la altura del parque Domodossola, se identifica la presencia de una capa delgada de moderado contenidos de humedad en una capa de 8 metros de espesor. Por debajo de estas capas, el subsuelo presenta bajo contenido de humedad en otra capa con espesores de hasta 40 metros. (Figura 20, Líneas LE07-MR y LE016-MR).

De acuerdo al análisis realizado en las secciones eléctricas, para la zona de los ACV se ha identificado la presencia de suelos con alto contenido de humedad. Por ejemplo, a la altura del complejo deportivo Manuel Bonilla, Malecón de la Marina y Malecón de la Reserva, estos suelos se encuentran en capas con espesores de hasta 30 metros. Puntualmente, al borde del acantilado, los suelos con niveles altos de humedad están distribuidos entre los parques María Reiche – Grau, parque de los Niños - parque Antonio Raimondi, parque Domodossola, alturas de las calles Venecia, Diego Ferré y extremo oeste del Malecón Armendáriz. Estos suelos con altos niveles de humedad sugieren que su comportamiento dinámico sería de alto riesgo de ocurrir sismos.

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 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.

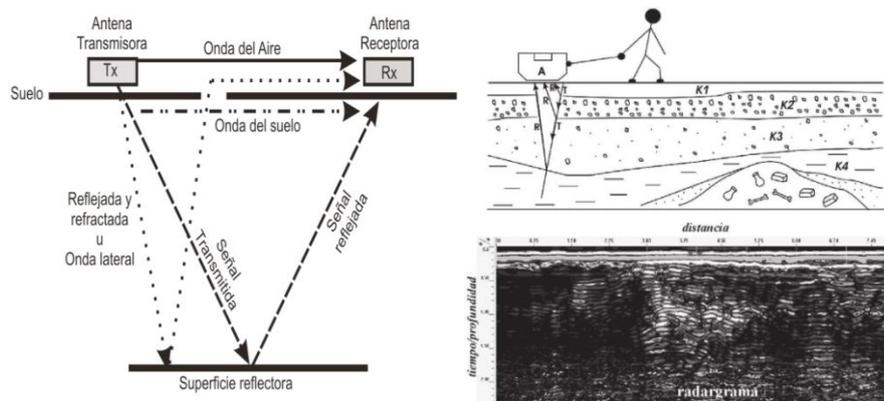


Figura 21. Esquema de la base del método de georadar y ejemplo del registro de un radargrama (Villela, 2013).

2.4.1.- Adquisición de datos

La exploración del subsuelo se realizó con un georadar GSSI y antenas de 350 MHz y 100 MHz. En general, la capacidad de penetración de la onda electromagnética depende de las condiciones de conductividad y permisividad del subsuelo llegando a profundidades de 6 y 20 metros respectivamente. Durante el trabajo de campo se utilizó una configuración de 512 muestras/escaneo, 50 scan/m. con ganancias manuales y

automáticas para obtener mejores resultados (200scan/segundos) y una distancia de odómetro de 20m (Figura 22).



Figura 22. Disposición del georadar utilizando las antenas de 100 MHz y 350 MHz.

En el distrito de Miraflores se realizaron 18 líneas de GPR (4 línea con la antena de 100 MHz y 14 líneas con 350 MHz), cuya distribución espacial se muestra en la Figura 23 y sus coordenadas en la Tabla 8.

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 de posibles anomalías en el subsuelo.

2.4.2.-Procesamiento y análisis

El procesamiento de los radargramas se realizó con el programa RADAN 7 y el uso de filtros para la remoción del ruido de fondo, ganancia automática, pasa bandas, substracción de la media y filtro exponencial de ganancia. Debido a que las características físicas de los suelos son diferentes en cada línea de exploración, los valores de cada filtro fueron diferentes

para cada perfil. También, en caso de que la señal perdiera su intensidad o no mejorará la respuesta en profundidad, se eliminó alguno de los filtros.

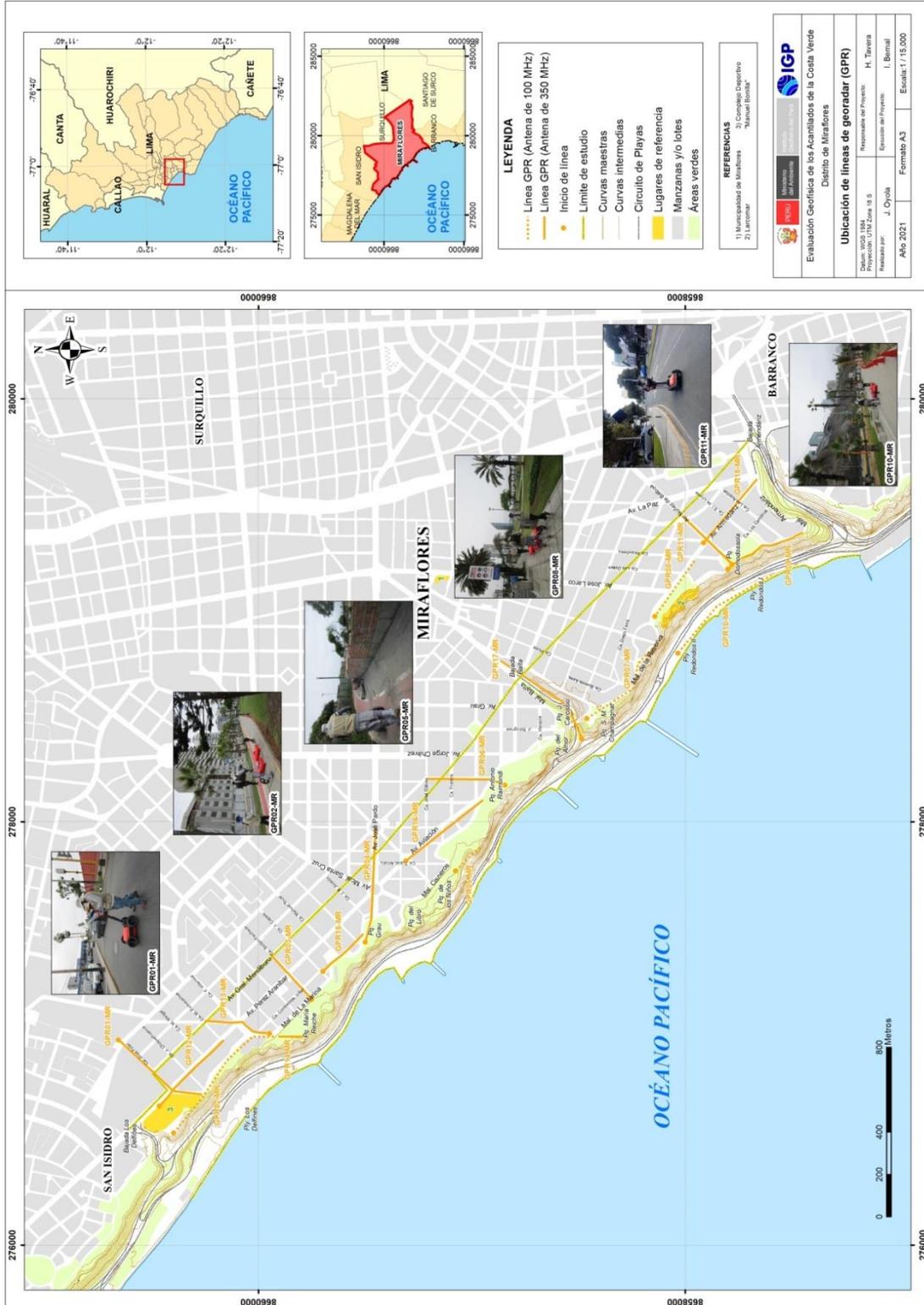


Figura 23. Distribución espacial de las líneas de GPR, codificadas como GPR01-MR, ..., GPR18-MR.

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

	Línea GPR	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Longitud total (m)	Antena (MHz)
1	GPR01-MR	276970	8660657	70	494	350
		276711	8660265	65		
2	GPR02-MR	276530	8660397	60	705	100
		276986	8659925	65		
3	GPR03-MR	277163	8659751	65	294	350
		277375	8659944	69		
4	GPR04-MR	277433	8659499	65	551	350
		277970	8659452	70		
5	GPR05-MR	277769	8659076	60	206	350
		277879	8658965	59		
6	GPR06-MR	278175	8658844	65	372	350
		278204	8659209	69		
7	GPR07-MR	278489	8658459	62	520	100
		278849	8658126	63		
8	GPR08-MR	278972	8658141	71	338	100
		279244	8657950	71		
9	GPR09-MR	279196	8657799	62	414	350
		279368	8657446	63		
10	GPR10-MR	278799	8658033	3	579	100
		279169	8657589	8		
11	GPR11-MR	279218	8657779	65	334	350
		279447	8658015	73		
12	GPR12-MR	276658	8660464	76	430	350
		276968	8660164	77		
13	GPR13-MR	277000	8659947	78	330	350
		277059	8660252	82		
14	GPR14-MR	276985	8659793	70	113	350
		276986	8659907	71		
15	GPR15-MR	277294	8659697	77	270	350
		277471	8659510	78		
16	GPR16-MR	277817	8659308	83	460	350
		278104	8658948	82		
17	GPR17-MR	278394	8658484	44	560	350
		278761	8658866	75		
18	GPR18-MR	279321	8657913	78	390	350
		279621	8657663	80		

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

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

Para proceder con la interpretación de los radargramas se define la existencia, en la zona de estudio, de tres tipos de anomalías: **a)** Anomalías de tipo hiperbólico que se evidencian con la presencia de reflectores hiperbólicos con base angosta y ancha, la primera es asociada a materiales metálicos enterrados (tuberías, cables) y la segunda a grandes bloques de roca, cavidades y túneles; **b)** Anomalías de tipo lineal de gran y pequeña extensión: la primera se asocia a interfaces entre dos medios con diferentes propiedades electromagnéticas (nivel freático, fracturas y fallas) y la segunda, a hoyos, cavidades y zonas de asentamiento; **c)** Anomalías puntuales, cuyos reflectores se proyectan de manera vertical y se asocian a la presencia de buzones, tapas de medidores y otros similares vistas en superficie (Figura 24).

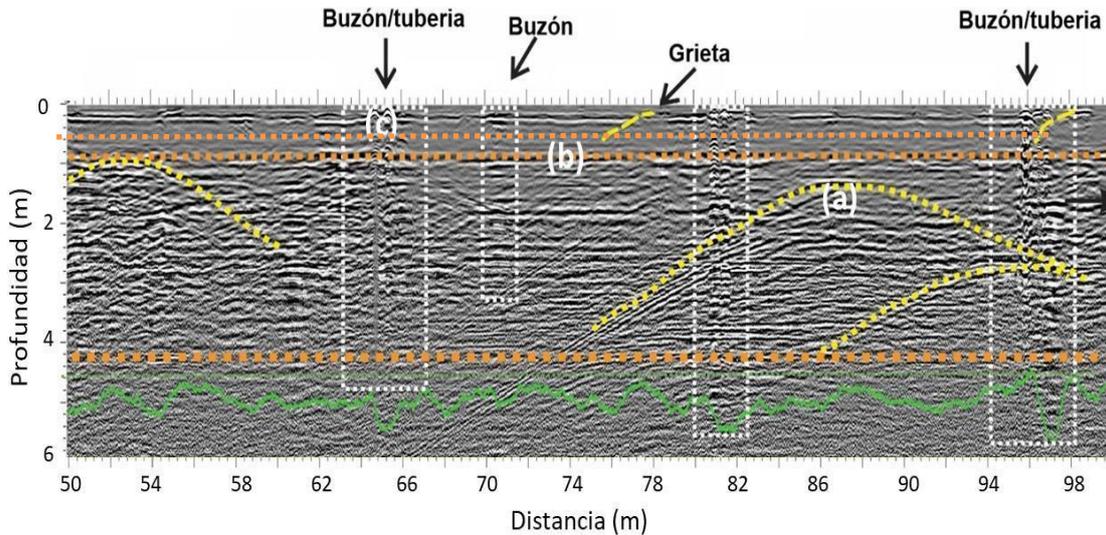


Figura 24. Radargrama, con los diferentes tipos de reflectores asociados a anomalías de tipo hiperbólico (a), lineal (b) y puntuales (c).

2.4.3.- Resultados e interpretación

a) Resultados

En el área de estudio se realizaron 18 líneas de GPR, con resolución hasta los 6 y 20 metros de profundidad dependiendo del tipo de antena a utilizarse. Los resultados obtenidos para la línea GPR01-MR se muestran en la Figura 25 y en el Anexo V, para las líneas restantes. El análisis realizado para cada línea GPR permite tener los siguientes resultados:

Línea GPR01-MR: Realizada en la calle José Polar con una longitud de 494 metros y orientada en dirección NE a SO, perpendicular al acantilado. En la línea se identifica la existencia de una capa de 3 metros de espesor conformado por material heterogéneo, con cambios en sus características a los 0.8 metros de profundidad y con la presencia de grietas que alcanzan profundidades de 2 metros sobre la 2da. Cuadra de la calle José Polar. Asimismo, se identifica la existencia de anomalías asociadas a buzones, veredas y desniveles. Algunas fisuras de pueden observar en superficie (Figura 25).

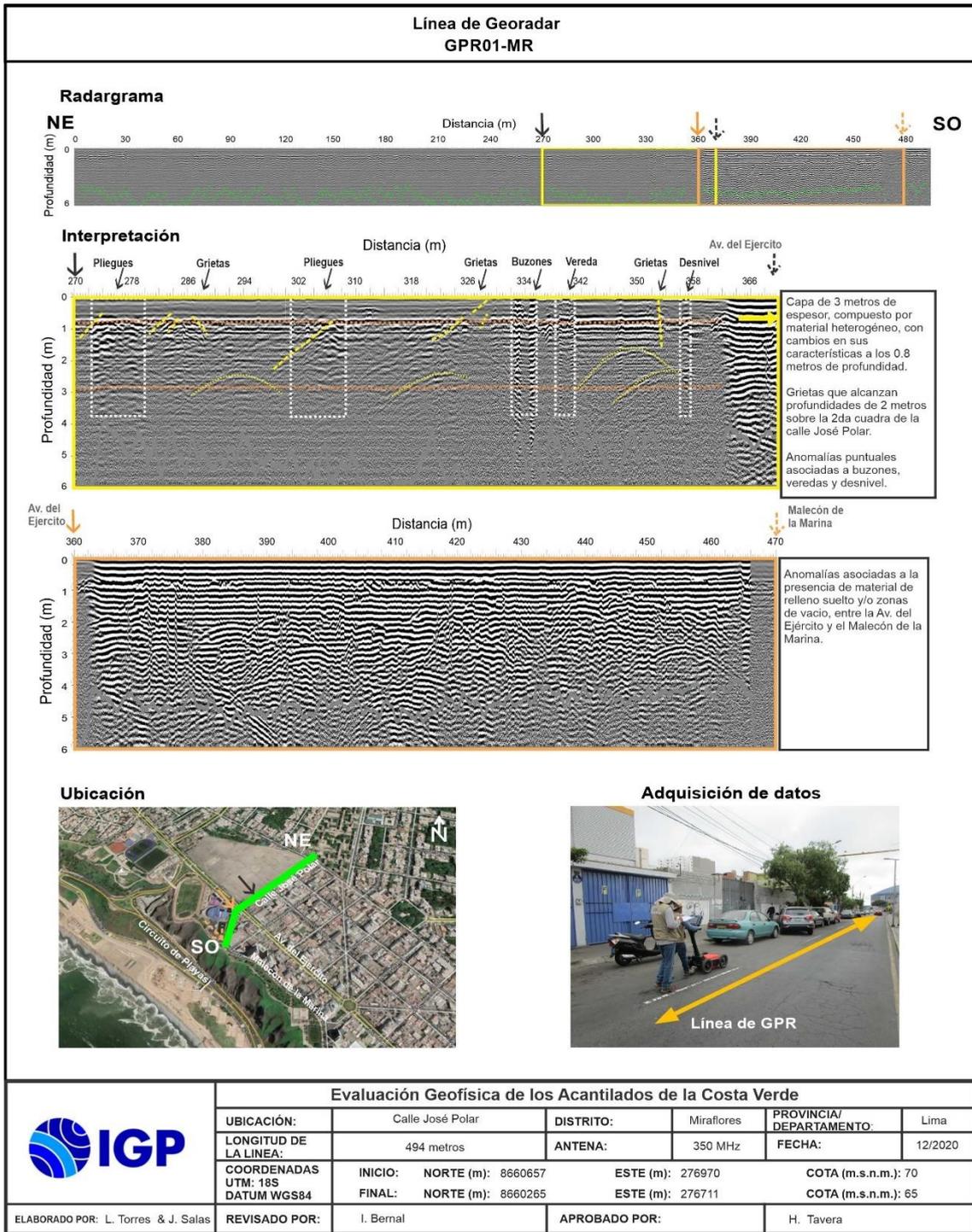


Figura 25. Resultados obtenidos con el ensayo de georadar para la línea GPR1-MR.

Línea GPR02-MR: Realizada en el Malecón de la Marina con una longitud de 705 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. Para la exploración en esta línea se utilizó una antena de 100 MHz y se llegó a identificar la presencia de una capa de 3 metros

de espesor compuesta por material heterogéneo. Asimismo, se identificó la existencia de anomalías asociadas a cavidades en el borde del ACV y zonas de asentamiento; a la altura del Complejo Deportivo Manuel Bonilla y entre la calle Federico Villareal con el Malecón de La Marina.

Línea GPR03-MR: Realizada en la calle Toribio Pacheco con una longitud de 294 metros y orientada en dirección SO a NE, perpendicular al acantilado. En esta línea se identifica la existencia de una capa de 3 metros de espesor conformada por material heterogéneo con cambios en sus características físicas a 1 metro de profundidad. Aquí, se identifica la presencia de grietas que alcanzan profundidades de hasta 1 metro distribuidos en la 1ra cuadra de la calle Toribio Pacheco. Asimismo, anomalías asociadas a tuberías, veredas y desniveles.

Línea GPR04-MR: Realizada en el parque Grau y la Av. José Pardo con una longitud de 551 metros y orientada en dirección O a E, perpendicular al acantilado. En la línea se identifica la existencia de una capa de 2.5 metros de espesor conformado por material heterogéneo con cambios en sus características físicas a 1 metro de profundidad. Se observa grietas que alcanzan profundidades de 1 metro en el parque Grau. Asimismo, se identifica anomalías en forma de parábolas que se asocian a estructuras de mayor tamaño.

Línea GPR05-MR: Realizada en el Malecón Cisneros con una longitud de 206 metros y orientada en dirección de NO a SE, paralela al acantilado. En la línea se identifica la presencia de una capa de 2.5 metros de espesor conformada por material heterogéneo con cambios en sus características a 0.8 metros. Se tiene grietas que alcanzan profundidades de hasta 1.5 metros, a la altura del centro promotor de

Tenis. Asimismo, se identifica anomalías en forma de pliegues con mayor amplitud asociadas a zonas de asentamiento del suelo.

Línea GPR06-MR: Realizada en la calle Roma (desde el parque Antonio Raimondi) con una longitud de 372 metros y orientada en dirección SO a NE, perpendicular al acantilado. En la línea se identifica la existencia de una capa de 2.5 metros de espesor conformada por material heterogéneo suelto, con un cambio en las características de los materiales a 1.5 metros. Se tiene grietas que alcanzan profundidades de hasta 1 metro, sobre la 4ta. cuadra de la calle Roma. Asimismo, se identifica anomalías asociadas a tuberías y cambio de material.

Línea GPR07-MR: Realizada en el Malecón de la Reserva (parque Letonia) con una longitud de 520 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. Se trabajó con la antena de 100 MHz. En esta línea se llegó a identificar la presencia de una capa de hasta 4 metros de espesor promedio, compuesta por material heterogéneo. Asimismo, se identifica la existencia de anomalías asociadas a cavidades en el borde de los ACV y zonas de asentamientos, a la altura de la calle Porta, sobre el Malecón de la Reserva.

Línea GPR08-MR: Realizada en el Malecón de la Reserva frente al Centro Comercial Larcomar con una longitud de 338 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. Se trabajó con la antena de 100 MHz. En la línea se identifica la presencia de una anomalía asociada a la zona de estacionamiento subterráneo del Centro Comercial.

Línea GPR09-MR: Realizada en el Malecón de la Reserva (parque Domodossola) con una longitud de 414 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. En la línea se identifica la existencia de una capa de 1.5 metros de espesor conformada por material

heterogéneo, se tiene grietas que alcanzan profundidades de hasta 1 metro, a la altura del parque Domodossola, y entre la calle San Ignacio de Loyola y la Av. Vasco Núñez de Balboa. Asimismo, presenta anomalías asociadas a asentamientos y desniveles.

Línea GPR10-MR: Realizada en el Circuito de Playas (playa Redondos) con una longitud de 579 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. Se tomó datos con la antena de 100MHz. En esta línea se identifica la presencia de una capa de 3 metros compuesta por material heterogéneo, principalmente a la altura del C.C. Larcomar, por la playa Redondos.

Línea GPR11-MR: Realizada en la Av. Vasco Núñez de Balboa (desde el parque Domodossola) con una longitud de 334 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, compuesta por material heterogéneo y la presencia de grietas que alcanzan profundidades de hasta 1.5 metros, distribuidas entre el parque Domodossola y a lo largo de la primera cuadra de la Av. Vasco Núñez de Balboa. Asimismo, se tiene anomalías asociadas a la presencia de tuberías, desniveles del suelo y cambios de material.

Línea GPR12-MR: Realizada en la Av. Del Ejército con una longitud de 430 metros y orientada en dirección de NO a SE, paralela al acantilado. En la línea se identifica la presencia de una capa de 2 metros de espesor conformada por material heterogéneo. Asimismo, se identifica anomalías puntuales asociados a la presencia de rejillas de metal y buzones.

Línea GPR13-MR: Realizada en la Av. Hipólito Unanue y la Av. Federico Villareal con una longitud de 330 metros y orientada en dirección S a N, perpendicular al acantilado. En la línea se identifica la

existencia de una capa de 2 metros de espesor conformada por material heterogéneo. Asimismo, se identifica anomalías puntuales asociado a presencia de buzones y cambio rápidos de materiales en superficie.

Línea GPR14-MR: Realizada en el Parque María Reiche con una longitud de 113 metros y orientada en dirección S a N, perpendicular al acantilado. En esta línea se llegó a identificar la presencia de una capa de hasta 1.5 metros de espesor compuesta por material heterogéneo. Asimismo, al final del perfil se identifica la existencia de fisuras que llegan a 1 metro de profundidad, algunas de ellas son visibles en superficie. Asimismo, se observan anomalías a causa de desniveles por efecto de las veredas y hundimientos del suelo.

Línea GPR15-MR: Realizada en la calle Contralmirante Villar con una longitud de 270 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. En la línea se identifica la existencia de una capa de 2 metros de espesor compuesta por material heterogéneo. Asimismo, se observa la presencia de anomalías puntuales a causa de cambio de material en superficie, gibas, entre otros.

Línea GPR16-MR: Realizada en la Av. Aviación con una longitud de 460 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. En la línea se identifica la existencia de una capa de 2 metros de espesor conformada por material heterogéneo; además de anomalías puntuales a causa de la presencia de tuberías, gibas y buzones.

Línea GPR17-MR: Realizada en la bajada Balta con una longitud de 560 metros y orientada en dirección SO a NE, perpendicular al acantilado. En esta línea se identifica la presencia de una capa de 2 metros de espesor compuesta por material heterogéneo; además de anomalías puntuales a causa de la presencia de tuberías.

Línea GPR18-MR: Realizada en la Av. Armendáris, con una longitud de 390 metros y orientada en dirección NO a SE, perpendicular al acantilado. En la línea se identifica la existencia de una capa de 1.5 metros de espesor compuesto por material heterogéneo. Asimismo, unas anomalías puntuales a causa de la presencia de buzones y otras a la altura del grifo Primax presente a una profundidad de 2.5 metros.

b) Interpretación

Los radargramas obtenidos para el distrito de Miraflores permiten identificar la presencia, en el subsuelo, de 2 capas con espesores de 1 a 4 metros. En estas capas se identifica la presencia de grietas, asentamientos de suelos y cavidades con las siguientes características:

- En el extremo norte del área de estudio, entre la calle José Polar (complejo deportivo Manuel Bonilla) y José Pardo (parque Grau), se observa la presencia de grietas en el suelo que alcanzan profundidades de 1 a 2 metros (GPR01-MR, GPR04-MR), al igual que un cambio de amplitud en los reflectores lineales sobre la calle José Polar entre la Av. del Ejército y el Malecón de la Marina ocasionados por cambios de materiales en los suelos y la presencia de zonas de vacío.

- Hacia la zona central, entre la calle José Pardo y la Bajada Balta, a lo largo del Malecón Cisneros se observa la presencia de grietas que llegan a 1 y 1.5 metros de profundidad (GPR05-MR, GPR06-MR), todas visibles en superficie, tal como ocurre cerca del Centro Promotor de Tenis (durante la toma de datos estuvieron realizando trabajos de reparación del suelo). Asimismo, sobresale a presencia de pliegues entrelazados en los primeros 2.5 metros de

profundidad debido a la presencia de zonas de asentamientos de suelo.

- En el extremo sur, entre el Malecón Balta y la Bajada Armendáriz (límite con el distrito de Barranco), a lo largo del Malecón de la Reserva se identifica la existencia de anomalías debido a la presencia de cavidades formadas por la erosión del material en el borde de los ACV. Asimismo, la existencia de anomalías a lo largo del C.C. Larcomar, entre las avenidas José Larco y Dallas, asociadas a la presencia de zonas vacías como las playas de estacionamiento subterráneas (GPR08-MR). Además, por los parques Letonia y Domodossola, sobresalen grietas, fisuras y asentamientos del suelo que alcanzan profundidades de hasta 1.5 metros (GPR11-MR).

- A lo largo del acantilado, se identifica a existencia de anomalías puntuales que están asociadas a la presencia de servicios de alcantarillado y buzones de agua, así como también cambios bruscos en los tipos de suelo (GPR01-MR).

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

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

2.5.1.- Adquisición de datos

Durante los trabajos de campo se recolectaron registros de vibración ambiental en 133 puntos utilizando sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 26).



Figura 26. Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales: sensor Lennartz (2N) y registradores CityShark II.

Los puntos de adquisición de datos se distribuyen siguiendo 27 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 en promedio. Asimismo, se adiciona 41 registros de vibración ambiental obtenidos en el área de estudio durante el año 2019 (Figura 27). 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 28, se muestra ejemplos de señales de vibración ambiental registrados en el punto ubicado en la Av. General Córdova, donde existe ruido de poca amplitud y/o saltos transitorios (MR01-01, suelos compactos),

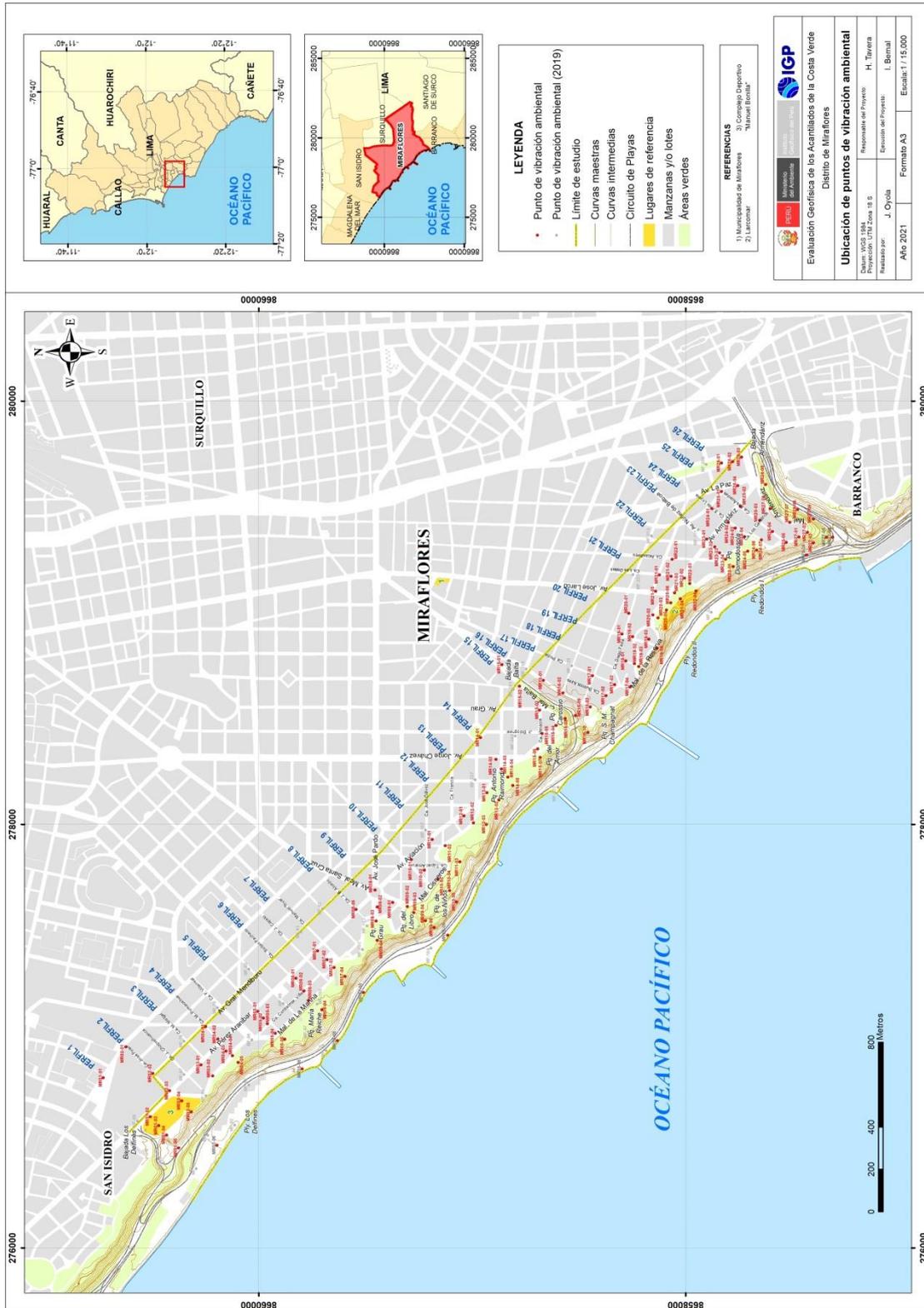


Figura 27. Distribución espacial de los puntos de registros de vibración ambiental, en los ACV del distrito de Miraflores. Los perfiles, consideran puntos distribuidos siguiendo líneas perpendiculares al acantilado. Los códigos en gris, corresponden a puntos de registro de la zona baja del acantilado y los puntos en gris, a los registros obtenidos en el año 2019.

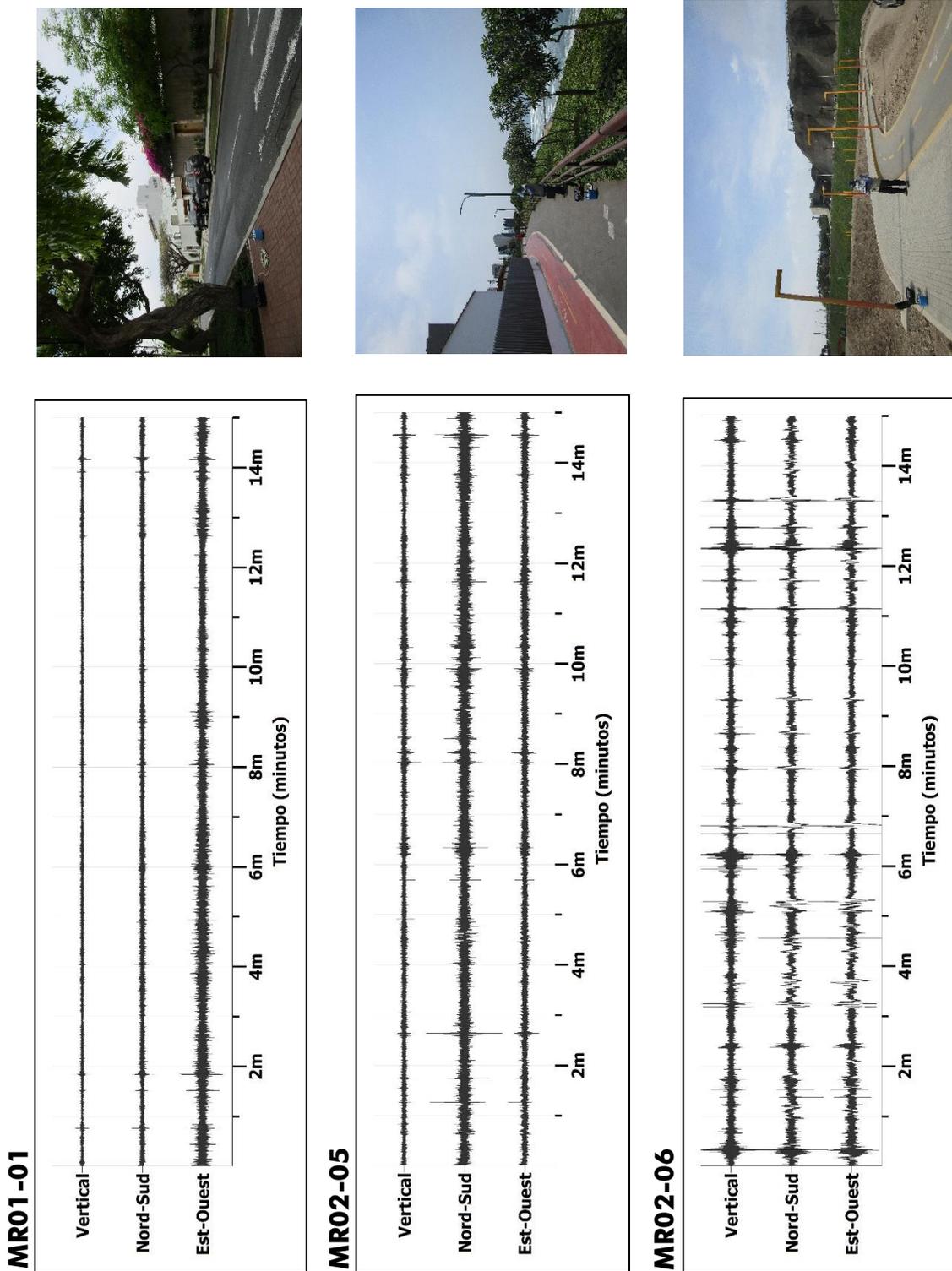


Figura 28. Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Registros obtenidos en la Av. General Córdova con ruido transitorio (MR01-01); Malecón de la Marina frente al complejo deportivo Manuel Bonilla sobre el acantilado con ruido constante (MR02-02) y en el circuito de playas (MR02-06). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

otro en el Malecón de la Marina frente al complejo deportivo Manuel Bonilla sobre el acantilado con presencia de ruido de fondo constante (MR02-05, suelos heterogéneos); y finalmente, otro ubicado en la Vía del Circuito de Playas con presencia de altos niveles de ruido (MR02-06, 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.

2.5.2.-Procesamiento y análisis

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

- ✓ Los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas de 20 segundos de señal no perturbada por el ruido de fondo. Para tal efecto, se selecciona de forma aleatoria diversos tramos de señal sin la presencia de ruidos transitorios.
- ✓ Se calcula la Transformada Rápida de Fourier para un número mayor a 10 ventanas de observación para cada punto, a fin de obtener los cocientes espectrales para cada componente de registro entre su componente vertical (E-O/V; N-S/V).
- ✓ Los espectros horizontales de la señal se dividieron entre el espectro vertical para obtener la relación H/V y luego se promediaron estos para cada punto de observación considerando su respectiva desviación estándar.
- ✓ Se procedió a identificar la frecuencia predominante considerando un rango de interés que fluctúa entre 0.5 a 20 Hz y picos/rangos con amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de "1" como punto de referencia), ver Figura 29.

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

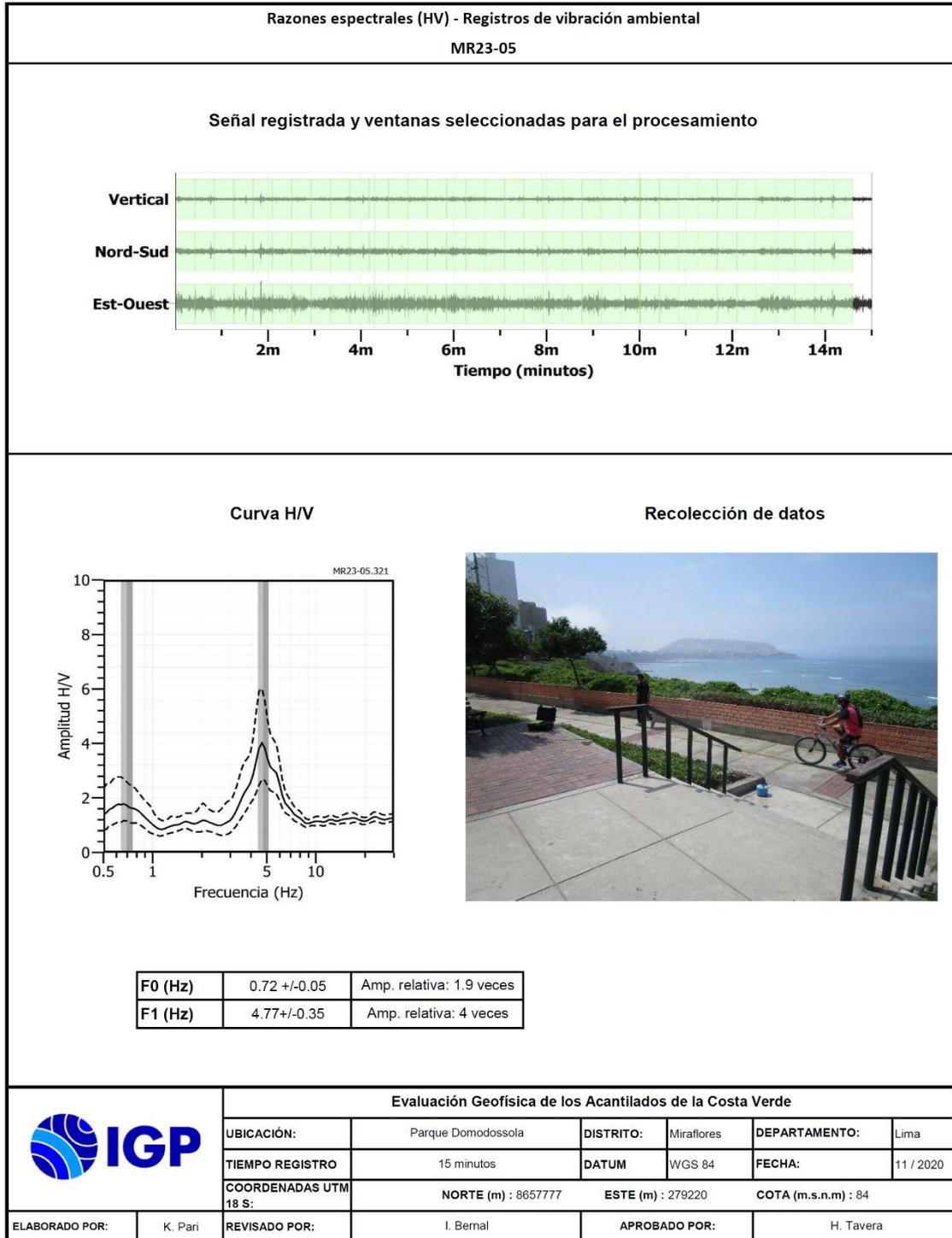


Figura 29. Resultados obtenidos con el método de razones espectrales (H/V) para el punto MR23-05. Arriba, la señal registrada y abajo la curva promedio de las razones espectrales (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

- ✓ 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 Miraflores, los suelos responden a dos rangos de frecuencias: Fo ($F \leq 2.0$ Hz) y F1 ($F > 2.0$ Hz); y su distribución espacial muestra que cerca del borde del acantilado prevalecen hasta tres picos de frecuencias bien definidos y conforme uno se aleja en dirección este (hacia el área urbana), aparece un pico de frecuencia con mínimas amplificaciones y/o ningún pico de frecuencia. Estas características sugieren que en las cercanías del acantilado los suelos son menos compactos y más heterogéneos.

- **Frecuencias predominantes F0:** En la Figura 30 se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de Fo, observándose en toda el área de estudio el predominio de valores entre 0.7 a 1.9 Hz (0.5 - 1.4 segundos) representados por un pico de frecuencia. Estos valores de baja frecuencia estarían asociados a la presencia de estratos profundos de gran espesor y que en este caso, correspondería a la terraza aluvial presente en los ACV.

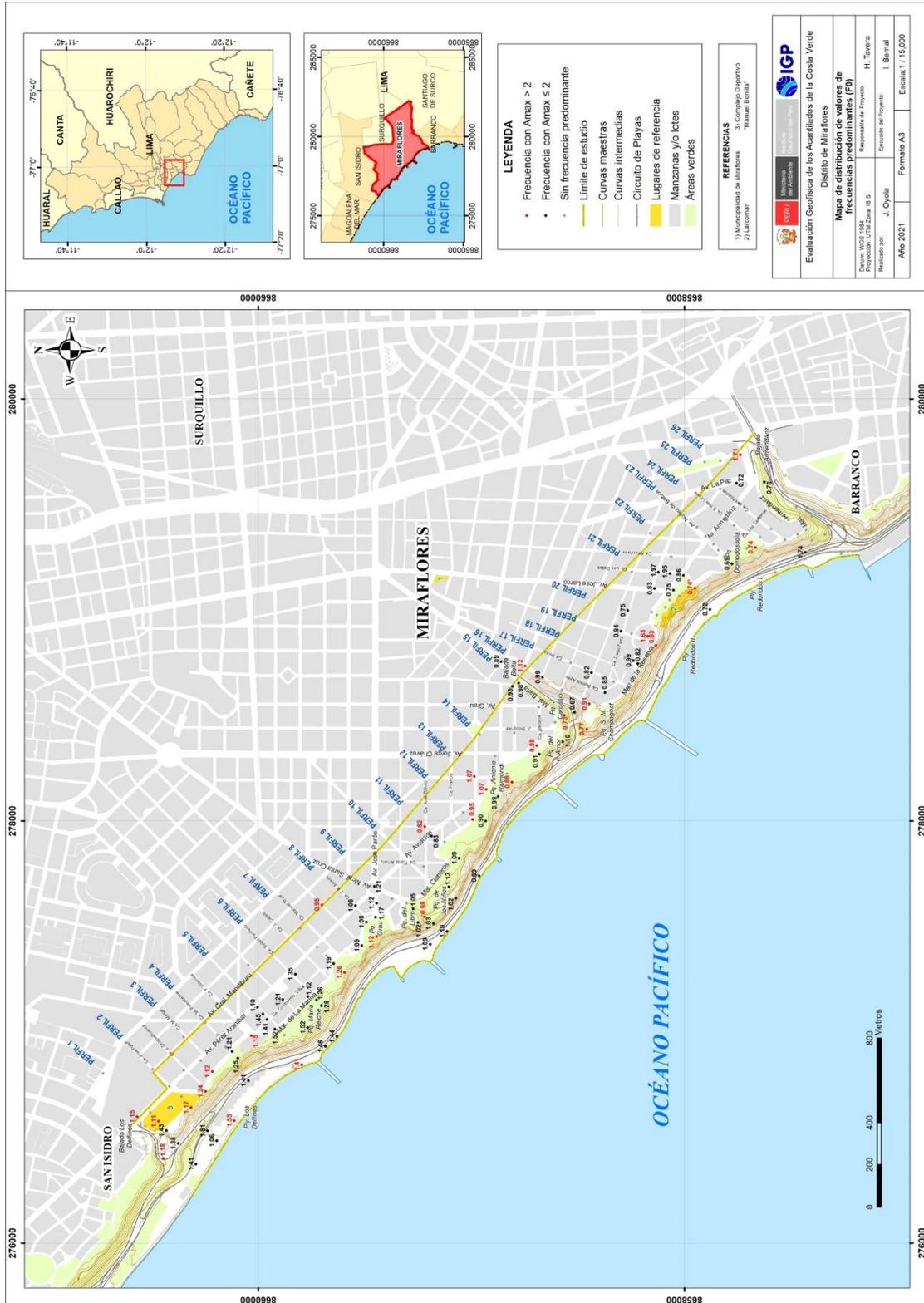


Figura 30. Distribución espacial de las frecuencias F0 ($F < 2.0\text{Hz}$). Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2 veces.

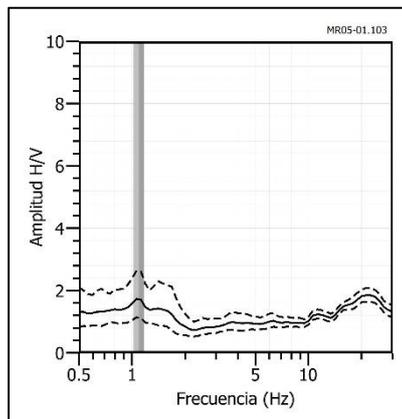
La Figura 31 muestra ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos MR05-01, MR06-01 y MR08-05, ubicados en el cruce de la Av. Pérez Aranibar y la calle José Polo, en la calle Toribio Pacheco con la Av. del ejército y finalmente, en la Av. Aviación con la calle J. B. Alcedo, todos ubicados sobre la terraza en la cual se asienta el distrito. En estos espectros sobresalen picos de frecuencias a 1.1, 1.2 y 1.1 Hz respectivamente y con amplificaciones menores a 2 veces.

- **Frecuencias predominantes F1:** En la Figura 32, se muestra la distribución espacial de los valores de F1, observándose el predominio de frecuencias entre 3 a 14 Hz (0.1-0.3 segundos) y el predominio de dos o más picos de frecuencias, todos en las proximidades del acantilado y en las Bajadas de Balta y Armendáriz. En general, en toda el área de estudio este rango de frecuencias presenta señales con amplificaciones mayores a 2 veces y en algunos casos dos y tres picos en las cercanías del acantilado. Los múltiples picos de frecuencia, son debidos a la presencia de suelos heterogéneos depositados sobre estratos compactos. En la zona que corresponde al circuito de playas, se identifica un pico de frecuencia bien definido y con valores entre 5 a 14 Hz; además de amplificaciones de hasta 7 veces, lo cual sugiere la presencia de suelos blandos.

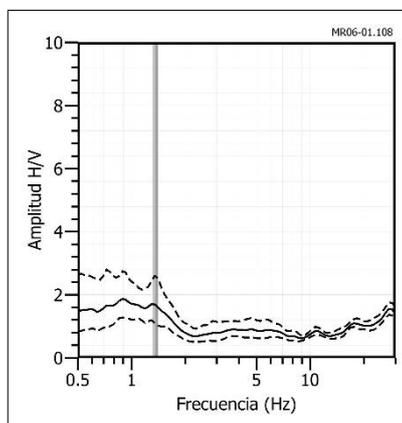
A fin de evaluar el comportamiento dinámico del suelo a lo largo del ACV del distrito de Miraflores, se analiza de manera conjunta la información contenida en cada gráfico de razones espectrales (H/V) para los 27 perfiles construidos de manera perpendicular al acantilado. En la Figura 33a, se muestra los gráficos de razones espectrales correspondientes a puntos del perfil P-02, siendo sus características las siguientes:

- En el punto MR02-04 ubicado a 70 metros del acantilado, próximo a la Av. Pérez Aranibar, no sobresale ningún pico de frecuencia predominante.

MR05-01



MR06-01



MR08-05

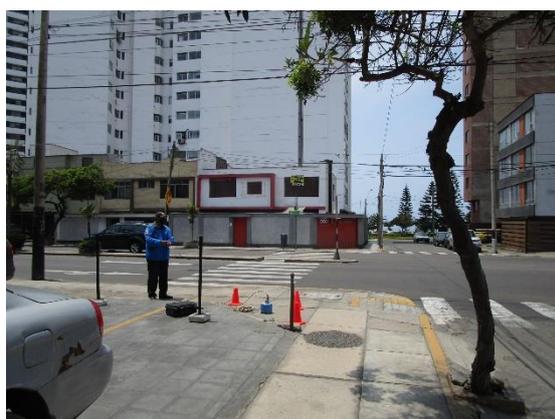
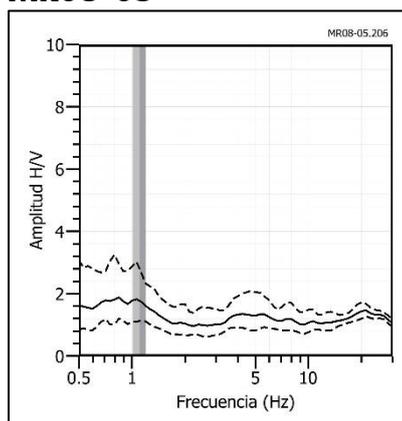


Figura 31. Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos MR05-01, MR06-01 y MR08-05, ubicados en el cruce de la Av. Pérez Araníbar y José Polo, el segundo en la calle Toribio Pacheco con la Av. del Ejército y el último en la Av. Aviación con la calle J. B. Alcedo. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

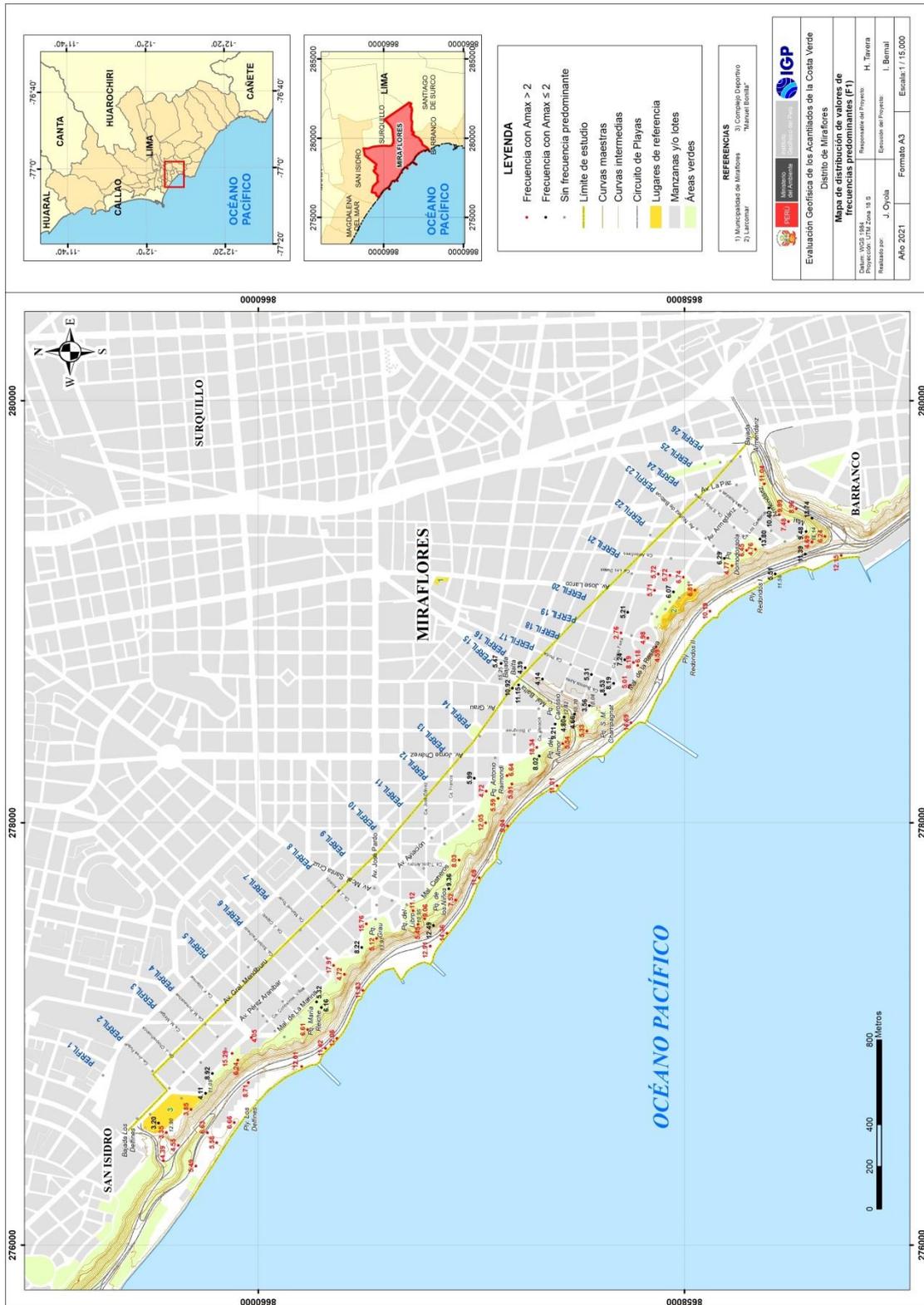


Figura 32. Distribución espacial de las frecuencias F1 ($F > 2.0\text{Hz}$). Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2 veces.

- En el punto MR02-05 ubicado sobre el acantilado en el Malecón de la Marina frente al complejo deportivo Manuel Bonilla, se observa la presencia de dos picos de frecuencia bien definidos a 1.2 y 3.8 Hz con amplificaciones mayores a 2 veces.
- En el tercer punto MR02-06, ubicado en la Vía de Circuito de Playas, sobresalen dos picos de frecuencia bien definidos a 1.1 y a 5.5 Hz con amplificaciones de hasta 6.5 veces.

Asimismo, en la Figura 33b, se muestra los gráficos de razones espectrales correspondientes a puntos del perfil P-04, siendo sus características las siguientes:

- En el punto MR04-03 ubicado a 75 metros del acantilado en dirección este, no sobresale ningún pico de frecuencia.
- En el punto MR04-05 ubicado sobre el acantilado, en el Malecón de la Marina, se observa dos picos a frecuencias de 1.2 y 6.2 Hz con amplificaciones de 1.8 y 2.8 veces respectivamente.
- En el tercer punto MF-93, ubicado en el circuito de playas, sobresale dos picos de frecuencia bien definidos a 1.4 y 8.7 Hz con amplificaciones de hasta 7.5 veces.
-

Finalmente, en la Figura 33c, se muestra los gráficos de razones espectrales correspondientes a puntos del perfil P-09, siendo sus características las siguientes:

- En el punto MR09-02, ubicado en el Malecón Cisneros, por la Calle 7 de Junio a 100 metros del acantilado y en dirección este, no sobresale ningún pico de frecuencia.
- En el punto MF-105, ubicado sobre el acantilado, en el parque de El Libro, se observa tres picos a frecuencias a 1.0, 5.4 y 10.9 Hz con amplificaciones de 1.6, 3.2 y 2.9 veces respectivamente.

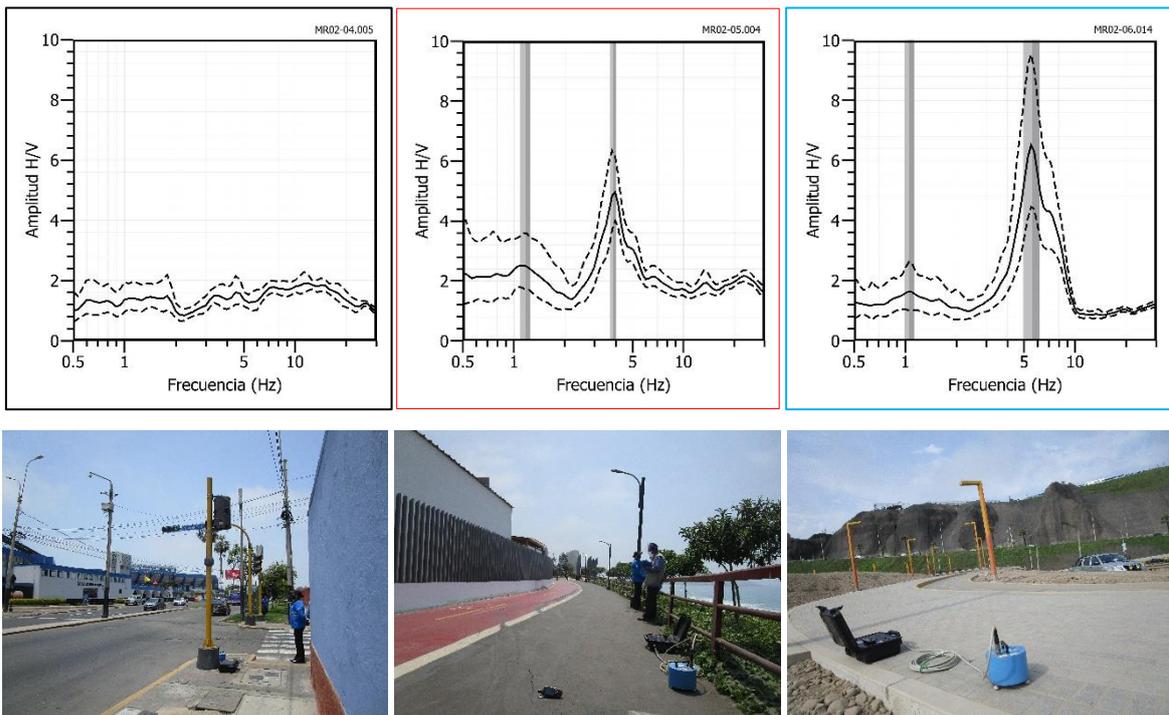


Figura 33. a) Razones espectrales obtenidas para puntos del perfil P-02 (MR02-04, MR02-05 y MR02-06), ubicados de Este a Oeste, a 70 metros del acantilado, a 2 metros y el tercero en el circuito de playas.

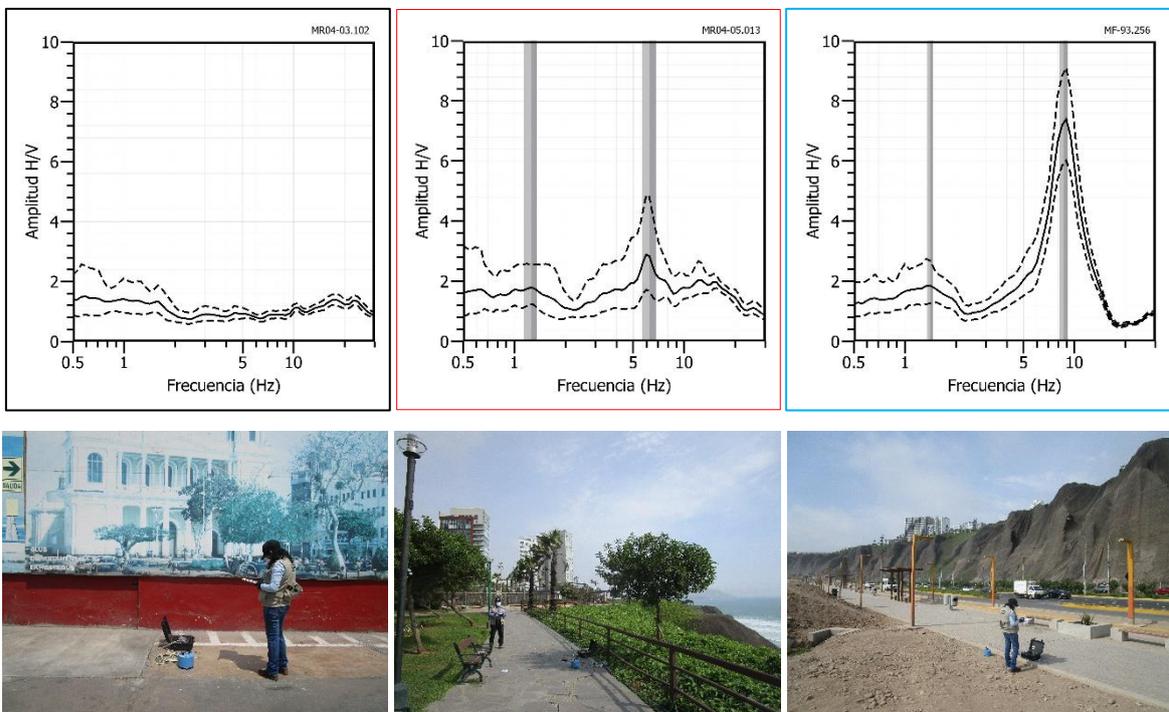


Figura 33. b) Razones espectrales obtenidas para puntos del perfil P-04 (MR04-03, MR04-05 y MF-93), ubicados de Este a Oeste, a 75 metros del acantilado, a 2 metros y el tercero en el circuito de playas.

- En el tercer punto MF-104 ubicado en el circuito de playas, sobresalen dos picos de frecuencia bien definidos a 1.1 y 12.9 Hz con amplificaciones de hasta 4 veces.

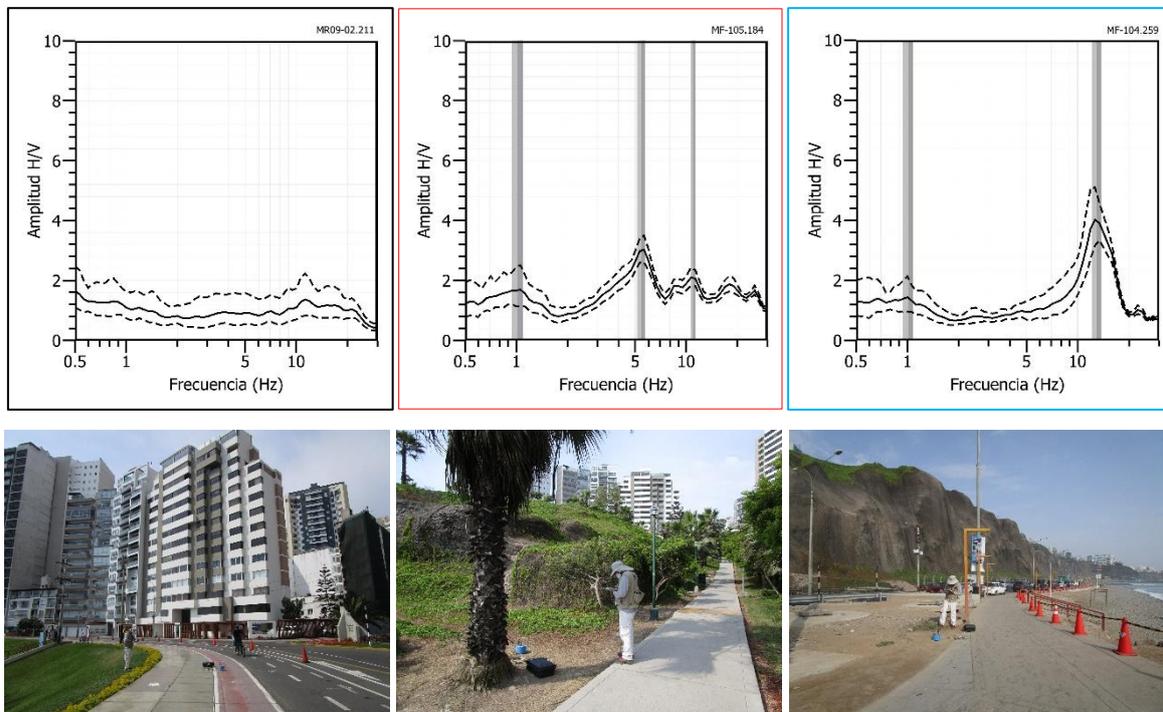


Figura 33. c) Razones espectrales obtenidas para puntos del perfil P-09 (MR09-02, MF-105 y MF-104), ubicados de Este a Oeste, a 100 metros del acantilado, a 2 metros del acantilado y el tercero en el circuito de playas.

De acuerdo a este análisis, el número de picos de frecuencias, formas de las curvas y factores de amplificación relativa, muestran un cambio en el comportamiento dinámico del suelo a diferentes distancias del acantilado. A mayor distancia, el suelo responde a un pico de frecuencia con bajas amplificaciones evidenciando que los suelos son más estables, situaciones diferentes se observan en el borde del acantilado y en la Vía Circuito de Playas, donde los suelos se muestran más heterogéneos y no compactos.

- **Periodos Dominantes:** Para presentar los resultados finales los valores de frecuencias predominantes fueron transformados a periodos dominantes y para construir el mapa de periodos, se asignó a cada punto de medición un radio de confiabilidad de 10 metros, lo cual facilita los procedimientos seguidos para la zonificación de los suelos. Según la Figura

34, los periodos dominantes fueron separados en dos grupos, en color negro para periodos menores a 0.3 segundos y en gris para periodos mayores.

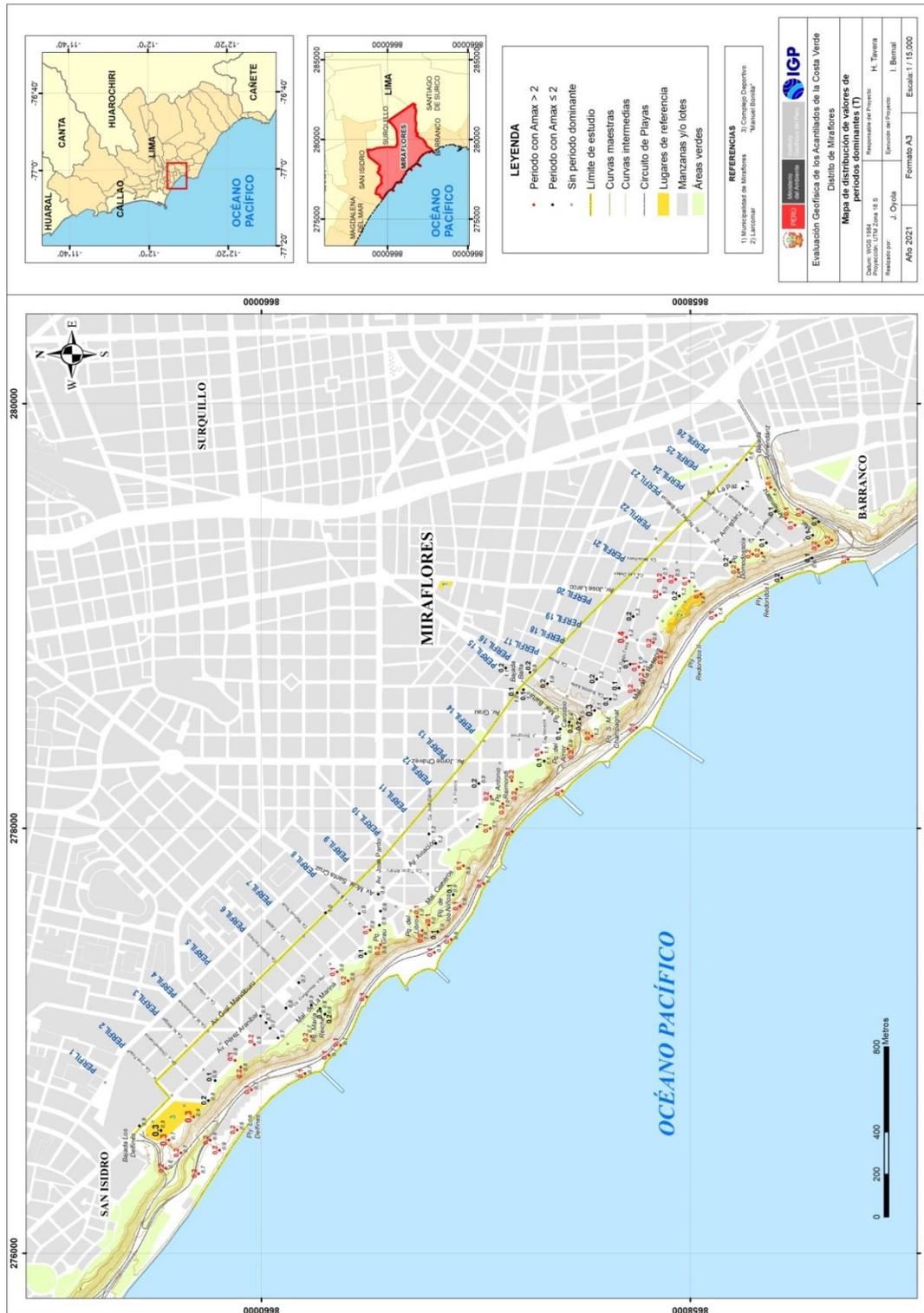


Figura 34. Distribución espacial de periodos dominantes del suelo para el distrito de Miraflores. Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2 veces.

Los resultados muestran que los suelos en los ACV del distrito de Miraflores responden principalmente a dos rangos de periodos: Próximos al acantilado, los suelos responden a más de dos picos con valores entre 0.1 y 1.4 segundos, evidenciando la presencia de suelos heterogéneos y no compactos. A mayor distancia, en dirección este, los suelos responden a un único pico de periodo (0.6 – 1.4 segundos) con bajas amplificaciones y en muchos casos, no se identifica ningún periodo, lo cual evidencia la presencia de suelos homogéneos y compactos. Entre el Malecón Balta y la Bajada de Armendáriz, se tiene el predominio de periodos de 0.1 y 0.2 segundos, evidenciando que la capa superficial presenta similar espesor, desde el borde del acantilado hasta los 200 metros en promedio, hacia el área urbana.

2.6.- Método gravimétrico

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

2.6.1.- Adquisición de datos

En el área de estudio, se recolectaron 24 datos gravimétricos distribuidos en 2 líneas con longitudes de 588 y 485 metros; orientadas de manera perpendicular al acantilado del distrito de Miraflores (Figura 35). 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 36. Asimismo, con la finalidad de contar con coordenadas precisas de los puntos de medición se realizaron mediciones GNSS en modo estático en cada punto gravimétrico. Para realizar las correcciones, se considera como punto de gravedad absoluta la estación de SAMI (978285.488 mGal), ubicada en el distrito de San Miguel (273478.1432 E, 8663109.829N y 56.75 metros de elevación).



Figura 36. Estación gravimétrica base SAMI ubicada en el distrito de San Miguel.

2.6.2.- Procesamiento y análisis

Para conocer los valores de anomalías de Bouguer corregida, los datos recolectados en campo fueron corregidos por latitud, marea, topografía, aire libre y corrección de Bouguer (Kane, 1962; Nagy, 1966). Para este objetivo se utilizó el software Oasis Montaj de Geosoft y un valor de densidad media para 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) a fin de determinar en detalle, la profundidad de las anomalías. El método consiste en transformar la grilla de las anomalías residuales en el dominio del espacio, al dominio de frecuencias.

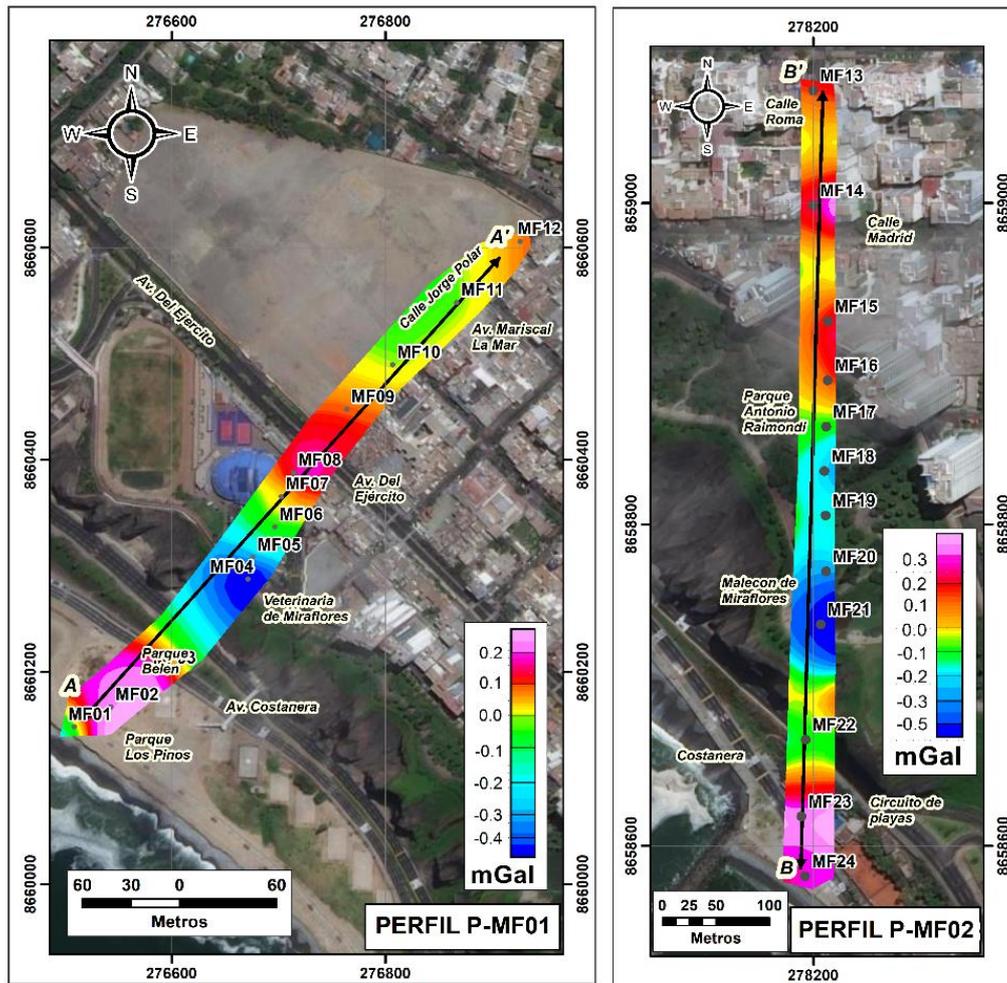


Figura 37. Mapa de anomalía residual de Bouguer, Los perfiles A-A' y B-B' corresponden a los perfiles P-MF01 y P-MF02, que cruzan el complejo deportivo Manuel Bonilla y el parque Antonio Raimondi, respectivamente.

2.6.3.- Resultados e interpretación

a) Resultados

En los perfiles gravimétricos, los valores de anomalías residuales varían de -0.5 a 0.3 mGal (Figura 37), centrándose los valores bajos en el

borde del acantilado debido a que estarían asociados a la presencia de capas de gran espesor compuestas por material heterogéneo. Los valores altos (0.3 mGal) están presentes en la parte baja del acantilado.

Seguidamente, utilizando como datos de entrada los valores de anomalía residual de Bouguer y la topografía local del área de estudio, se elaboraron dos perfiles gravimétricos (MF01 y MF02) y para ello se utilizó el módulo GM-SYS del software Oasis Montaj.

Perfil gravimétrico MF01: En la Figura 38 observa que las variaciones de la anomalía residual reflejan cambios en la densidad de los materiales en profundidad (puntos negros). El perfil obtenido define la existencia de tres capas de suelo:

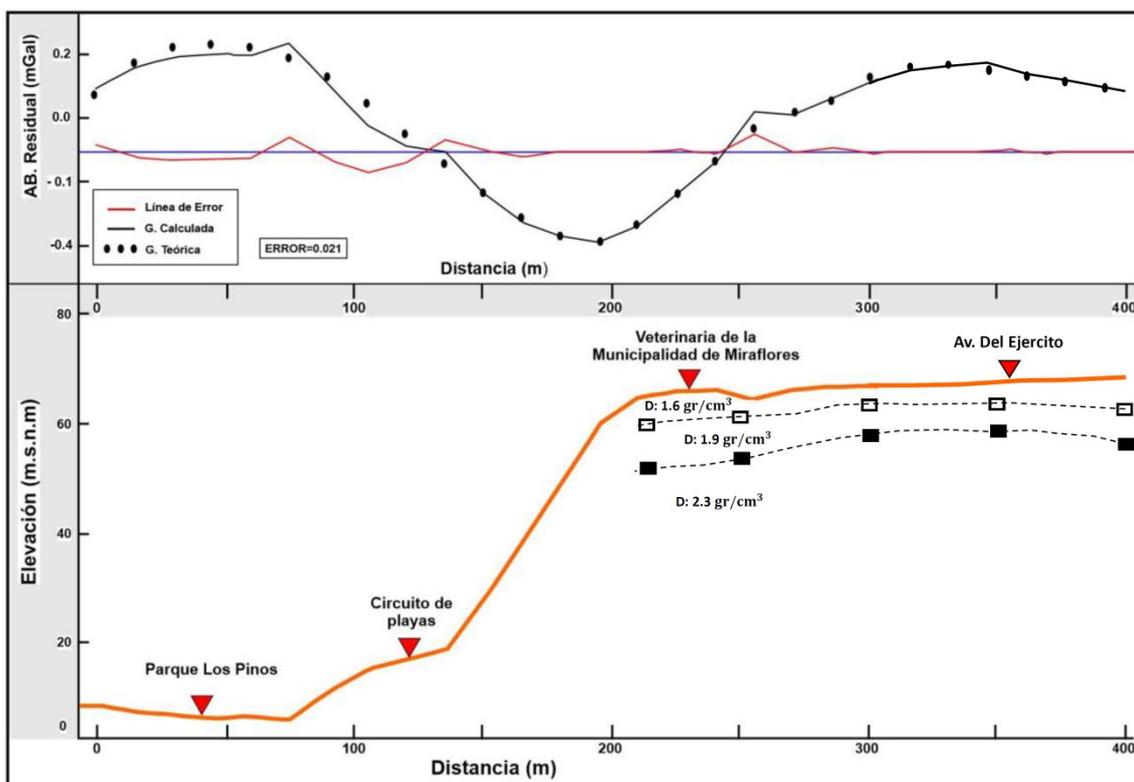


Figura 38. Perfil gravimétrico MF01, orientada de suroeste-noreste. En el extremo superior, los puntos representan la gravedad observada y la curva negra la gravedad calculada. En el extremo inferior se muestra el perfil gravimétrico propuesto.

- La primera capa de baja densidad (1.6 gr/cm^3) presenta espesores que varían desde 5 metros en las proximidades del acantilado hasta 10 metros hacia el extremo NE, área urbana (Av. Ejército y Av. Mariscal La Mar).
- La segunda capa con una densidad de 1.9 gr/cm^3 y espesores de 10 a 5 metros.
- La tercera capa con una densidad 2.3 gr/cm^3 y espesores de hasta 25 metros.

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

Perfil gravimétrico MF02: En la Figura 39 se observa que las variaciones de la anomalía residual reflejan cambios en la densidad de los materiales en profundidad. El perfil obtenido define la existencia de tres capas de suelo:

- La primera capa con una densidad de 1.6 gr/cm^3 y espesores que varían desde 4 a 7 metros.
- La segunda capa con una densidad de 1.9 gr/cm^3 y espesores de 5 a 15 metros, siendo mayor en el Parque Antonio Raimondi y Vía Circuito de Playas.
- La tercera capa con una densidad 2.3 gr/cm^3 y espesores que van de 6 metros entre la Costanera y la Vía Circuito de Playas hasta 30 metros a lo largo de toda la parte alta del acantilado. A mayor profundidad y con espesor indeterminado, existe una capa con suelos más densos (2.5 gr/cm^3) compuestos por material gravoso.

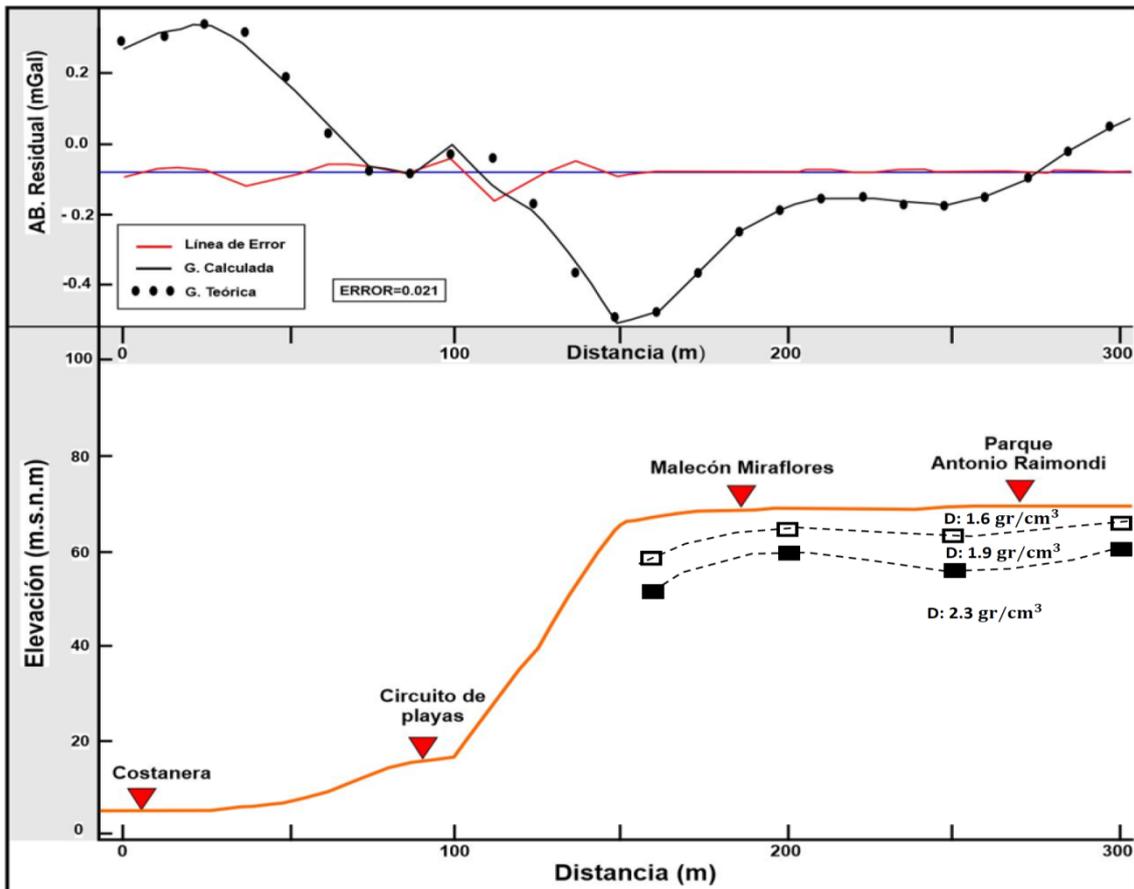


Figura 39. Sección gravimétrica MF02, orientada de sur norte. En el extremo superior, los puntos representan la gravedad observada y la curva negra la gravedad calculada. En el extremo inferior se muestra la sección gravimétrica propuesta.

b) Interpretación

Los resultados obtenidos del análisis realizado en los perfiles gravimétricos, fueron correlacionados con la información obtenida de los estudios de refracción sísmica, MASW y HV. En los ACV del distrito de Miraflores, el subsuelo está constituido por tres capas con espesores bien definidos y valores de densidad que se incrementan gradualmente de 1.6 a 2.3 gr/cm³: La primera capa presenta espesores que varían entre 4 y 10 metros, y estaría compuesta por materiales heterogéneos y/o rellenos poco consolidados. La segunda con espesores de 5 a 15 metros y la tercera con espesores de hasta 30 metros, estarían constituidos por gravas y conglomerados consolidados que incrementan su densidad en 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 Miraflores fue realizada usando datos e información generada a partir de la aplicación de 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 Miraflores, 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 ha recolectado datos geofísicos en la parte alta del acantilado (velocidades de ondas longitudinales- V_p , perfiles unidimensionales de ondas de corte - V_s , secciones geoeléctricas y curvas de razones espectrales) considerando tendidos lineales que han sido ubicados estratégicamente para conocer los espesores y densidades de los diferentes materiales que conforman el subsuelo hasta una profundidad de aproximadamente 60 metros.

En base a los resultados obtenidos y para una mejor interpretación de los mismos, los ACV del distrito de Miraflores han sido divididos en 3 sectores y sus características físicas son descritas a continuación:

Extremo norte

Entre la bajada Los Delfines y la calle Manuel Tovar (Figura 40), se ha identificado en el subsuelo la presencia de 3 capas:

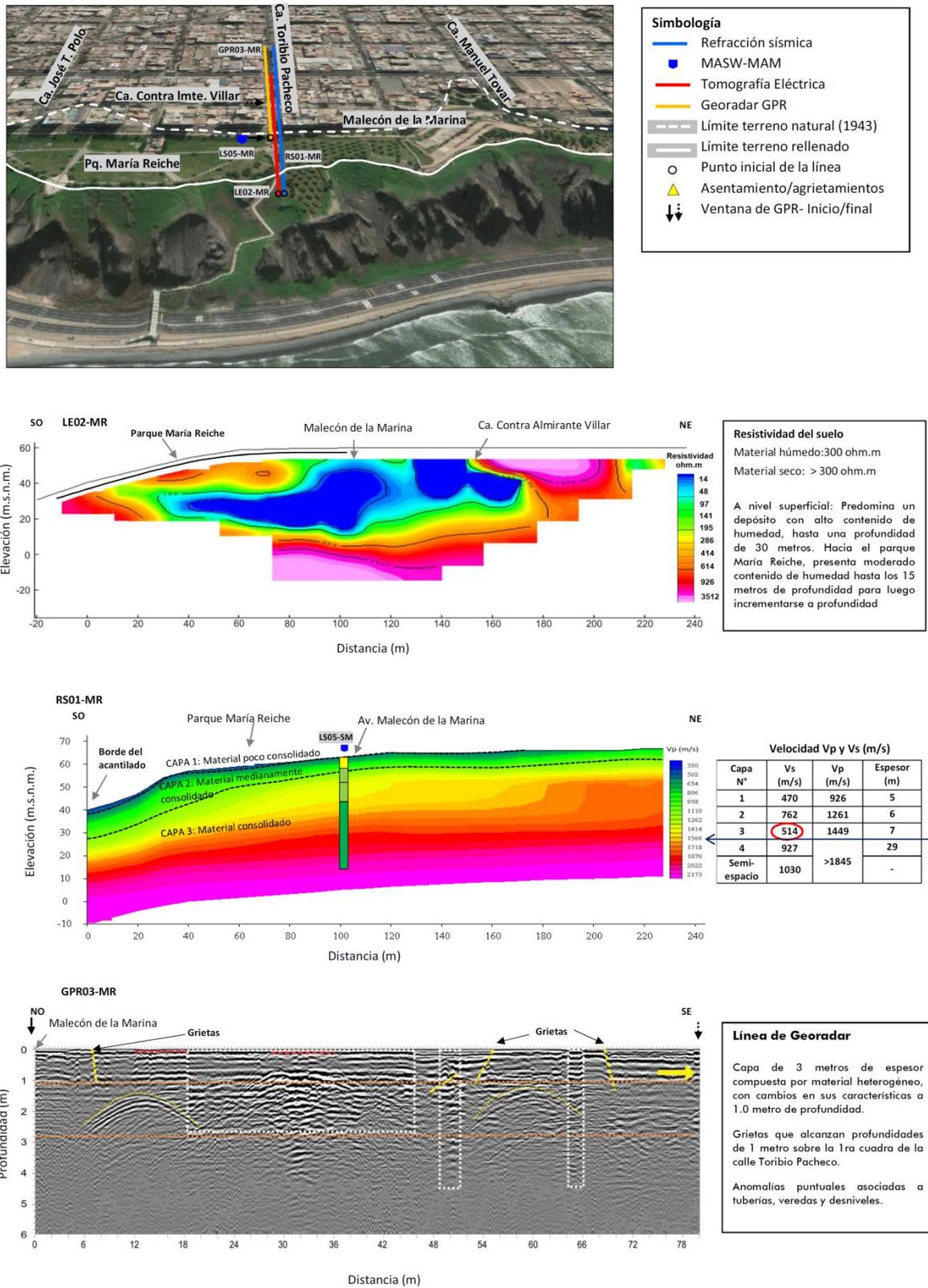


Figura 40. Correlación de los resultados obtenidos con los métodos de tomografía eléctrica, refracción sísmica, MASW-MAM y georadar, para el extremo norte del distrito de Miraflores (Parque María Reiche). En la tabla de velocidades, se resalta con una elipse la capa de baja velocidad (Vs)

- *La primera capa está constituida por materiales heterogéneos medianamente compactos ($V_s = 470$ m/s; $V_p = 929$ m/s) y con espesores de hasta 5 metros. Estos suelos presentan diferentes contenidos de humedad que disminuyen en dirección noreste, lo cual evidencia que en esta capa el mayor contenido de humedad se encuentra en el parque María Reiche.*
- *La segunda capa está constituida por material aluvial compacto ($V_s=762$ m/s; $V_p= 1261$ m/s) con espesores de hasta 6 metros. Estos suelos presentan de moderado a alto contenido de humedad.*
- *La tercera capa está constituida por material aluvial heterogéneo medianamente compacto ($V_s=514$ m/s; $V_p= 1449$ m/s) con espesores de hasta 7 metros. Estos suelos presentan de moderado a alto contenido de humedad.*

En este sector y a niveles superficiales, se ha identificado la presencia de grietas en el suelo paralelas al acantilado y a lo largo de la 1ra cuadra de la calle Toribio Pacheco hasta profundidades de 1.0 metro. A mayor distancia, hacia el área urbana, los suelos son compactos y están compuestos por material aluvial gravoso con alta rigidez; sin embargo, según los resultados obtenidos con MASW, a los 11 metros de profundidad existe una capa de baja velocidad para las ondas de corte ($V_s = 514$ m/s) para luego incrementarse en la siguiente capa. Esta capa de baja velocidad contribuye con la inestabilidad del terreno.

Zona central

Entre la calle Manuel Tovar y la Bajada Balta (Figura 41), se ha identificado la presencia en el subsuelo de 3 capas con las siguientes características:

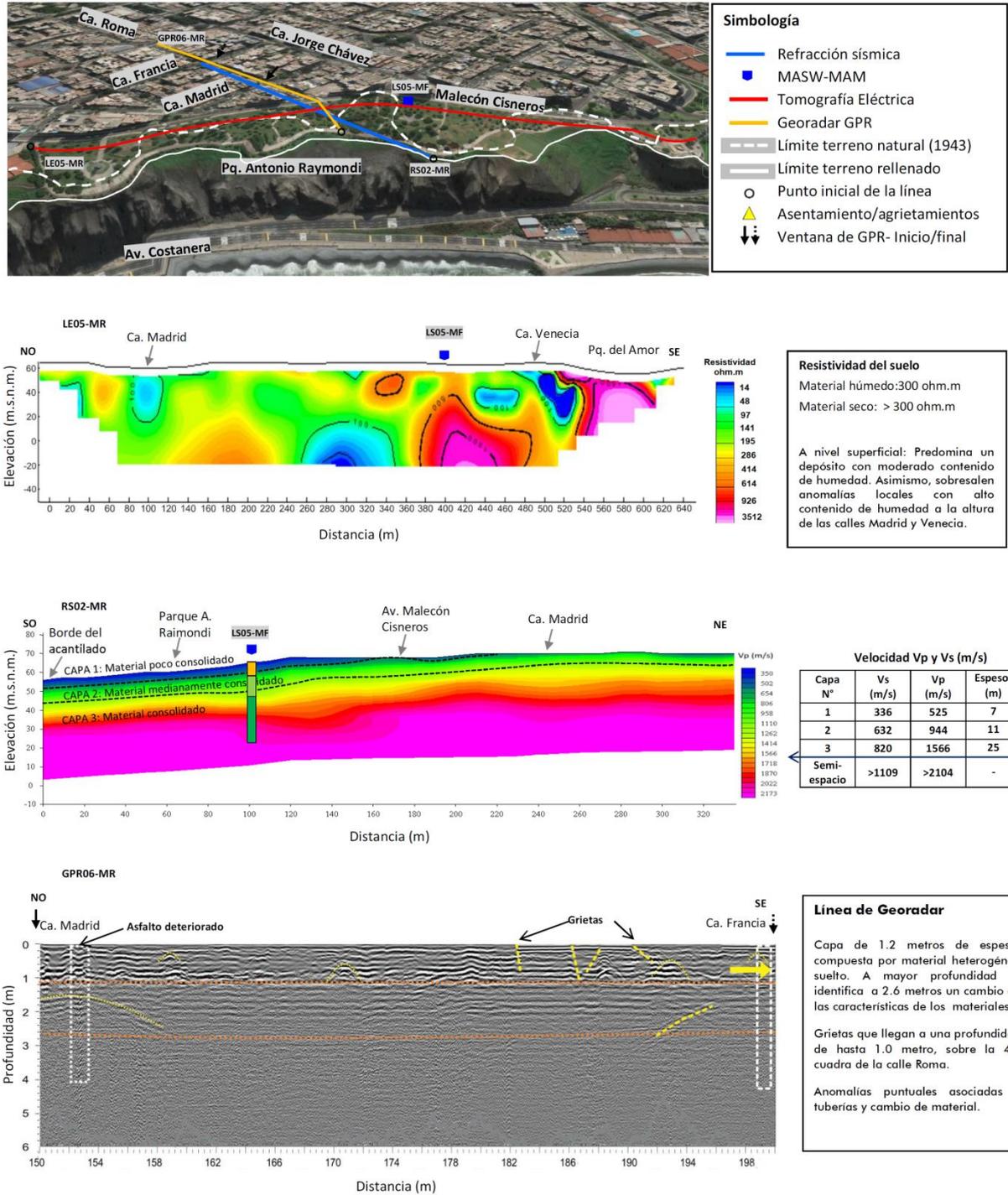


Figura 41. Correlación de los resultados obtenidos con los métodos de tomografía eléctrica, refracción sísmica, MASW-MAM y georadar para el sector central del distrito de Miraflores (Parque Antonio Raimondi).

- *La primera capa está constituida por depósitos aluviales heterogéneos poco consolidados ($V_s = 336$ m/s; $V_p=525$ m/s) con espesores de hasta 7 metros. Estos suelos presentan, moderado contenido de humedad y de manera puntual a la altura de las calles Venecia y Madrid, solo material con alto contenido de humedad.*
- *La segunda capa está constituida por depósitos aluviales medianamente consolidados ($V_s=632$ m/s; $V_p=944$ m/s) con espesores de hasta 11 metros. Estos suelos presentan moderado contenido de humedad y están compuestos por gravas.*
- *La tercera capa está compuesta por materiales compactos ($V_s=820$ m/s; $V_p=1566$ m/s) con espesores de 25 metros. Estos suelos están conformados por gravas con moderado contenido de humedad.*

A mayor distancia, hacia el área urbana, los suelos son compactos y están compuestos por material aluvial gravoso de alta rigidez. Sin embargo a nivel superficial, se identifica la presencia de grietas que llegan profundidades de hasta 1 metro, principalmente sobre la 4ta cuadra de la calle Roma.

Extremo sur

Entre las Bajadas Balta y Armendáriz (Figura 42), se ha identificado en el subsuelo la presencia de 3 capas con las siguientes características:

- *La primera capa con espesores de hasta 5 metros está conformada por material aluvial suelto a medianamente compacto ($V_s = 210$ m/s; $V_p = 434$ m/s). Estos suelos presentan moderado contenido de humedad que disminuye en dirección noroeste.*

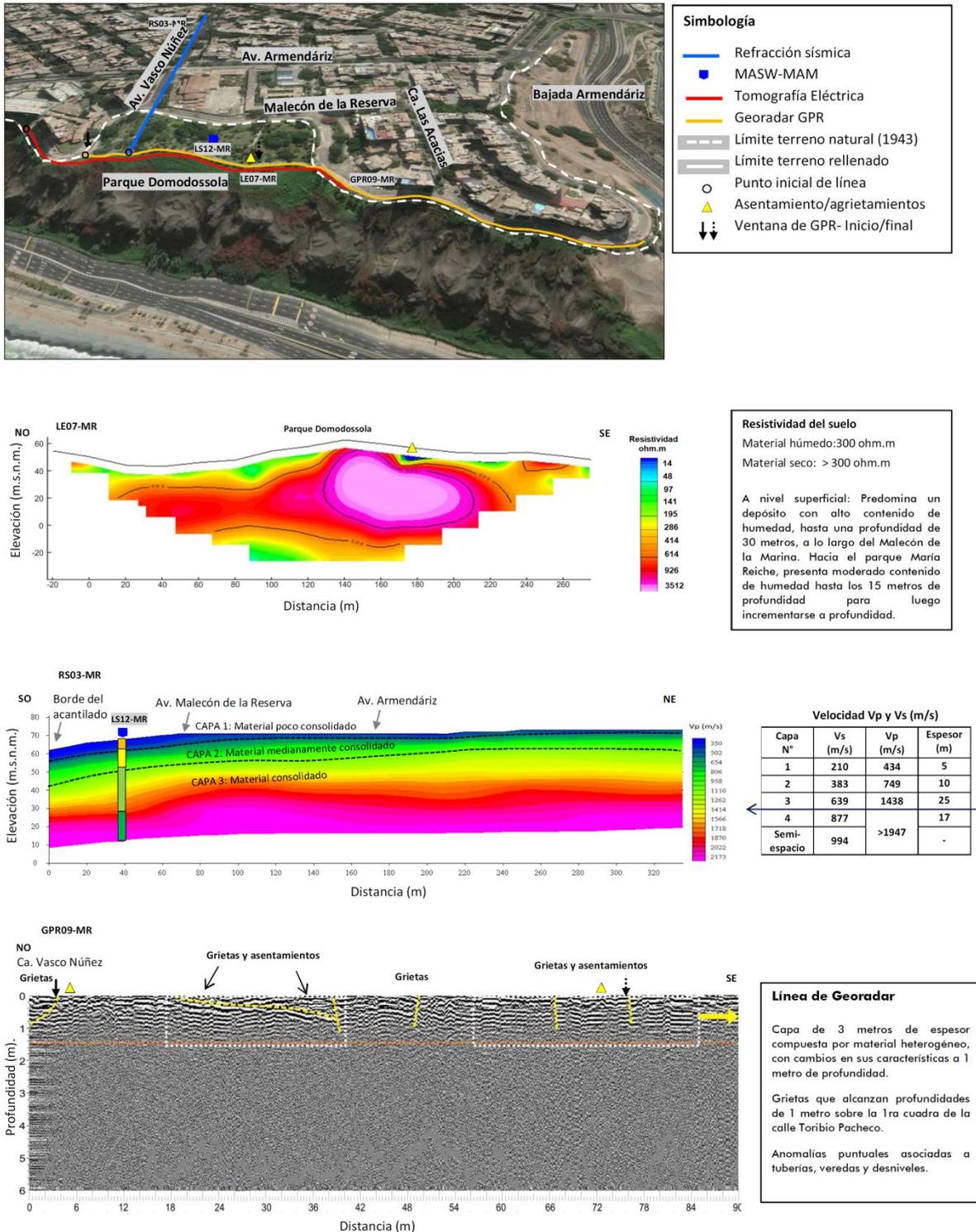


Figura 42. Correlación de los resultados obtenidos con los métodos de tomografía eléctrica, refracción sísmica, MASW-MAM y georadar para el extremo Sur del distrito de Miraflores (Parque Domodossola).

- *La segunda capa con 10 metros de espesor está constituida por materiales aluviales medianamente compactos ($V_s=383$ m/s; $V_p=749$ m/s). Estos suelos presentan moderado contenido de humedad.*
- *La tercera capa de 25 metros de espesor corresponde a un estrato muy compacto ($V_s=639$ m/s; $V_p = 1438$ m/s), debido a que está conformada por gravas en estado seco.*

En el parque Domodossola y a niveles superficiales, se tiene la presencia de grietas en el suelo a lo largo de las cuales se han producido asentamientos y desplazamientos próximos al acantilado con profundidades de hasta 1.0 metro, principalmente sobre la 1ra cuadra de la calle Toribio Pacheco.

En la Figura 43, se muestra los resultados obtenidos con el método sísmico y la variación de las velocidades de ondas a lo largo del borde del acantilado. A nivel superficial se observa el predominio de suelos que están conformados por materiales sueltos a medianamente compactos y que corresponden a las dos primeras capas de espesores variable definidas en los perfiles unidimensionales del suelo; ambas con velocidades de ondas de corte de $V_s < 500$ m/s y velocidades de ondas longitudinales de $V_p < 1000$ m/s. En general, a mayor profundidad las velocidades de las ondas sísmicas se incrementan debido al predominio de material aluvial compuesto por gravas compactas; sin embargo, a la altura del parque María Reiche (LS05-MR), se evidencia que a la profundidad de 11 metros la velocidad de las ondas disminuye de 700 m/s a 500 m/s para dar lugar a una capa de 7 metros de espesor.

Entre el Complejo Deportivo Manuel Bonilla y el parque María Reiche, el estrato superficial de material heterogéneo ($V_s < 500$ m/s) presenta espesores promedios de 7 metros y entre los parques Grau, de Los Niños y Antonio Raimondi, espesores promedios de 13 metros

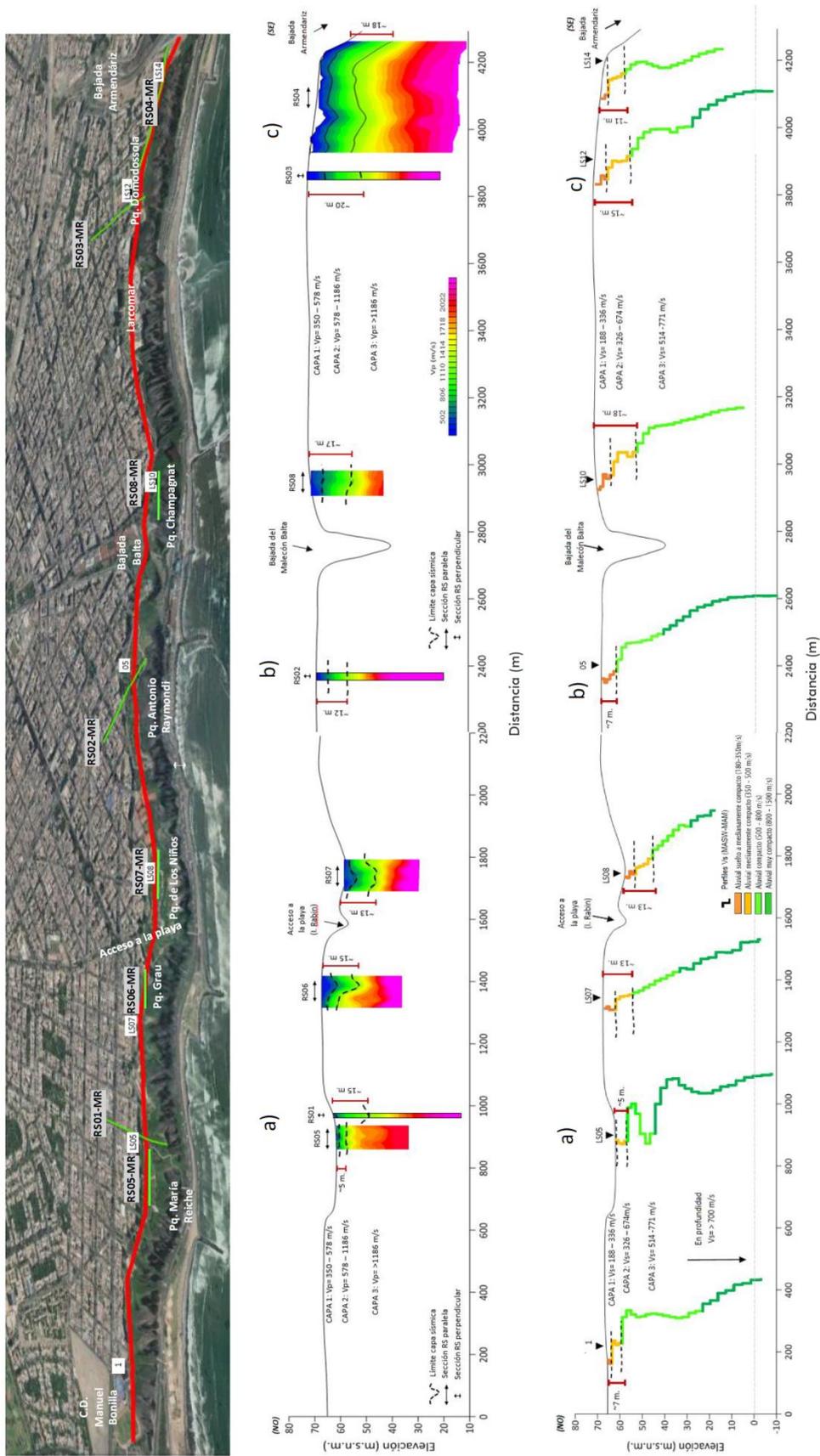


Figura 43. Variación de las velocidades de ondas (V_p , V_s) y espesores de las capas del subsuelo en el borde del ACV en el distrito de Miraflores. Resultados obtenidos con el método de refracción sísmica, MASW y MAM.

Al sur de la Bajada Balta, en el parque Champagnat y Domodossola, este estrato presenta espesores de 18 metros, mayor a lo observado en su extremo norte; mientras que, a la altura de la bajada de Armendáriz, disminuye a 11 metros.

En general, a nivel superficial los suelos menos consolidados se encuentran en el extremo sureste, desde la bajada Balta hasta la bajada Armendáriz, identificándose además, la presencia de intercalaciones de estratos de material fino con mayores espesores que en resto del área de estudio (Figura 43).

Analizando imágenes frontales del acantilado y su correlación con los resultados obtenidos con los métodos sísmicos y de eléctrica, se distingue las dos capas superficiales con las siguientes características (Figura 44):

- A la altura del Complejo Deportivo Manuel Bonilla y el parque María Reiche (Figuras 44 a,b), se observa la presencia de un estrato de material heterogéneo emplazado sobre capas de gravas y material fino de mayor espesor. Según los resultados obtenidos con el método sísmico, se tiene el predominio de materiales sueltos a medianamente compactos ($V_s < 500 \text{m/s}$) en las dos primeras capas de 7 metros de espesor y conforme se tiende hacia el extremo sur del parque María Reiche, el espesores se incrementa a 15 metros. Este material aluvial presenta un horizonte geoelectrico con moderado contenido de humedad; sin embargo, sobresale la presencia de intrusiones y/o franjas de materiales con alto contenido de humedad ($< 80 \text{ Ohm-m}$), que atraviesan este horizonte para luego aflorar hacia el extremo NO de la sección, próximo al complejo deportivo y a mayor profundidad (20 metros) hacia el parque María Reiche.

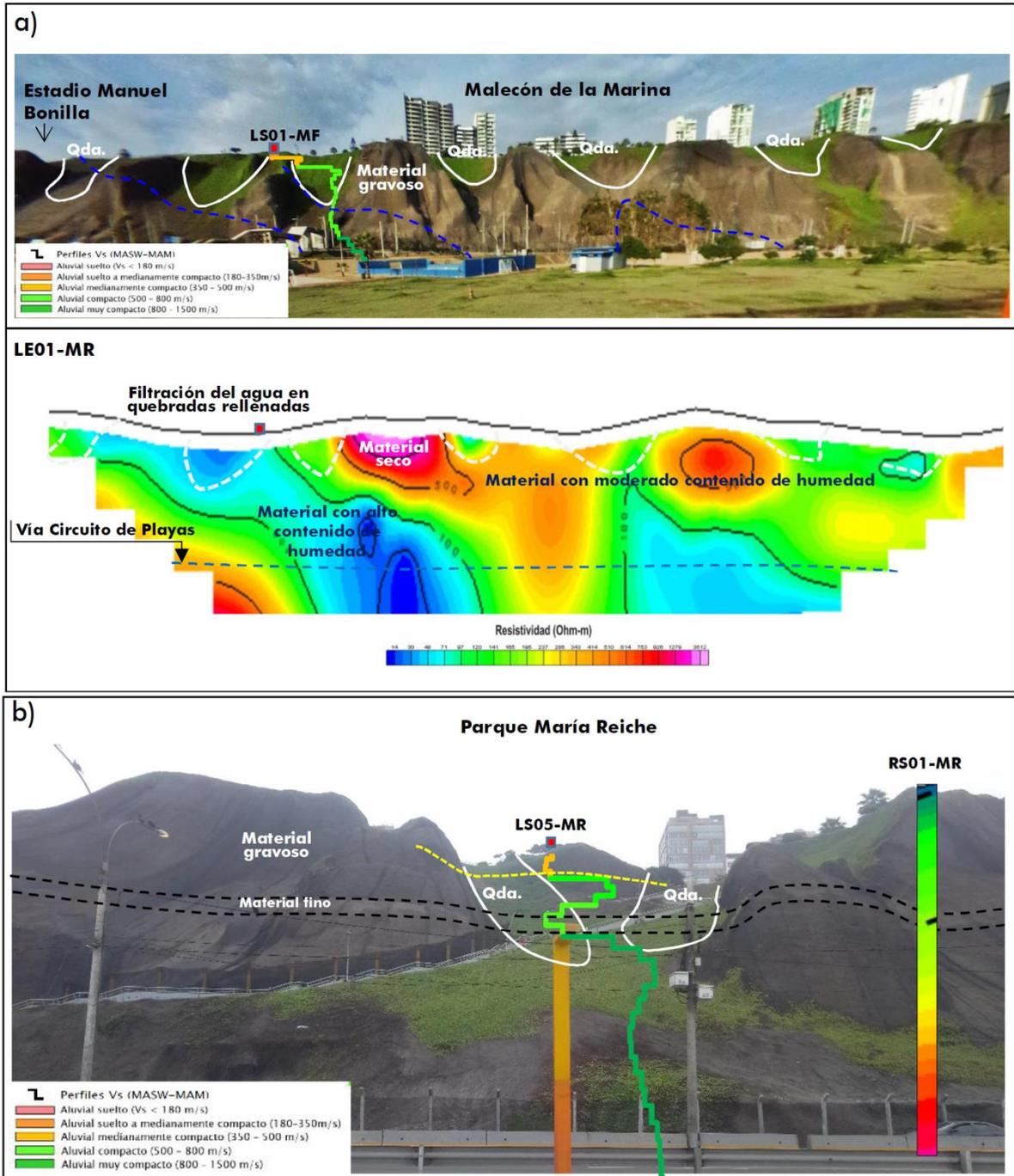


Figura 44. Correlación de los resultados obtenidos con los métodos sísmico y eléctrico, con la cara expuesta del ACV, a la altura del complejo deportivo Manuel Bonilla.

- En la cara expuesta del acantilado a la altura del parque Antonio Raimondi (Figura 44c), se observa la presencia de un estrato de material heterogéneo emplazado sobre capas de gravas y material fino de mayor espesor. Según los resultados obtenidos con el método sísmico, se tiene el predominio de materiales sueltos a medianamente compactos ($V_s < 500\text{m/s}$) en las dos primeras capas de 7 y 12 metros de espesor. Por debajo de esta capa, el material es compacto con presencia de moderado contenido de humedad; sin embargo, de manera local sobresalen a nivel superficial materiales con alto contenido de humedad, principalmente a la altura de la calle Madrid y calle Venecia debido a la presencia de áreas verdes.
- En la cara expuesta del acantilado a la altura del parque Domodossola (Figura 44d), se observa la presencia de dos capas superficiales de material heterogéneo emplazadas sobre capas de gravas, material fino y lentes de travertinos, coherente con las primeras capas presentes hasta los 20 metros de profundidad identificadas con los métodos sísmicos ($V_s < 500\text{m/s}$). Este material aluvial presenta predominantemente bajo contenido de humedad, sobresaliendo a nivel superficial y hasta los 10 metros de profundidad, la presencia de una capa delgada de material heterogéneo con moderado contenido de humedad; mientras, que hacia la Bajada de Armendáriz, se tiene el predominio de materiales con moderado a alto contenido de humedad.

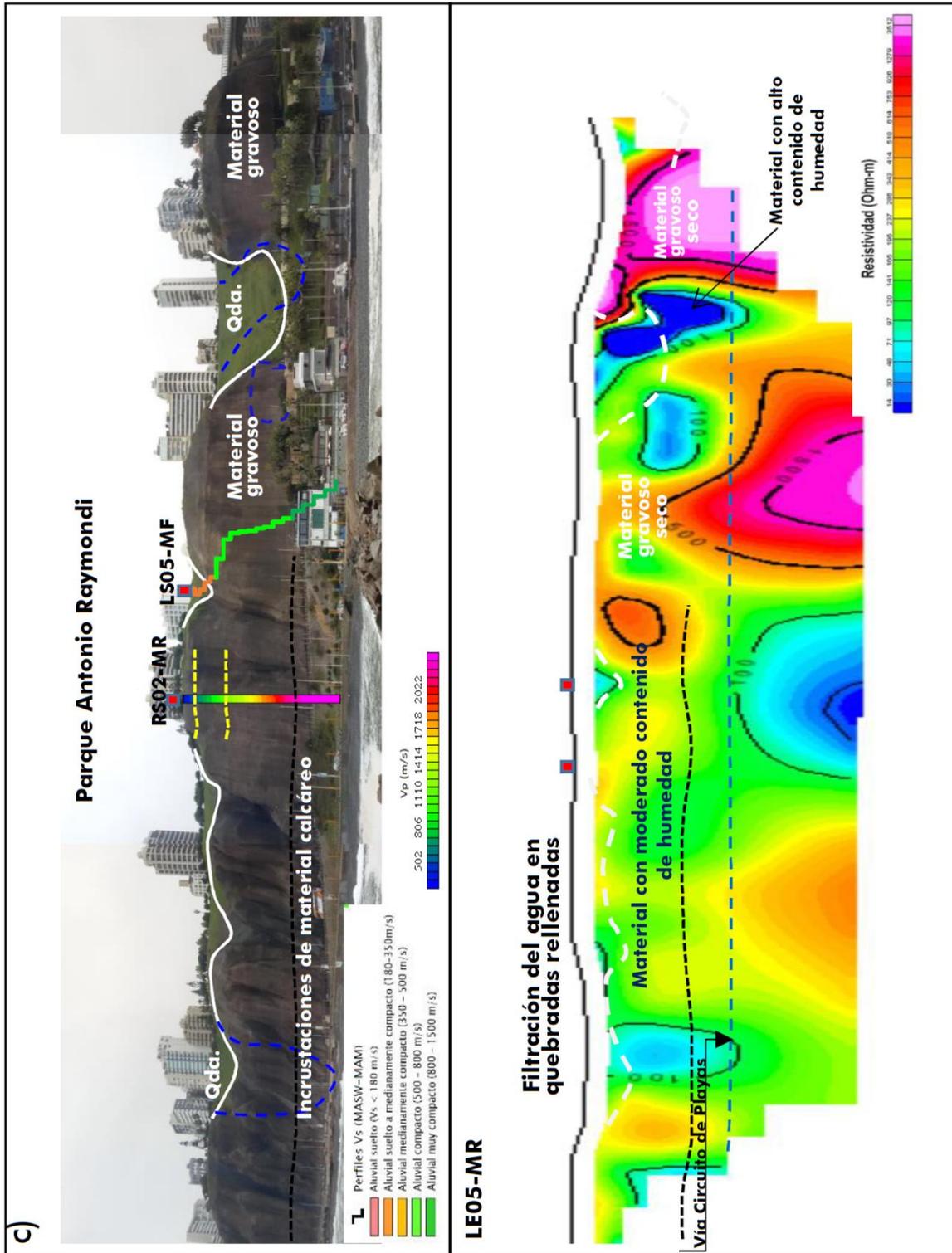


Figura 44. ...Continuación.../ Correlación de los resultados obtenidos con los métodos sísmico y eléctrico, con la cara expuesta del ACV, a la altura del parque Antonio Raimondi.

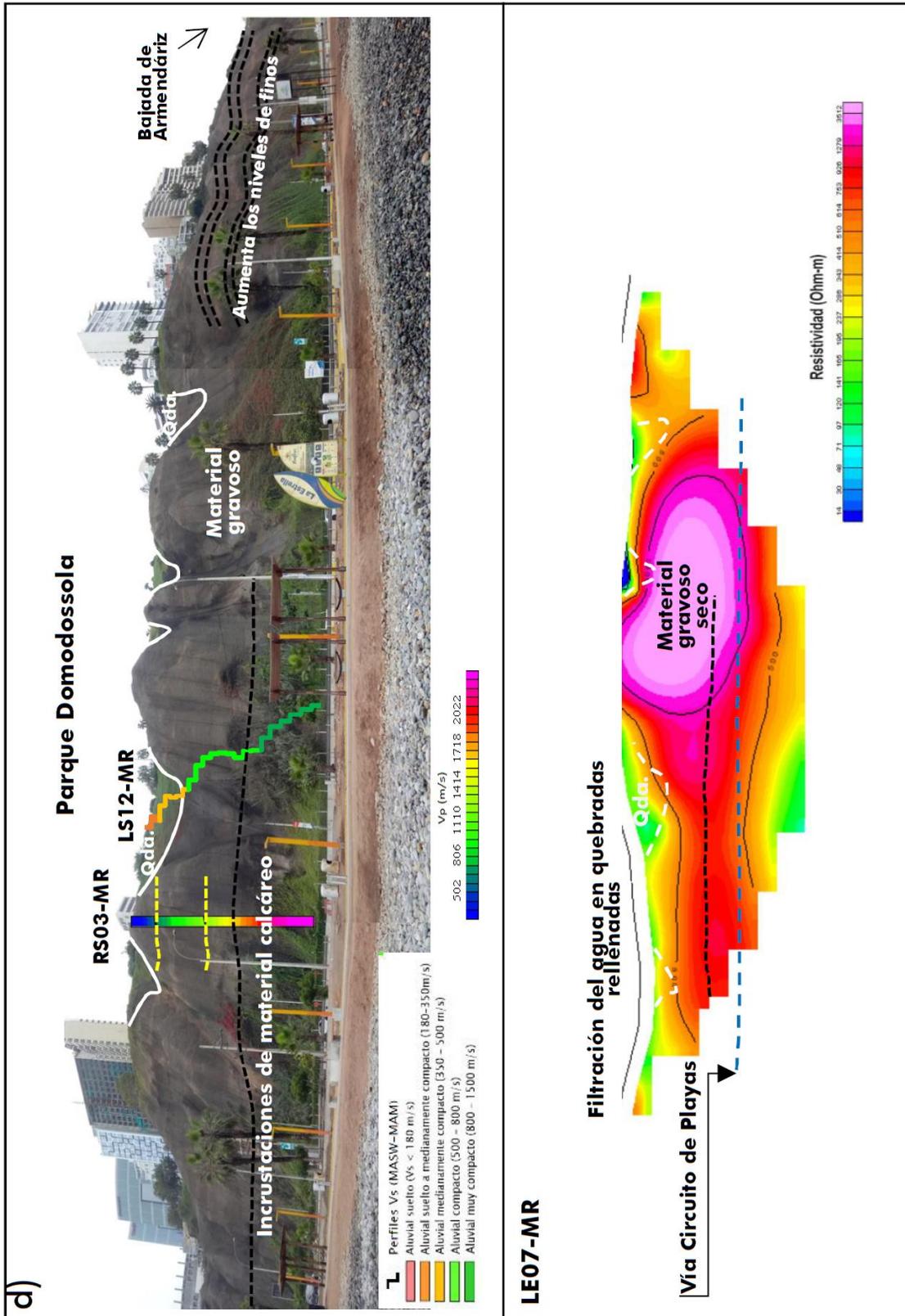


Figura 44. ...Continuación.../ Correlación de los resultados obtenidos con los métodos sísmico y eléctrico, con la cara expuesta del ACV, a la altura del parque Domodossola.

Al borde de los acantilados, los suelos son heterogéneo y/o rellenos con presencia de humedad (riego de parques) y problemas geotécnicos (grietas); que ante la ocurrencia de sismos de gran magnitud, se incrementa su riesgo a sufrir asentamientos, desprendimientos o deslizamientos de material con diferentes volúmenes.

Finalmente, a nivel superficial en el distrito de Miraflores, los suelos presentan variada consistencia debido a que están compuestos por gravas y conglomerados con diferente grado de consolidación. Asimismo, en el sector de los C.D. Manuel Bonilla y Chino Vázquez, se ha identificado la presencia de grietas en el suelo paralelas al borde del acantilado, específicamente sobre la ciclovía con profundidades de hasta 2 metros y en el parque Domodossola con profundidades de 1 metro. Estos dos escenarios evidencian el desplazamiento de los suelos en dirección oeste; es decir, hacia la playa (Figura 45).

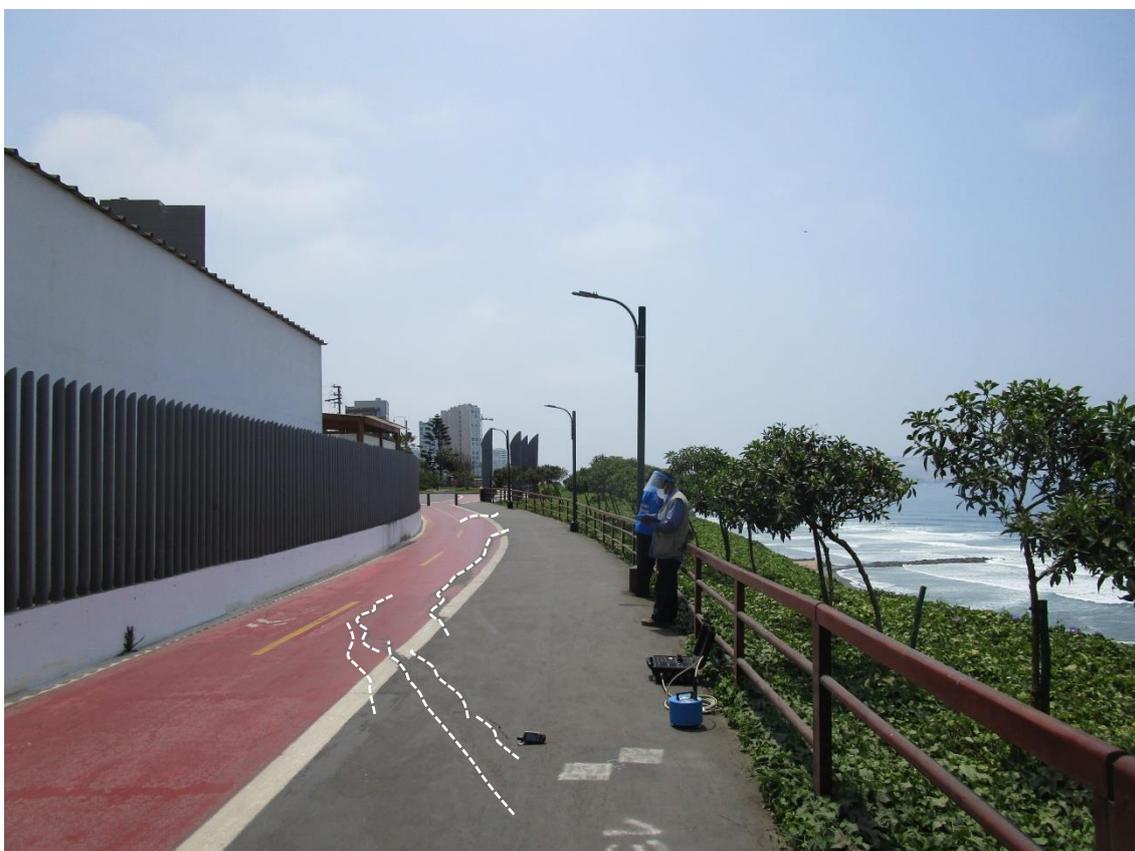


Figura 45. Imágenes de las grietas observadas en la ciclovía (aberturas de 3 cm) ubicadas a espaldas del Complejo Deportivo Manuel Bonilla, ACV en el distrito de Miraflores.



Figura 45. ... Continuación.../. Imágenes de las grietas observadas en la vereda, ubicadas próximos al Complejo Deportivo Manuel Chino Vásquez, del ACV en el distrito de Miraflores.

3.2. Zonas de quebradas

Haciendo uso de fotografías áreas del año 1946, en los acantilados del distrito de Miraflores, se han 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 caso del distrito de Miraflores, estas áreas fueron principalmente dedicadas a la construcción de áreas verdes como parques y malecones, y en algunos lugares, a la construcción de estructuras residenciales.

Para un mejor análisis e interpretación, a las áreas de rellenos se le denomina Quebrada Q1 hasta Q4, y el adicionar un mayor número de líneas de RS, han permitido obtener los resultados los siguientes:

Quebrada Q1: Presente en un tramo del complejo deportivo Manuel Bonilla y del Malecón de la Marina. Aquí, se ha realizado una línea de RS adicional, tal como se muestra en la Figura 46. En Q1, próximo al borde del acantilado y en la parte media de la sección A, la capa del suelo superficial presenta espesores de hasta 9 metros correspondiendo a la parte profunda de la quebrada. Conforme se avanza en dirección sureste y noroeste, el espesor de esta capa disminuye.

Quebrada Q1

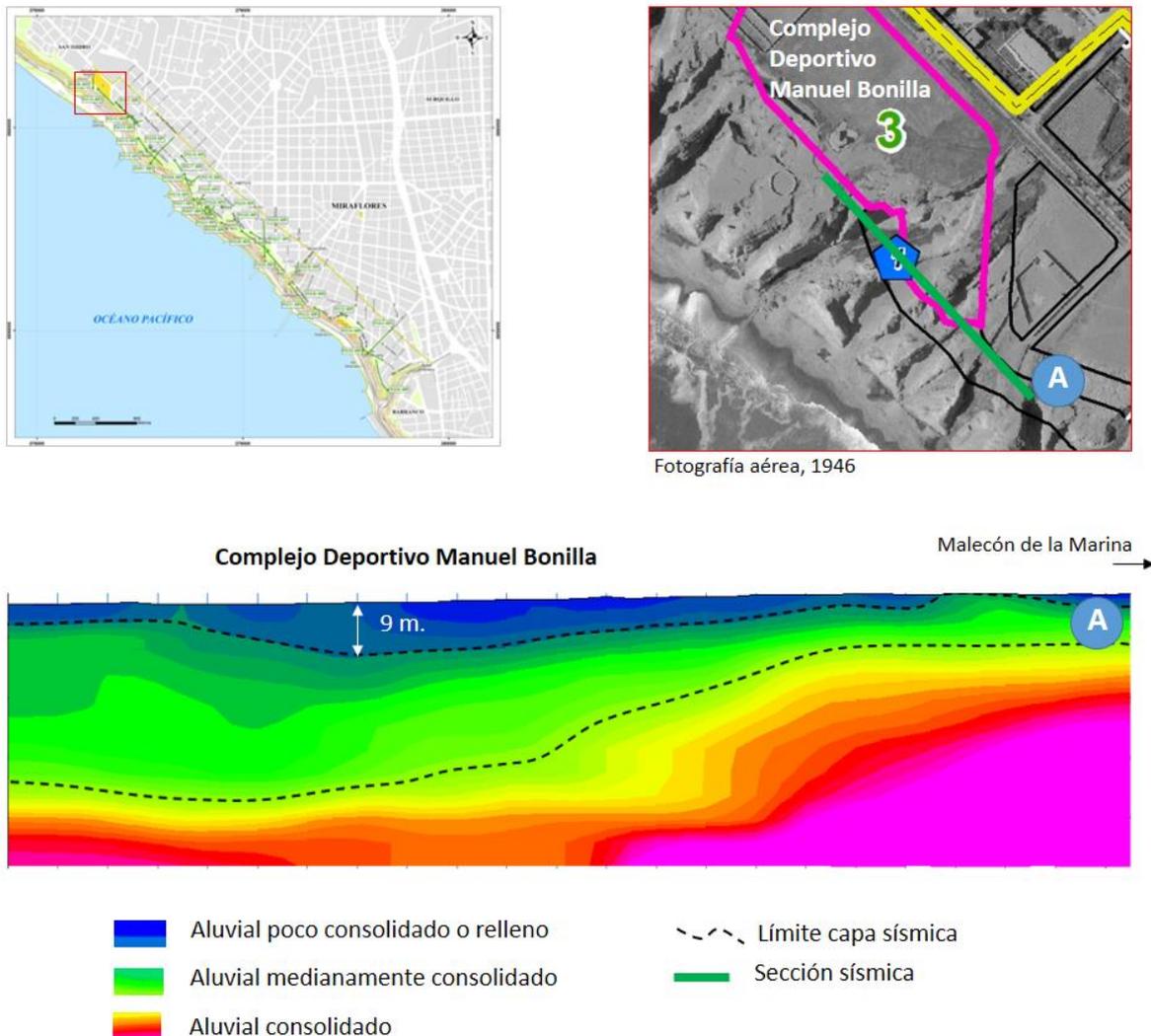


Figura 46. Análisis de los resultados obtenidos en un tramo del complejo deportivo Manuel Bonilla.

Quebrada Q2: Presente en el parque Grau. Aquí, se han realizado 2 líneas RS adicionales distribuidas según la Figura 47. En Q2, en la

sección perpendicular (sección A) y paralelo al acantilado (sección B), se identifica que la capa del suelo superficial presenta espesores entre 5 y 8 metros parte la parte más profunda de la quebrada (hacia el acantilado). Conforme se avanza en dirección sureste, noreste y noroeste, el espesor de esta capa disminuye.

Quebrada Q2



Fotografía aérea, 1946

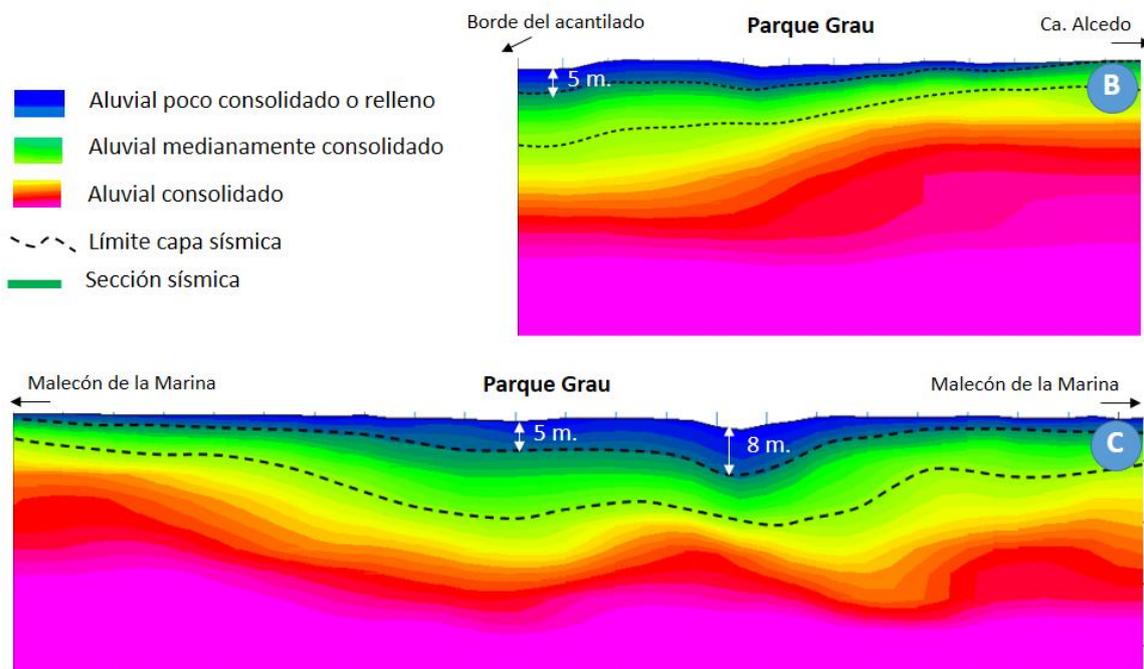


Figura 47. Análisis de los resultados obtenidos en el parque Grau.

Quebrada Q3: Presente en el parque Antonio Raimondi. Aquí, se ha adicionado 2 líneas de RS distribuidas según la Figura 48. En Q3, las secciones RS se encuentran ubicadas paralelas al acantilado: la sección

D fue realizada próxima al Malecón Cisneros y aquí, la capa de suelo superficial presenta espesores de hasta 3 metros en dirección sureste. Sin embargo, en la sección E realizada próximo al acantilado, la capa del suelo superficial presenta espesores que alcanzan los 7 metros correspondiendo a la parte profunda de la quebrada. Observase que en el borde del acantilado se identifica la presencia de una secuencia de quebradas en dirección perpendicular al acantilado. Asimismo, conforme se avanza en dirección sureste, noreste y noroeste, el espesor de la capa disminuye.

Quebrada Q3



Fotografía aérea, 1946

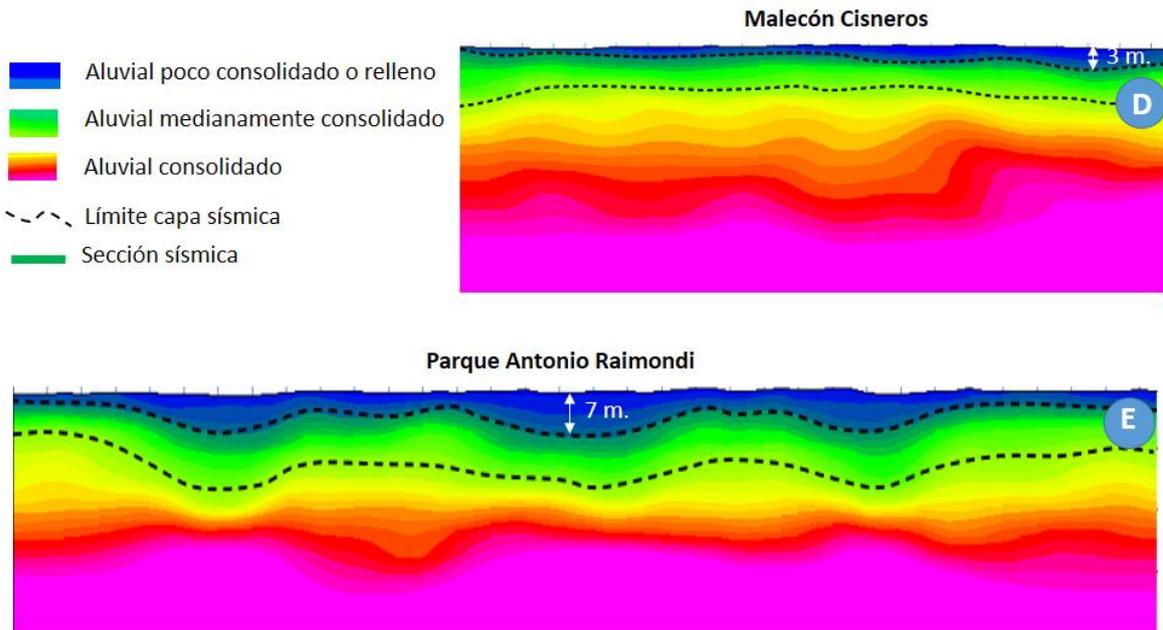


Figura 48. Análisis de los resultados obtenidos en el parque Antonio Raimondi.

Quebrada Q4: Presente en el parque Domodossola. Aquí, se ha realizado 2 líneas de RS adicionales y distribuidas según la Figura 49. En Q4, ambas secciones ubicadas en el parque Domodossola, perpendicular al acantilado (sección F) y paralelo al acantilado (sección G), se identifica que la capa del suelo superficial presenta espesores que alcanzan los 8 metros en la parte profunda de la quebrada, siempre mayor hacia el acantilado. Por otro lado, conforme se avanza en dirección sureste y noreste, el espesor de la capa del relleno disminuye.

Quebrada Q4

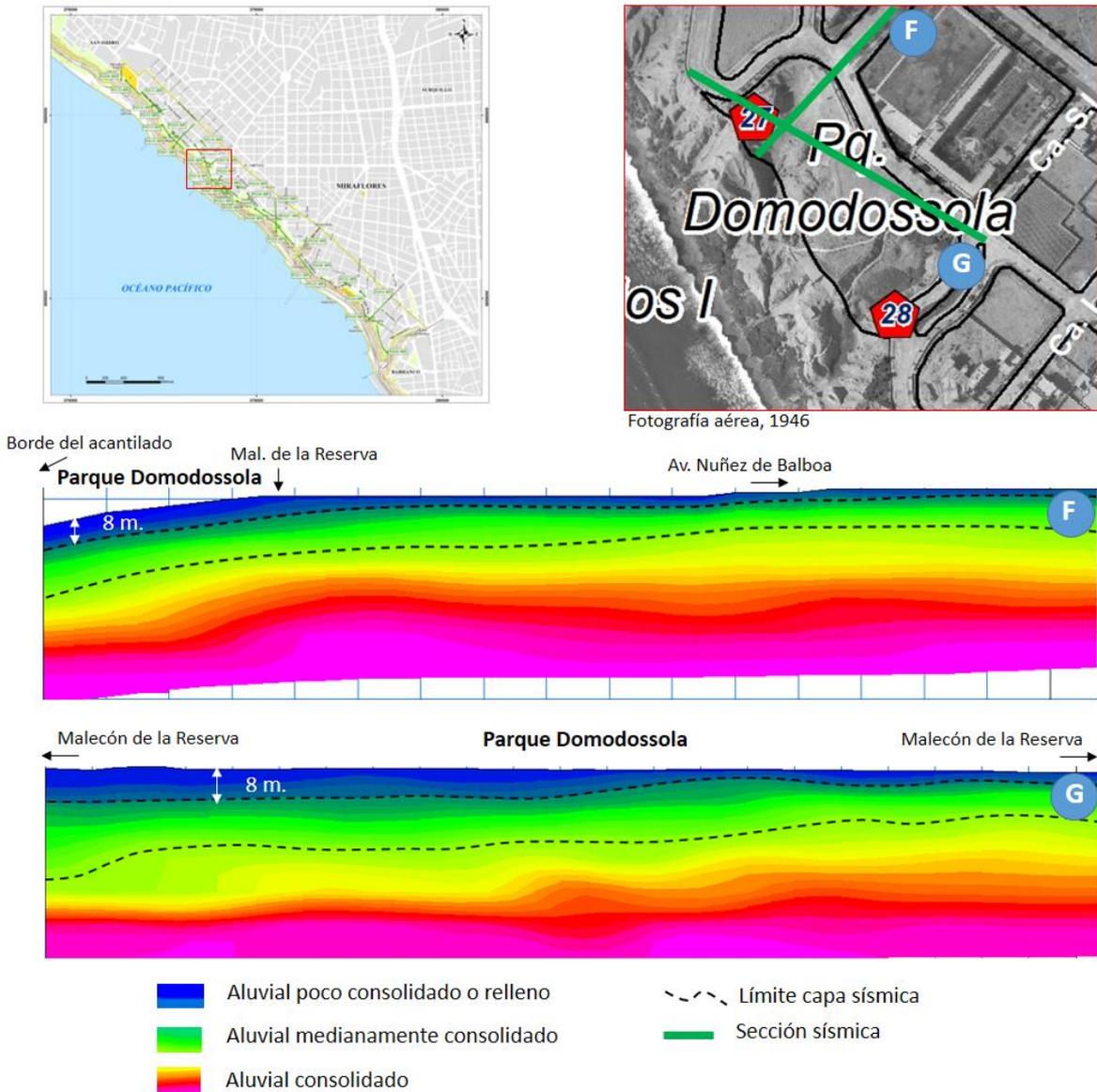


Figura 49. Análisis de los resultados obtenidos en el parque Domodossola.

Según los resultados obtenidos, la Quebrada Q1 contiene suelos de relleno con espesores que alcanzan los 9 metros (borde del acantilado) a la altura del complejo deportivo Manuel Bonilla. Actualmente, estos suelos son parte de regadíos constantes, lo cual podrían aportar en la formación de capas freáticas que producirían asentamientos y agrietamientos del suelo durante un evento sísmico.

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 del distrito de Miraflores, ha permitido identificar espacialmente, la ubicación aproximada de la línea paralela al acantilado, que delimita los suelos estables de los inestables y que ante la ocurrencia de sismos de elevada magnitud podrían experimentar asentamientos diferenciales y/o deslizamientos en dirección de la Vía Circuito de Playas. Para el distrito de Miraflores, el análisis de los resultados se realiza de manera sectorizada de acuerdo a la Figura 50:

Sector A – MR: *Considera el área del acantilado, entre la Bajada Los Delfines y la calle Manuel Tovar. En este sector el límite que separa, en superficie, los suelos con diferente comportamiento dinámico se encuentra a 50 metros del acantilado frente al C.D. Manuel Bonilla, a 35 metros a la altura de la calle Choquehuanca, para luego incrementarse progresivamente a 100 metros de distancia hacia el extremo sur, altura de la calle J. Capelo.*

En este sector se ha identificado la presencia de suelos con alto grado de humedad hasta una profundidad de 40 metros, así como la presencia de grietas con una profundidad de hasta 2 metros, como los observados en la calle José Polar, la ciclovía a espaldas de los C.D. de Manuel Bonilla y Chino Vásquez.

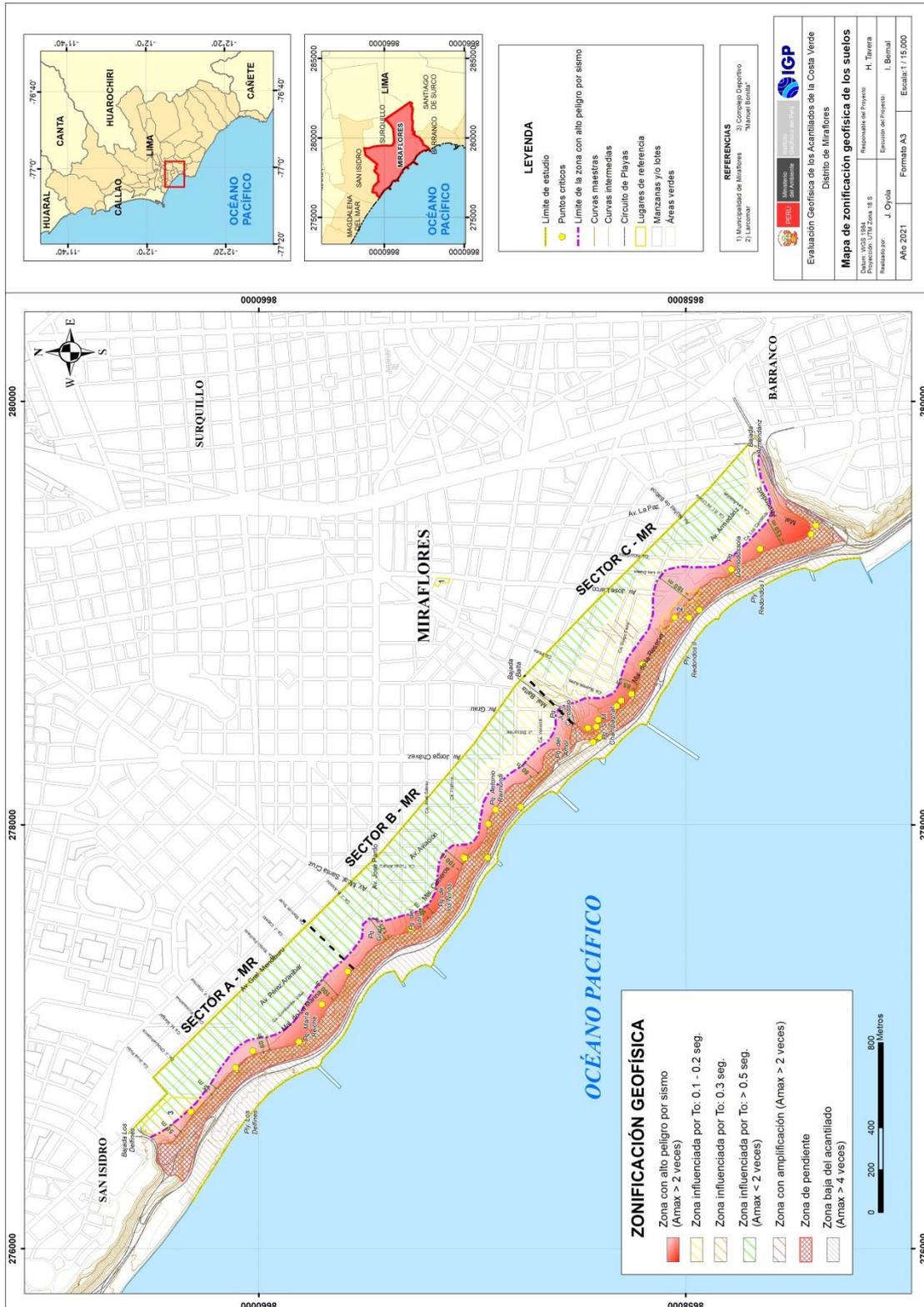


Figura 50. Delimitación de la zona con alto peligro por sismo, en la parte alta del Acantilado de la Costa Verde, en el distrito de Miraflores. Los Sectores A-MR, B-MR y C-MR, comprenden áreas cuyos suelos presentan similares características físicas y dinámicas.

Sector B – MR: *Considera el área del acantilado, entre la calle Manuel Tovar y la Bajada Balta. En este sector el límite que separa, en superficie, los suelos con diferente comportamiento dinámico, se encuentra entre 50 y 125 metros de distancia del borde del acantilado hacia el área urbana, presentándose las mayores distancias a la altura de la calle B. Alcedo y Malecón Cisneros (125 y 100 metros), lo cual evidencia la heterogeneidad de los suelos inestables a lo largo del borde del acantilado.*

En este sector los suelos presentan alto contenido de humedad debido a la presencia de áreas verdes y cuyos sistemas de riego ocasionan problemas geotécnicos (grietas, asentamientos), como los observados en los parques Grau, del Libro, de los Niños y Antonio Raimondi.

Sector C – MR: *Considera el área del acantilado, entre las Bajadas Balta y Armendáriz (extremo sur). En este sector el límite en superficie que separa, los suelos con diferente comportamiento dinámico, se encuentra entre 85 y 180 metros de distancia del borde del acantilado hacia el área urbana, presentándose las mayores distancias a la altura del Centro Comercial Larcomar y la calle Las Acacias.*

En este sector los suelos presentan problemas geotécnicos (grietas, asentamientos) en los parques Champagnat, Alfredo Salazar y Domodossola.

CONCLUSIONES

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

- *A lo largo del acantilado se define la existencia de tres capas sísmicas:*
 - *La primera, con velocidades $V_p = 350$ a 578 m/s y $V_s = 188$ a 336 m/s, y espesores de 2 a 7 metros. Los suelos corresponden a aluviales sueltos a medianamente compactos (densidad de 1.6 gr/cm³).*
 - *La segunda, con velocidades $V_p = 578$ a 1186 m/s y $V_s = 326$ a 674 m/s, y espesores de 5 a 15 metros. Estos suelos están compuestos de material aluvial medianamente compacto (1.9 gr/cm³).*
 - *La tercera, con velocidades $V_p > 1186$ m/s y $V_s = 514$ a 771 m/s y espesores que superan los 10 metros. Estos suelos están compuestos por material aluvial consolidado (2.3 gr/cm³).*
 - *A mayor profundidad la velocidad de las ondas V_s supera los 700 m/s, indicando la presencia de suelos compactos compuestos por gravas.*

- *Se ha observado que a lo largo del acantilado los suelos son poco a moderadamente consolidados con espesores que disminuyen desde el borde del acantilado hacia el área urbana. En el extremo norte del área de estudio y a una distancia de 100 metros, el espesor de los suelos disminuye de 12 metros en el borde del acantilado hasta 6 metros y hacia su extremo sur, de 22 a 17 metros. Este escenario, permite evidenciar que los suelos presenten mayor consistencia hacia el área urbana.*

- *Al borde del acantilado, a la altura del Complejo Deportivo Manuel Bonilla, parques María Reiche, Grau y Armendáriz, se ha identificado la existencia de horizontes geoelectricos, cuyo material aluvial presenta alto a moderado contenido de humedad y espesores de 15 a 40 metros. Bajo los*

parques del Libro, Champagnat y Domodossola, se ha identificado el predominio de material aluvial con moderado y bajo contenido de humedad que se presentan en forma de lentes. El alto grado de humedad, se asocia a la presencia de extensas áreas verdes que están siendo regadas continuamente, y que en el tiempo generan problemas geotécnicos como derrumbes, formación de asentamientos, desplazamiento en el terreno y la formación de grietas en el suelo.

•De acuerdo a los resultados obtenidos con el georadar, muchas áreas son afectadas por grietas que alcanzan profundidades de hasta 2 metros, principalmente en la ciclovía a espaldas del complejo deportivo Manuel Bonilla, entre la Av. José Pardo hasta el Malecón Balta. A lo largo del Malecón Cisneros se observa que las grietas llegan hasta los 2.5 metros de profundidad. Asimismo, en el parque Domodossola se ha identificado la presencia de grietas con desplazamientos del terreno que llegan hasta profundidades de 1 metro.

•De acuerdo a los resultados obtenidos con razones espectrales, los suelos próximos al acantilado están compuestos por materiales heterogéneos, complejos e inestables. A mayor distancia, en dirección del área urbana, los suelos son más homogéneos y/o compactos en una capa de gran espesor.

•A lo largo del Acantilado de la Costa Verde en el distrito de Miraflores, 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 los Malecones de la Marina, Cisneros y de la Reserva. Este límite se encuentra a distancias que varían entre 35 a 180 metros desde el borde del acantilado hacia el área urbana.

•Finalmente, las zonas con mayor probabilidad de experimentar un comportamiento dinámico anómalo ante la posible ocurrencia de sismos de

gran magnitud son: En el Malecón de la Marina, entre el borde del acantilado y el C.D. Manuel Bonilla, C.D. Chino Vázquez, parques María Reiche, del Libro, de Los Niños, Antonio Raimondi, Champagnat, Alfredo Salazar, Domodossola y Bajada de Armendáriz.

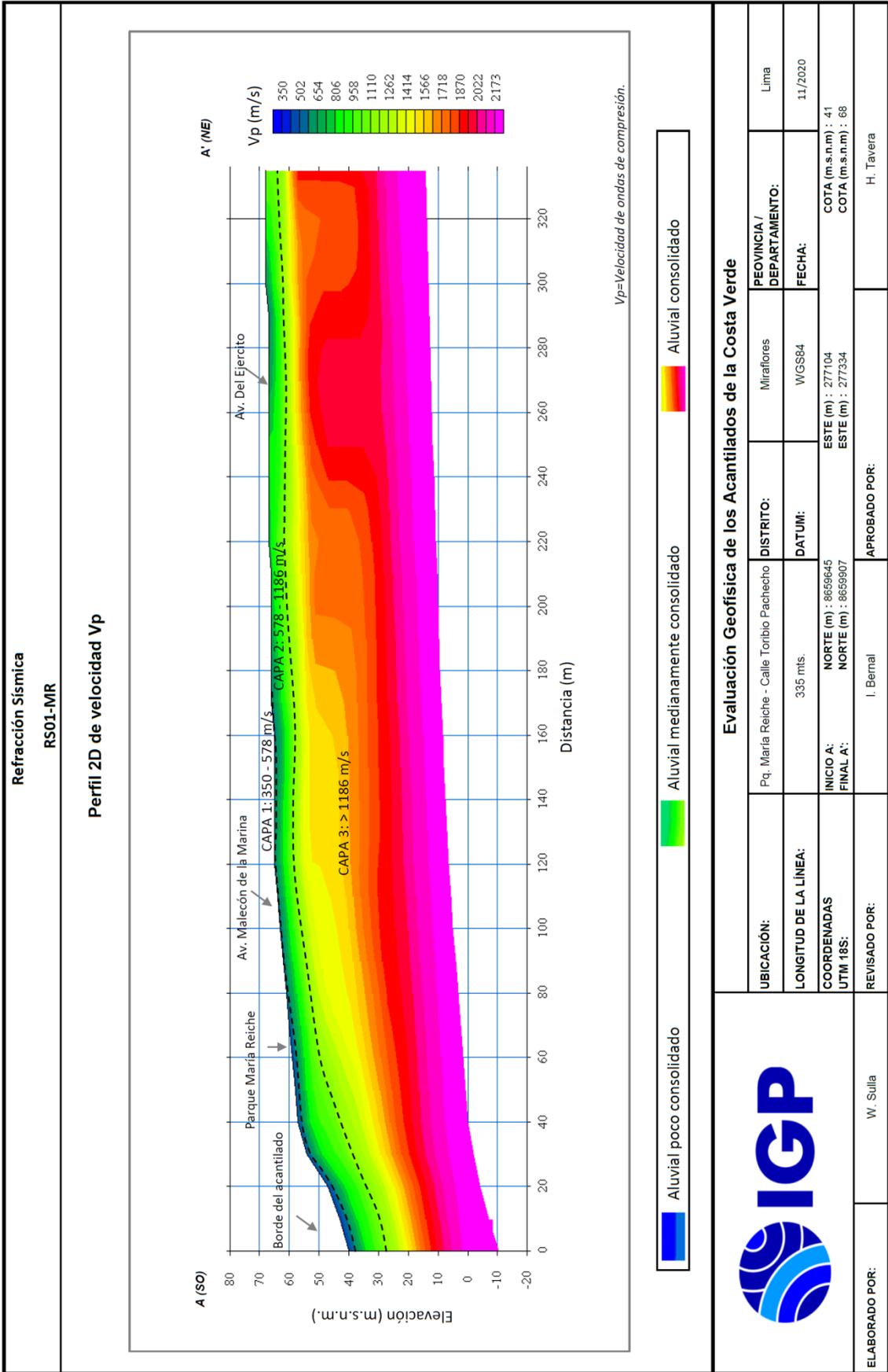
BIBLIOGRAFÍA

- 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>.
- Díaz, J. (2008), Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Magdalena. Tesis de grado PUCP.
- GSSI, Antenas Manual MN30-903 Rev. Geophysical Survey Systems. Inc. 87 pp.
- 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
- M. Tün, E. Pekkan, O. Özel, Y. Guney (2016): An investigation into the bedrock depth in the Eskisehir Quaternary Basin (Turkey) using the microtremor method. Geophysical Journal International.
- 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 Geoelectrica en Corriente Continua". 2ª ed. Madrid: Paraninfo Volumen 1.

- 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.
- Sandoval V. (2013): Estudio de la robustez de la estimación espectral de la técnica h/v de Nakamura para estudios de caracterización dinámica de suelos.
- 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, GeldartL. P. and Sheriff R.E. (1990) Applied Geophysics. 2ª ed. New York: Cambridge University Press
- 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).

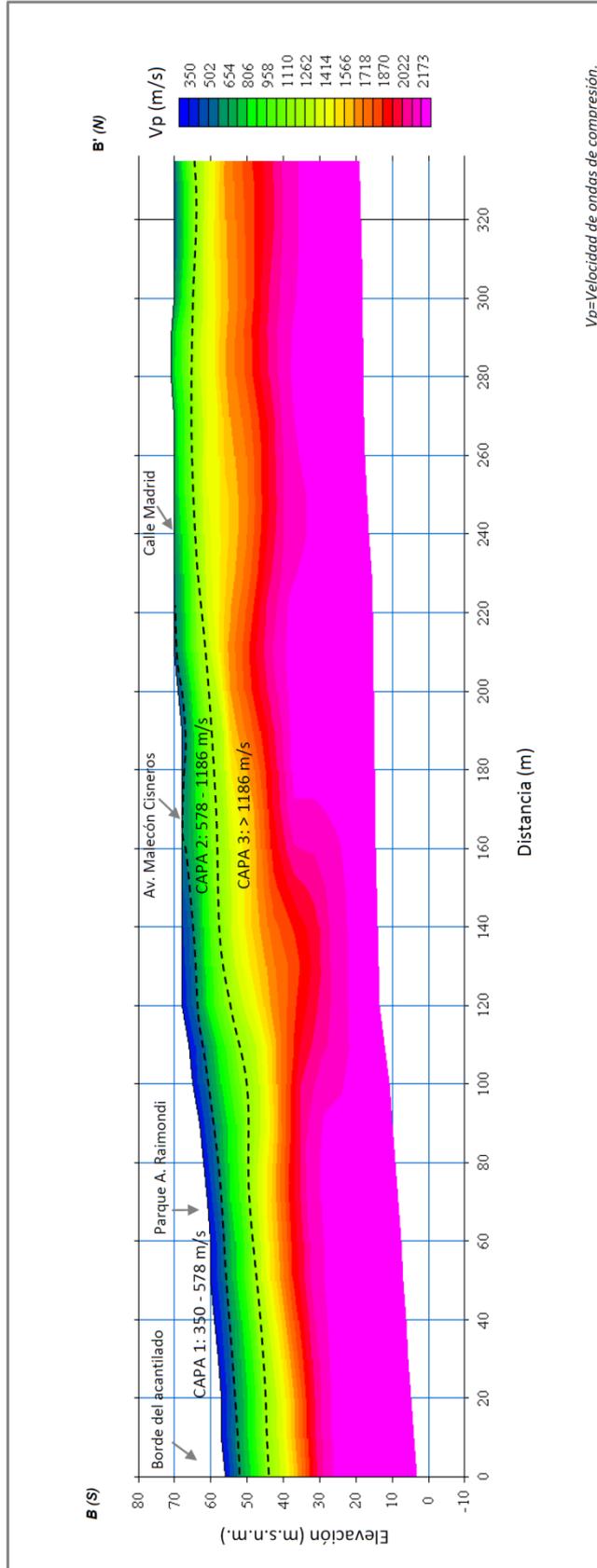
ANEXO I

Secciones de Refracción Sísmica



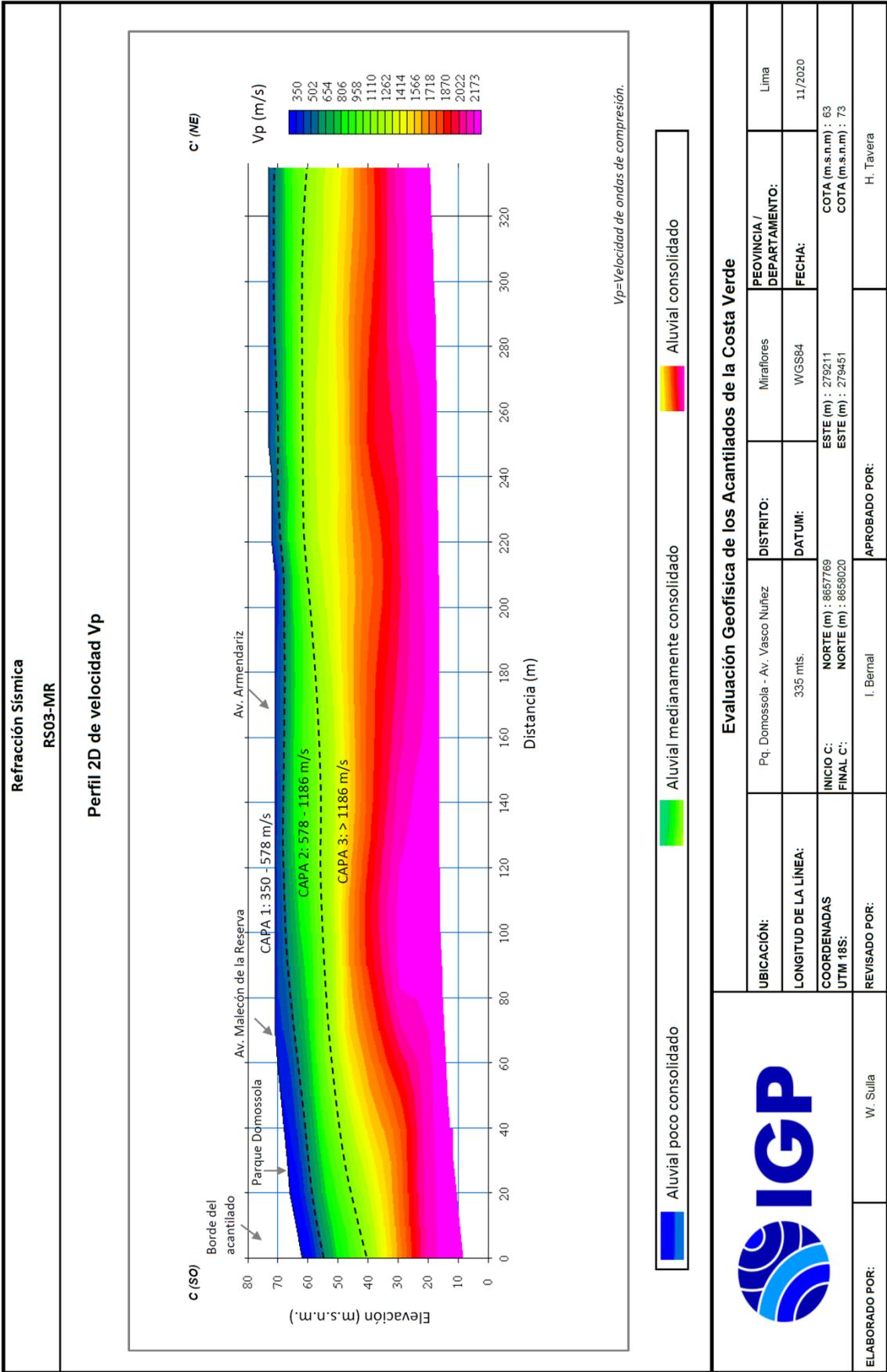
Refracción Sísmica
RS02-MR

Perfil 2D de velocidad Vp



Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde

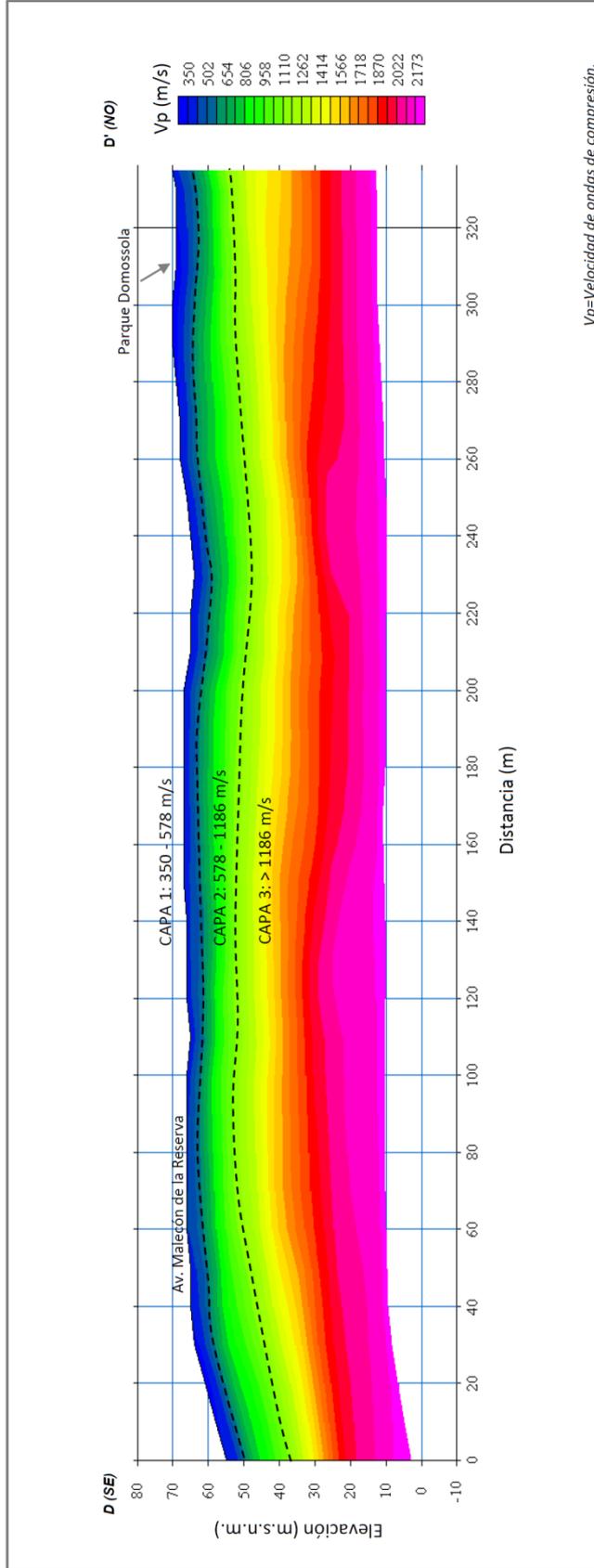
	UBICACIÓN:	Pq. Antonio Raimondi - Calle Roma	DISTRITO:	Miraflores	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LÍNEA:	335 mts.	DATUM:	WGS84	FECHA:	11/2020
	COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8658729 ESTE (m) : 278212	INICIO B:	NORTE (m) : 8659082 ESTE (m) : 278203	COTA (m.s.n.m.) : 56	
	REVISADO POR:	W. Sullá	APROBADO POR:	I. Bernal	COTA (m.s.n.m.) : 70	
ELABORADO POR:	H. Tavera					



Refracción Sísmica

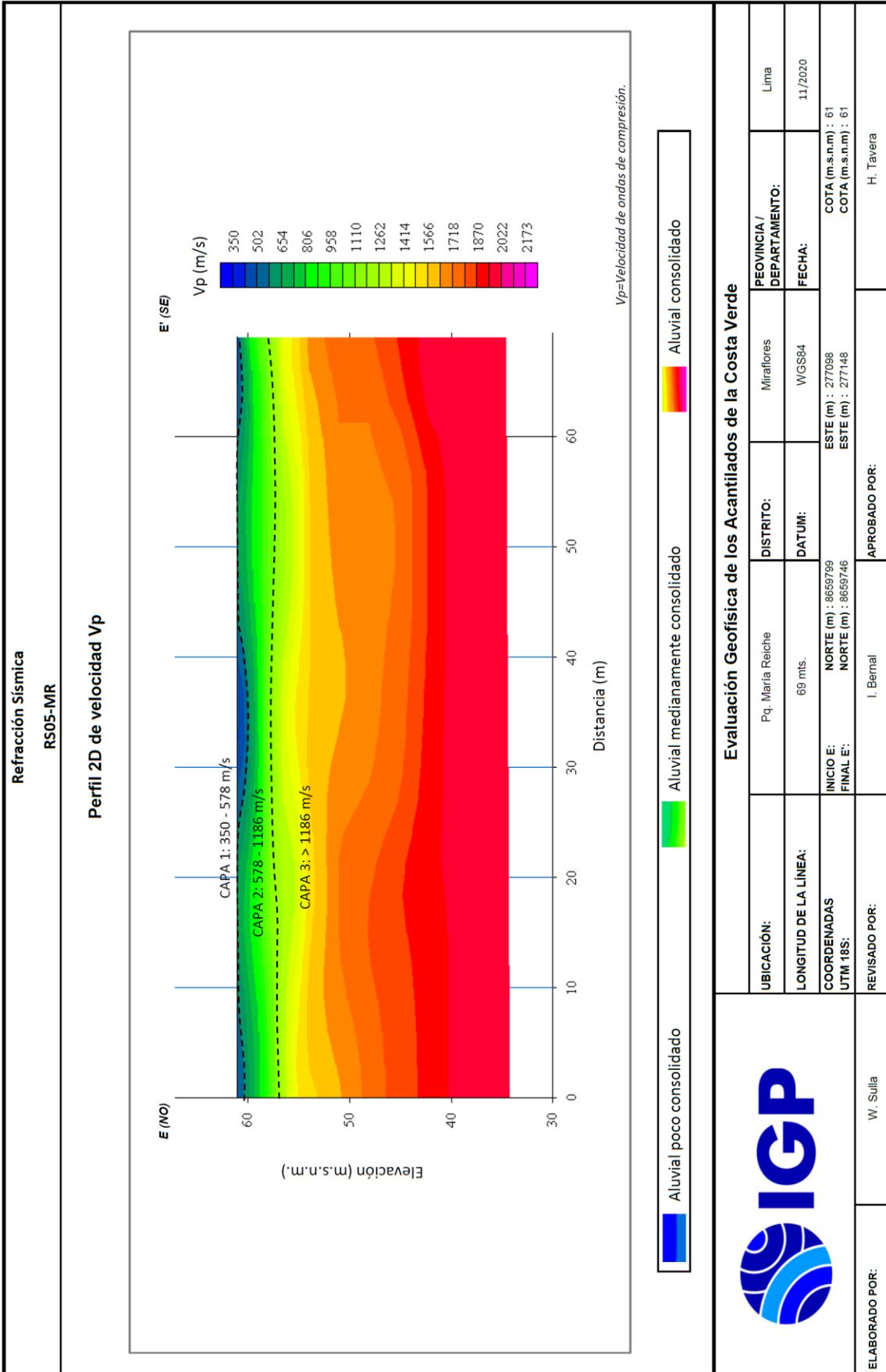
RS04-MR

Perfil 2D de velocidad Vp



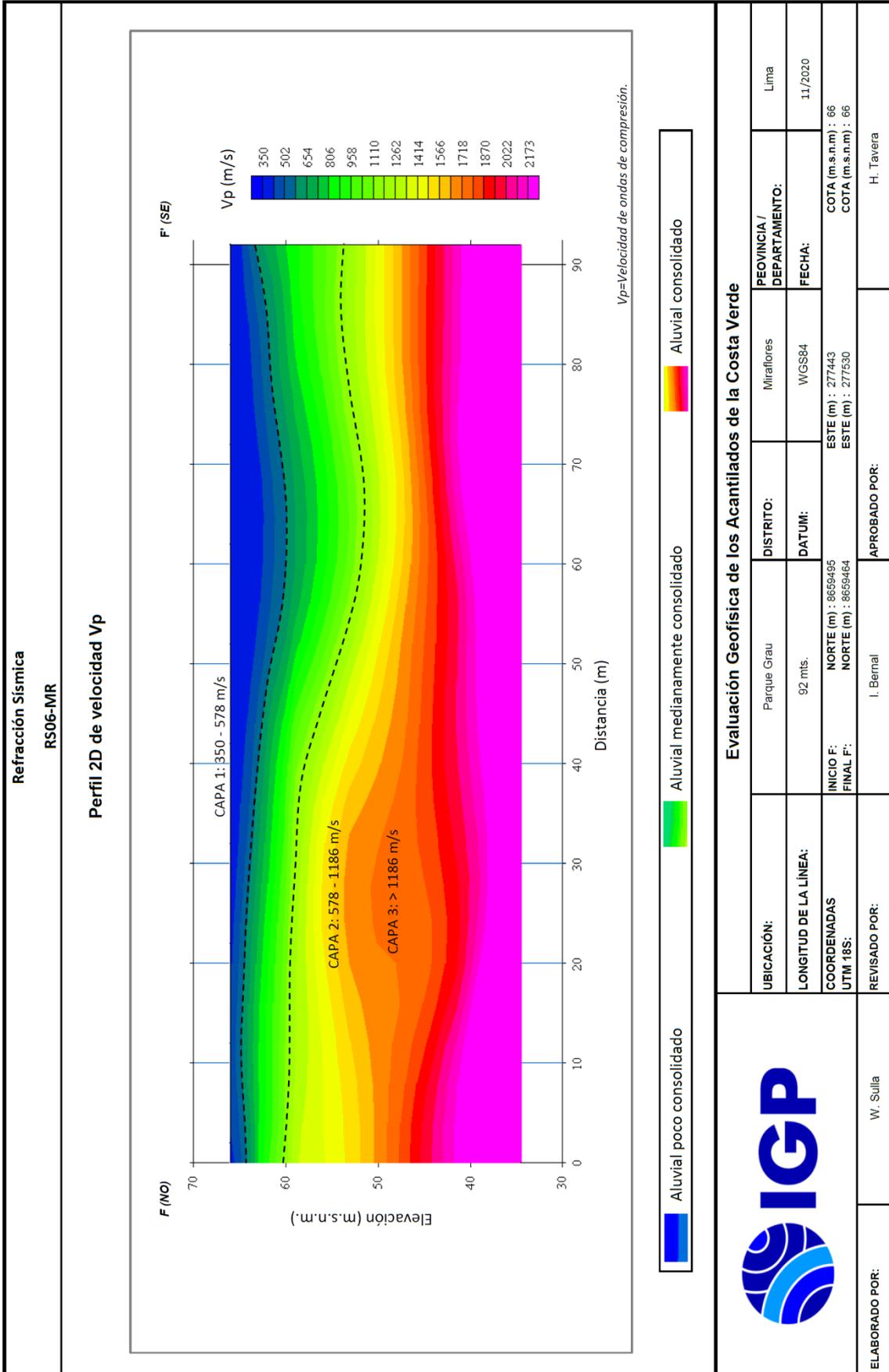
Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde

	UBICACIÓN: Malecón de la Reserva - Parque Domossola		DISTRITO: Miraflores	PROVINCIA / DEPARTAMENTO: Lima
	LONGITUD DE LA LÍNEA: 335 mts.		DATUM: WGS84	FECHA: 11/2020
COORDENADAS UTM 18S:		NORTE (m) : 8657410 NORTE (m) : 8657714	ESTE (m) : 279406 ESTE (m) : 279293	
ELABORADO POR: W. Sullá	REVISADO POR: I. Bernal	APROBADO POR: H. Tavera	COTA (m.s.n.m) : 55 COTA (m.s.n.m) : 70	



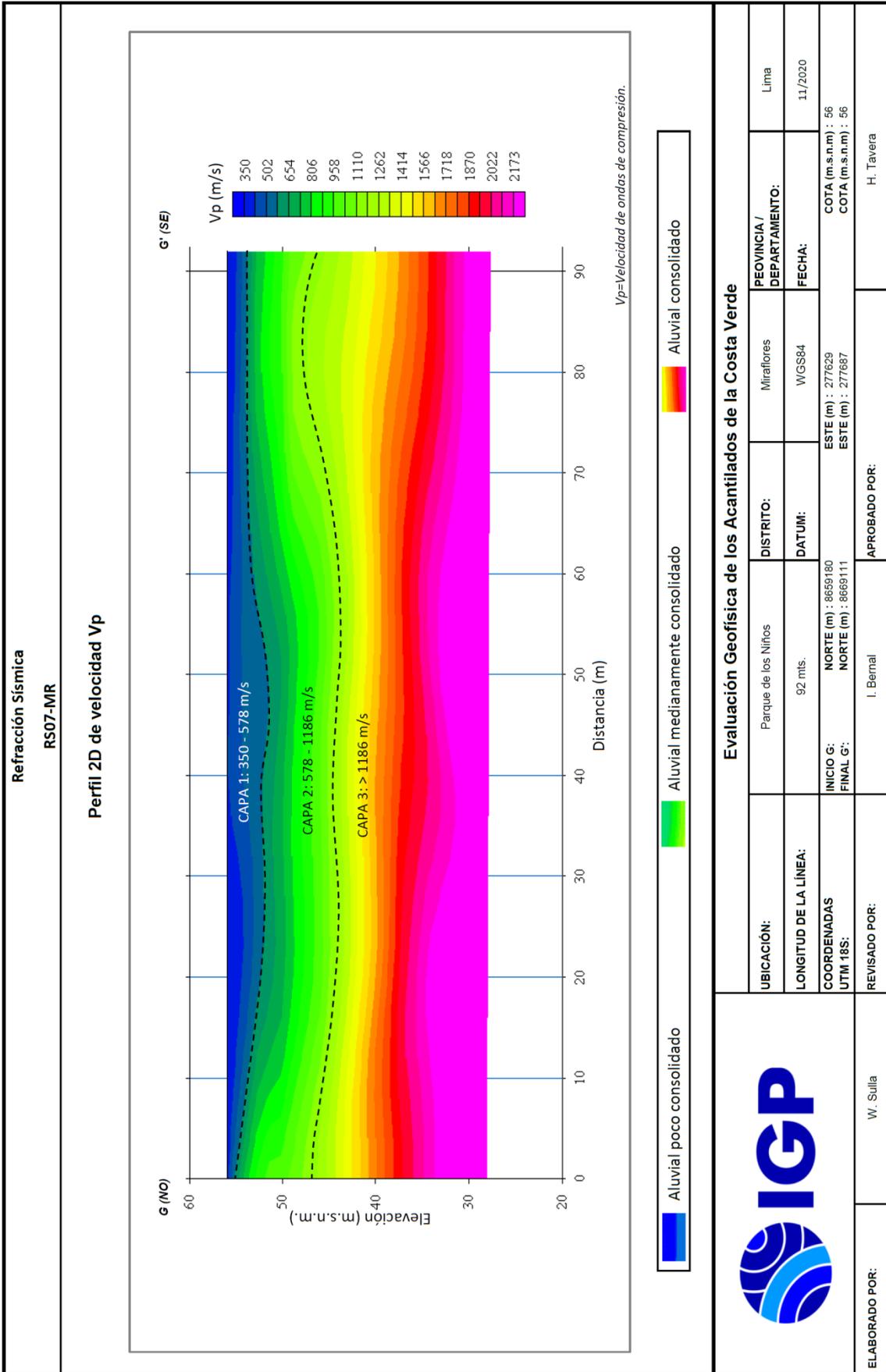
Evaluación Geofísica de los Acatilados de la Costa Verde

UBICACIÓN:	Pq. María Reiche	DISTRITO:	Miraflores	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LÍNEA:	69 mts.	DATUM:	WGS84	FECHA:	11/2020
COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8659799 SULTE (m) : 277098	COTA (m.s.n.m.) : 61			
REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera		



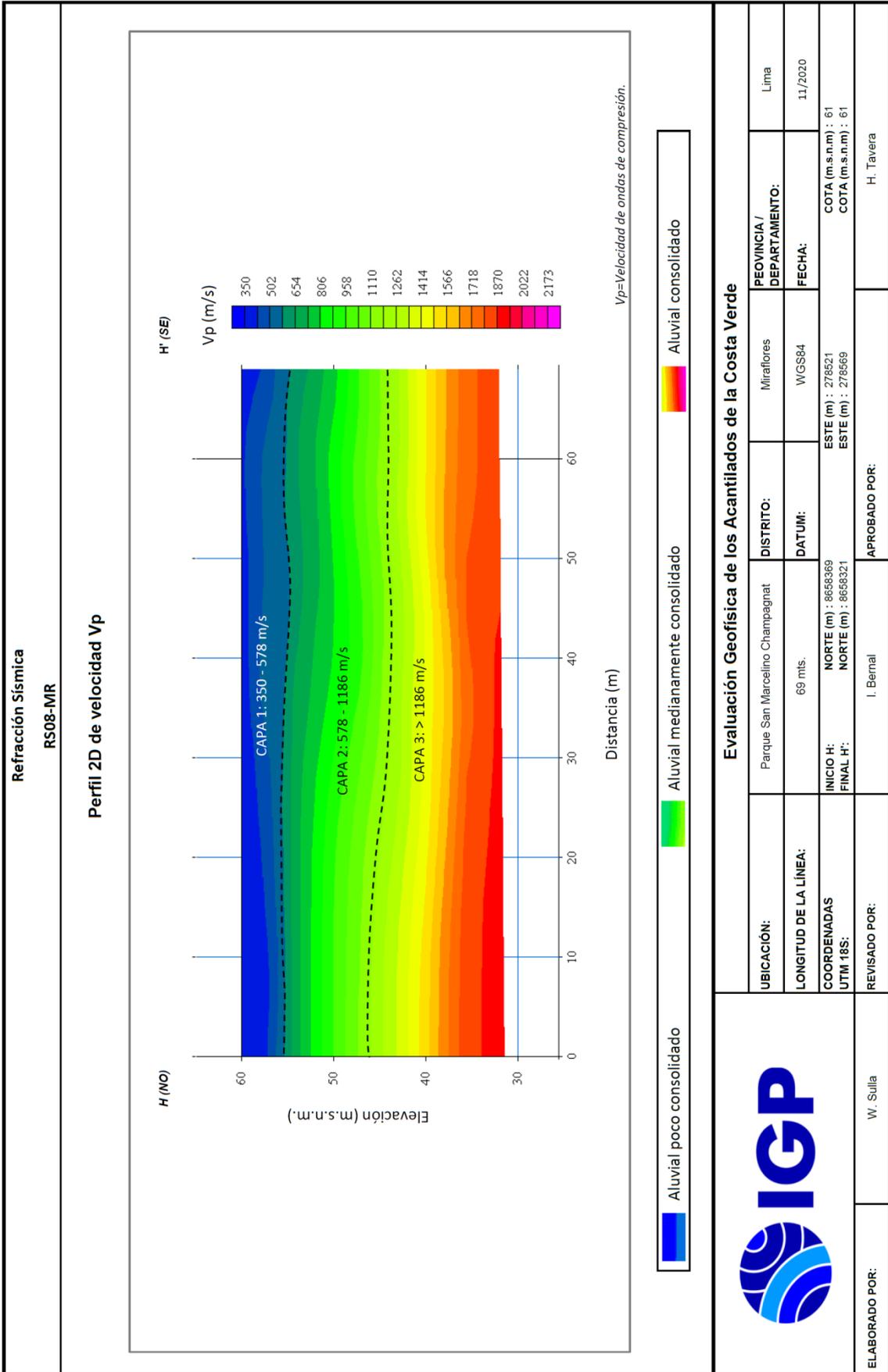
Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde

UBICACIÓN:	Parque Grau	DISTRITO:	Miraflores	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LÍNEA:	92 mts.	DATUM:	WGS84	FECHA:	11/2020
COORDENADAS	INICIO F: NORTE (m) : 8659495	ESTE (m) : 277443	COTA (m.s.n.m) : 66		
UTM 18S:	FINAL F: NORTE (m) : 8659464	ESTE (m) : 277530	COTA (m.s.n.m) : 66		
REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera		
ELABORADO POR:	W. Sullá				



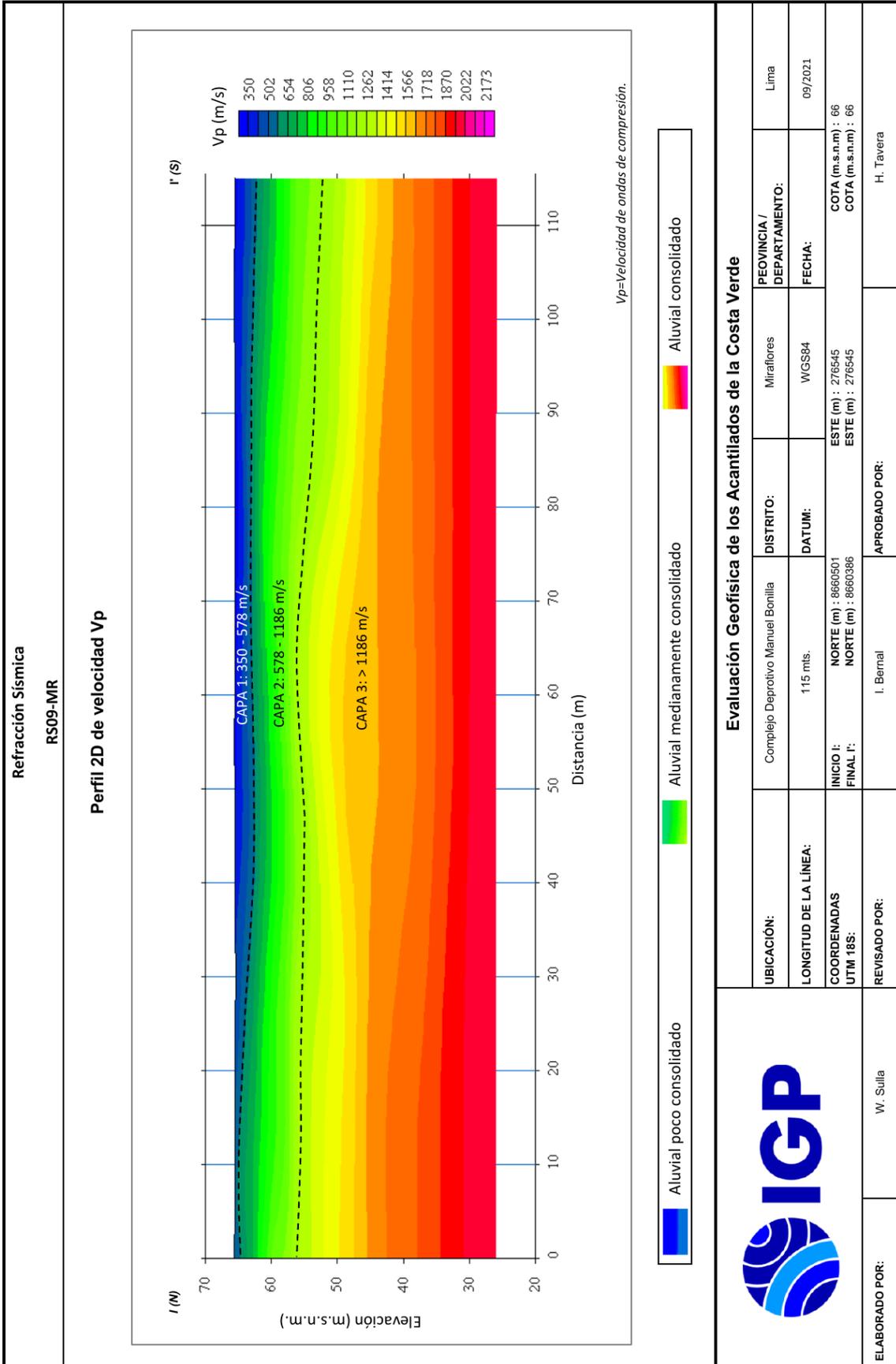


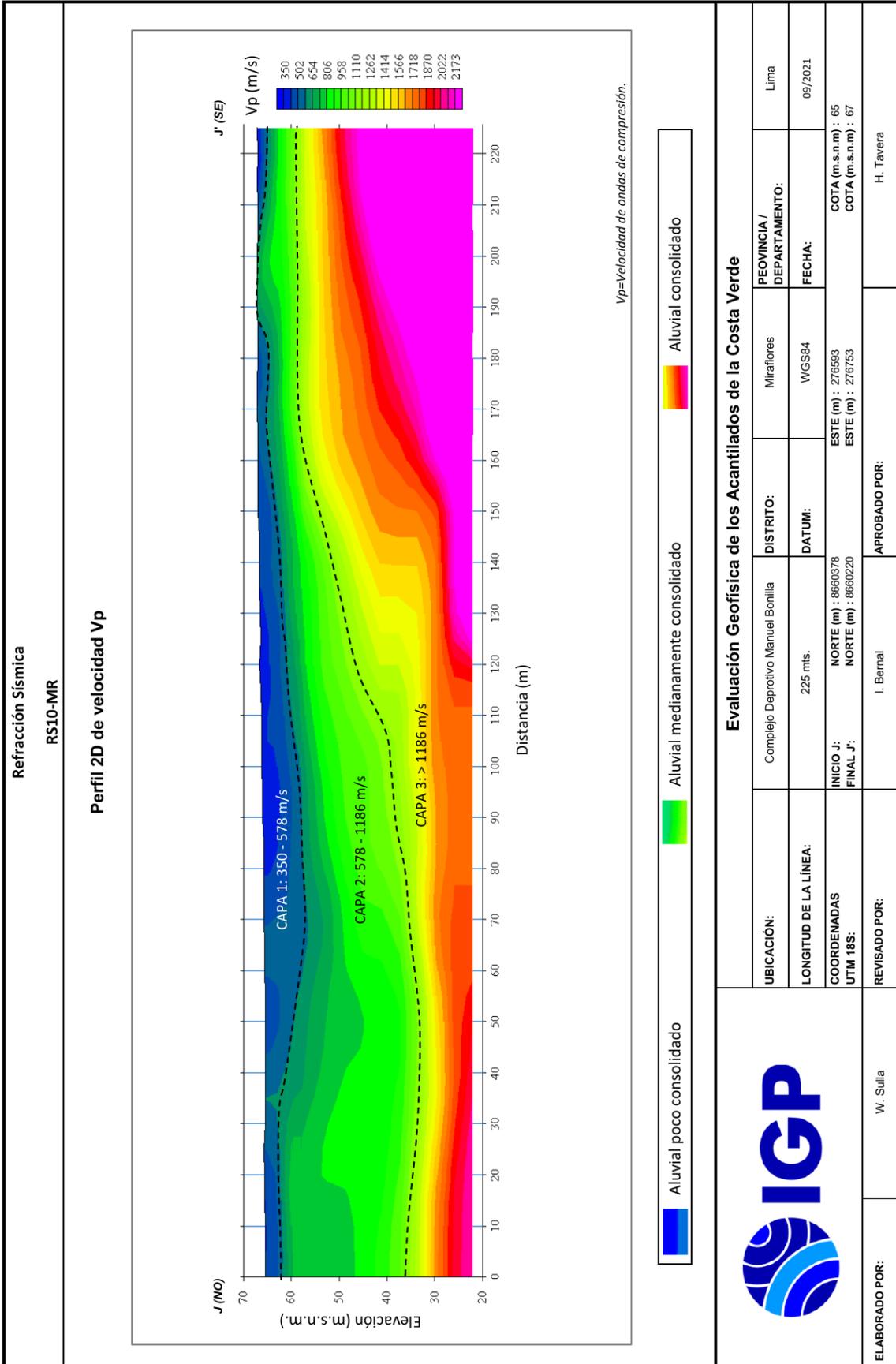
Evaluación Geofísica de los Acanuilados de la Costa Verde			
UBICACIÓN:	Parque de los Niños	DISTRITO:	Miraflores
LONGITUD DE LA LÍNEA:	92 mts.	DATUM:	WGS84
COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8659180 NORTE (m) : 8669111	ESTE (m) : 277629 ESTE (m) : 277687	COTA (m.s.n.m.) : 56 COTA (m.s.n.m.) : 56
ELABORADO POR:	W. Sullia	APROBADO POR:	H. Tavera

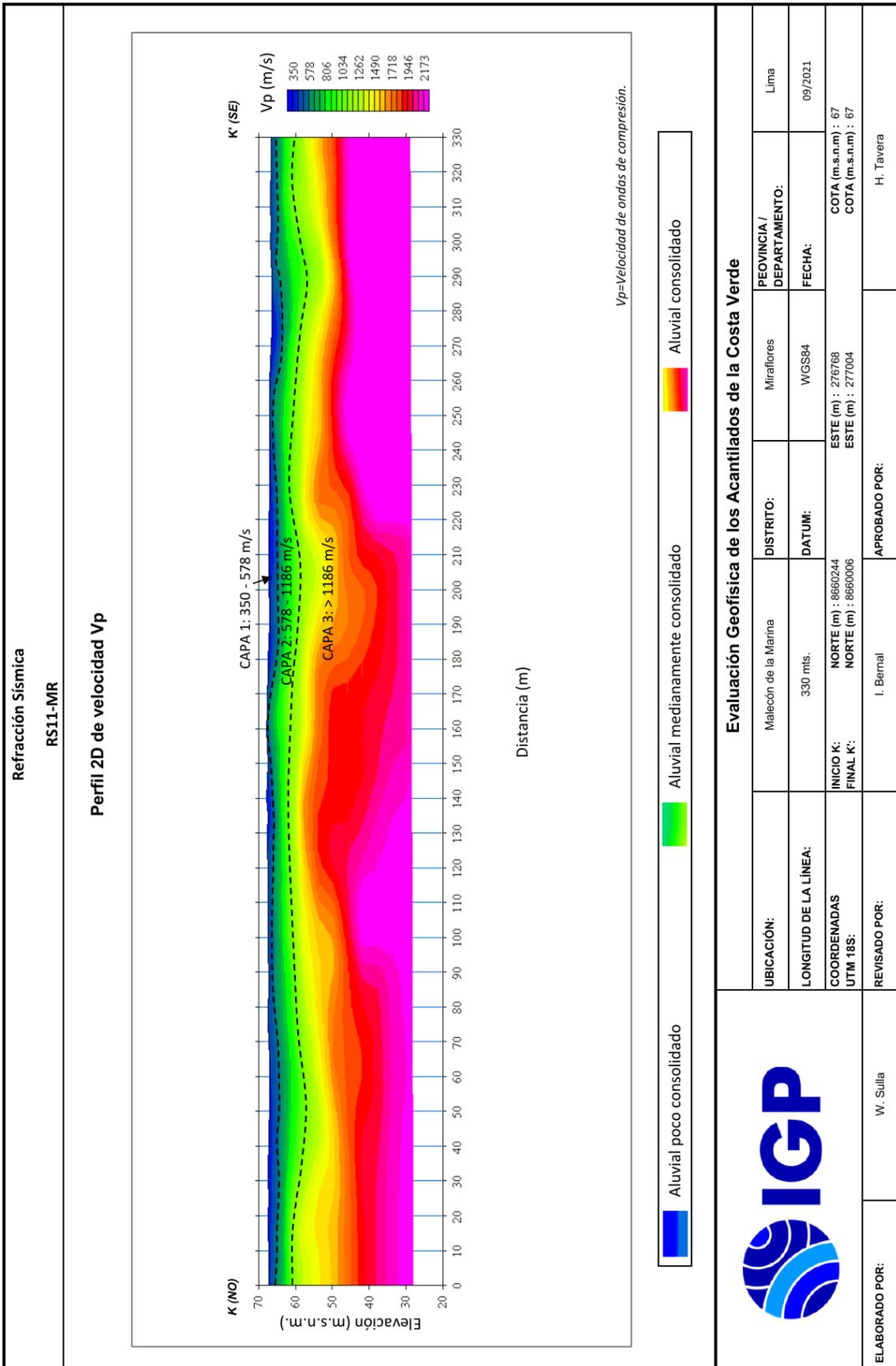


Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde

UBICACIÓN:	Parque San Marcelino Champagnat	DISTRITO:	Miraflores	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LÍNEA:	69 mts.	DATUM:	WGS84	FECHA:	11/2020
COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8658369 ESTE (m) : 278521	COTA (m.s.n.m) : 61			
REVISADO POR:	I. Bernal	COTA (m.s.n.m) : 61			
ELABORADO POR:	W. Sullia	APROBADO POR: H. Tavera			

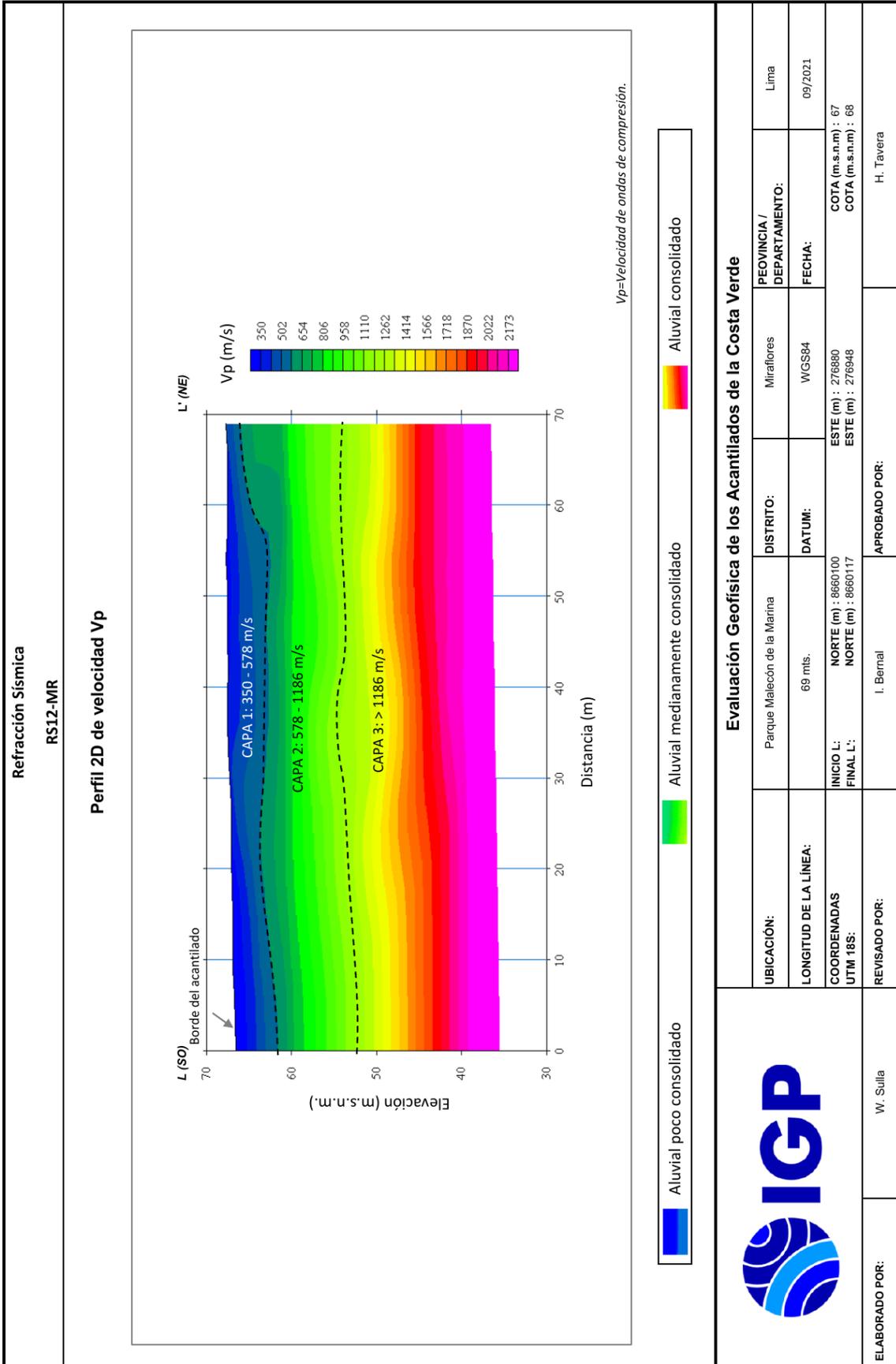


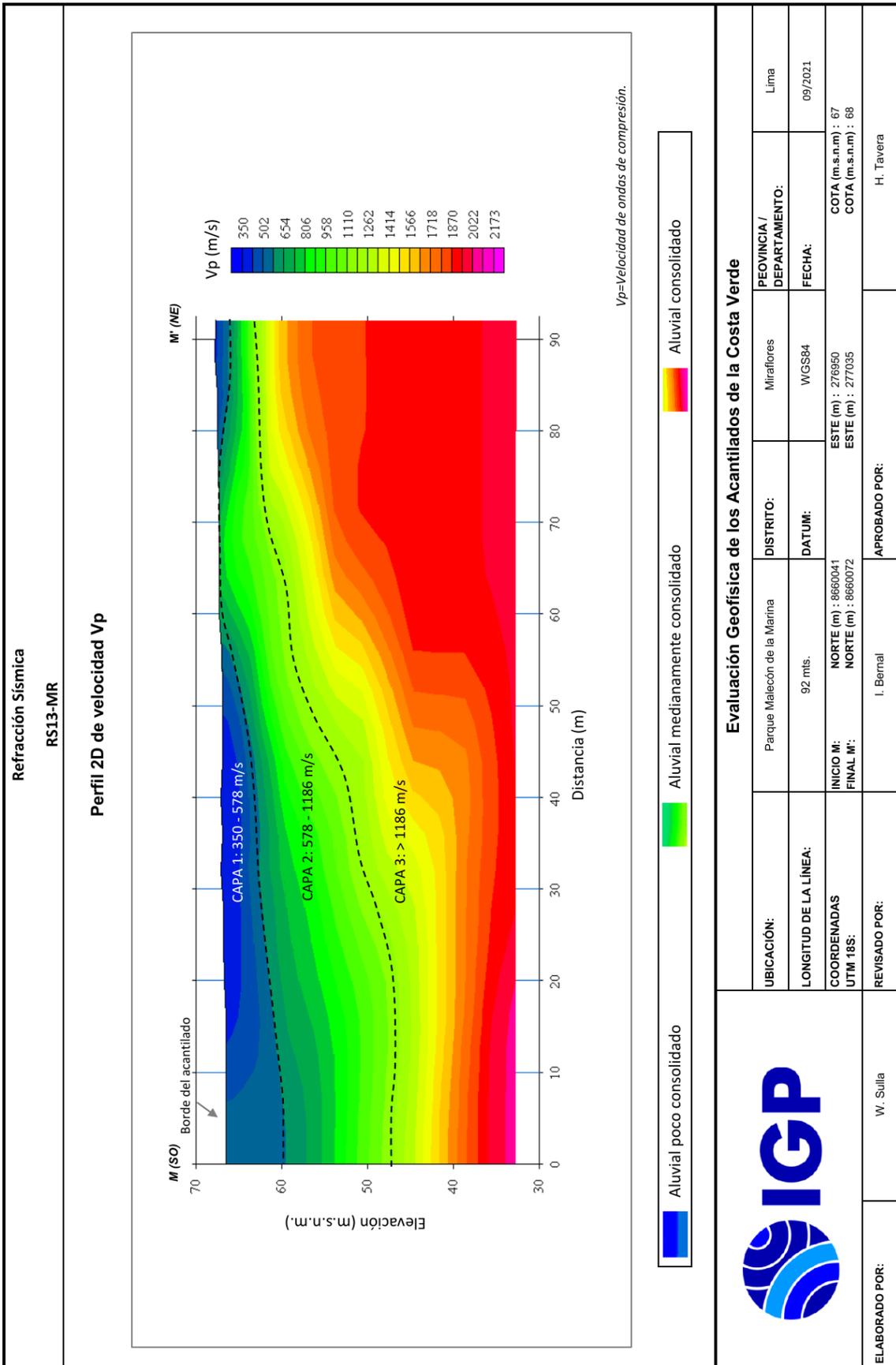


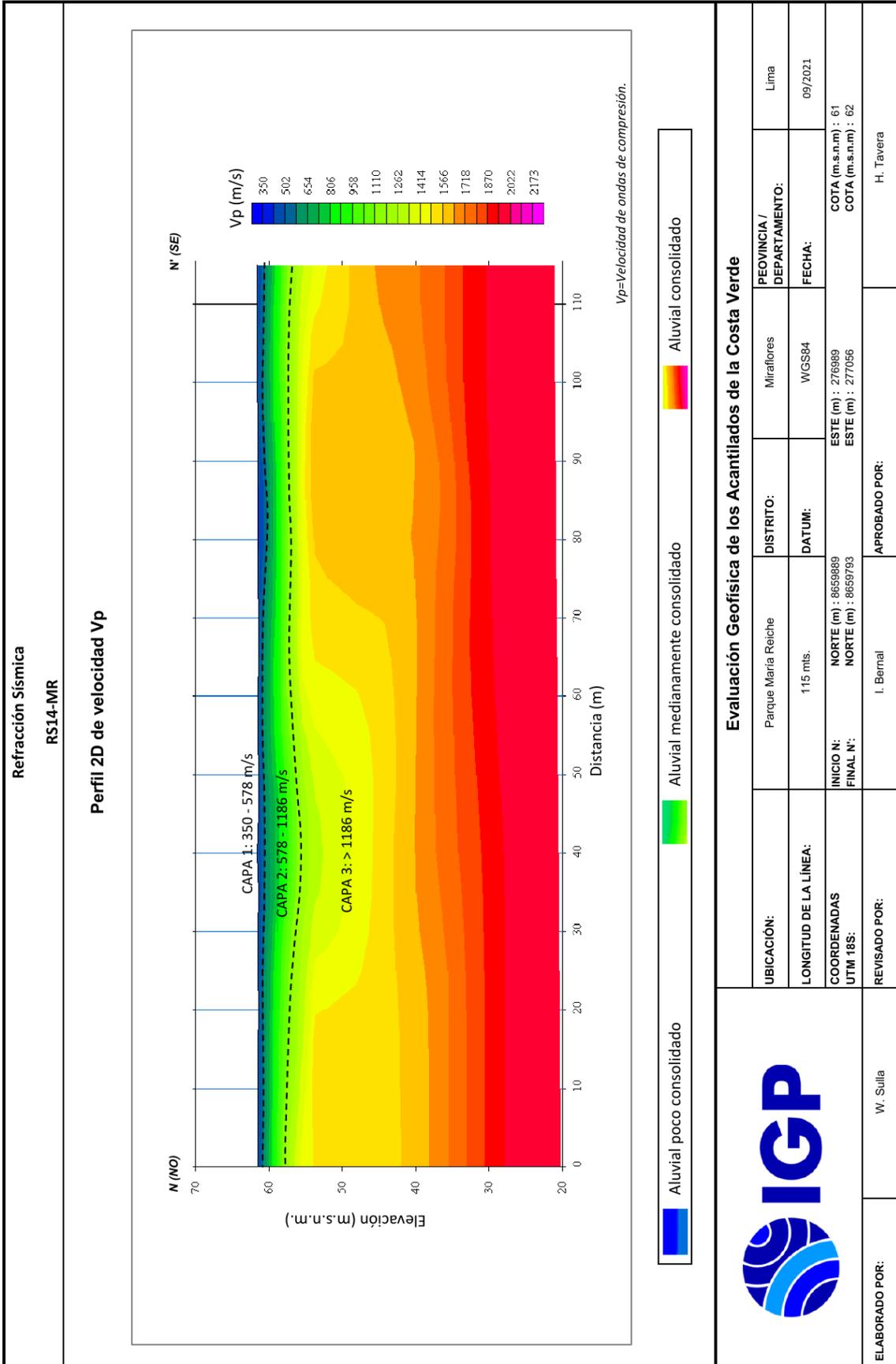


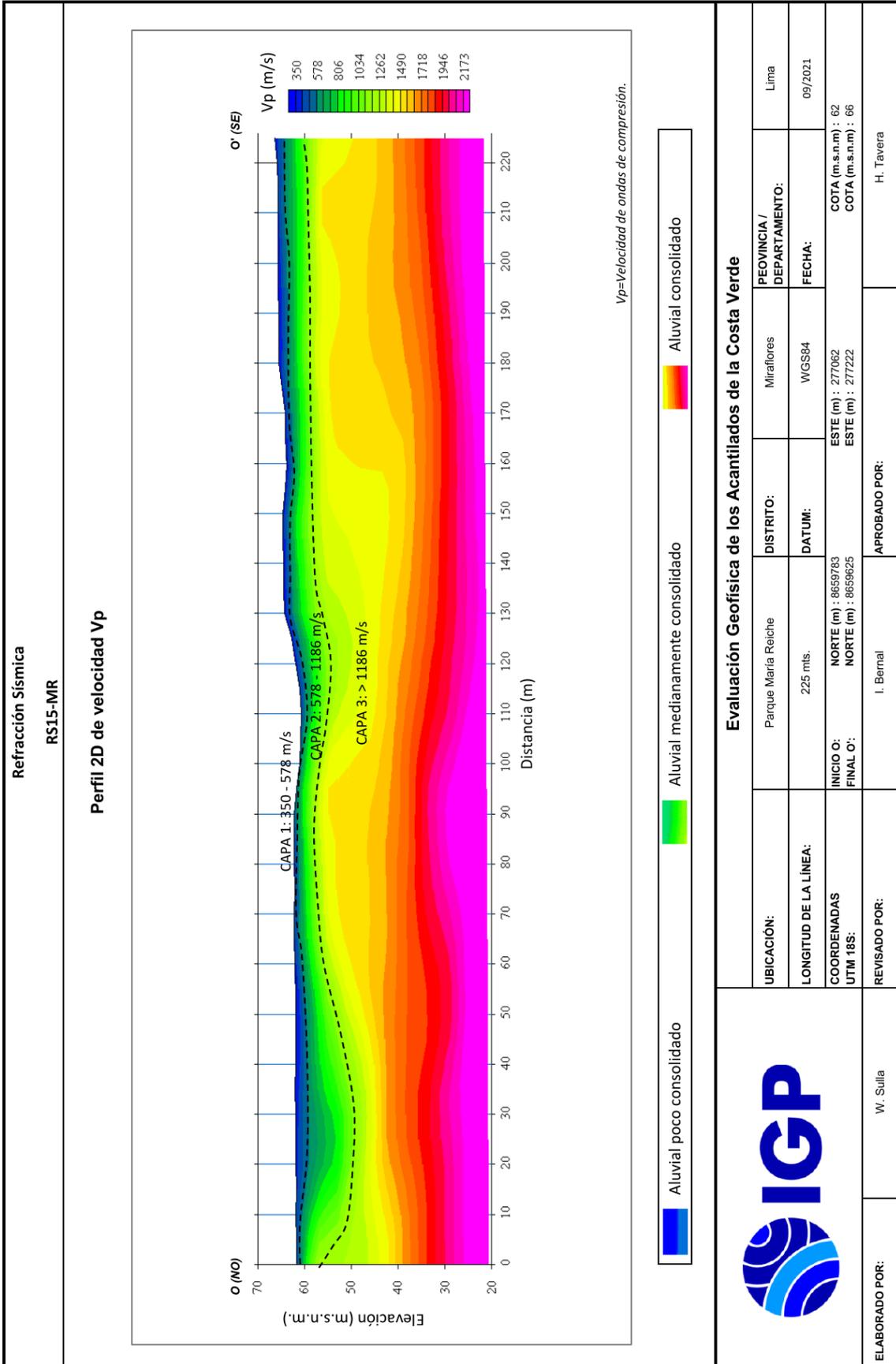
Evaluación Geofísica de los Acanuilados de la Costa Verde

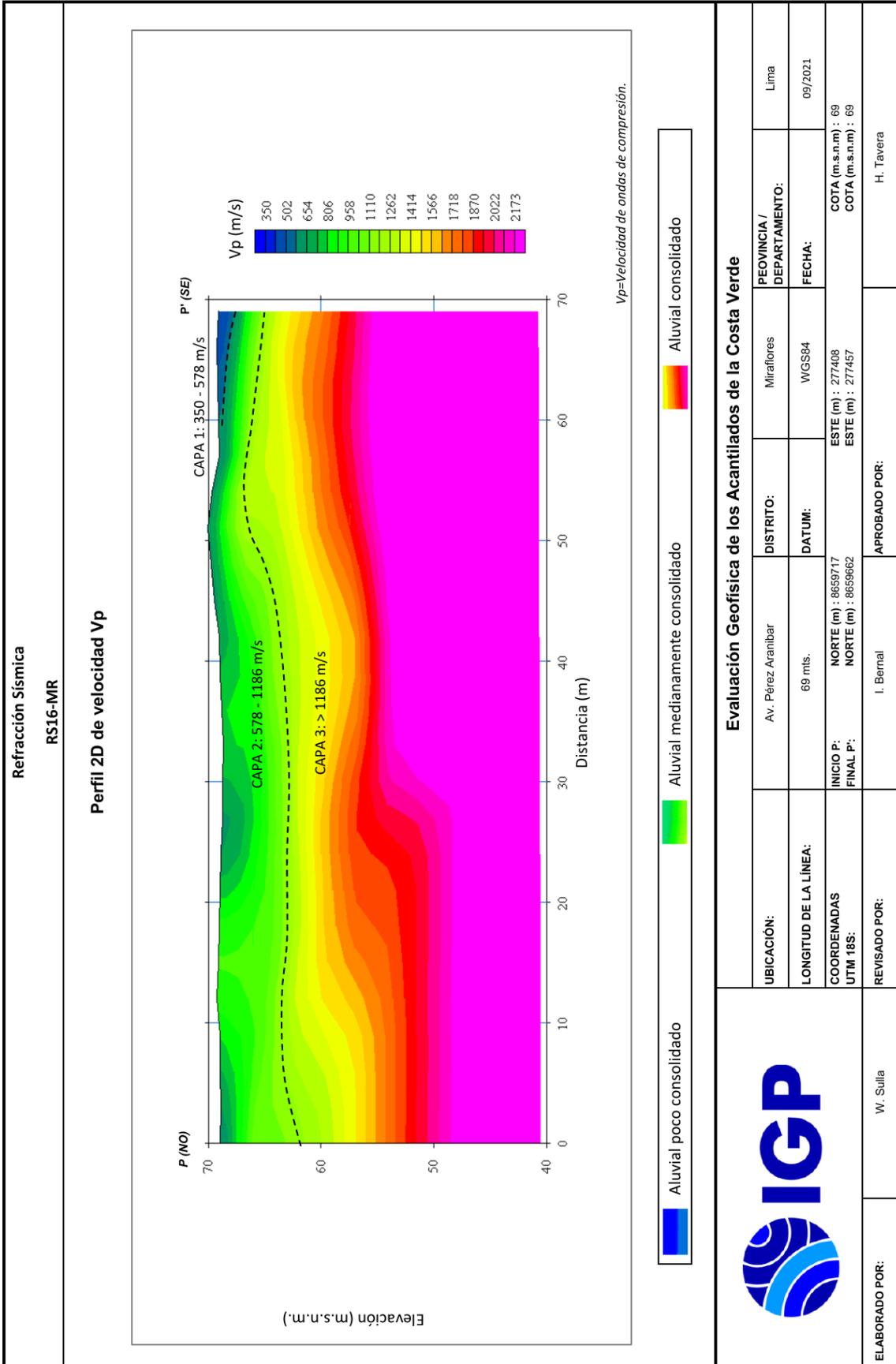
UBICACIÓN:	Malecón de la Marina	DISTRITO:	Miraflores	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LÍNEA:	330 mts.	DATUM:	WGS84	FECHA:	09/2021
COORDENADAS UTM 18S:	INICIO K: 8660244 FINAL K: 8660006	NORTE (m): 276768 ESTE (m): 277004	COTA (m.s.n.m.): 67 COTA (m.s.n.m.): 67		
REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera		
ELABORADO POR:	W. Sullta				

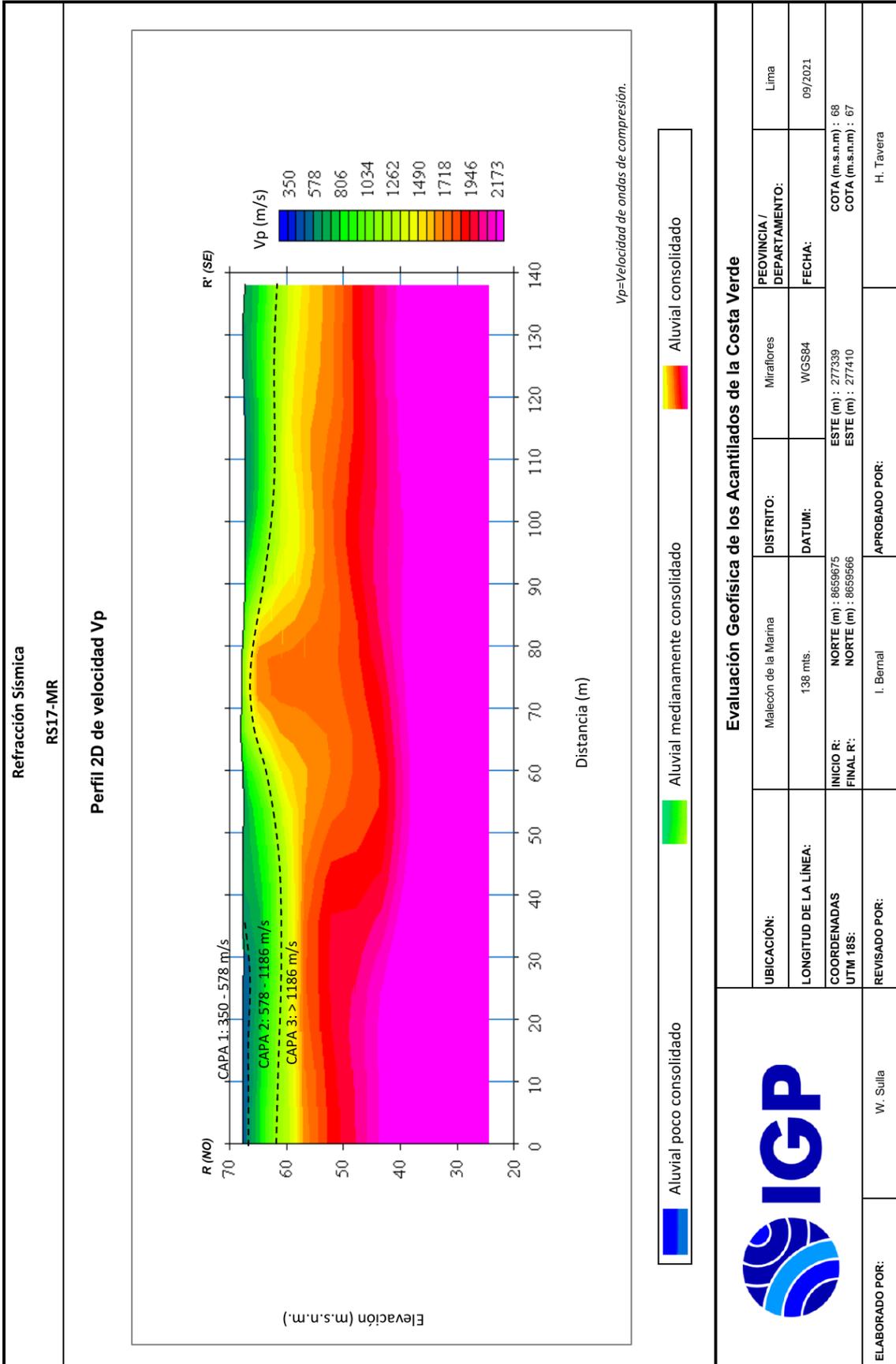


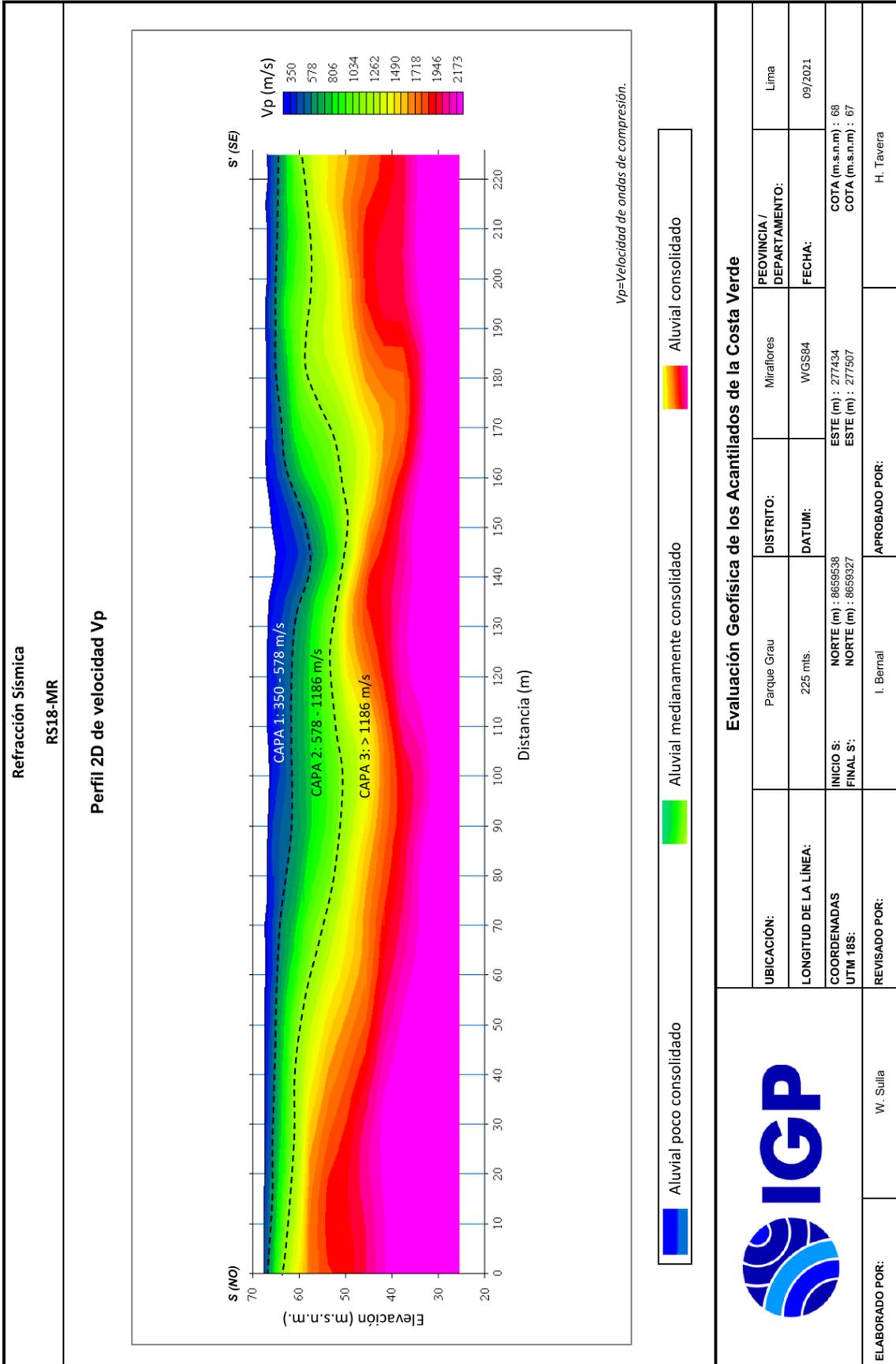


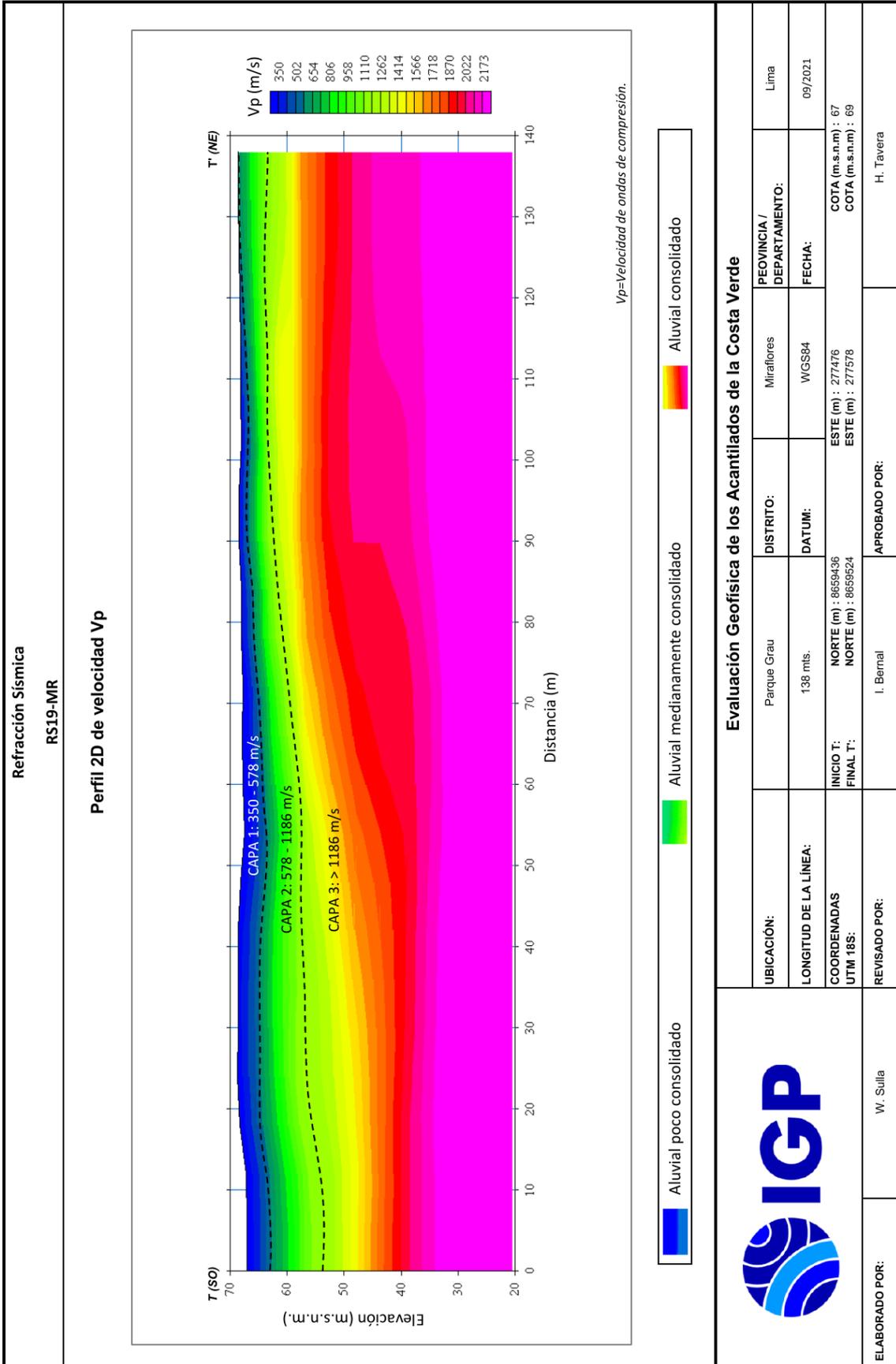


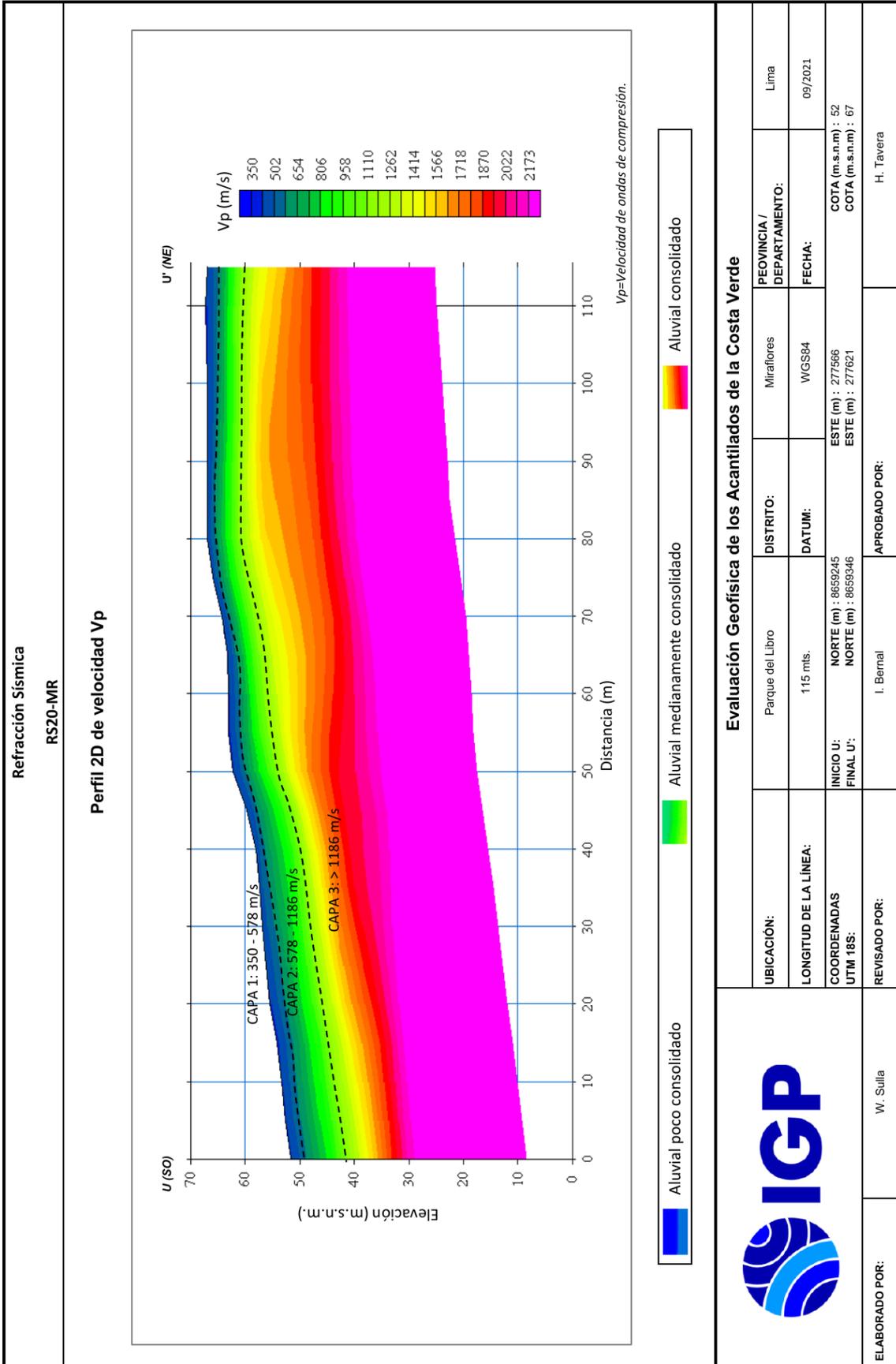


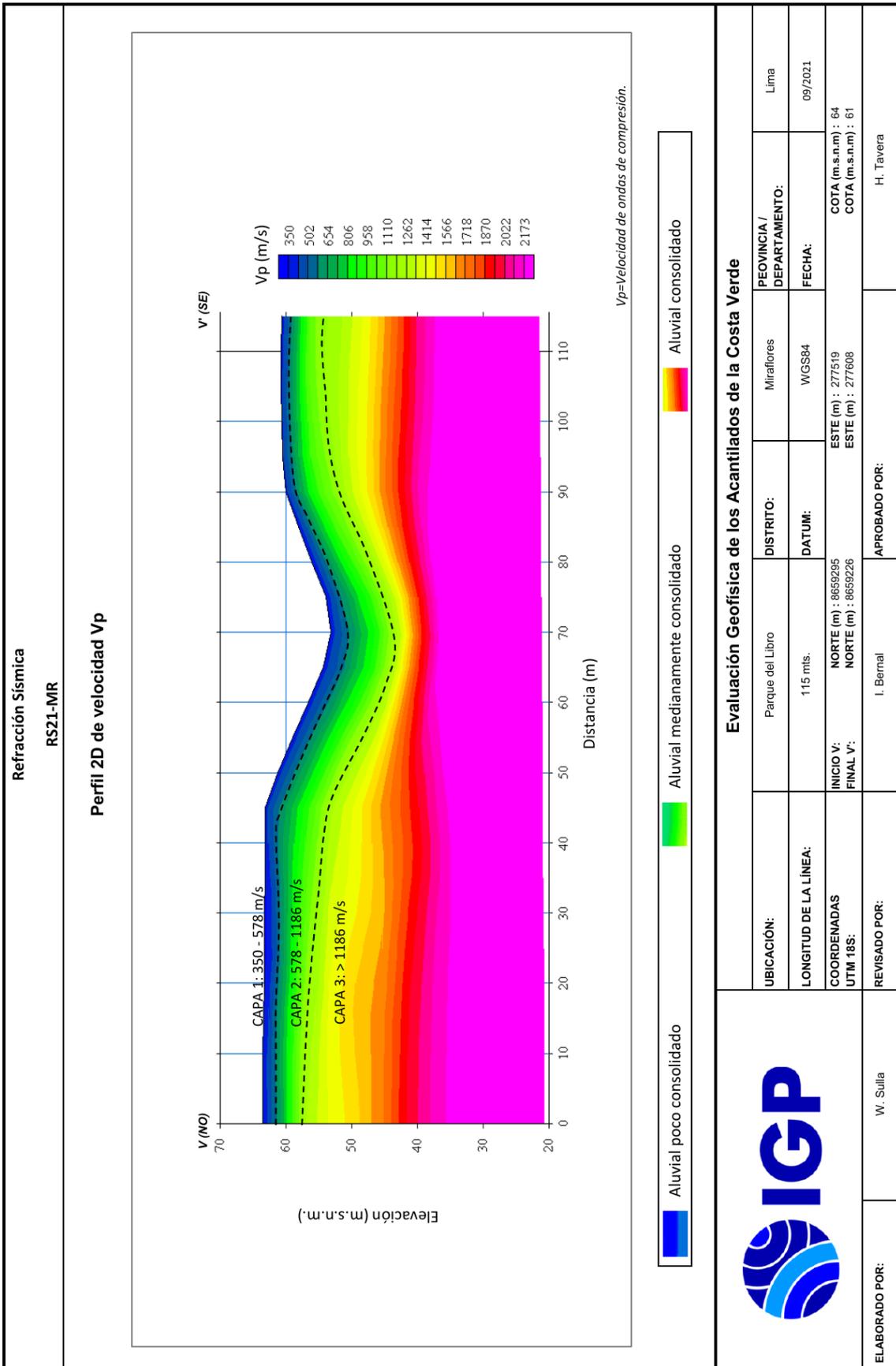


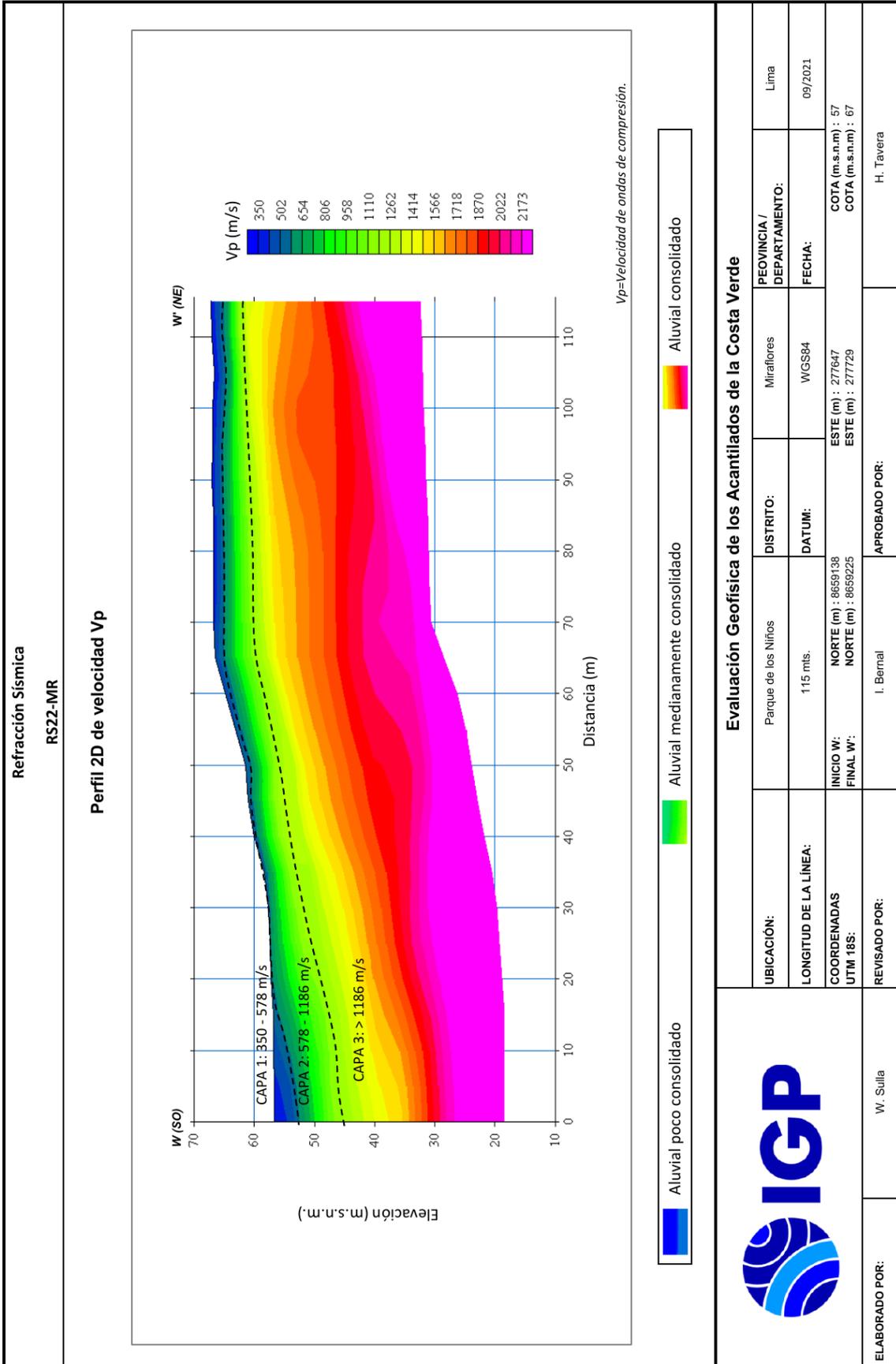


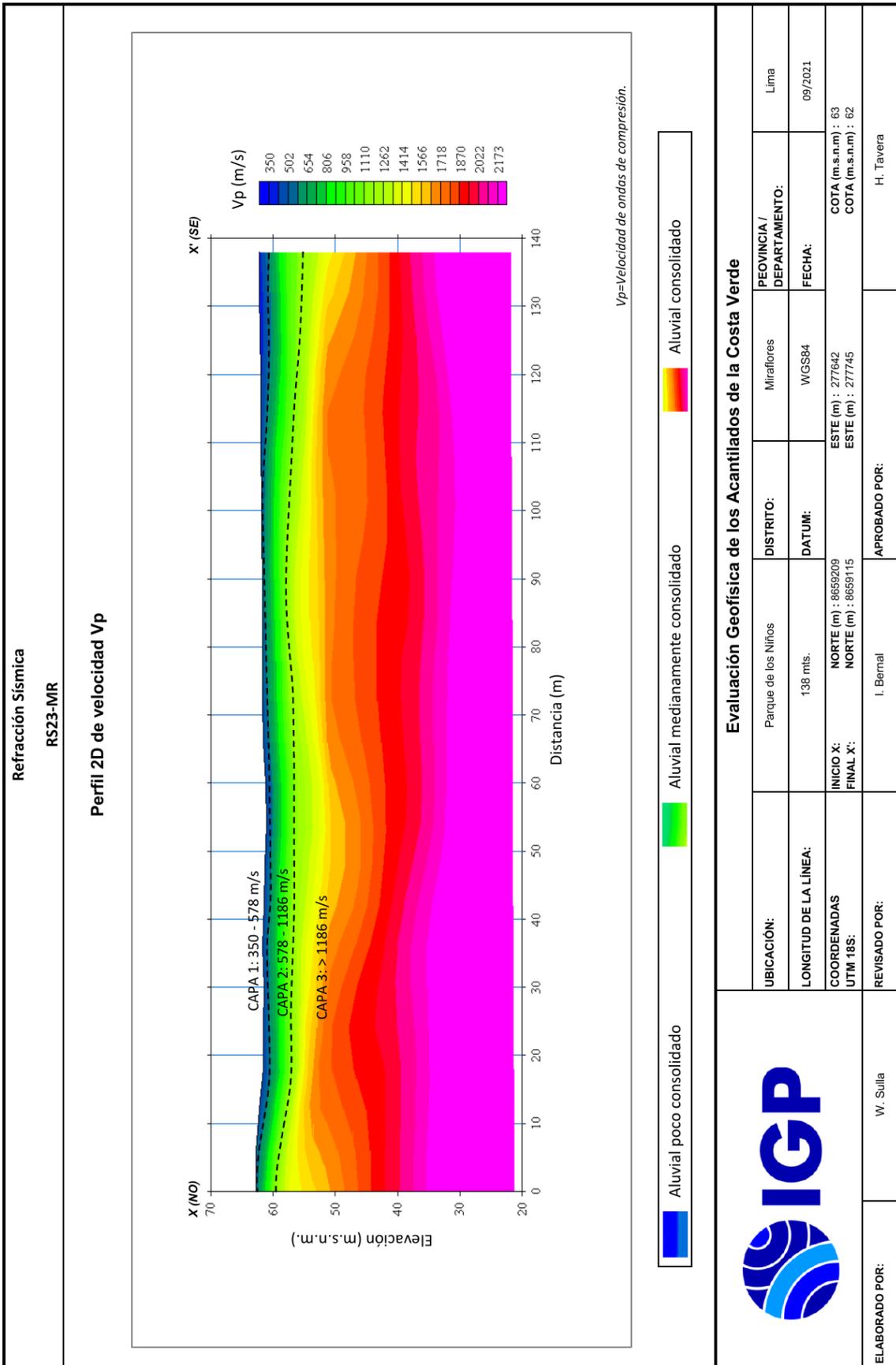


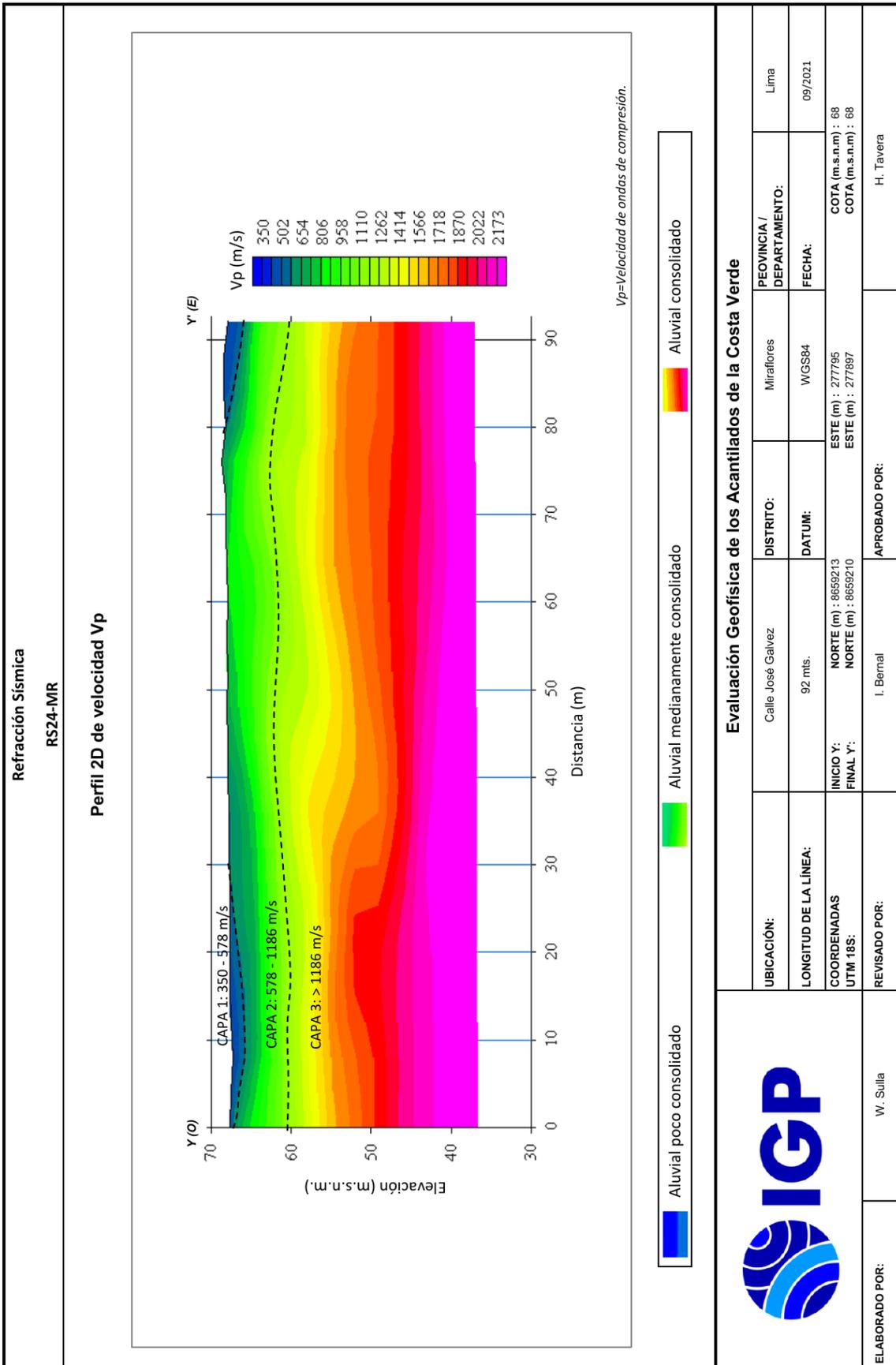


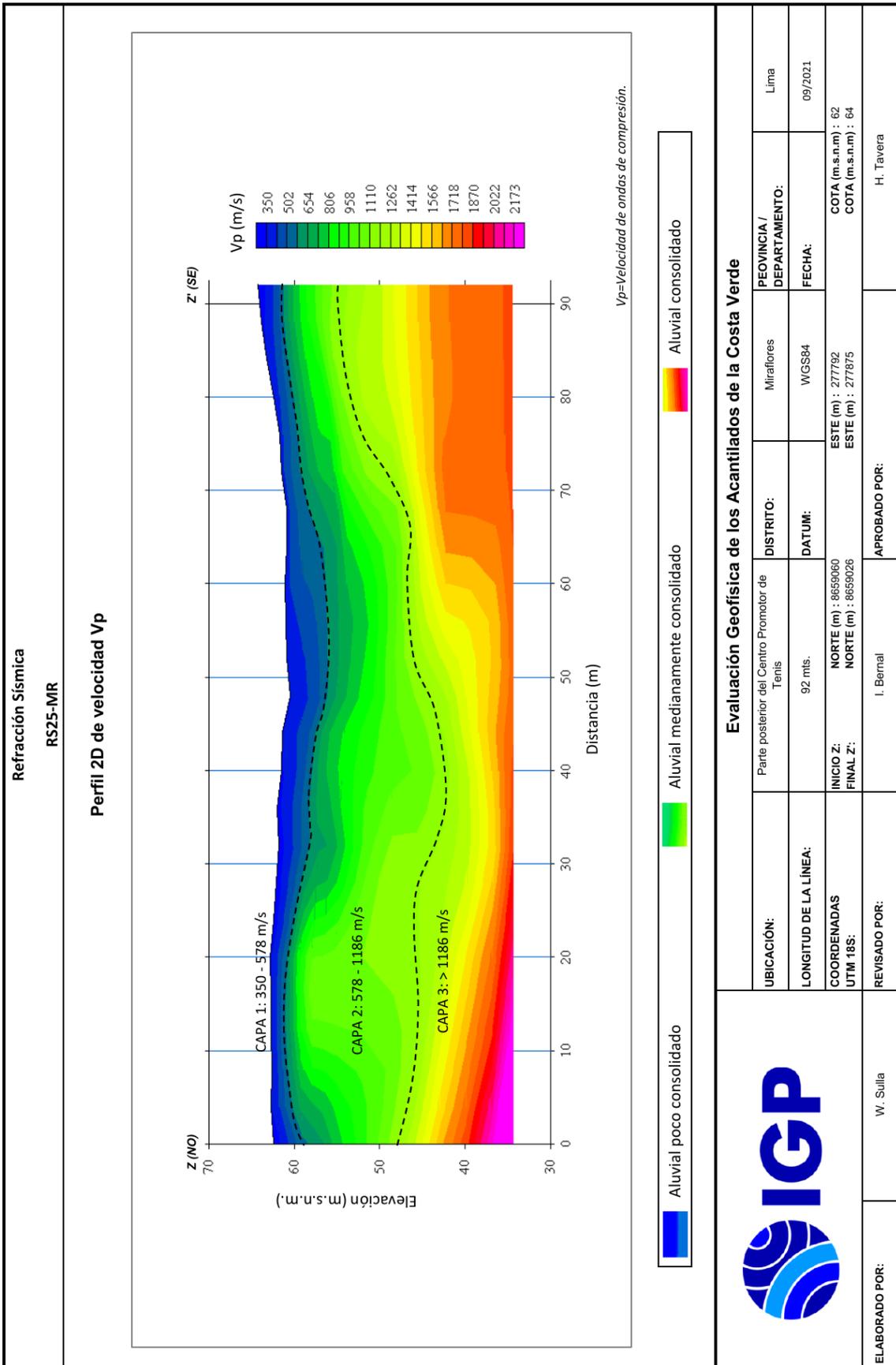


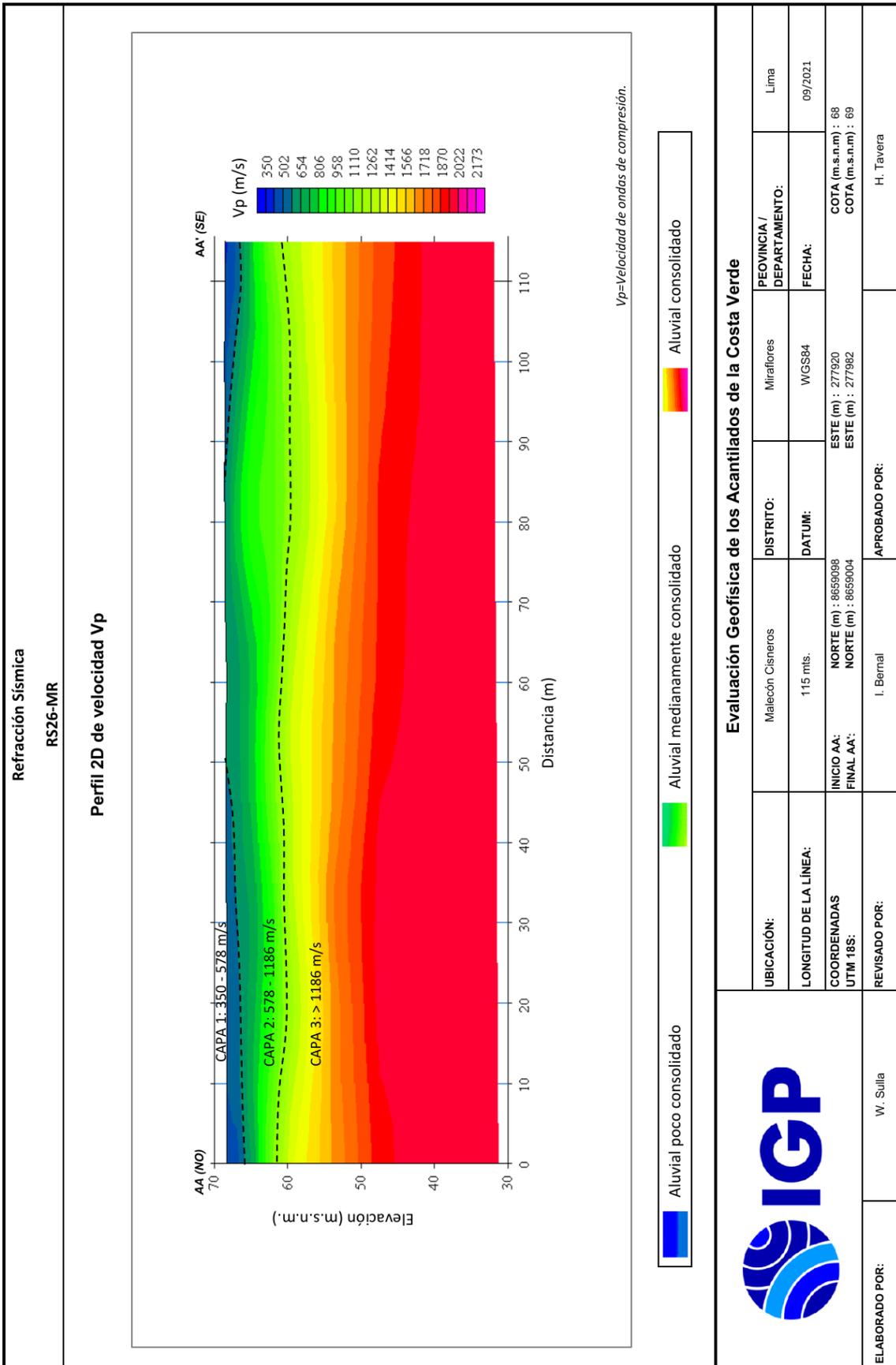


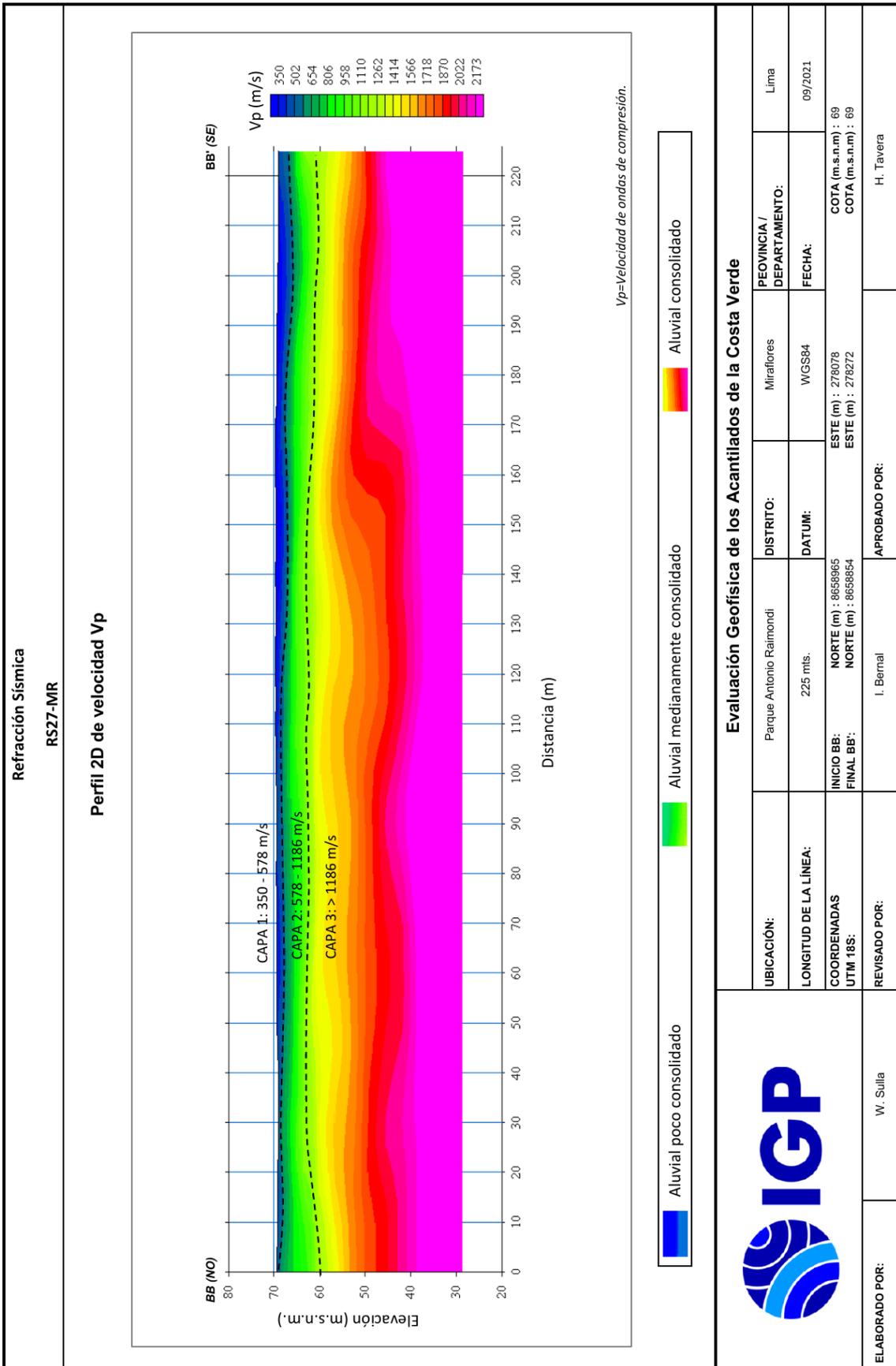


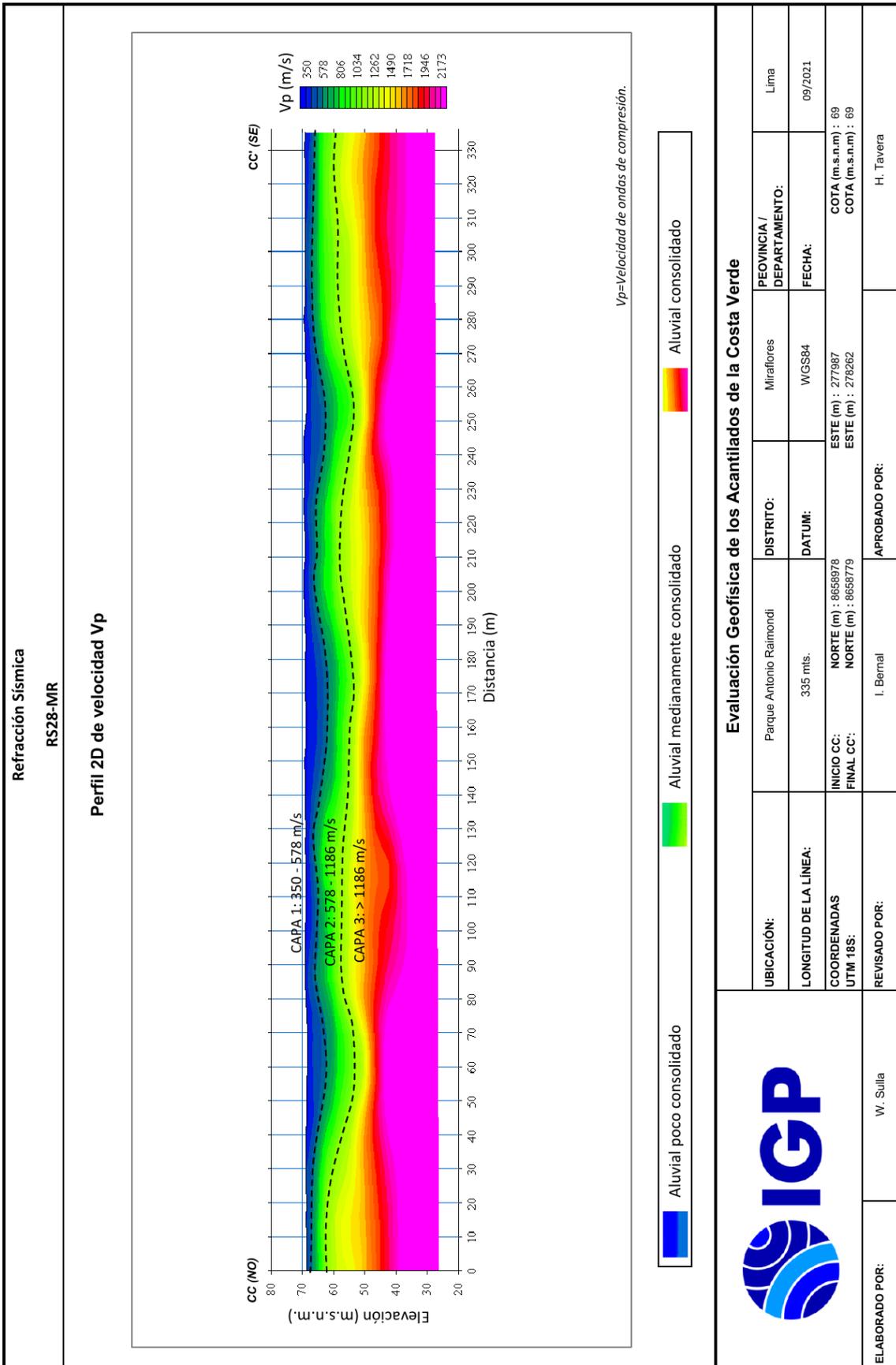


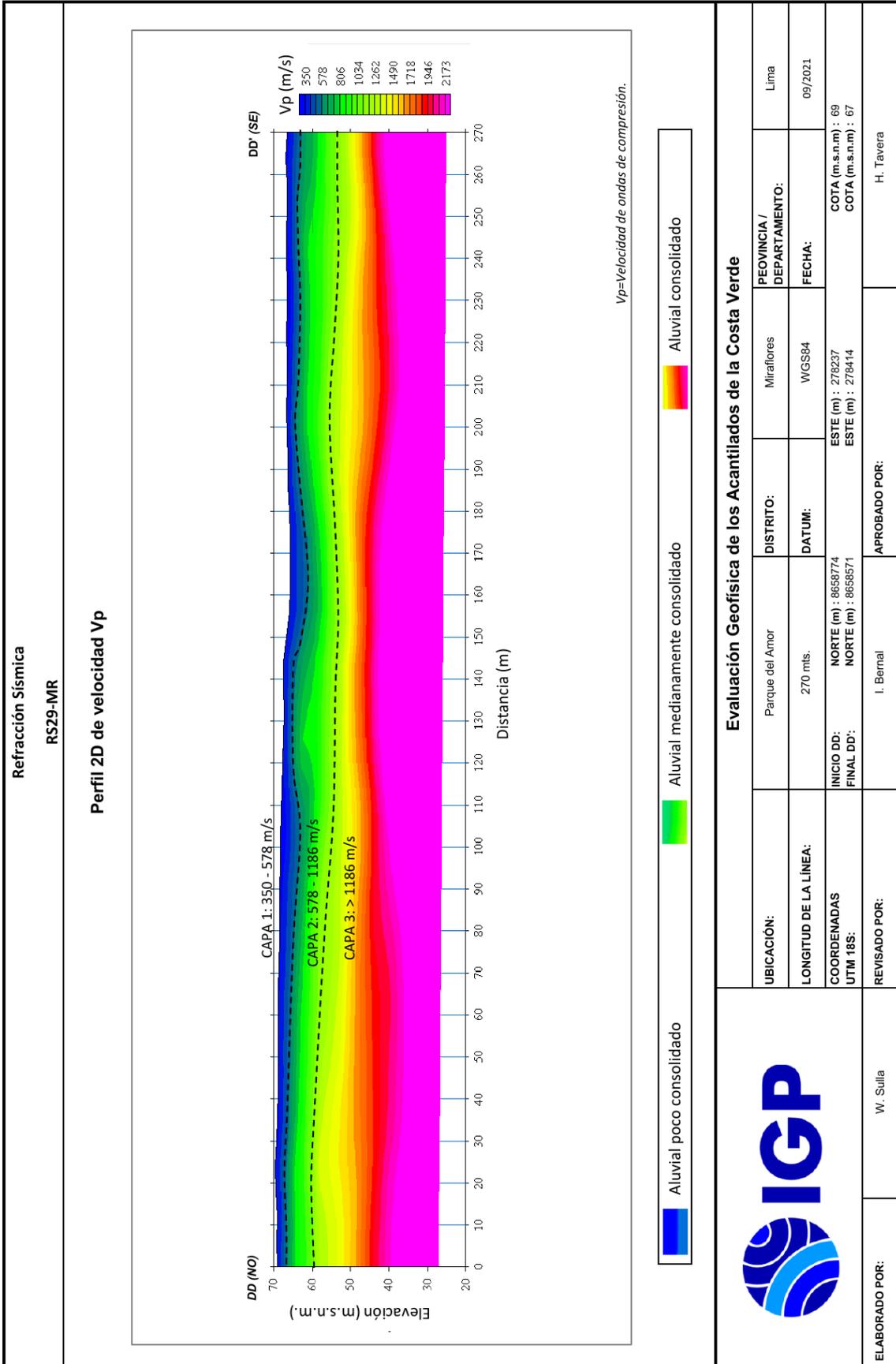


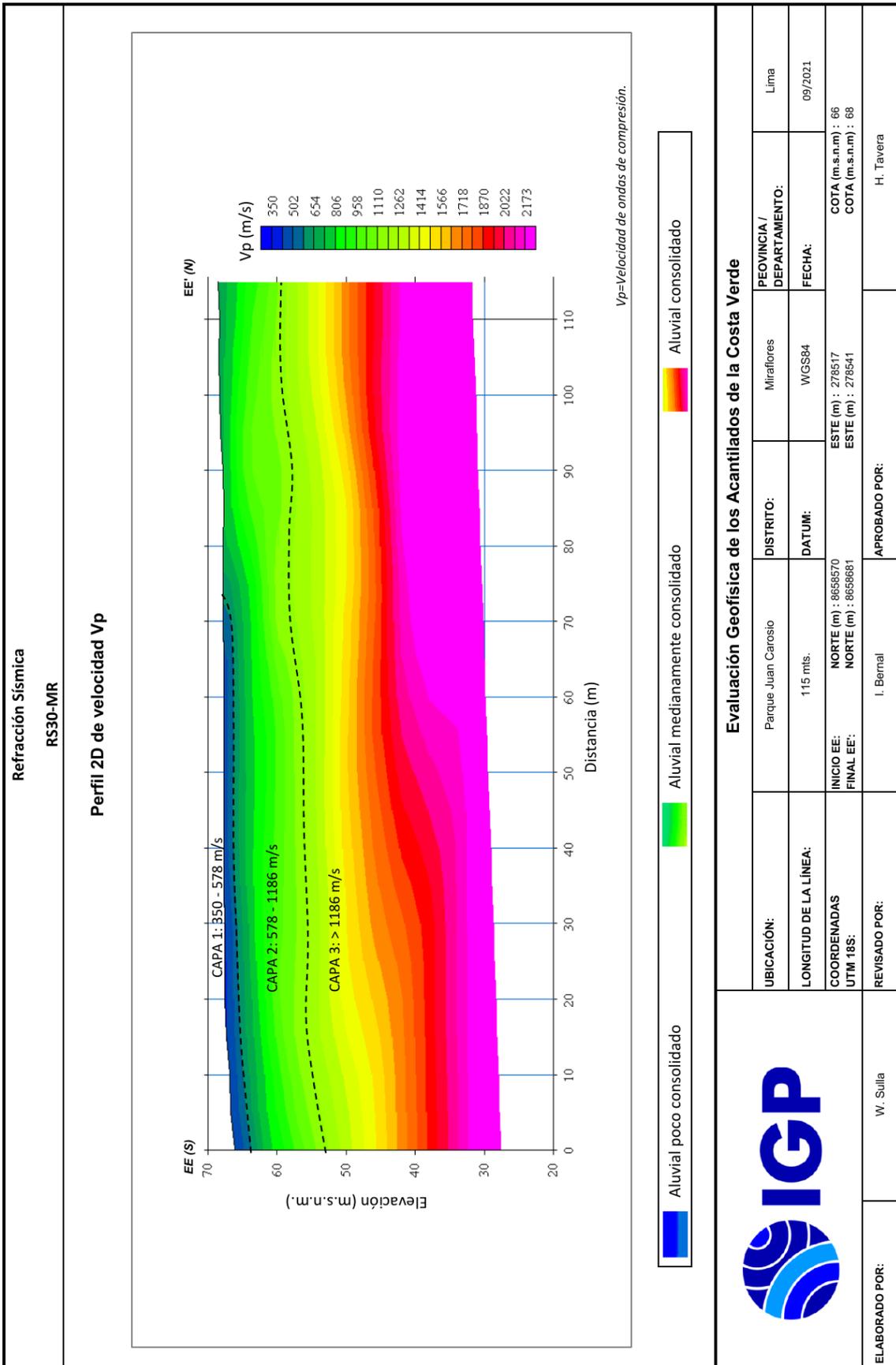






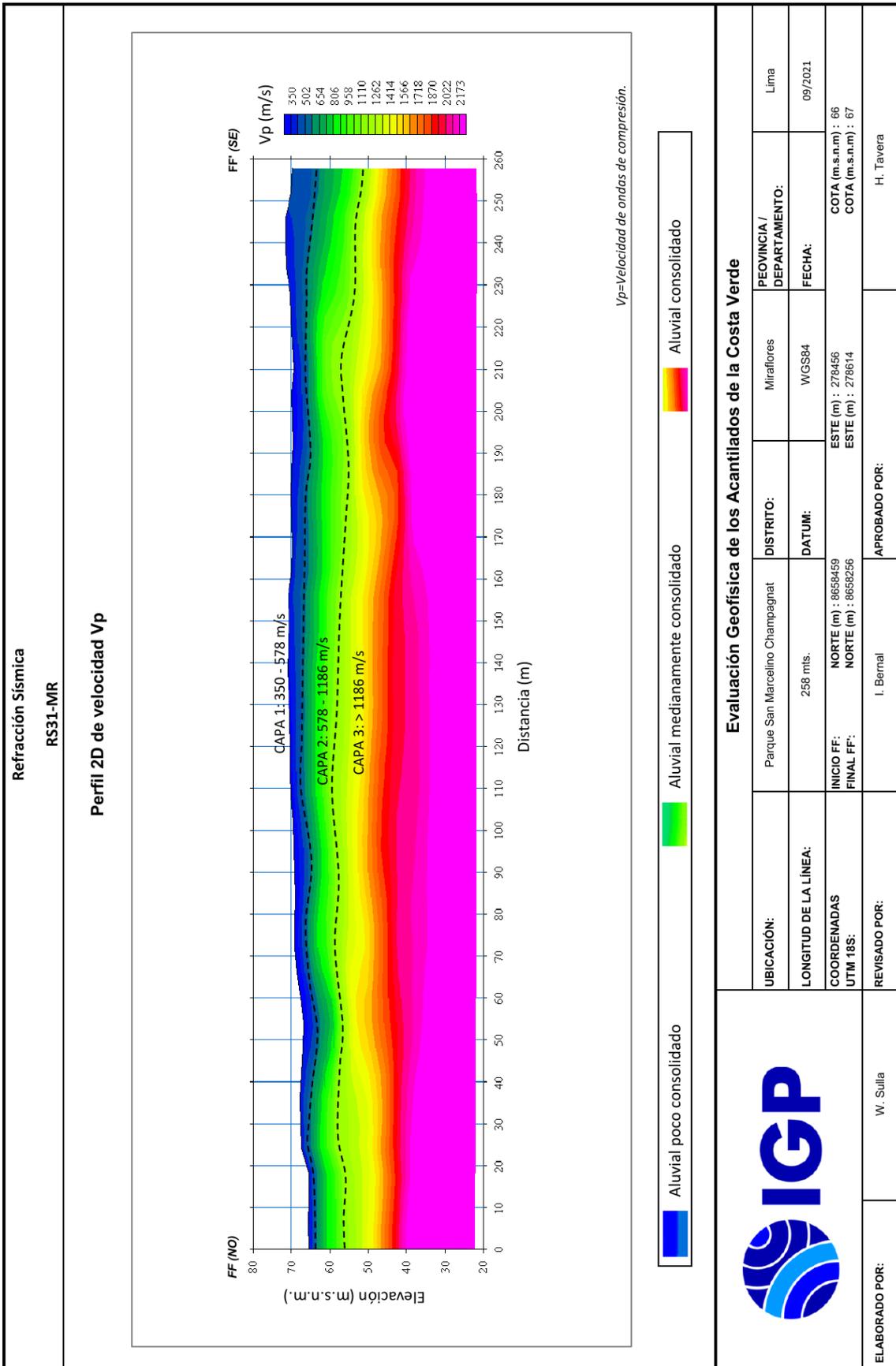


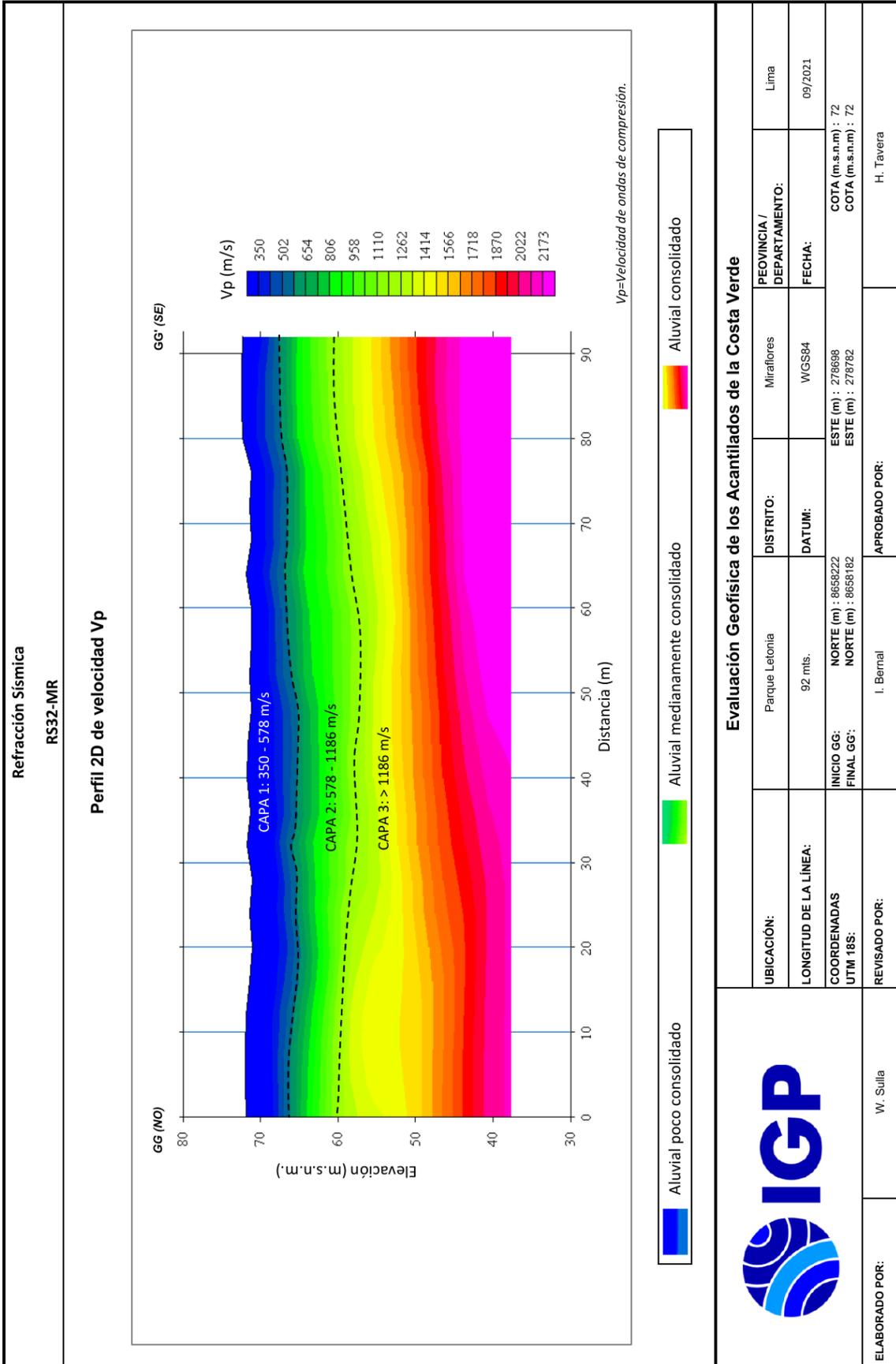


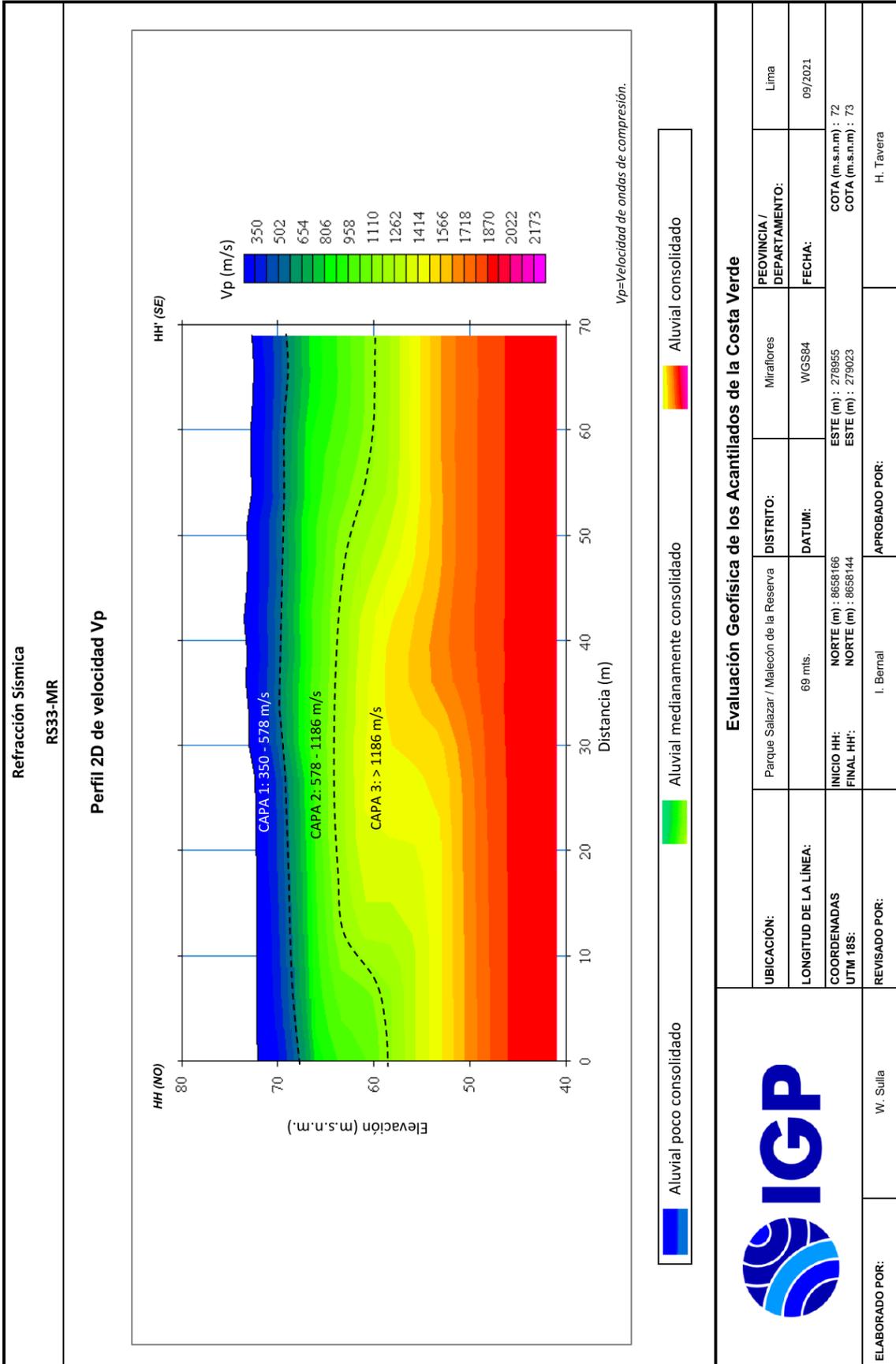


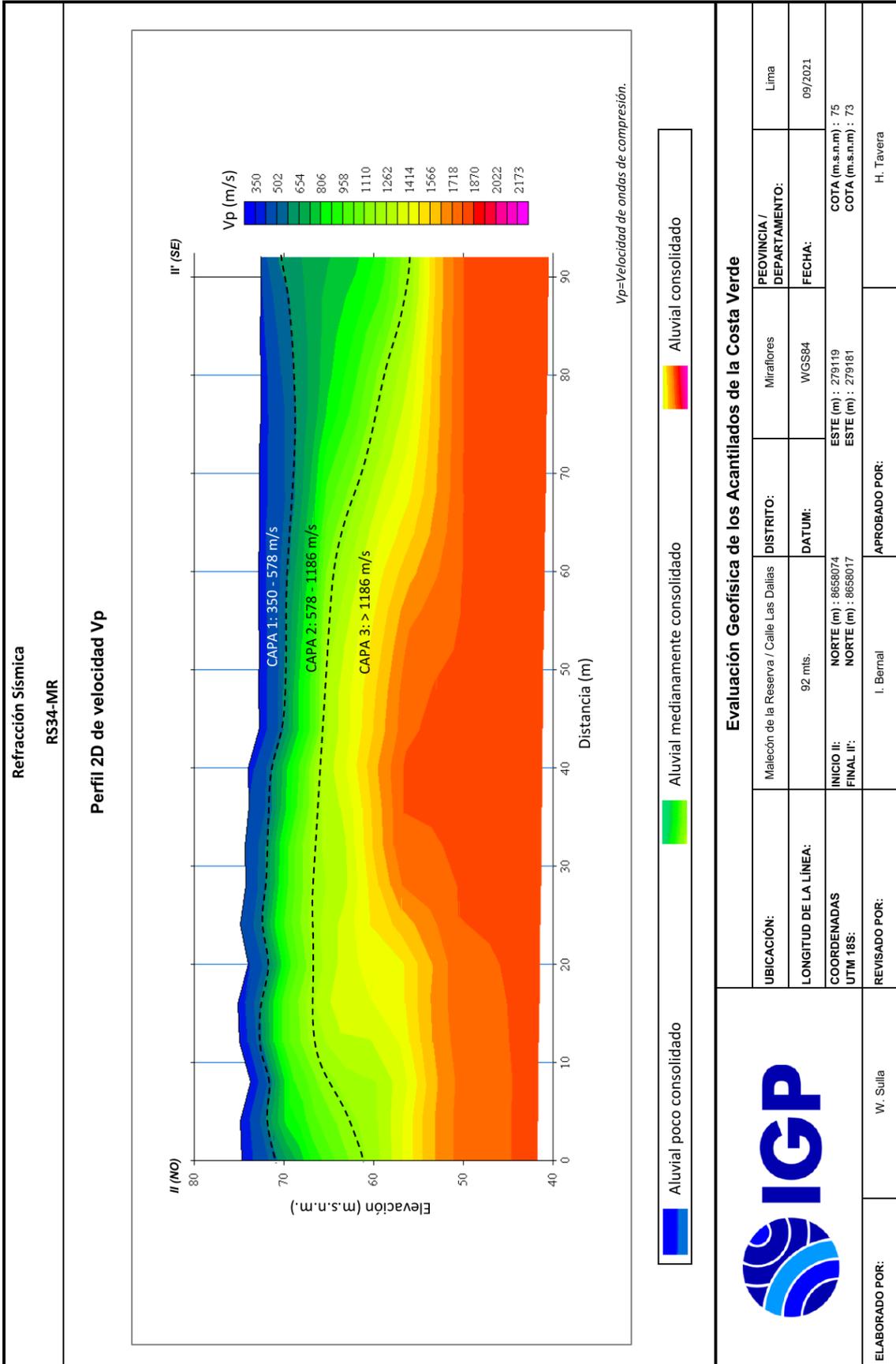
Evaluación Geofísica de los Acanilados de la Costa Verde

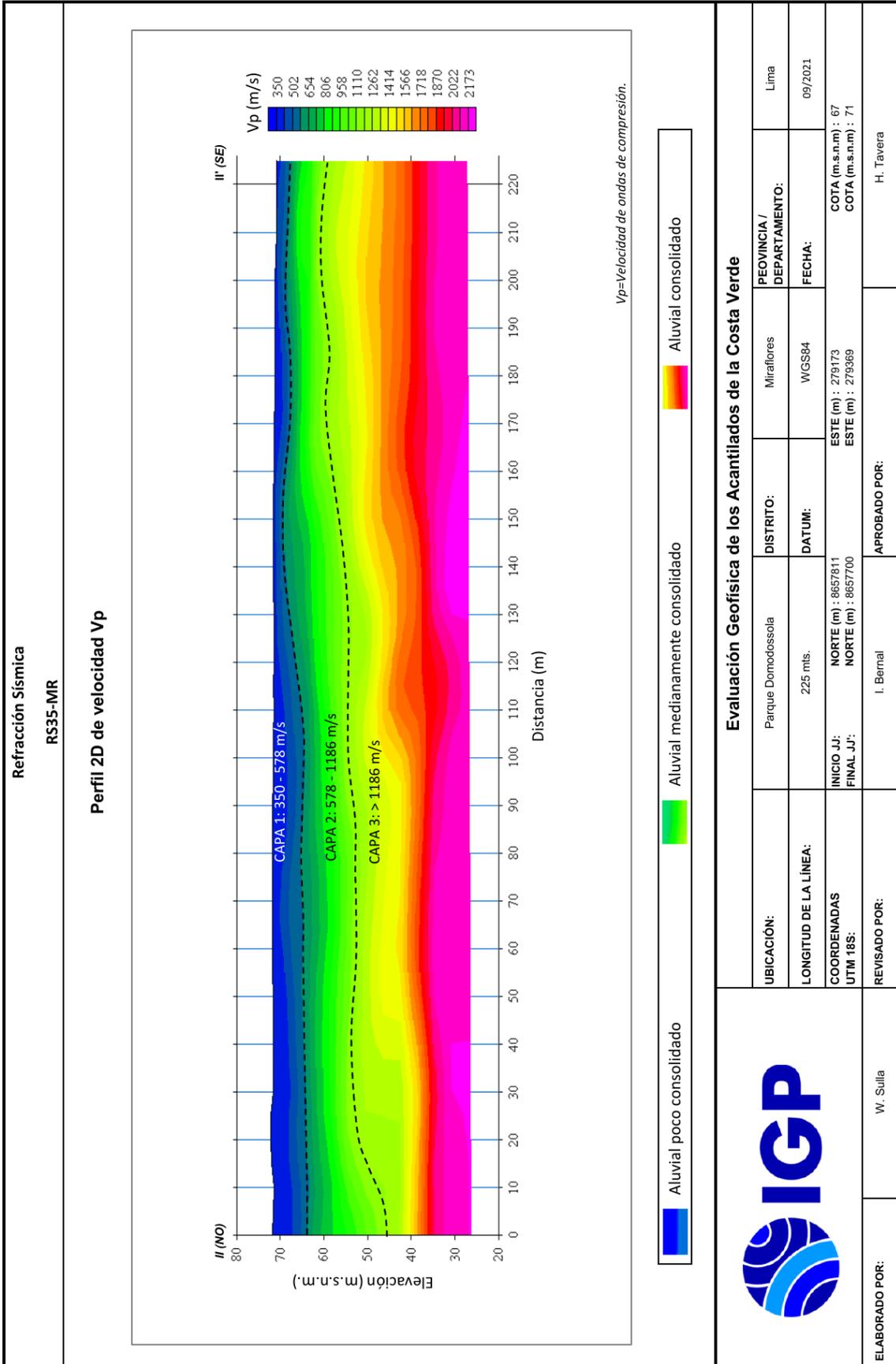
	UBICACIÓN:	Parque Juan Carlos I	DISTRITO:	Miraflores	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LÍNEA:	115 mts.	DATUM:	WGS84	FECHA:	09/2021
	COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8658570 SUR (m) : 8658681	ESTE (m) : 278517 OESTE (m) : 278541	COTA (m.s.n.m) : 66 COTA (m.s.n.m) : 68		
	REVISADO POR:	W. Sullta	APROBADO POR:	H. Tavera		





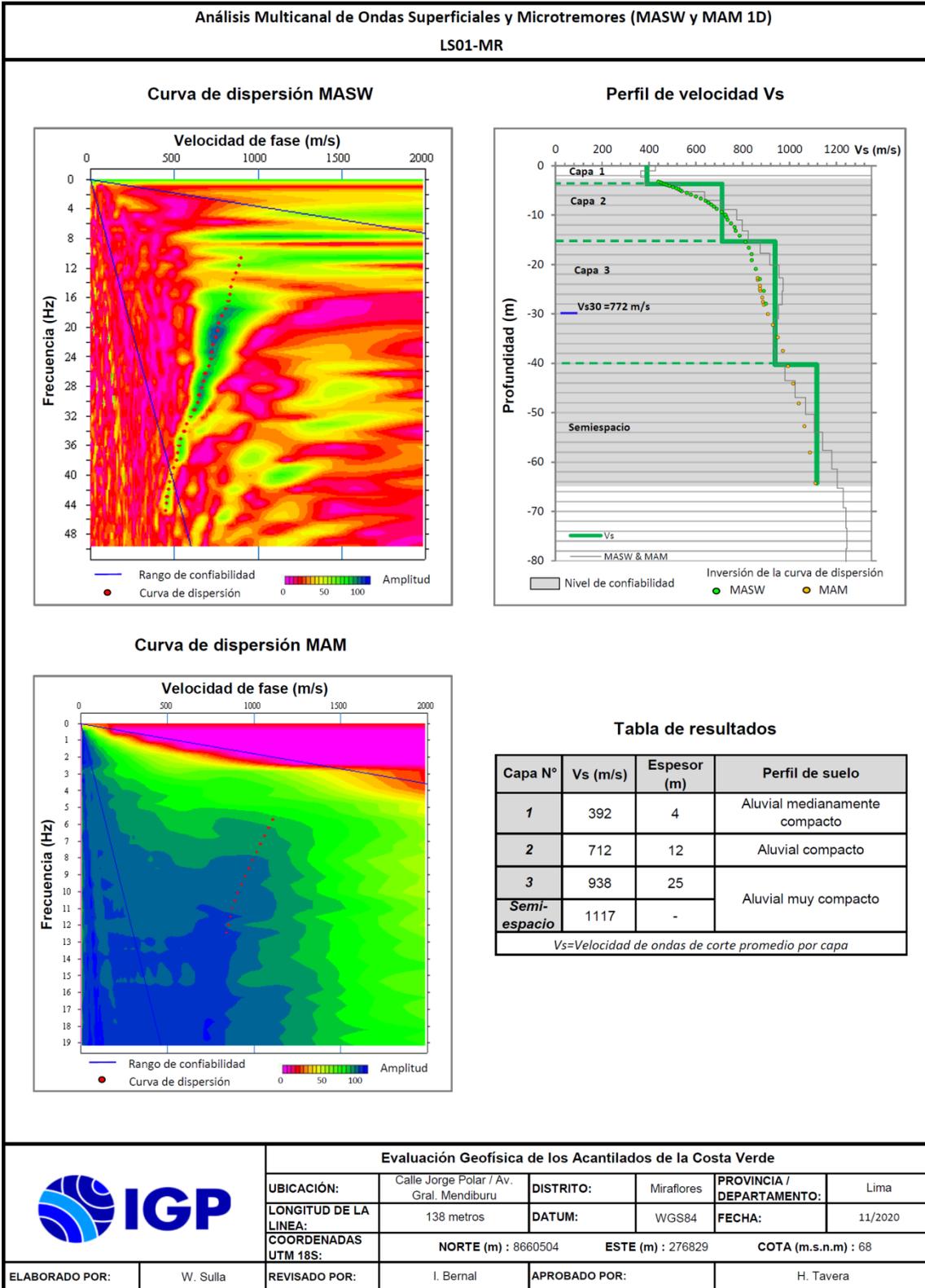


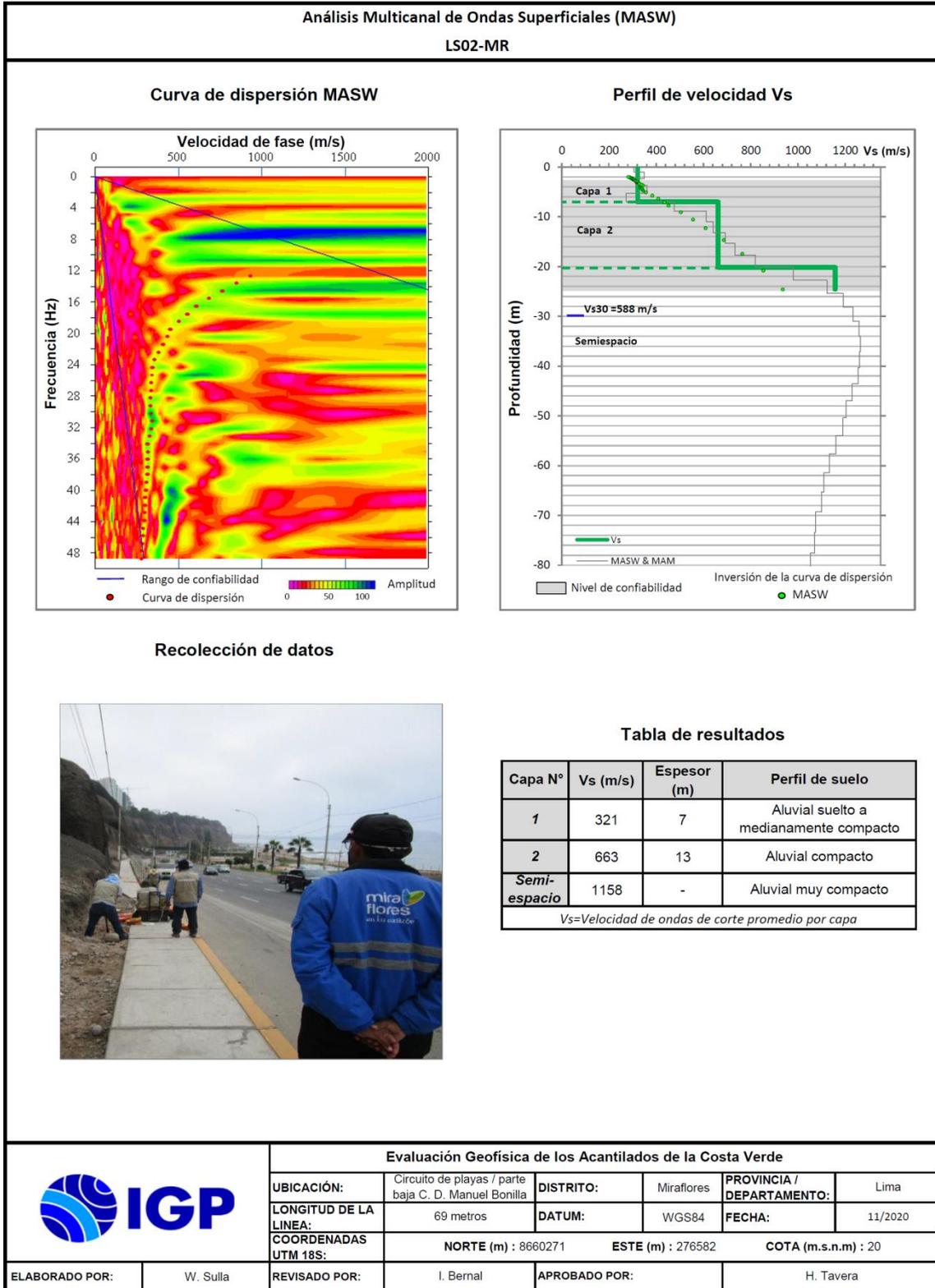


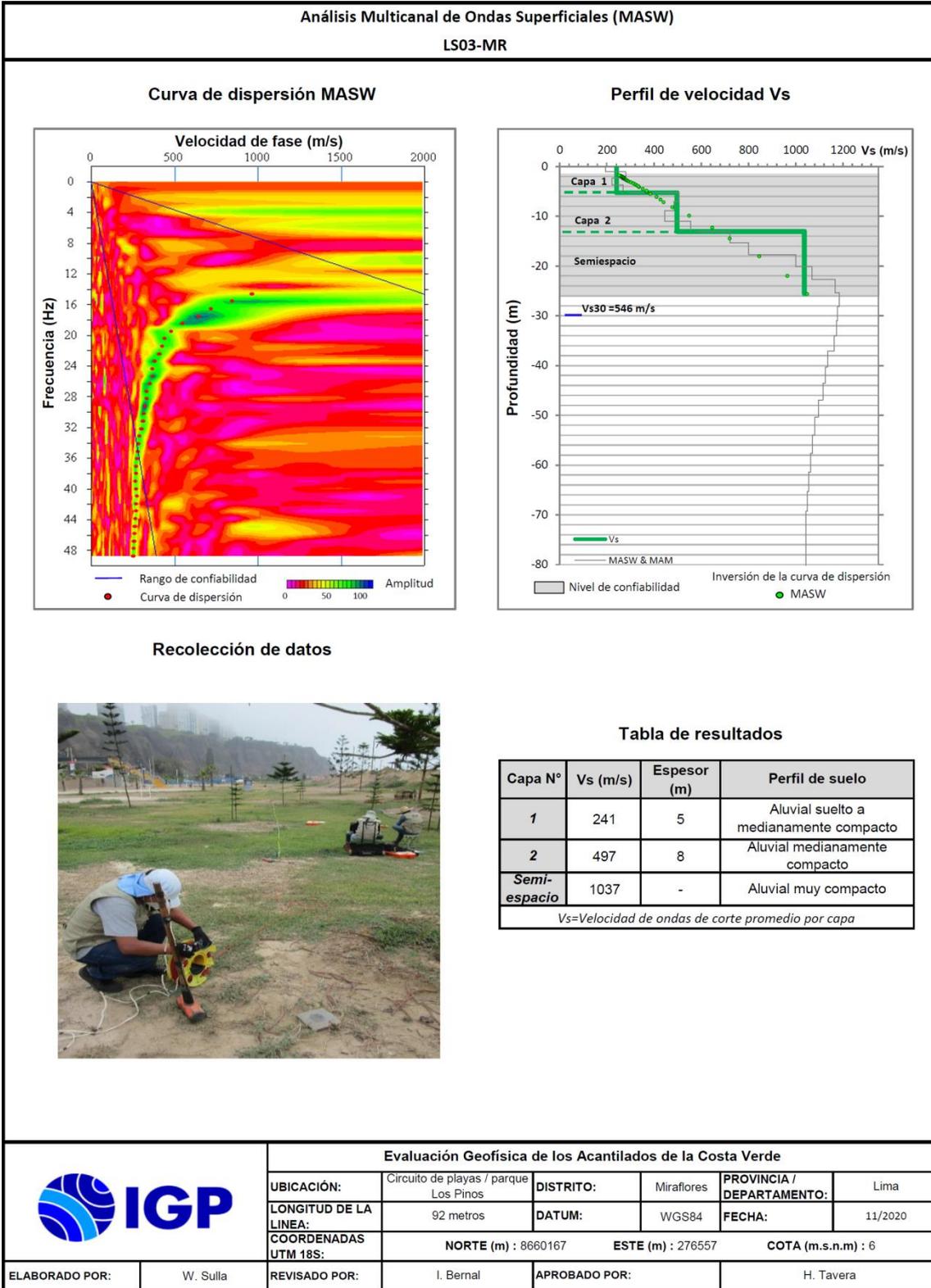


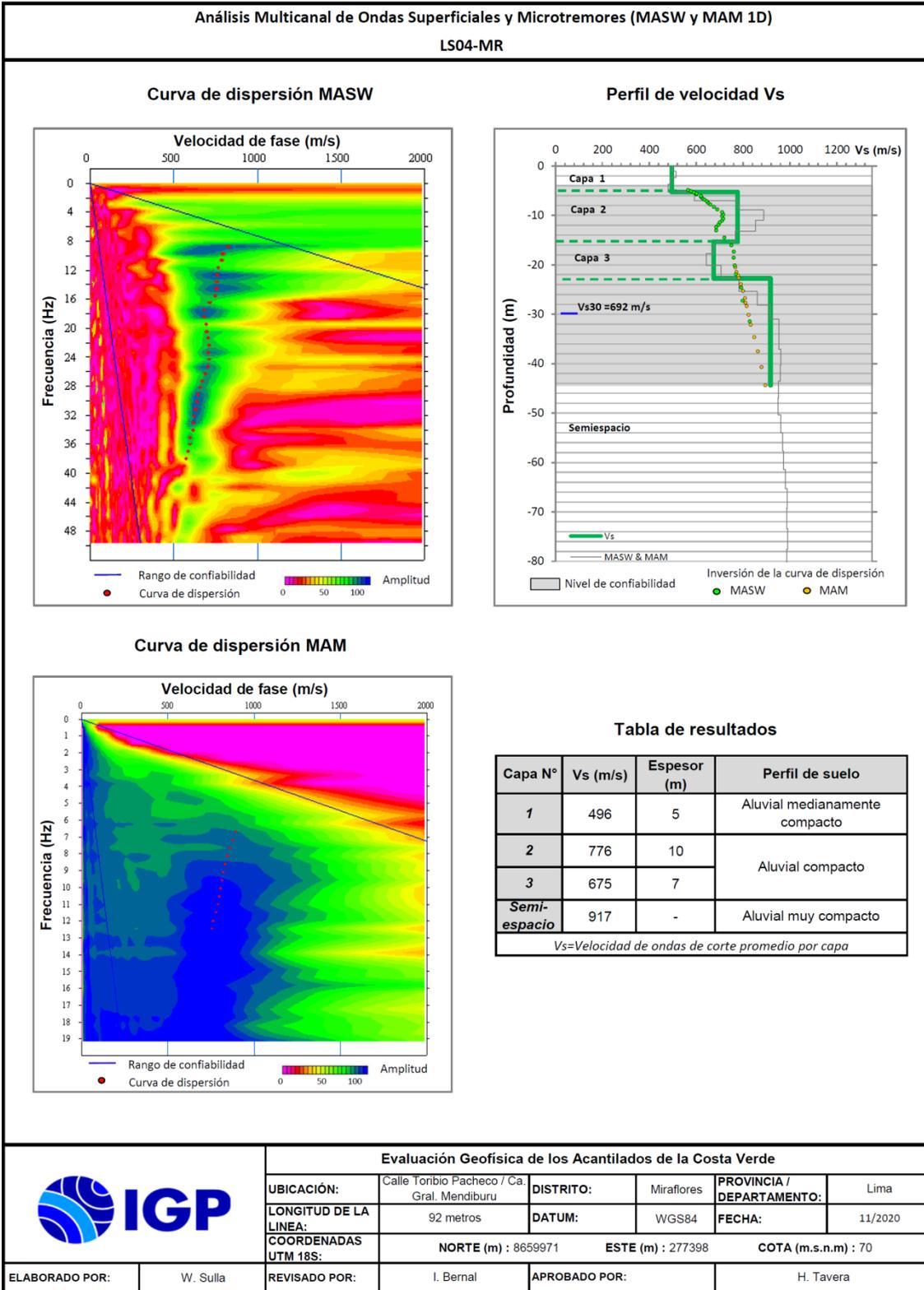
ANEXO II

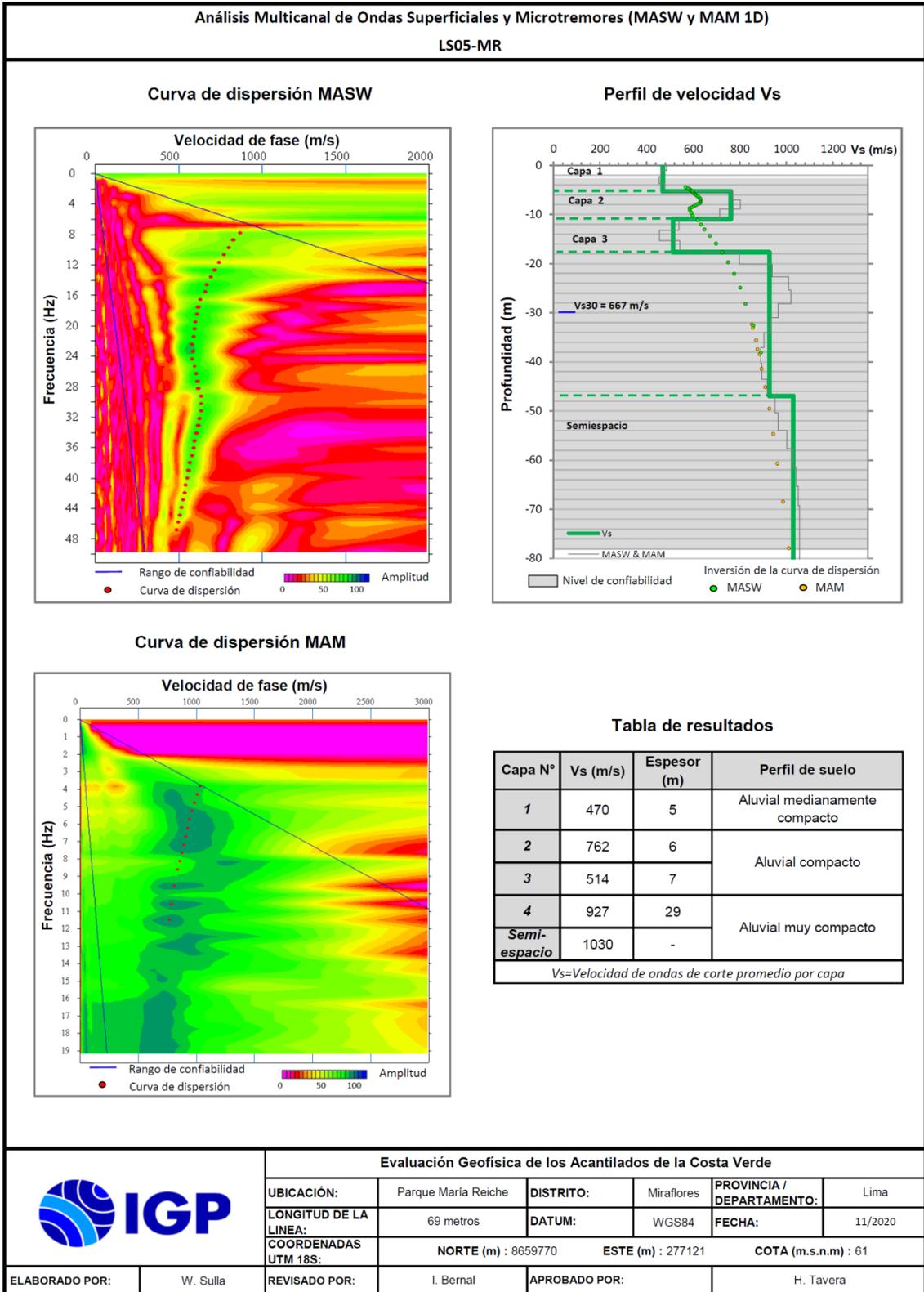
Perfiles MASW y MAM.

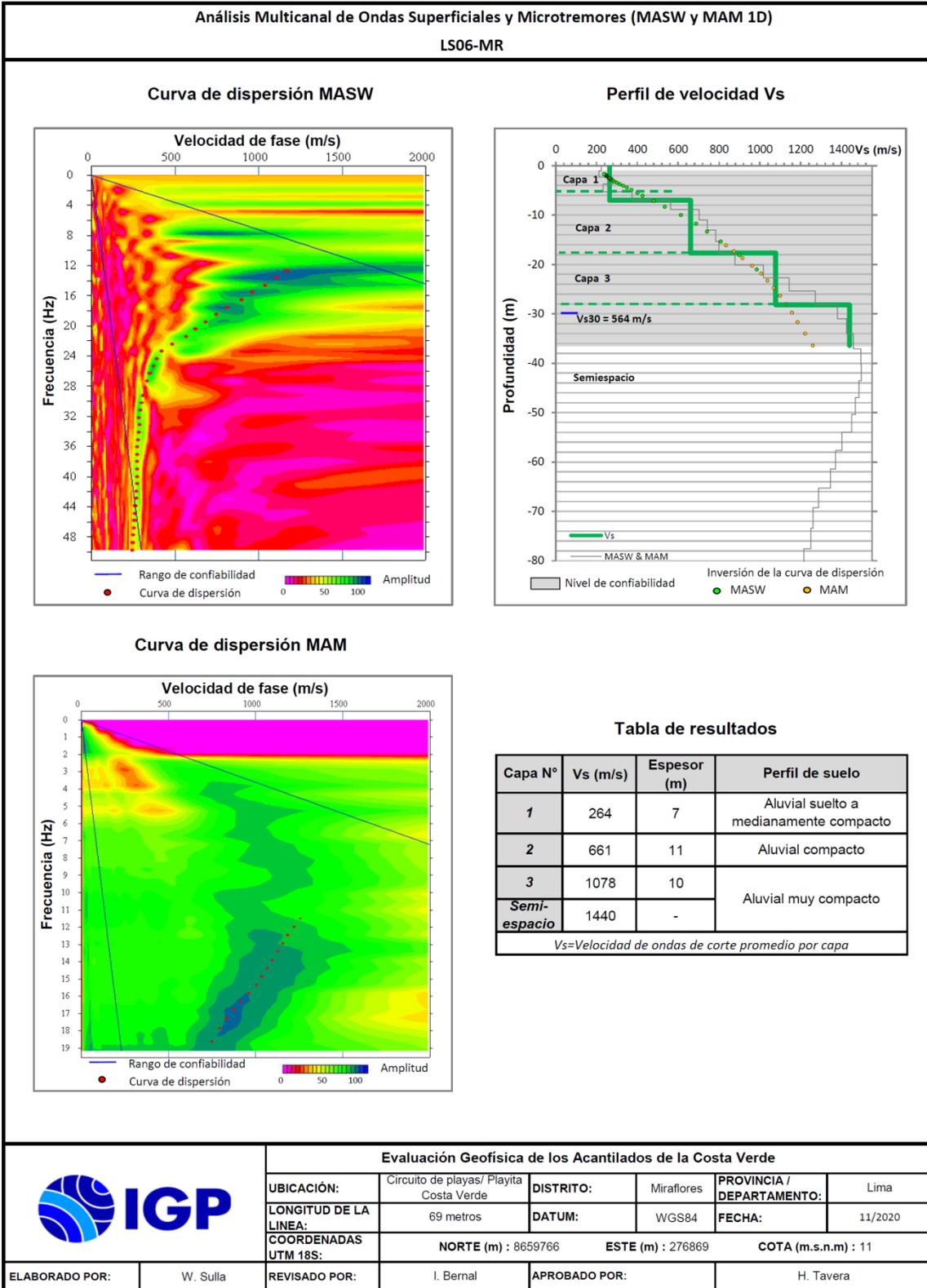


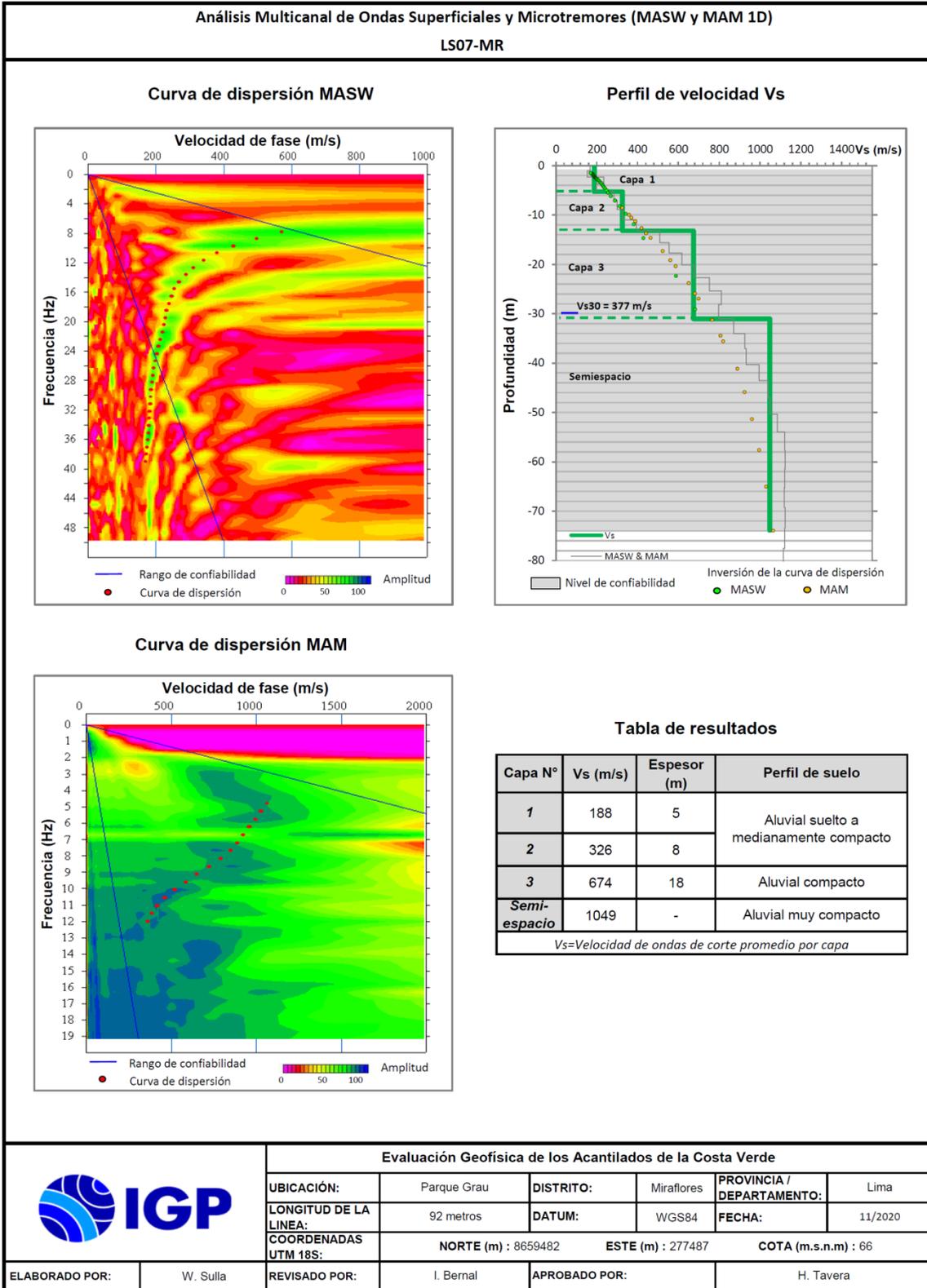


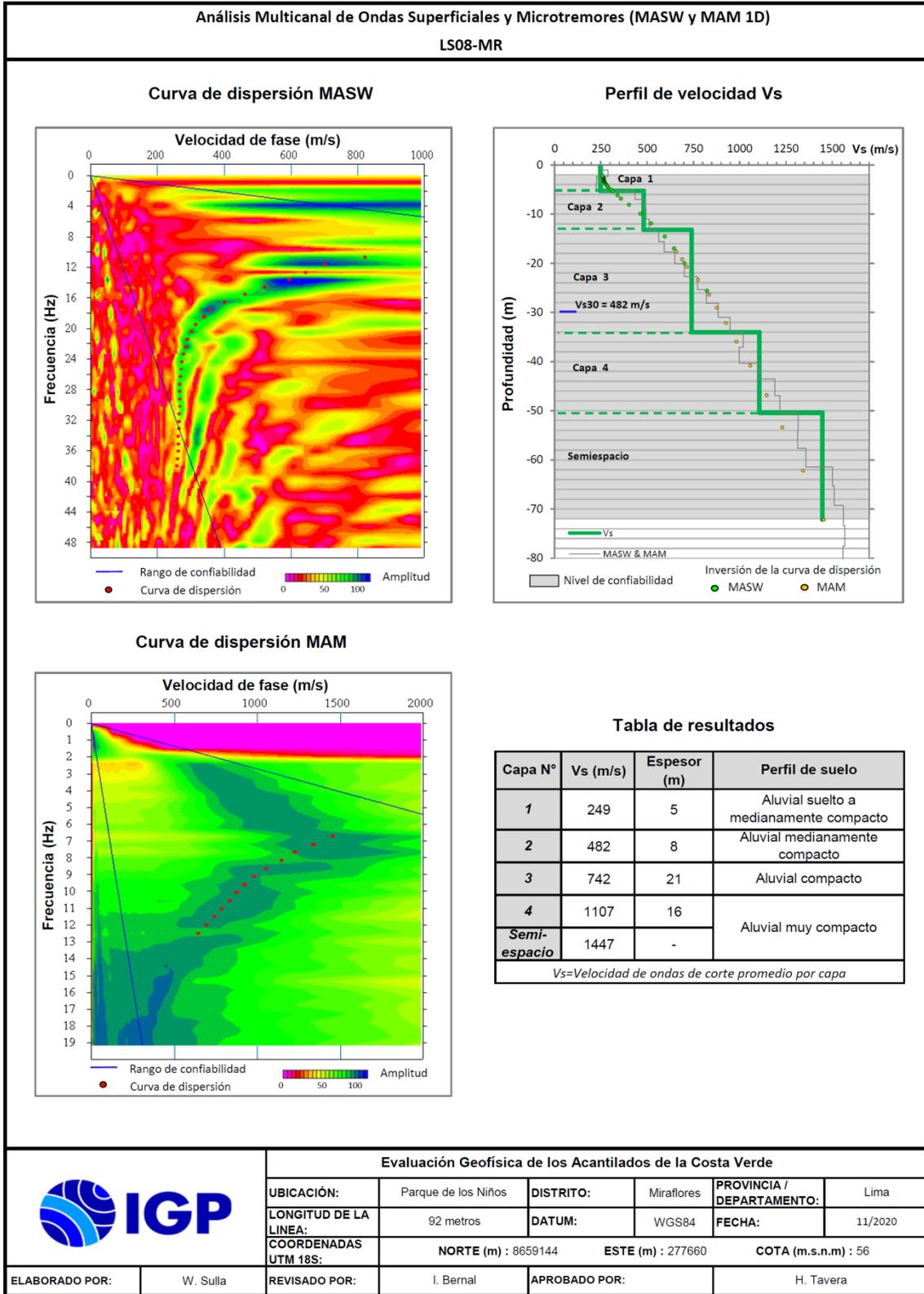


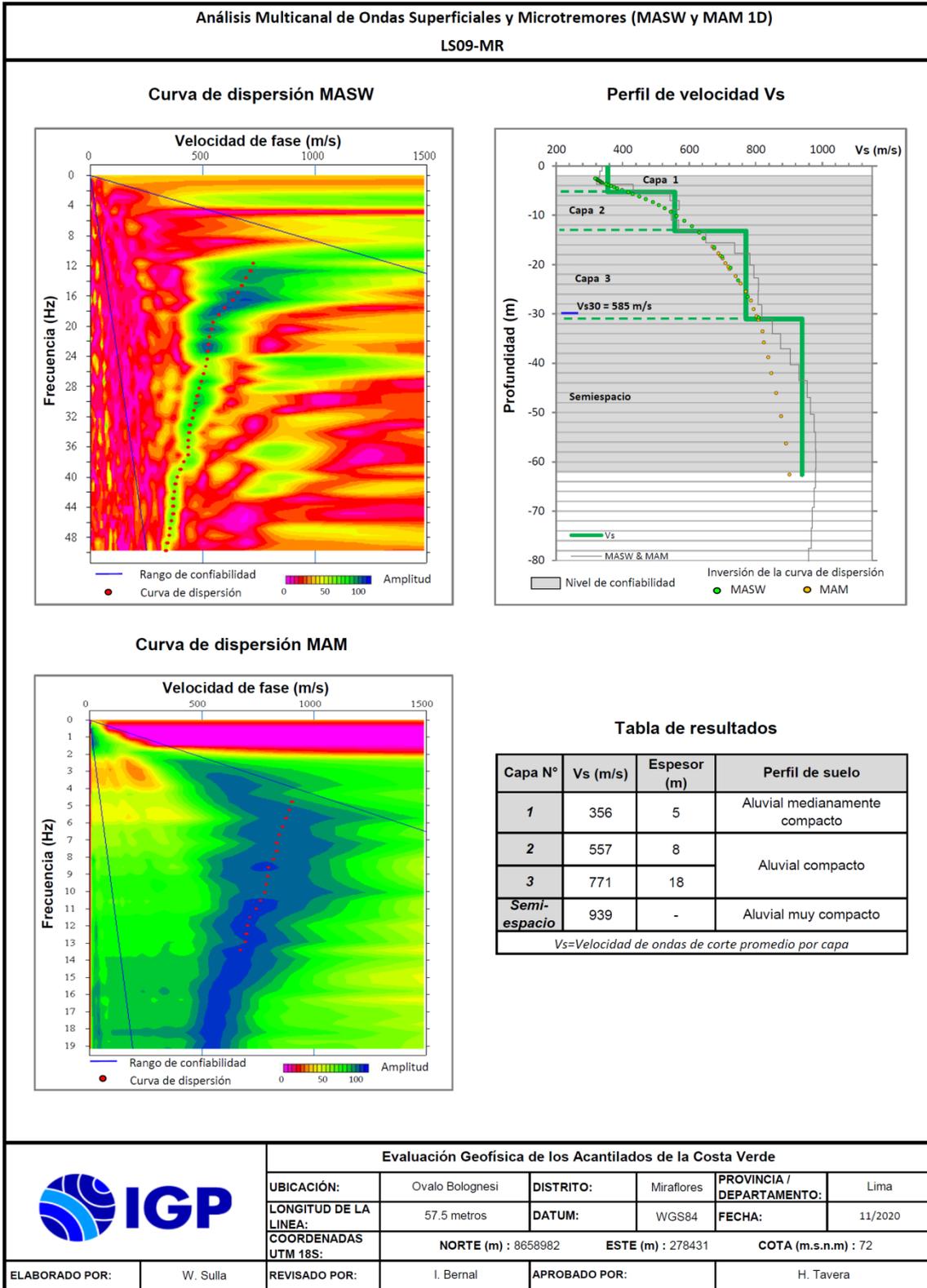


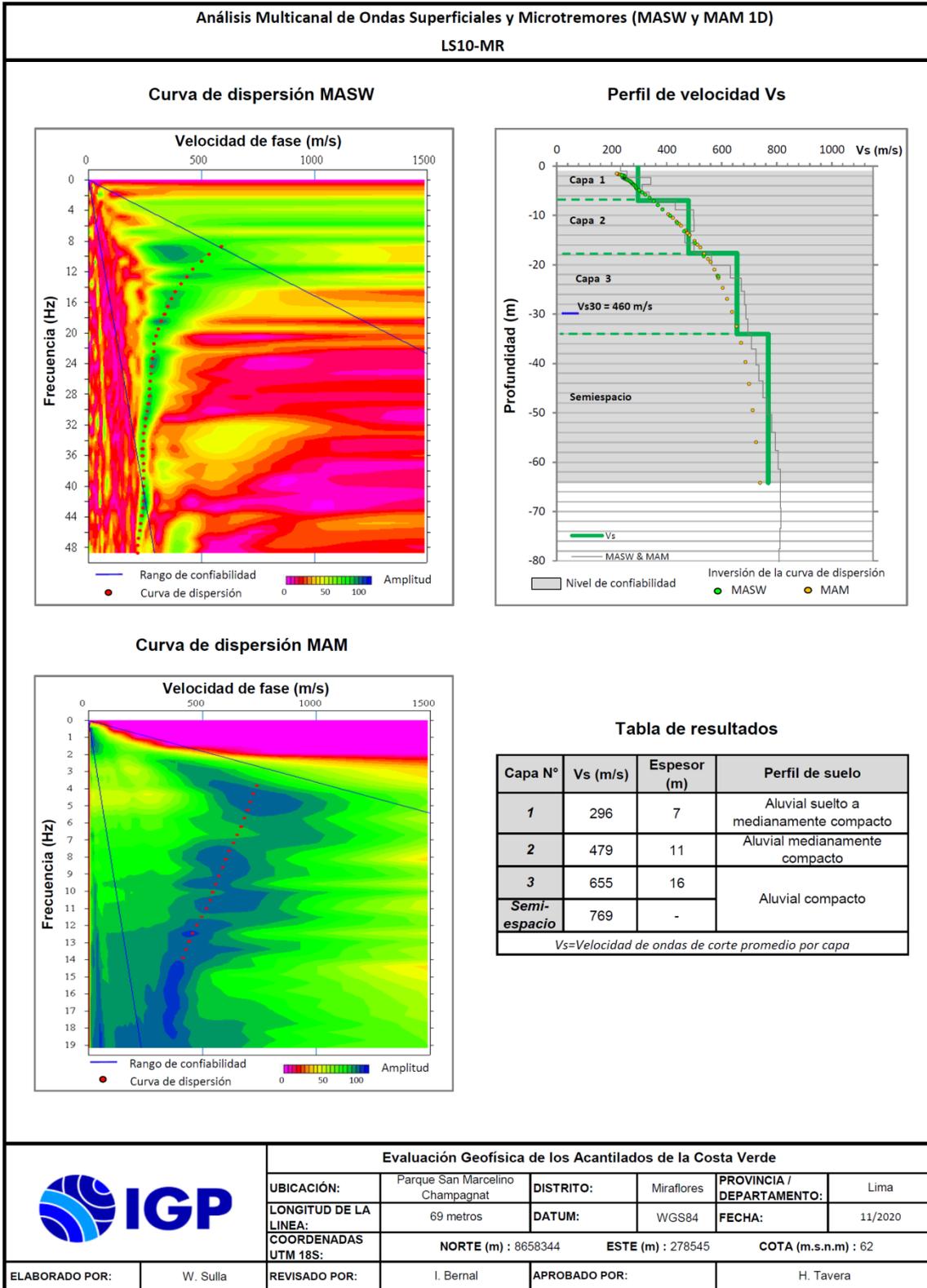


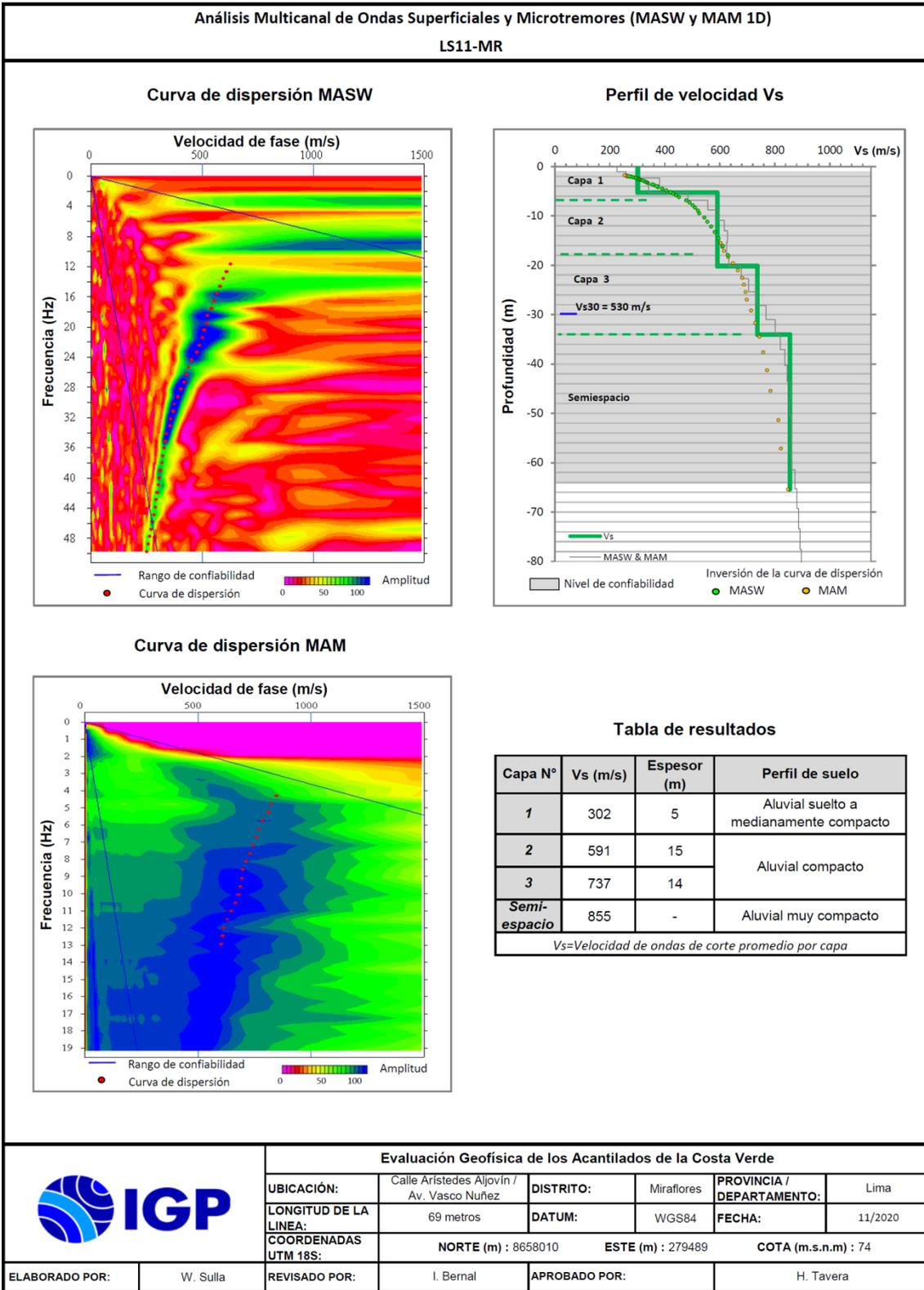


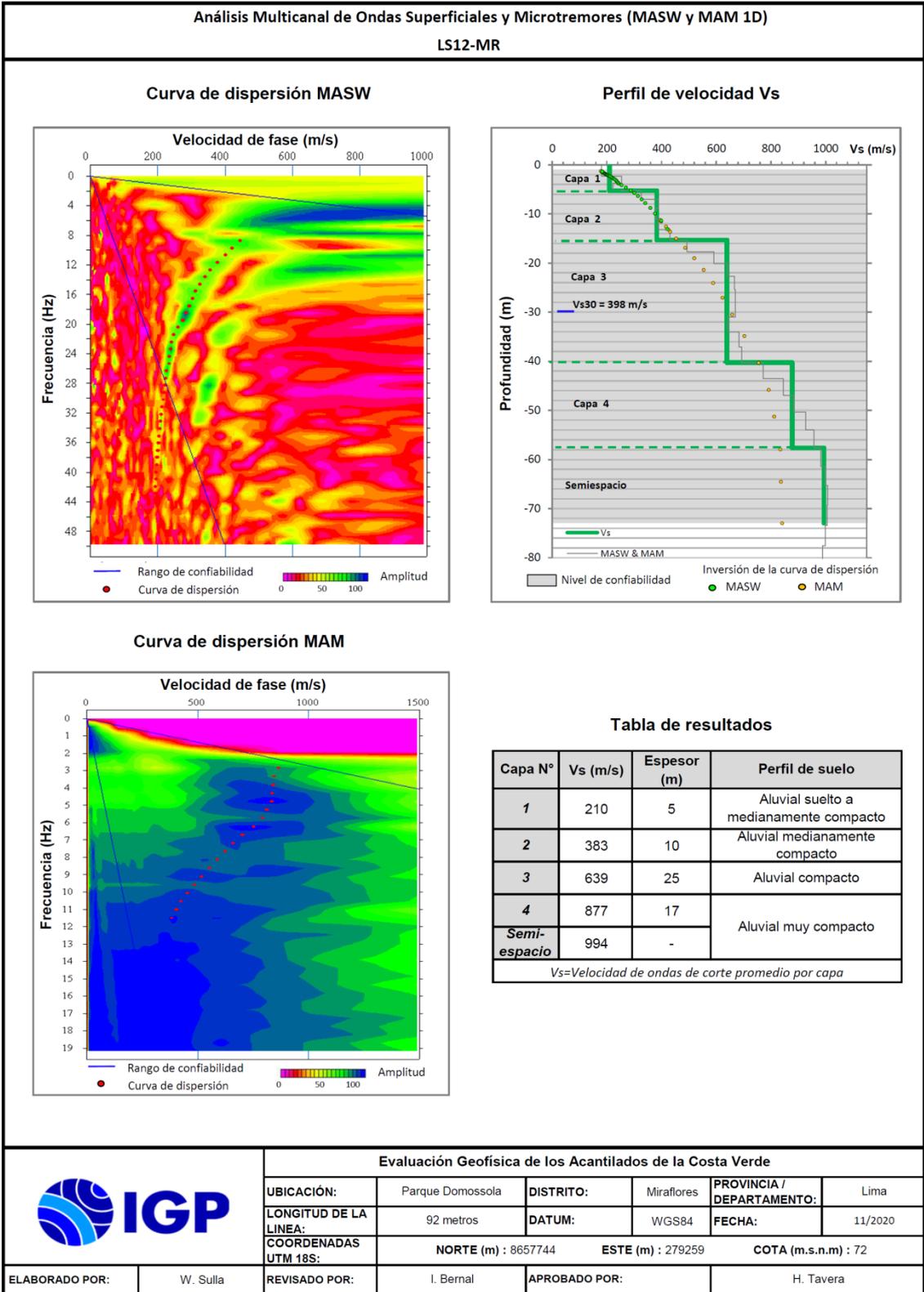


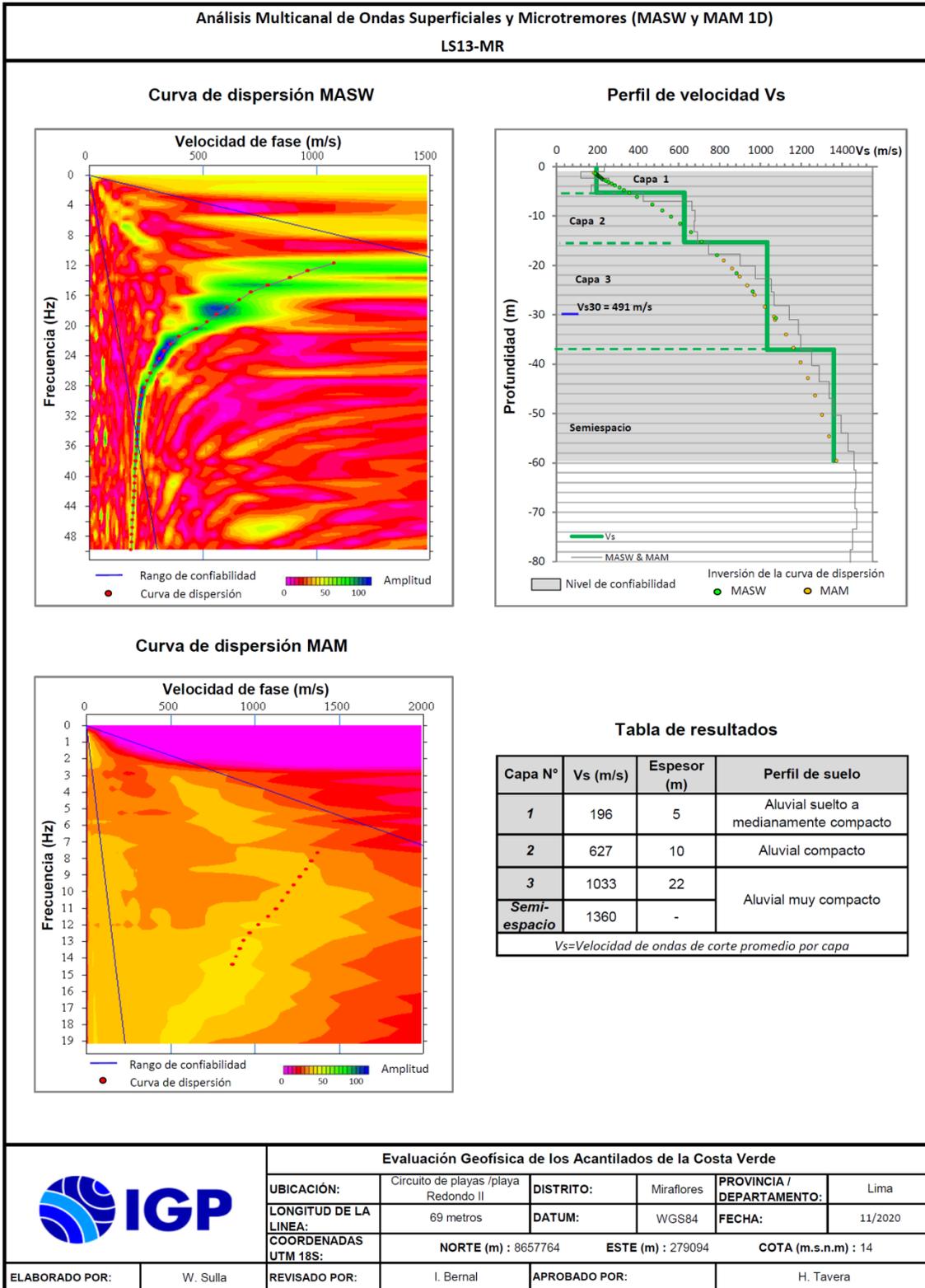


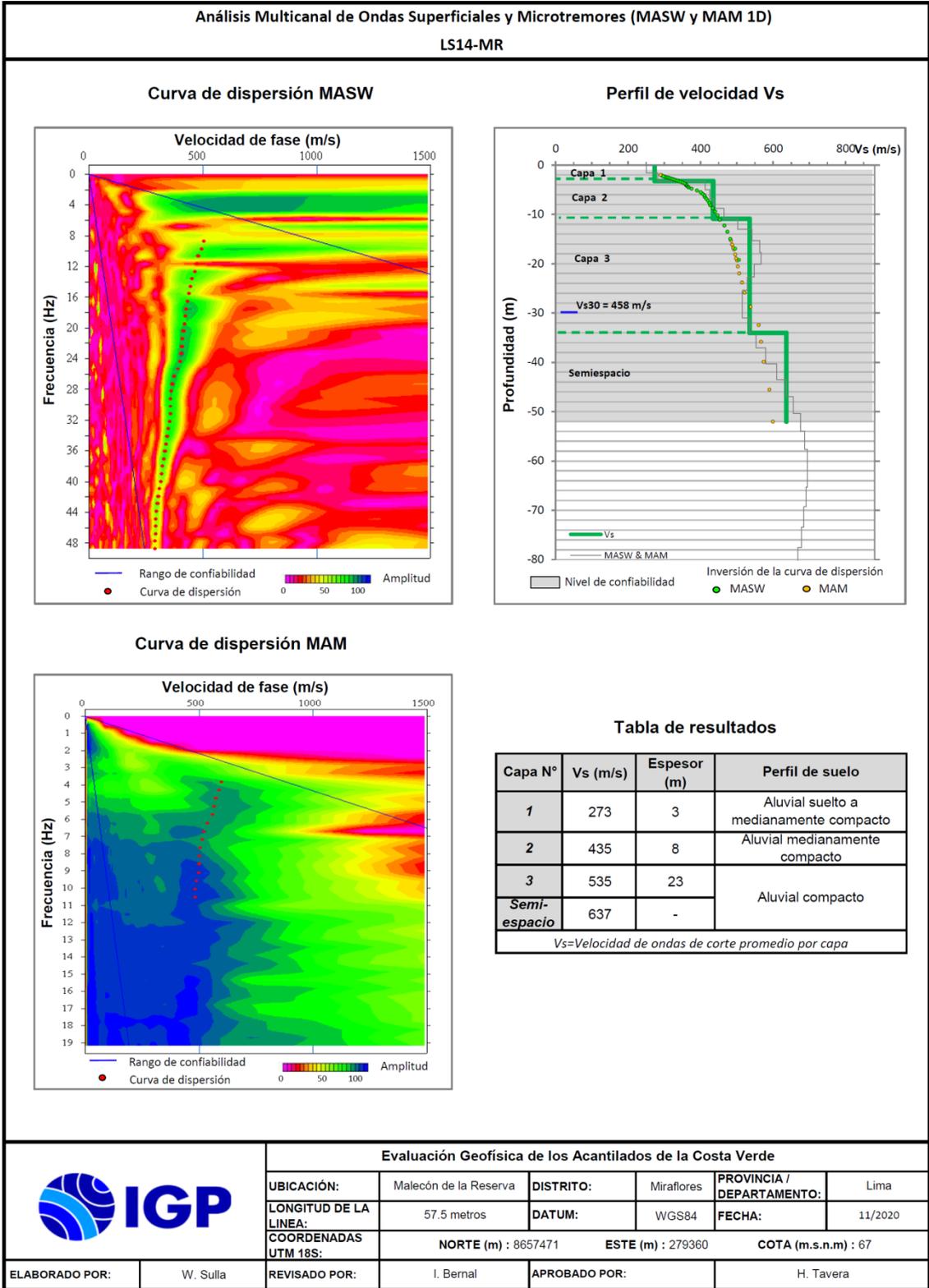


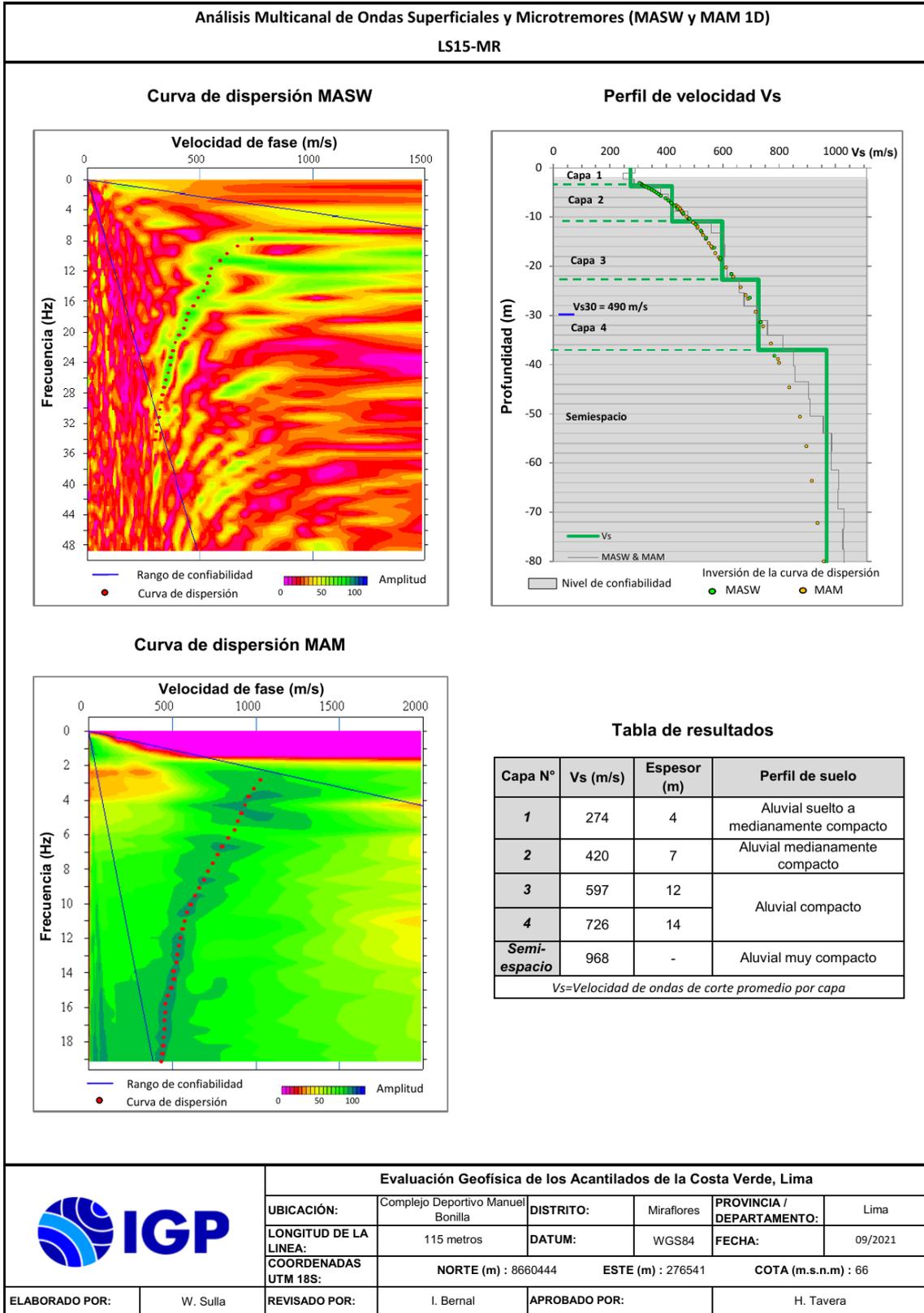


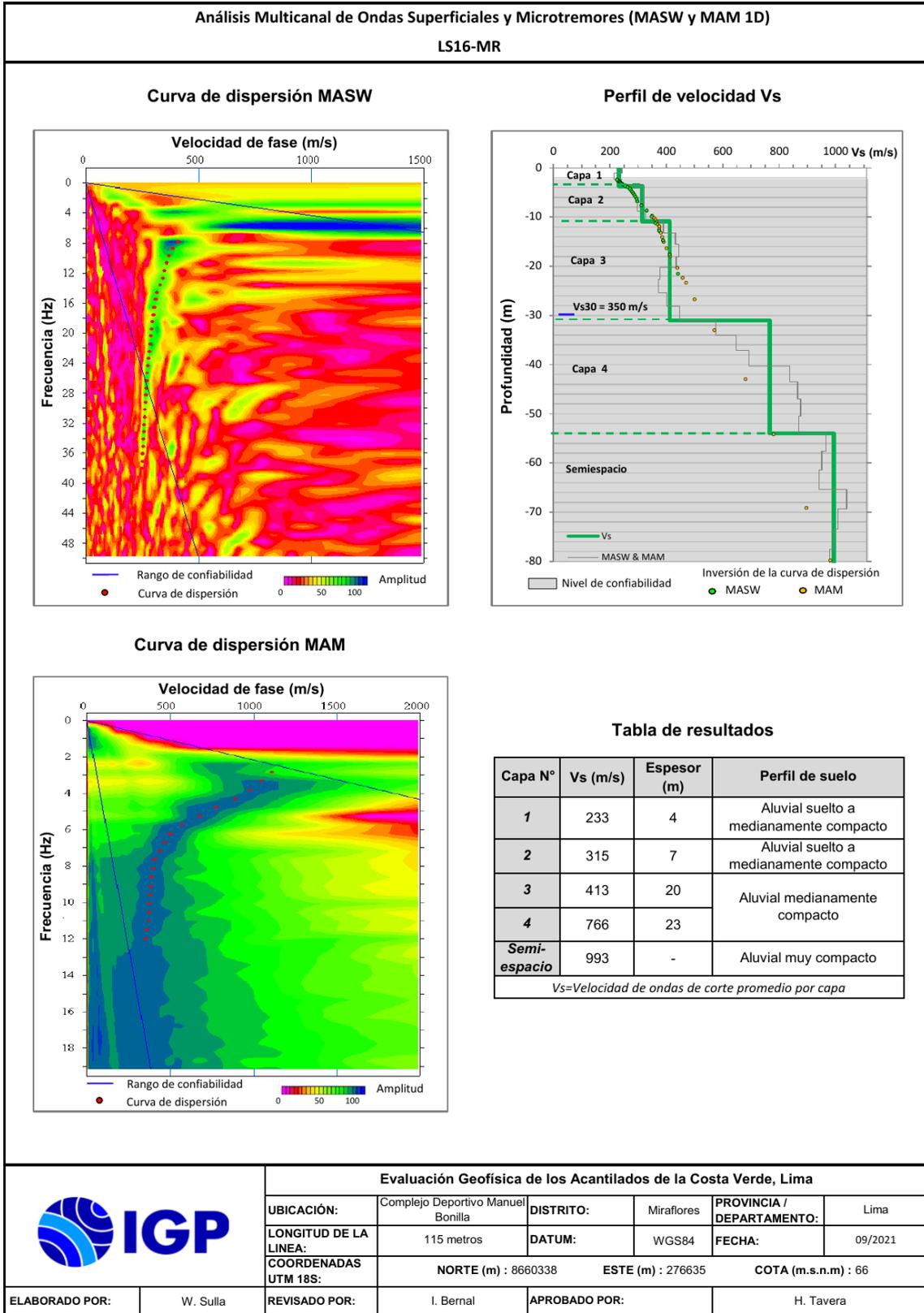


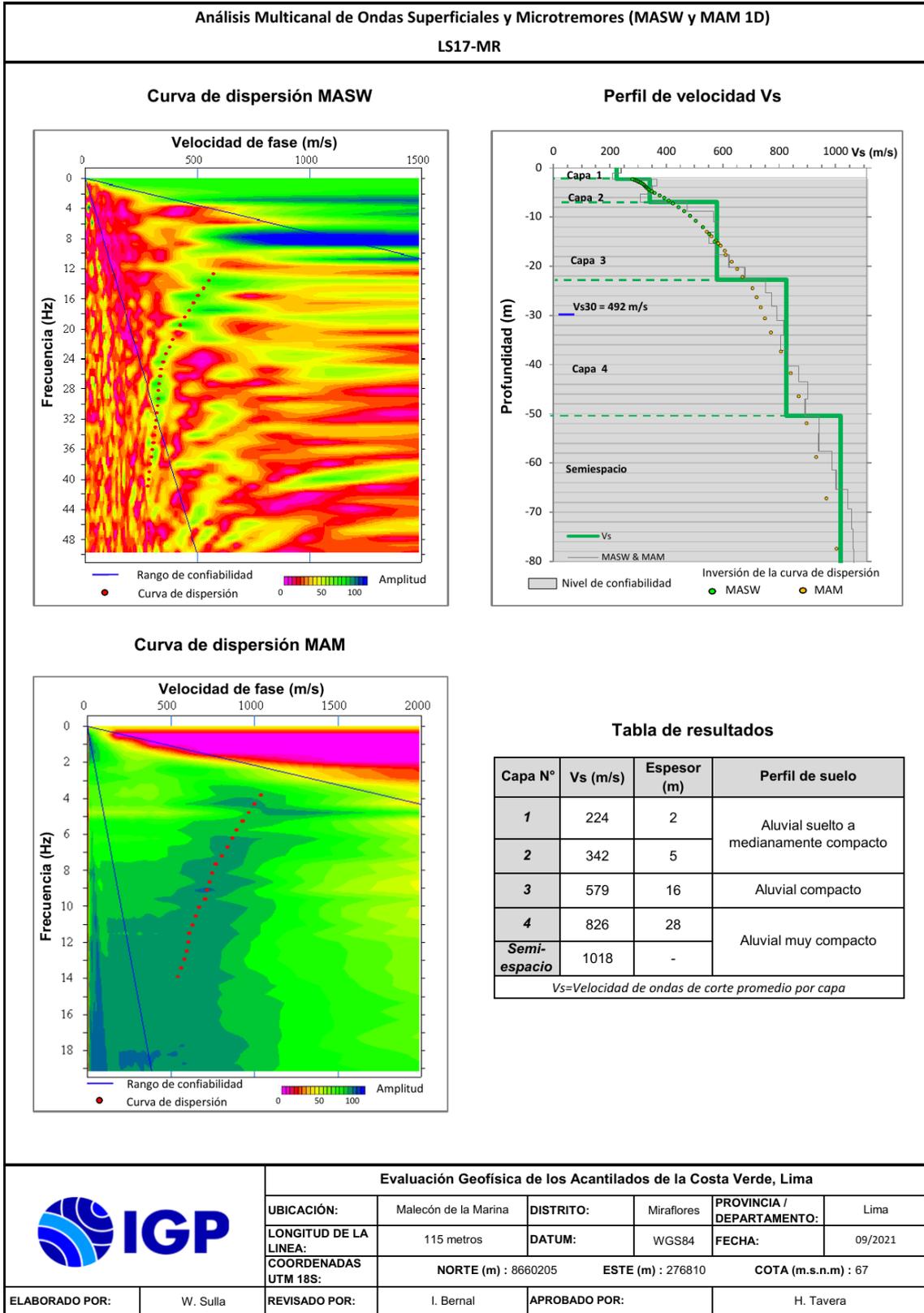


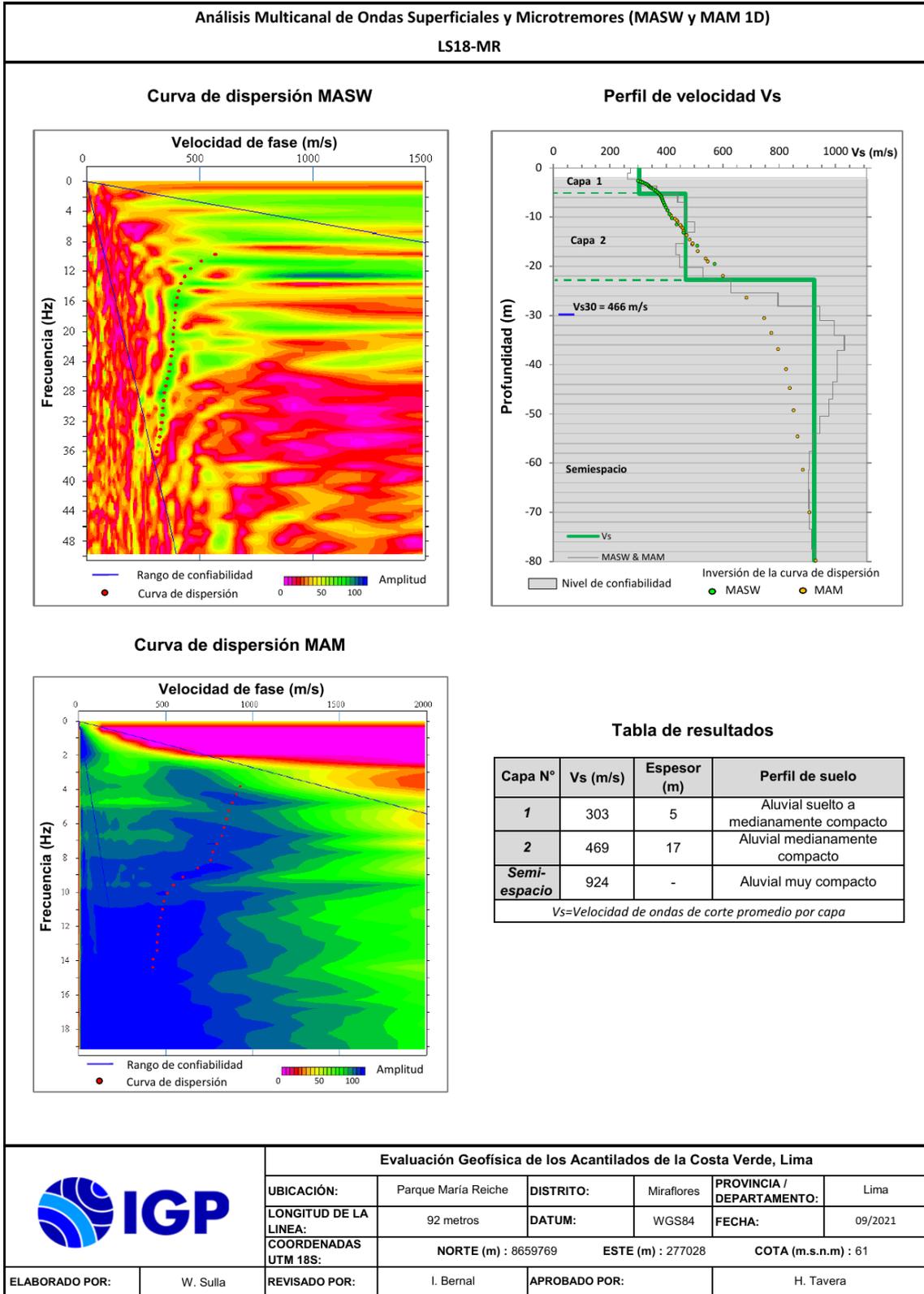


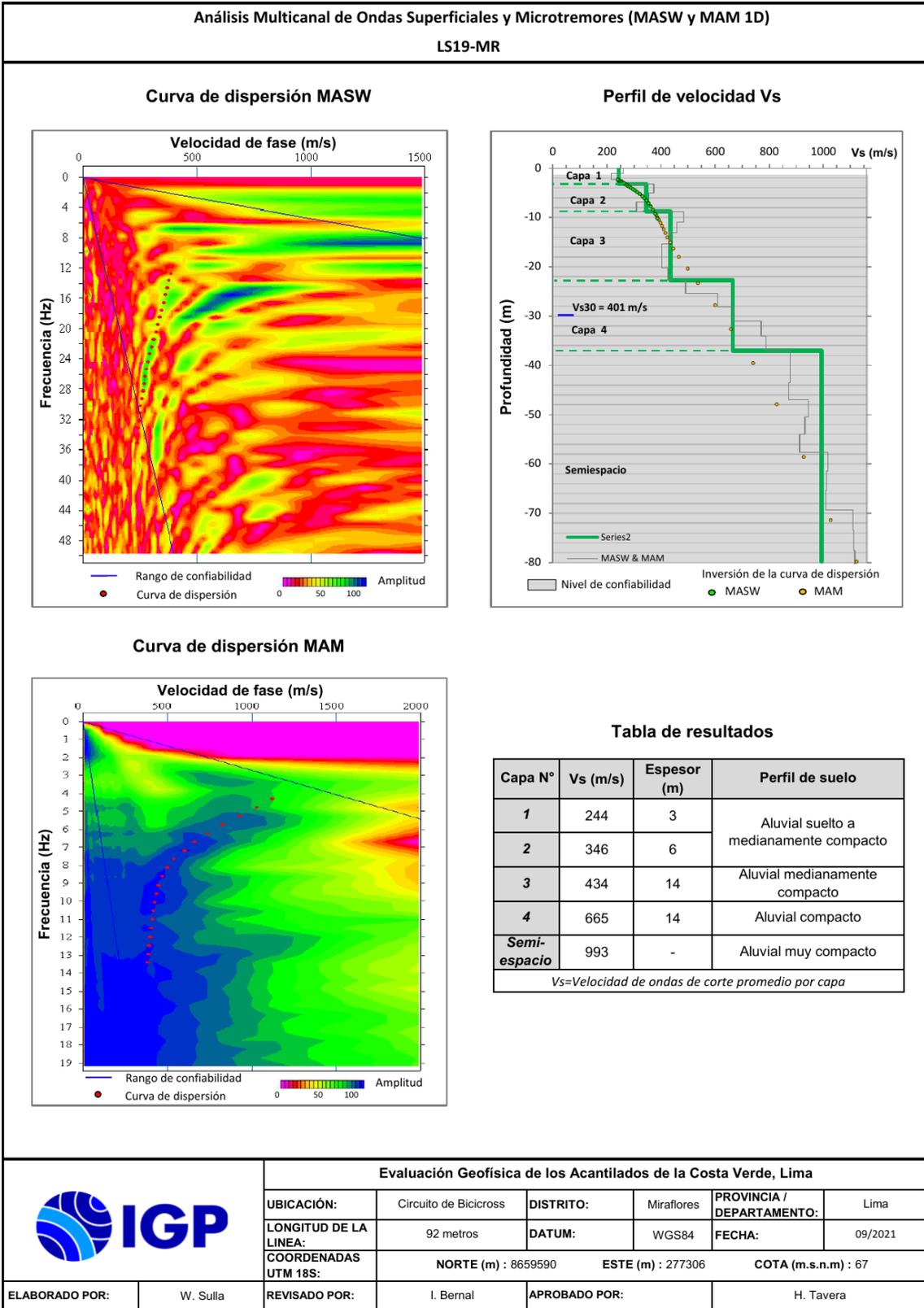


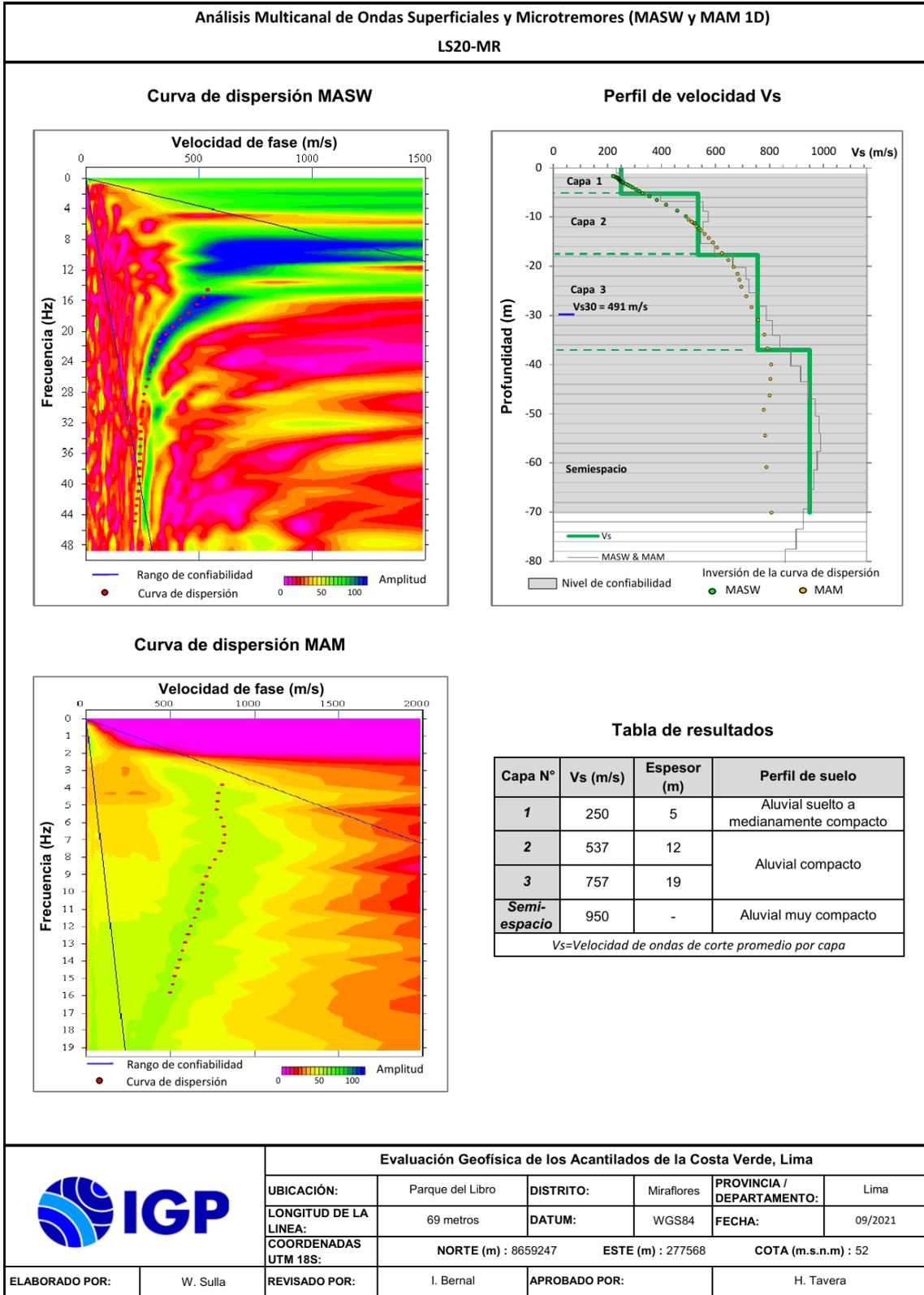


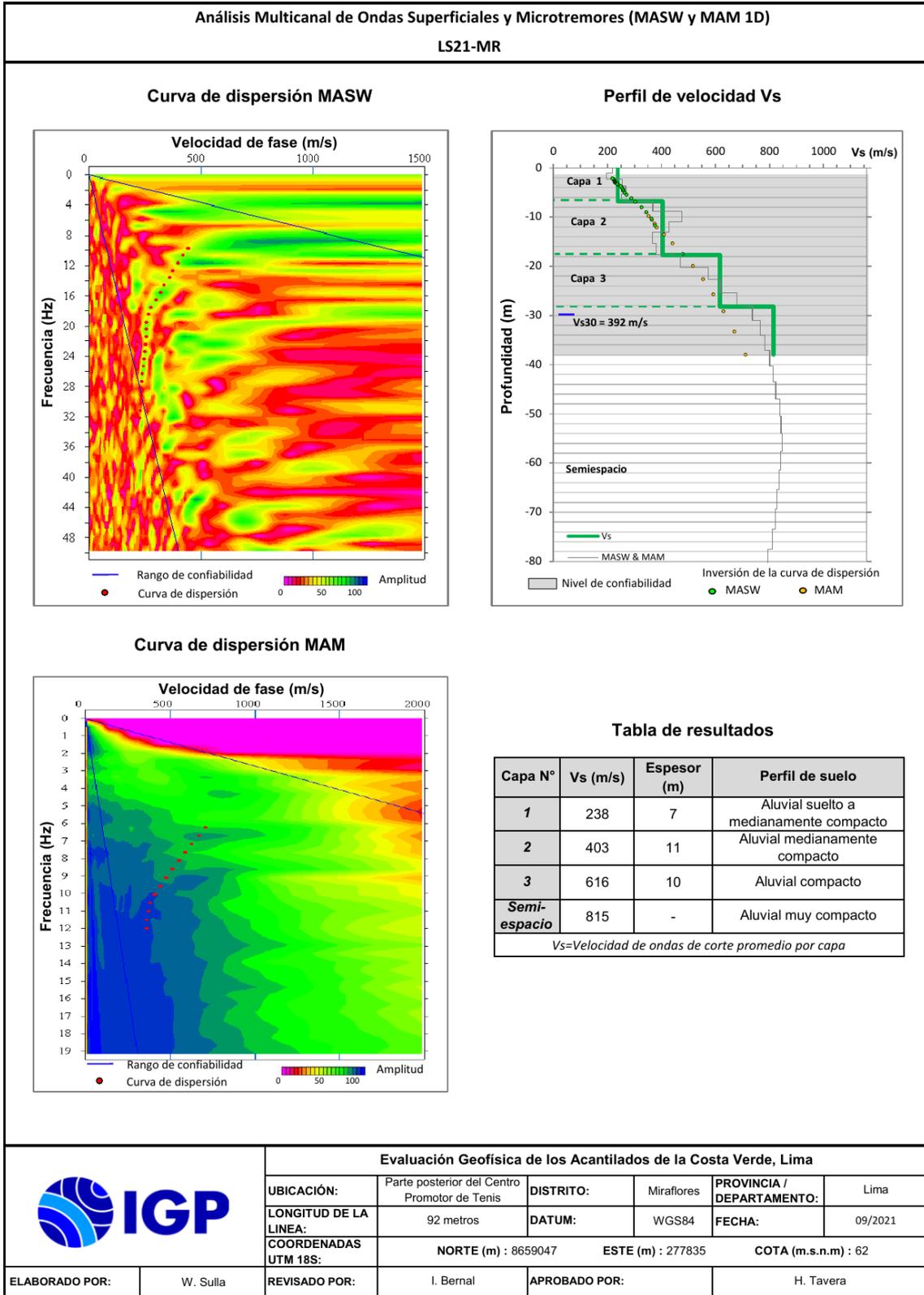


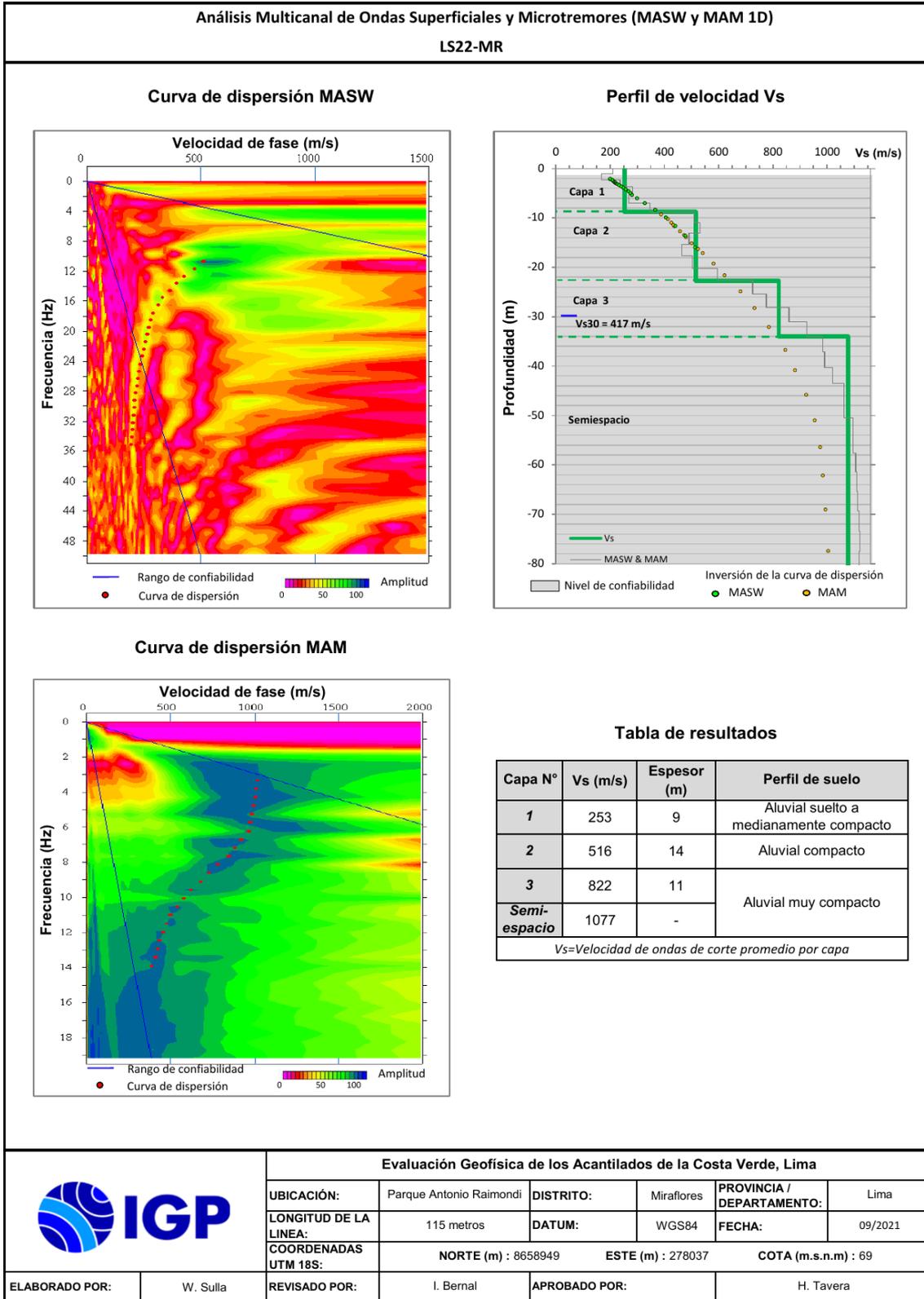


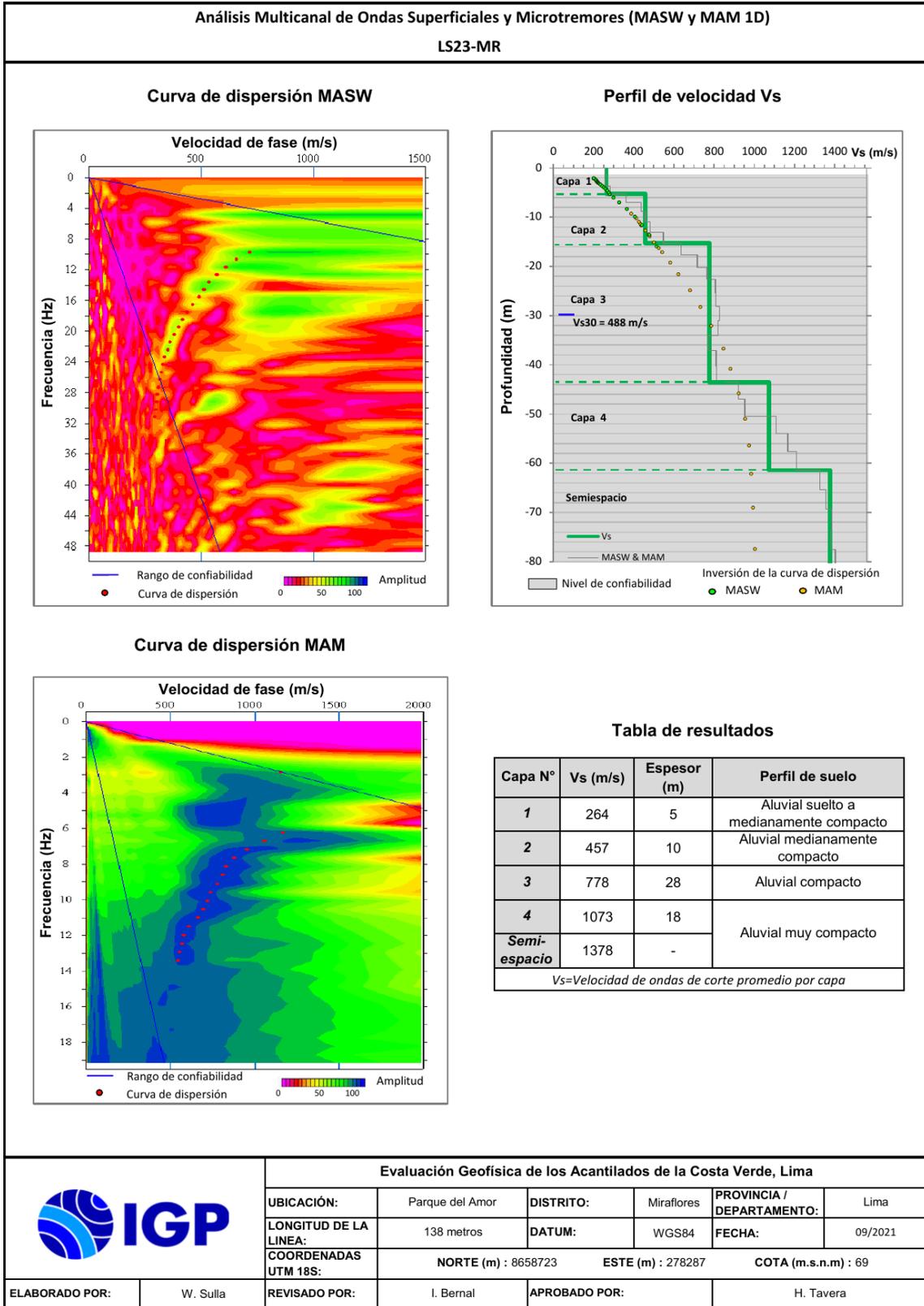


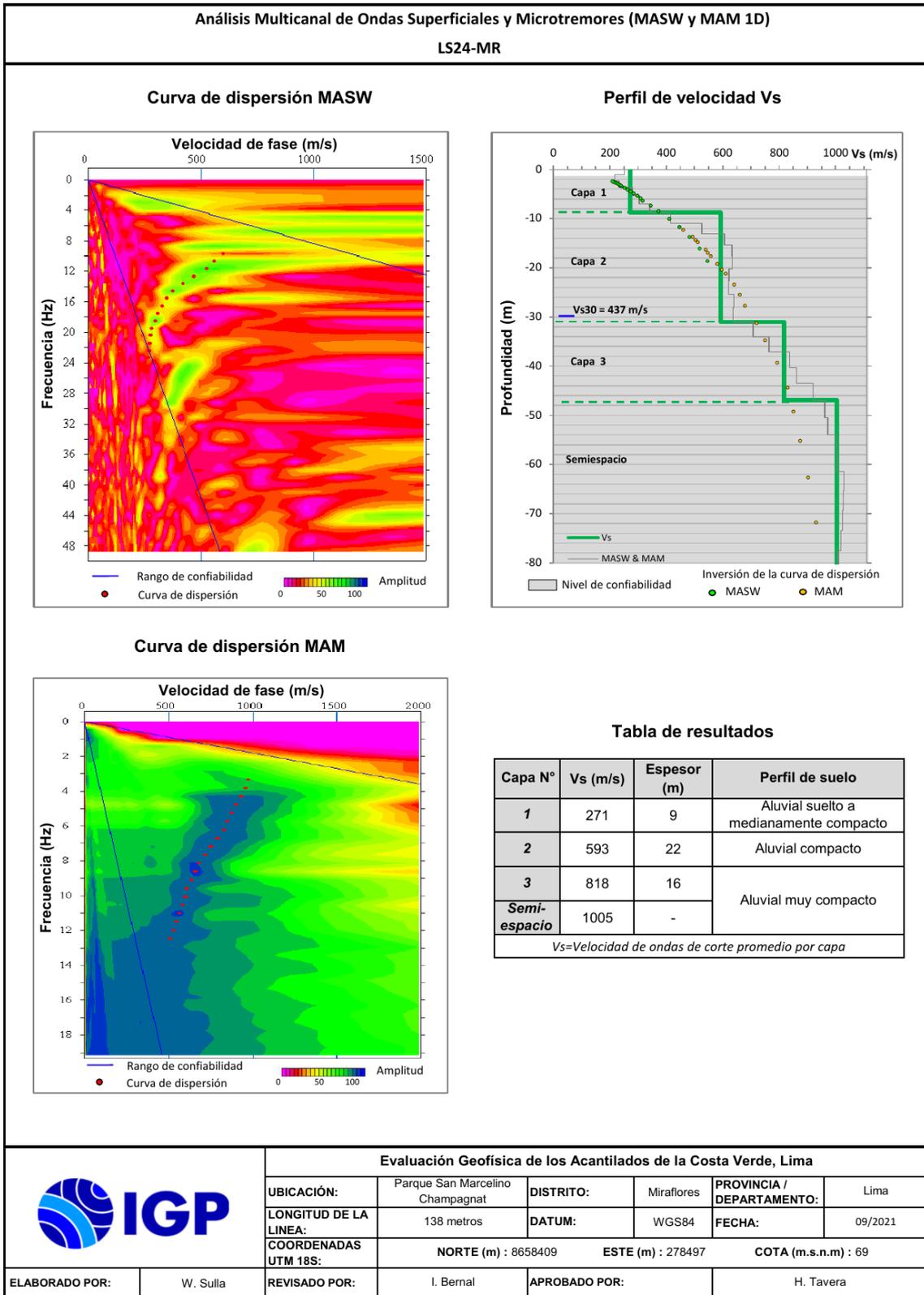


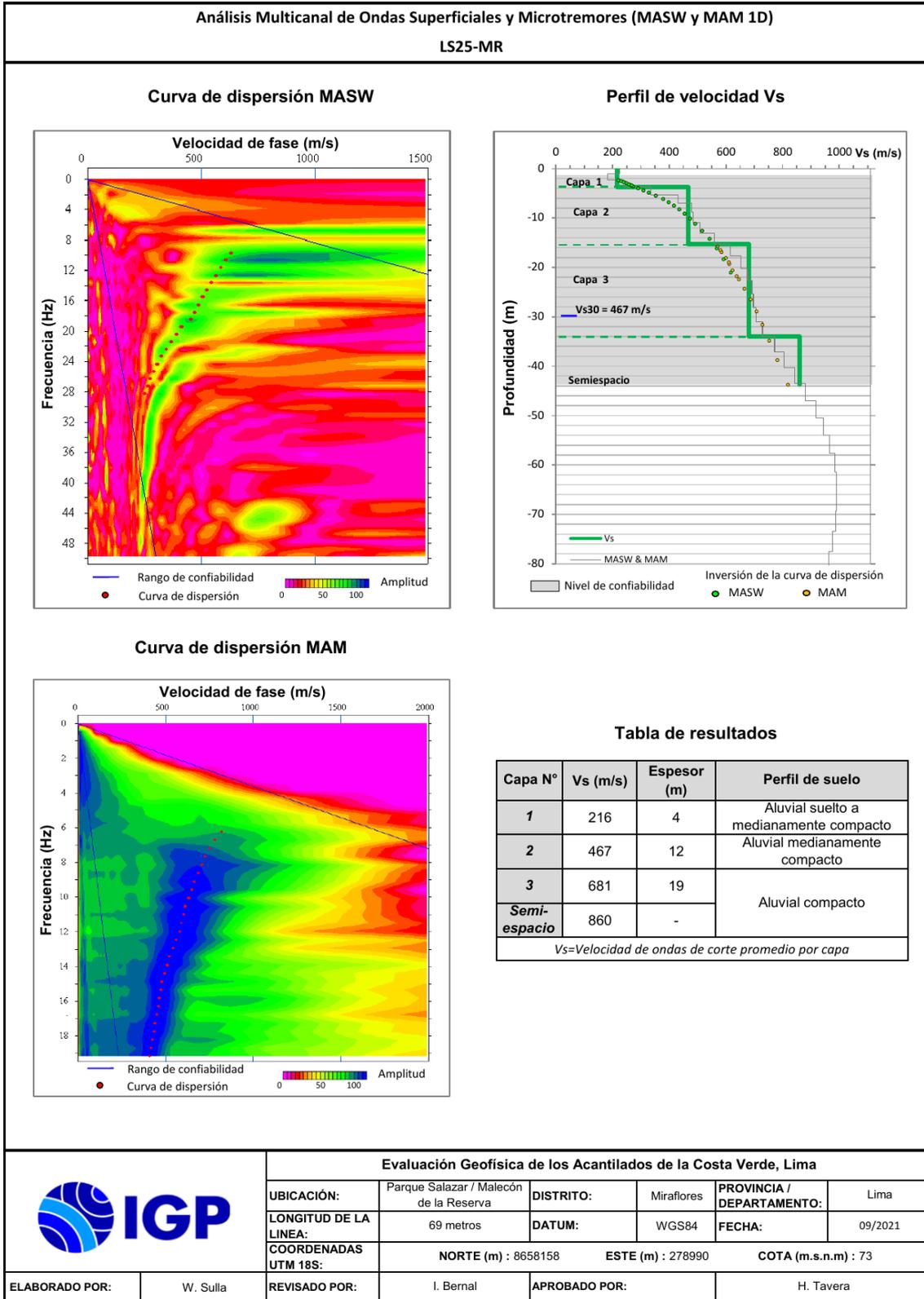


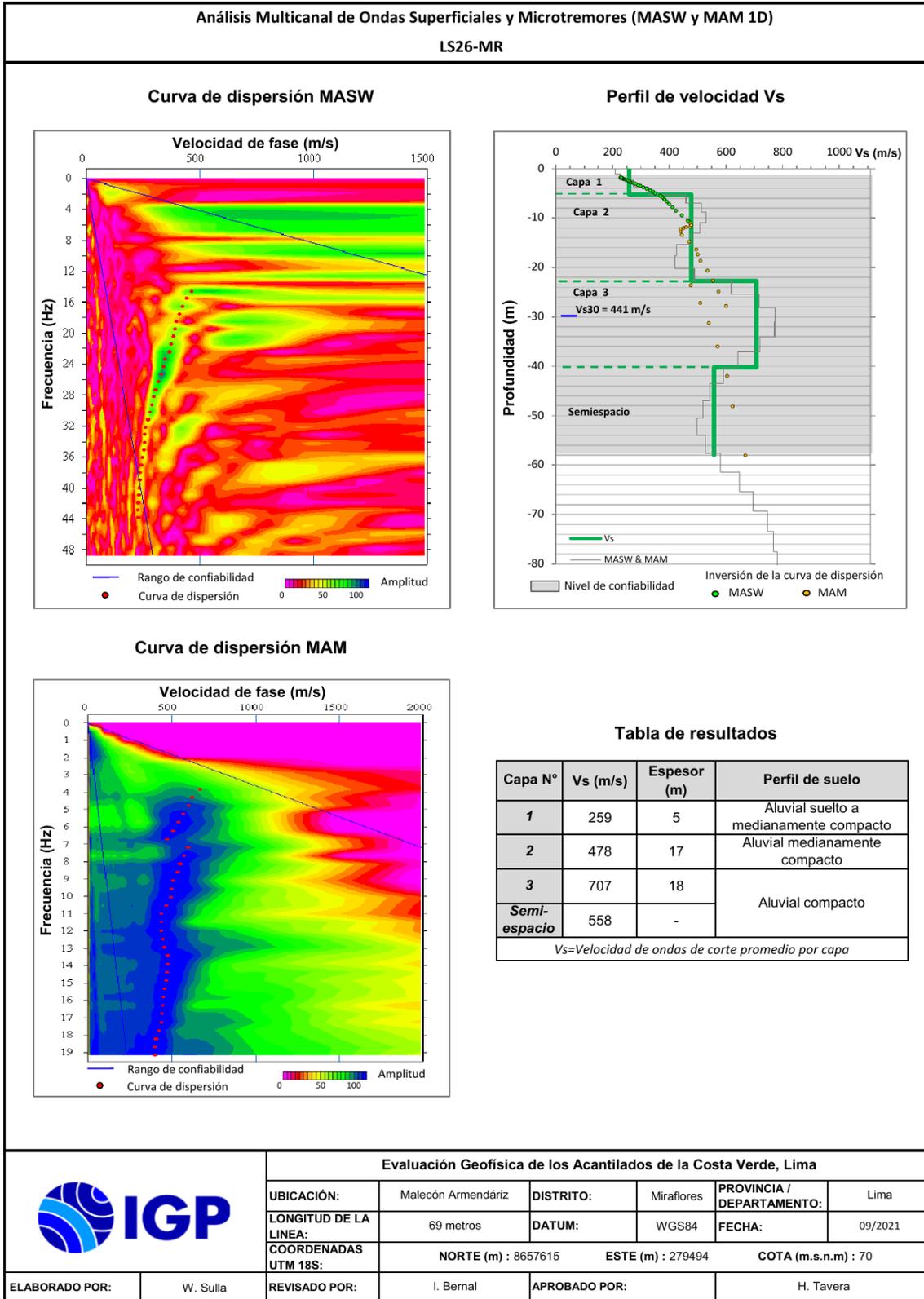


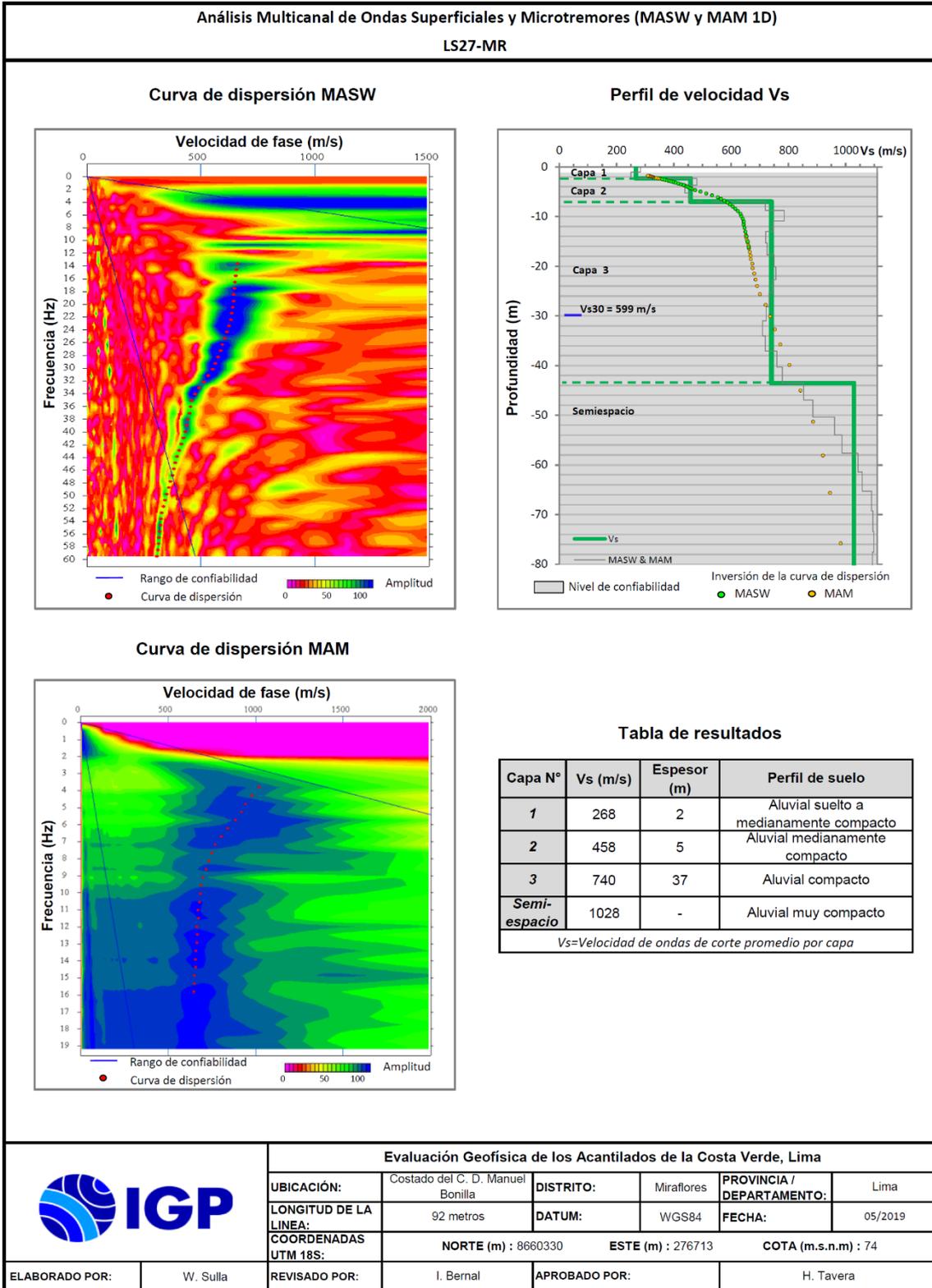


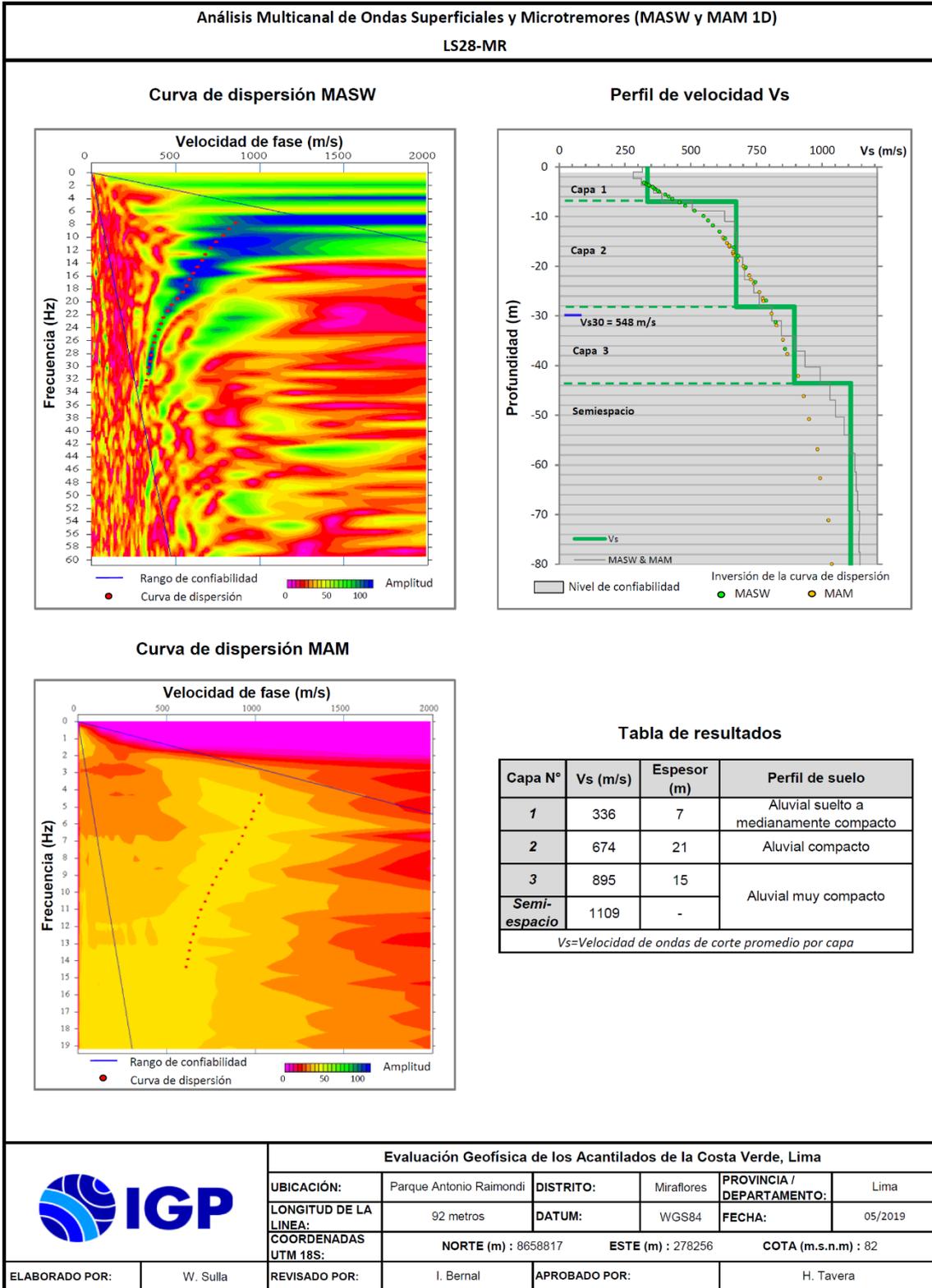












ANEXO III

Tablas con parámetros sísmicos

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	392	793	4
2	712	1556	12
3	938	2147	25
Semi-espacio	1117	2200	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	321	871	7
2	663	1464	13
Semi-espacio	1158	2200	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	241	657	5
2	497	1316	8
Semi-espacio	1037	2854	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	496	1044	5
2	776	1584	10
3	675	1951	7
Semi-espacio	917	2065	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	470	926	5
2	762	1261	6
3	514	1449	7
4	927	1845	29
Semi-espacio	1030	2200	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	264	857	7
2	661	2476	11
3	1078	2977	10
Semi-espacio	1440	3899	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	188	455	5
2	326	979	8
3	674	1786	18
Semi-espacio	1049	2141	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	249	495	5
2	482	839	8
3	742	2137	21
4	1107	3230	16
Semi-espacio	1447	4373	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	356	722	5
2	557	1302	8
3	771	1802	18
Semi-espacio	939	2200	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	296	501	7
2	479	872	11
3	655	1516	16
Semi-espacio	769	1775	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	302	513	5
2	591	1180	15
3	737	1556	14
Semi-espacio	855	1835	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	210	434	5
2	383	749	10
3	639	1438	25
4	877	1947	17
Semi-espacio	994	2200	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	196	619	5
2	627	1899	10
3	1033	3251	22
Semi-espacio	1360	4196	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	273	457	3
2	435	778	8
3	535	1345	23
Semi-espacio	637	2002	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	274	476	4
2	420	965	7
3	597	1510	12
4	726	1751	14
Semi espacio	968	2501	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	233	509	4
2	315	547	7
3	413	829	20
4	766	1441	23
Semi espacio	993	1854	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	224	450	2
2	342	761	5
3	579	1413	16
4	826	2069	28
Semi espacio	1018	2582	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	303	747	5
2	469	1291	17
Semi espacio	924	2158	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS19-MR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	244	1359	3
2	346	1722	6
3	434	1787	14
4	665	2312	14
Semi espacio	993	1900	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS20-MR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	250	521	5
2	537	1283	12
3	757	1867	19
Semi espacio	950	2380	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS21-MR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	238	470	7
2	403	901	11
3	616	1610	10
Semi espacio	815	2166	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS22-MR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	253	493	9
2	516	1084	14
3	822	2359	11
Semi espacio	1077	2792	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS23-MR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	264	448	5
2	457	1010	10
3	778	2065	28
4	1073	2815	18
Semi espacio	1378	3731	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS24-MR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	271	613	9
2	593	1562	22
3	818	2186	16
Semi espacio	1005	2727	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS25-MR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	216	409	4
2	467	1065	12
3	681	1737	19
Semi espacio	860	2187	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS26-MR.

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	259	558	5
2	478	1151	17
3	707	1905	18
Semi espacio	558	1432	-

Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS27-MR.

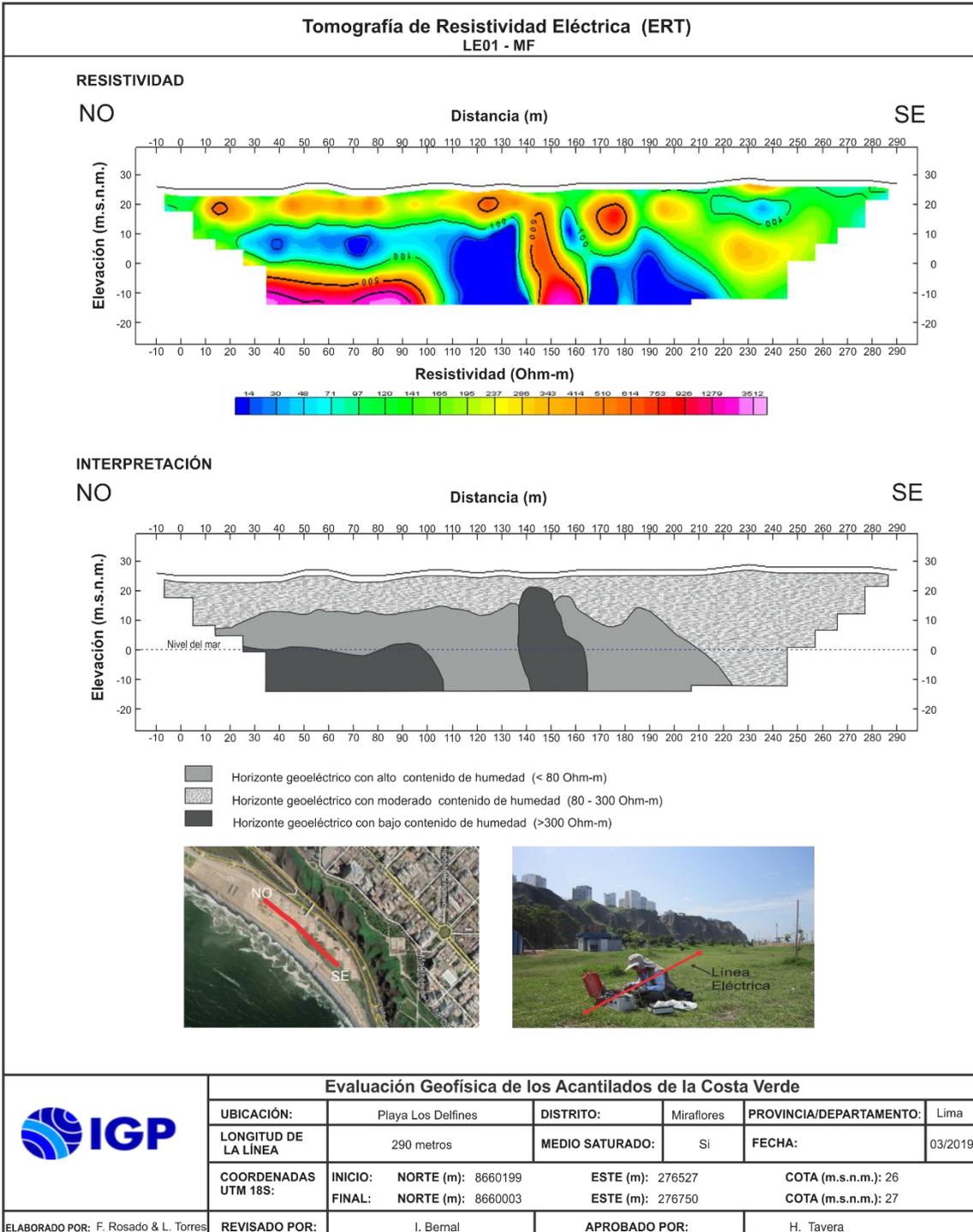
Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	268	439	2
2	458	824	5
3	740	1641	37
Semi espacio	1028	2453	-

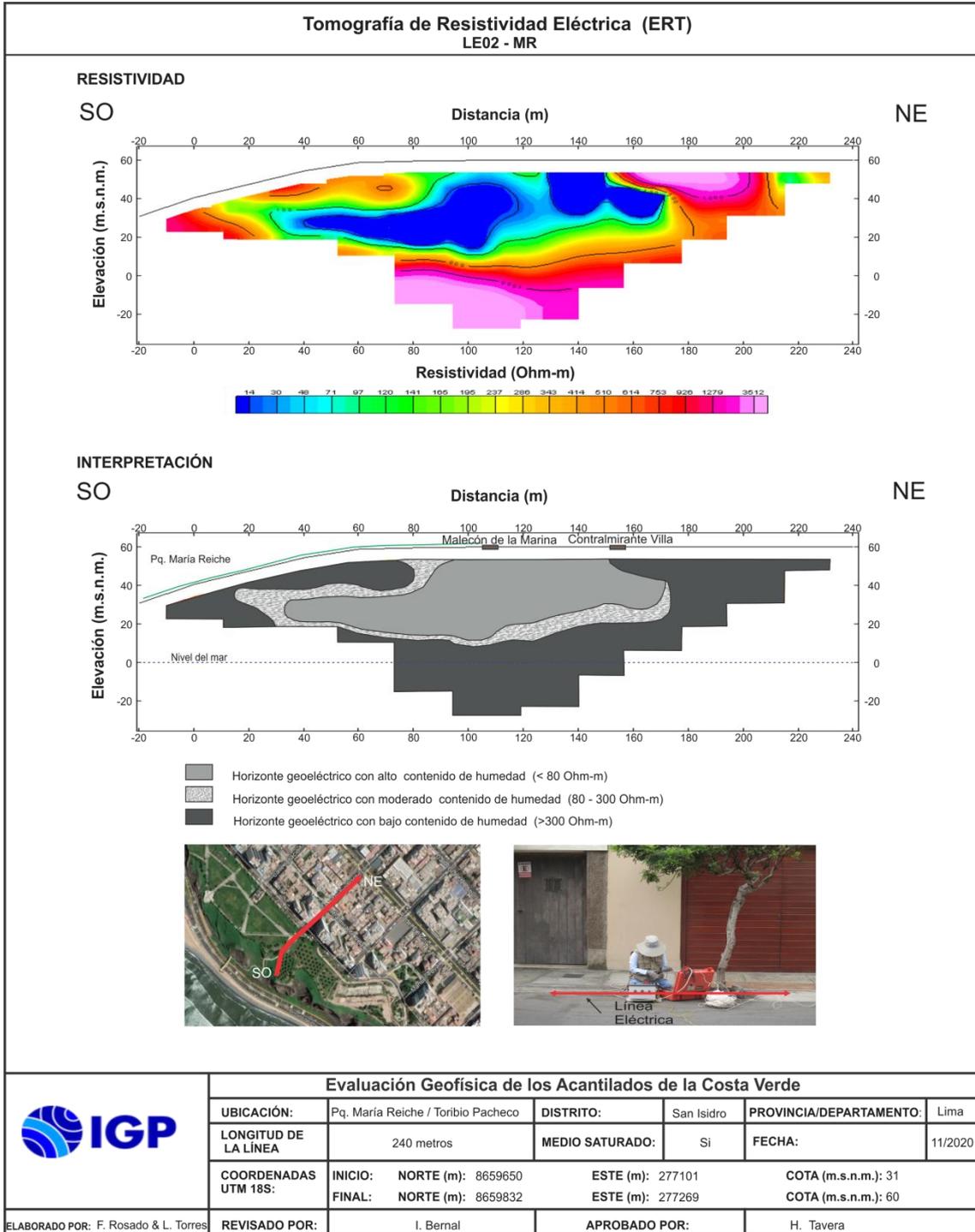
Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS28-MR.

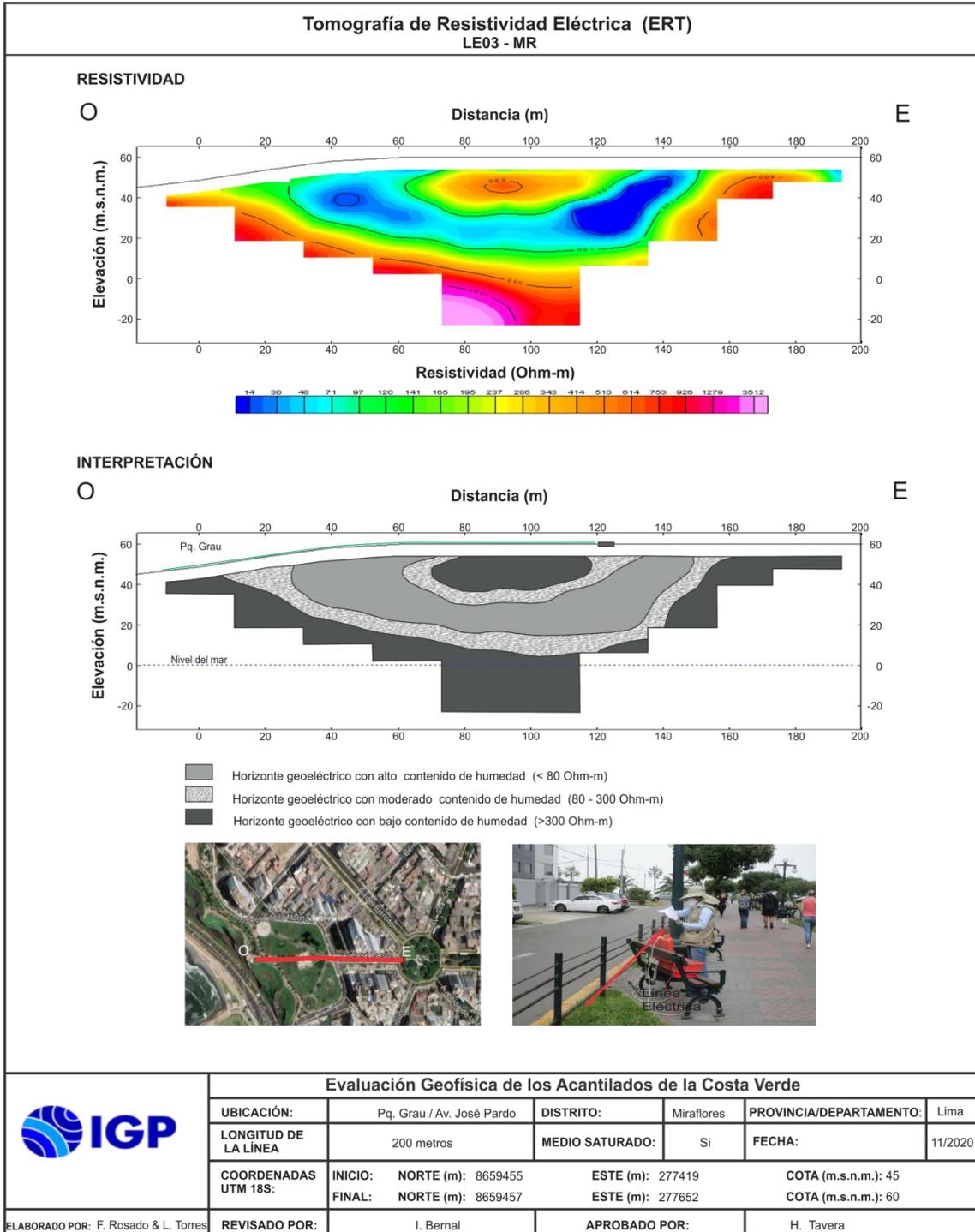
Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	336	728	7
2	674	1616	21
3	895	2364	15
Semi espacio	1109	2943	-

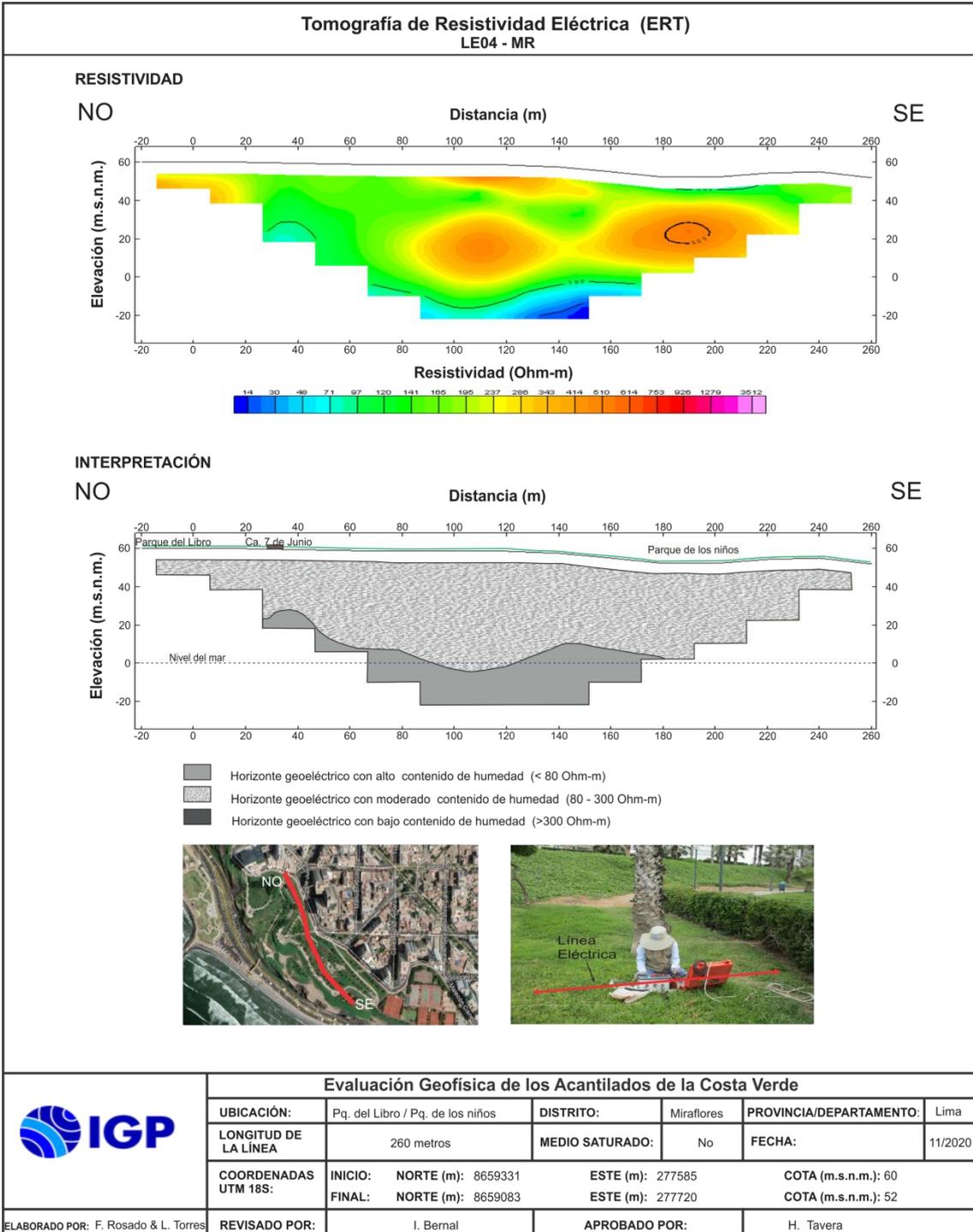
ANEXO IV

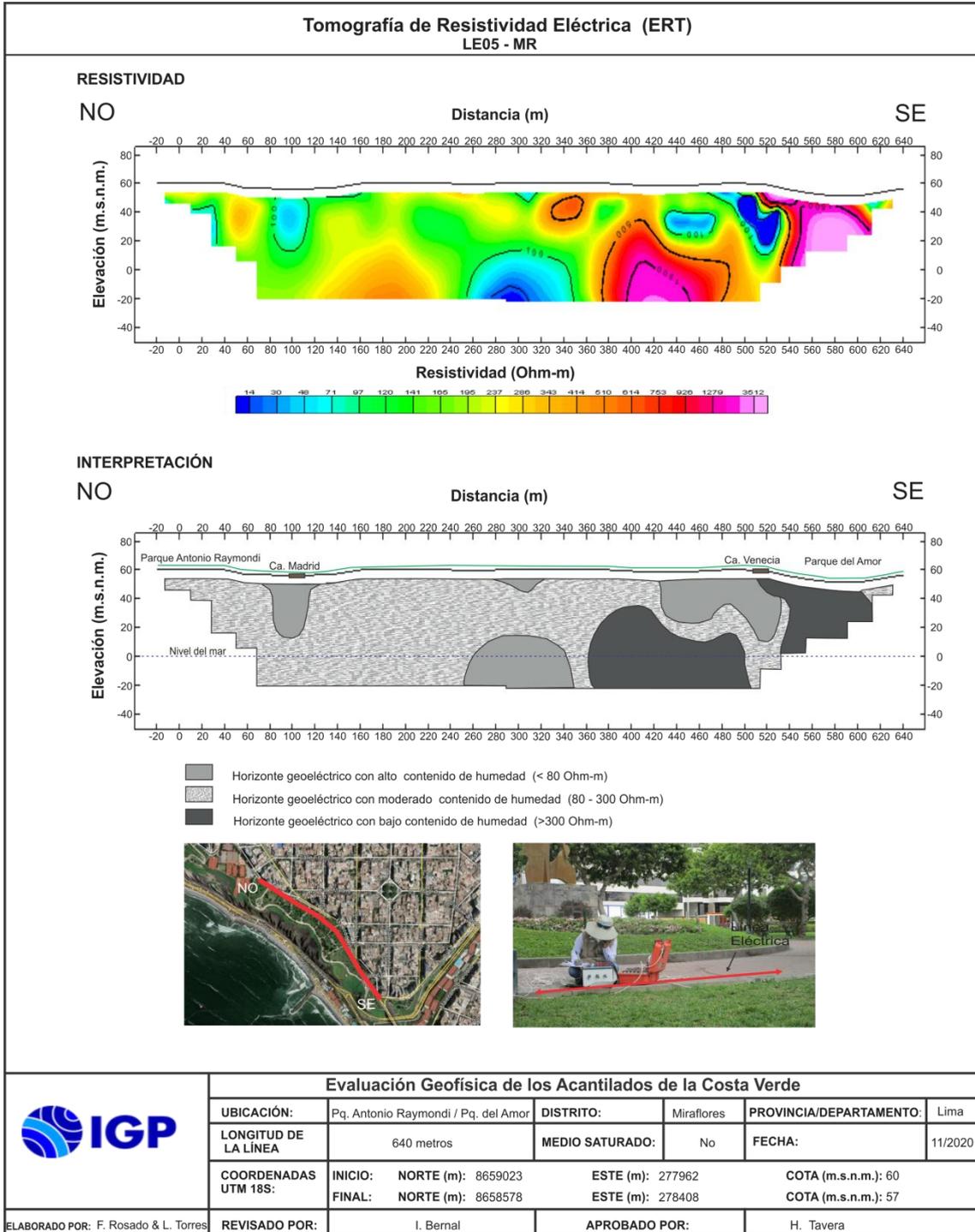
Secciones geoeléctricas

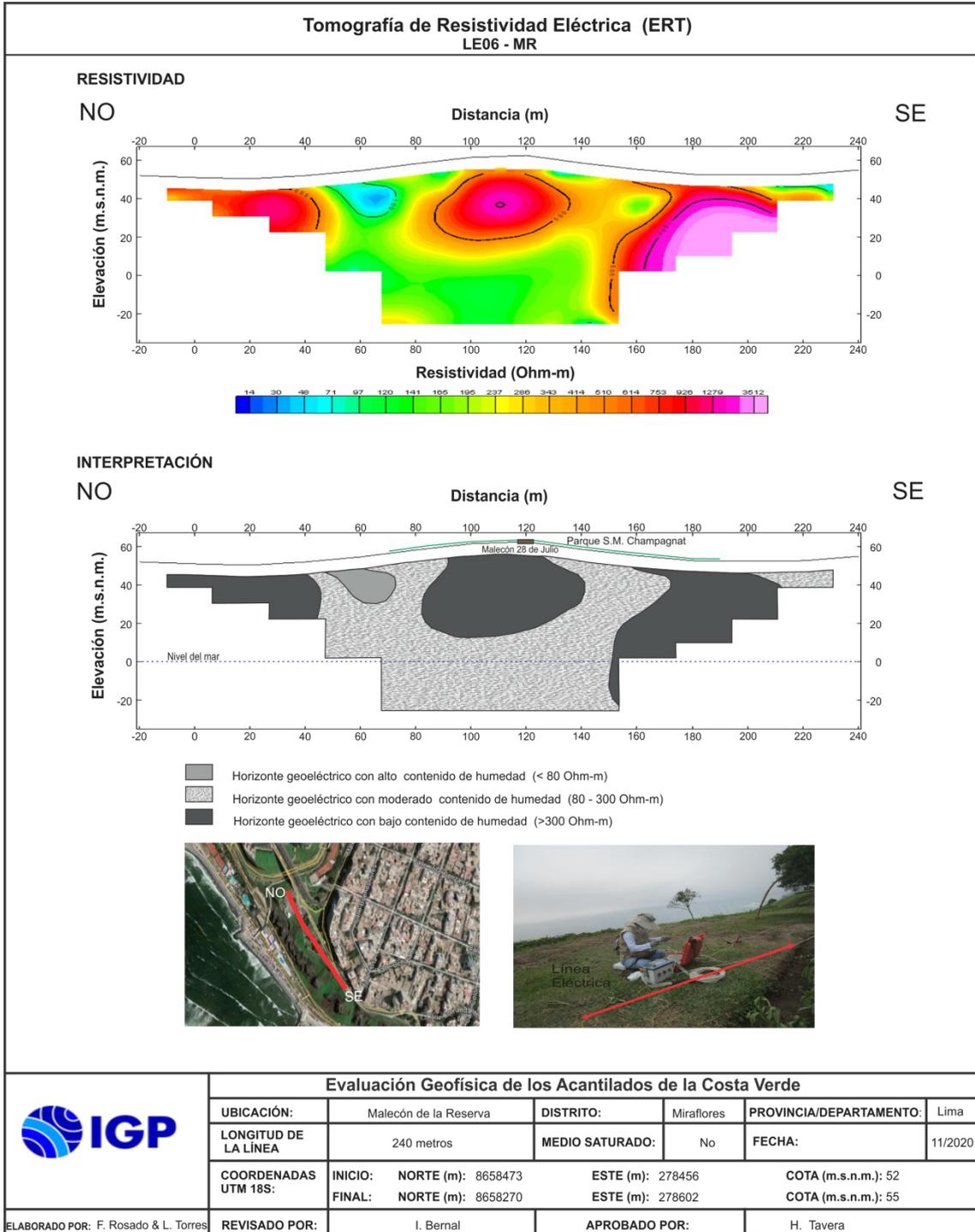


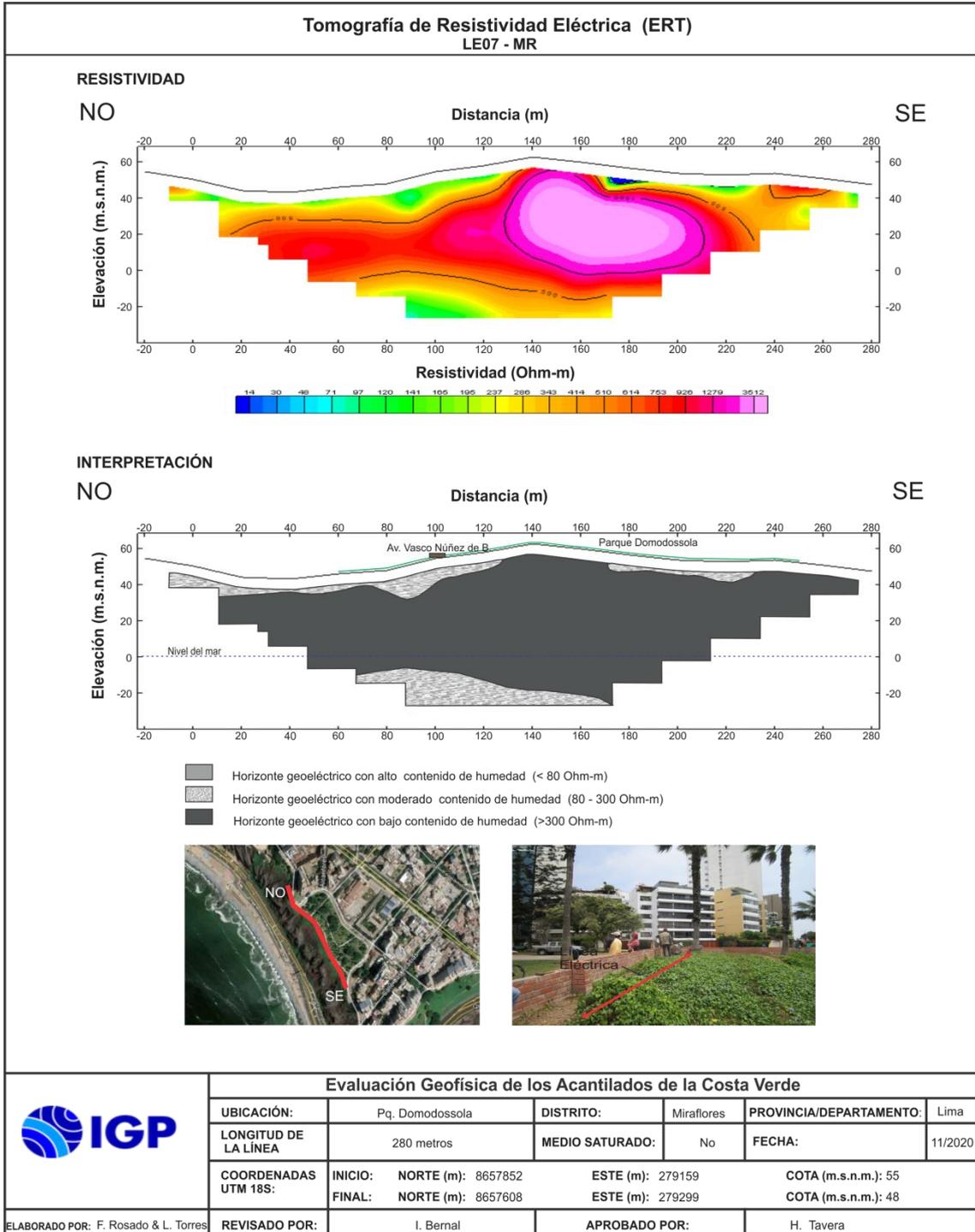


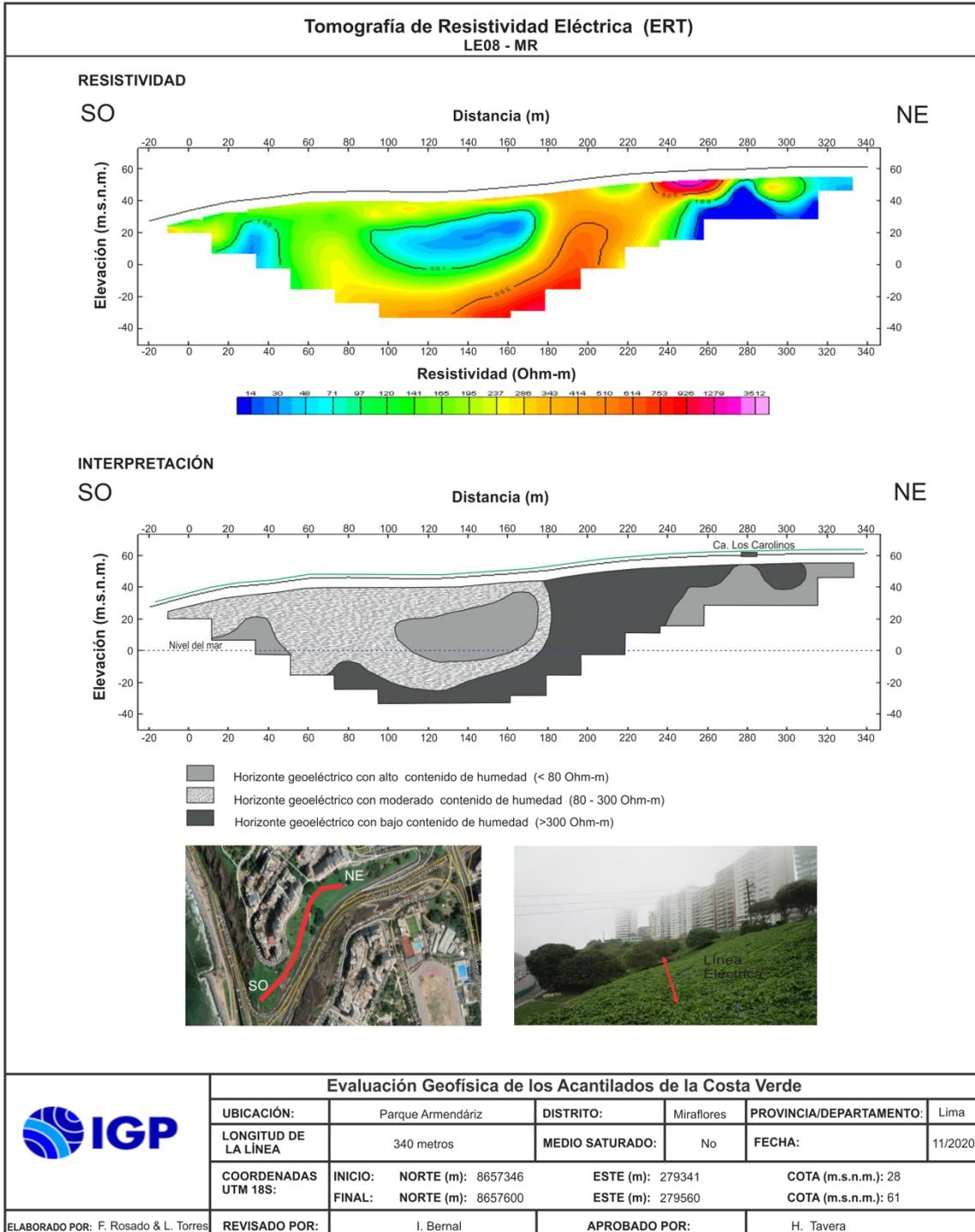


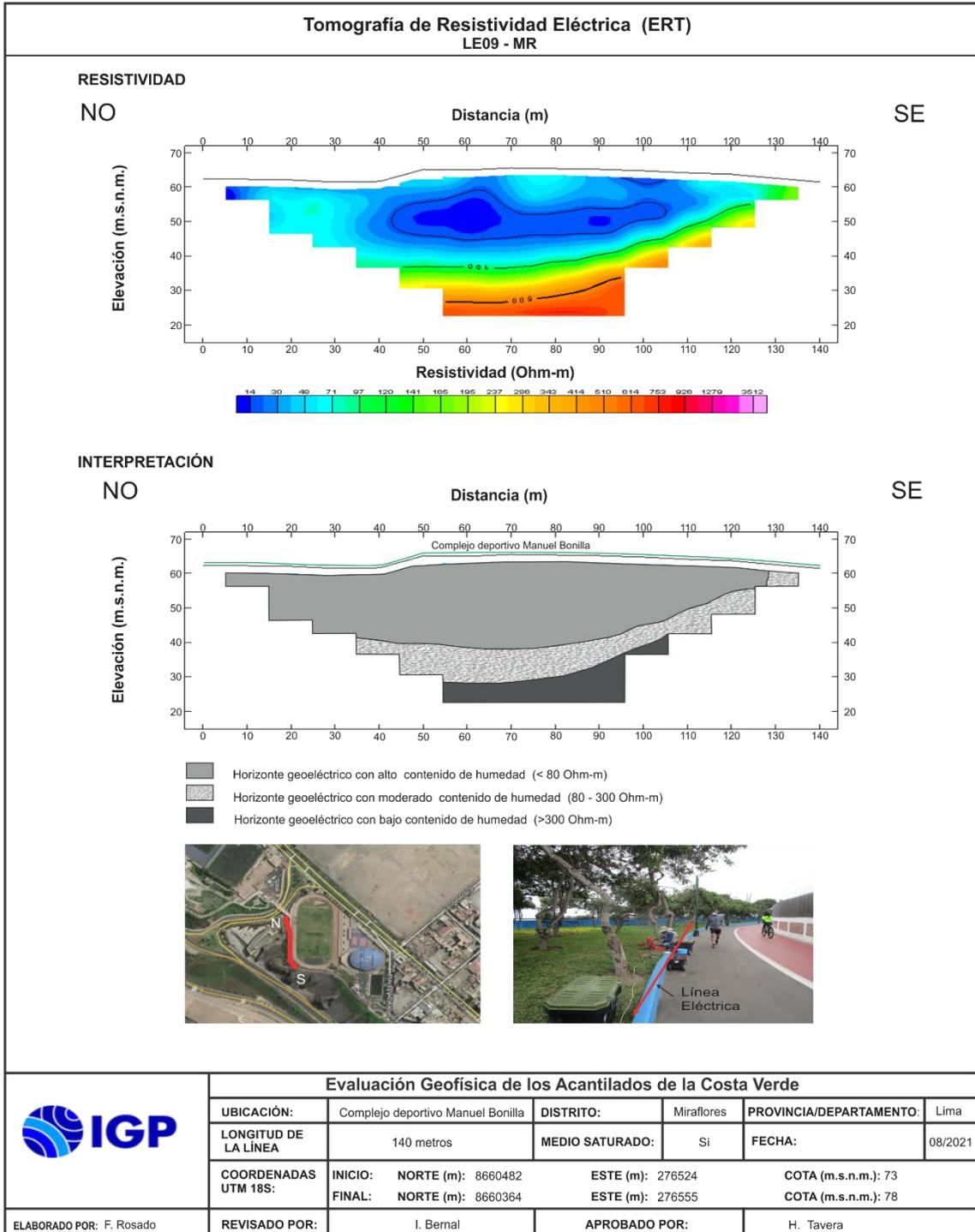


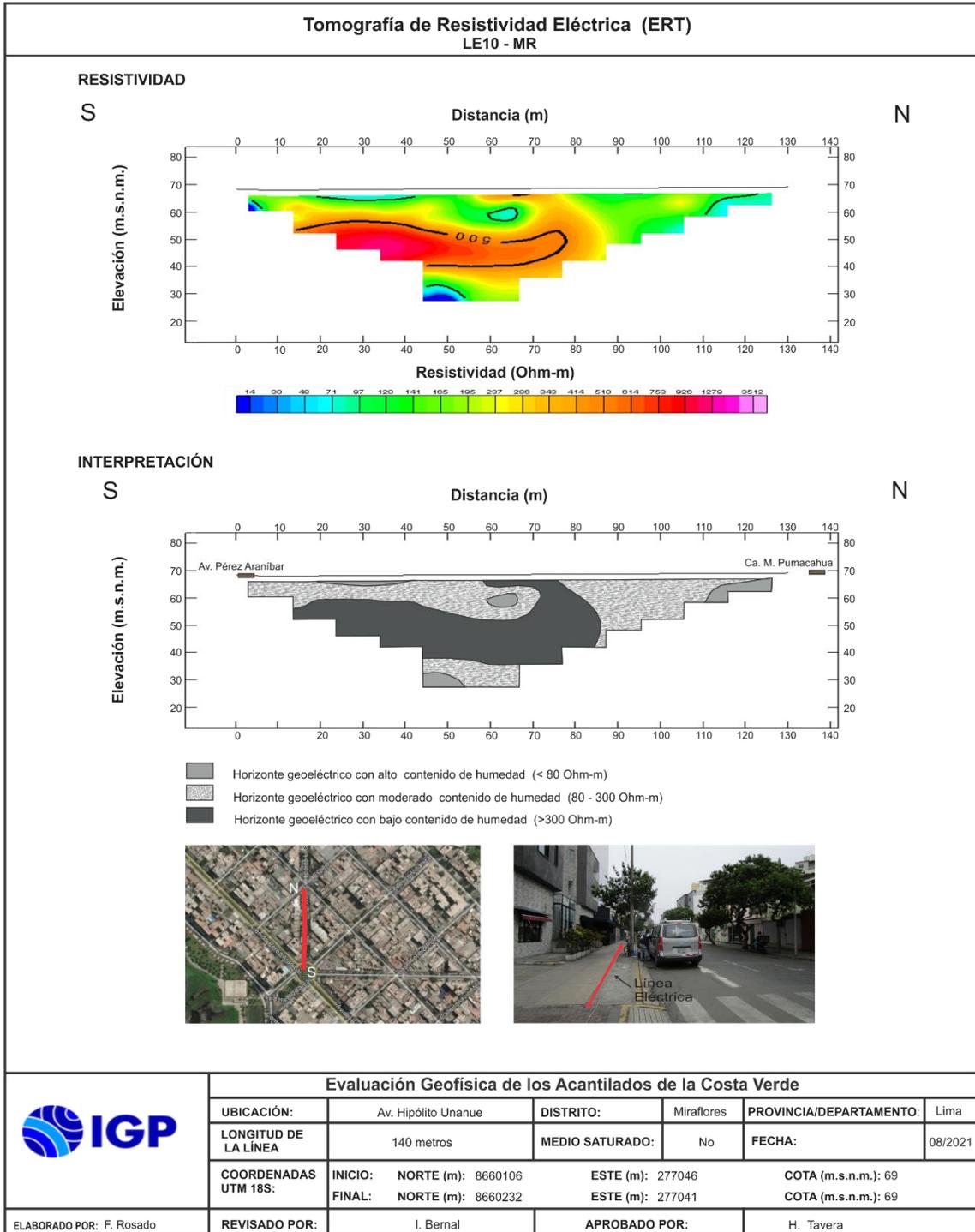


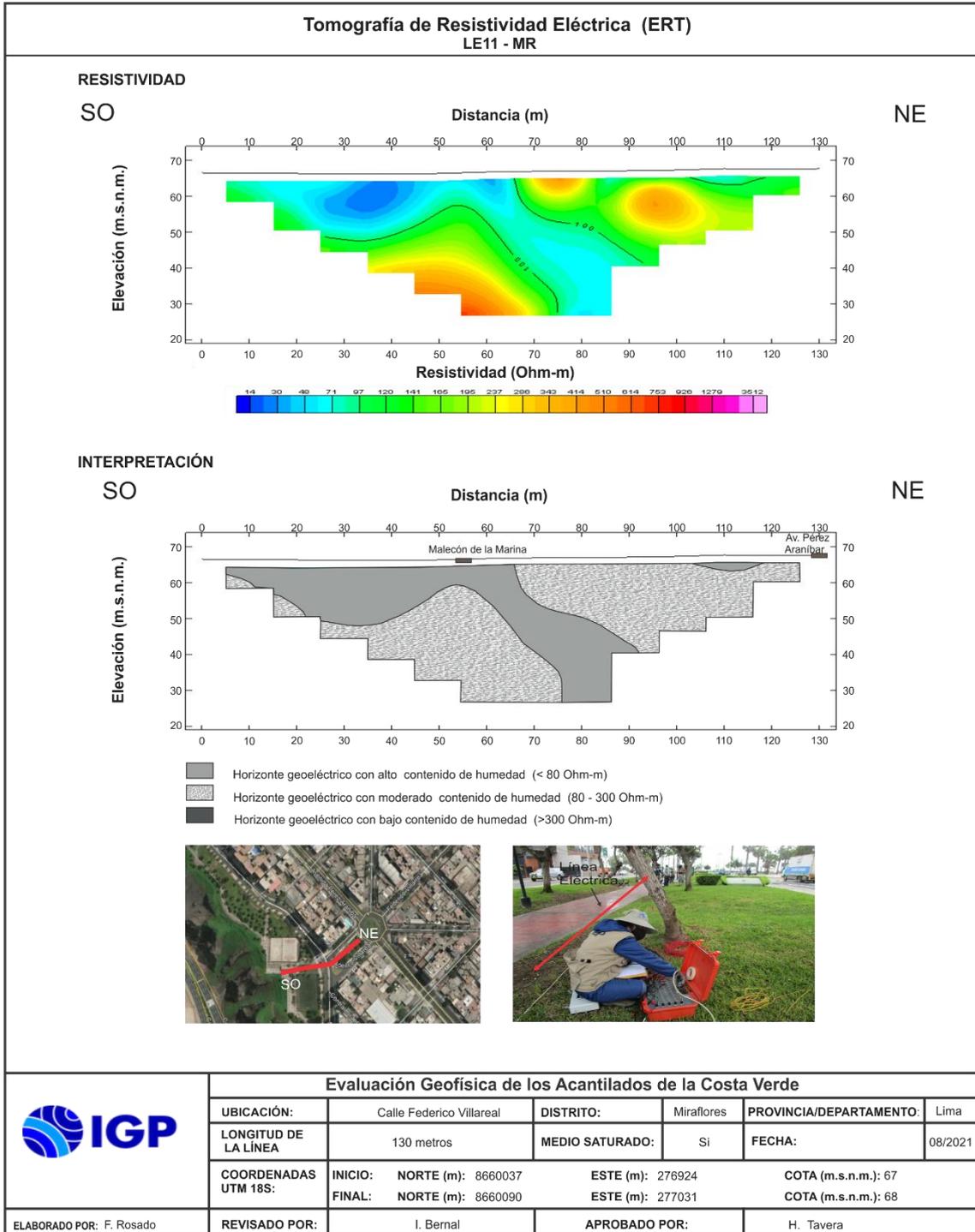


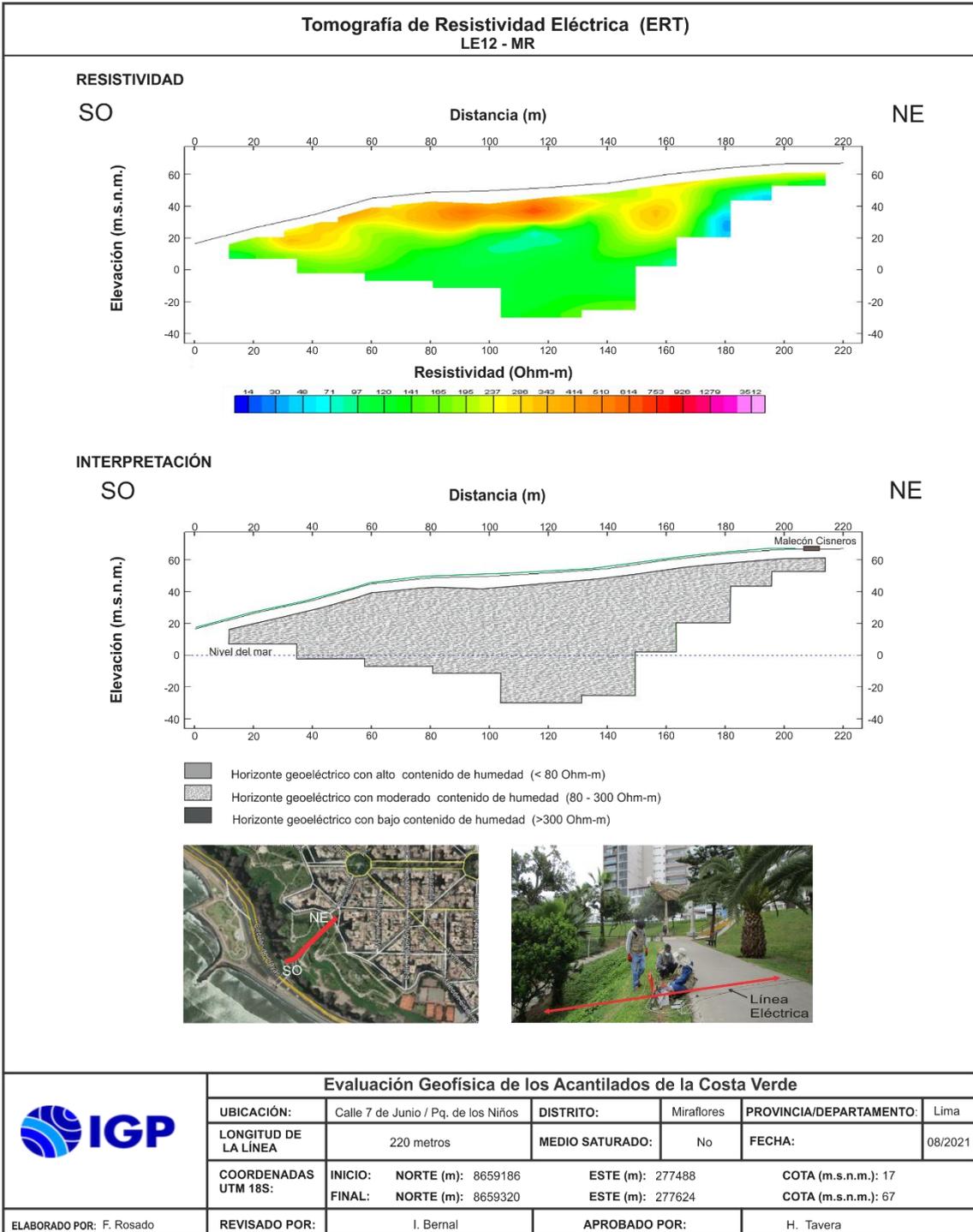


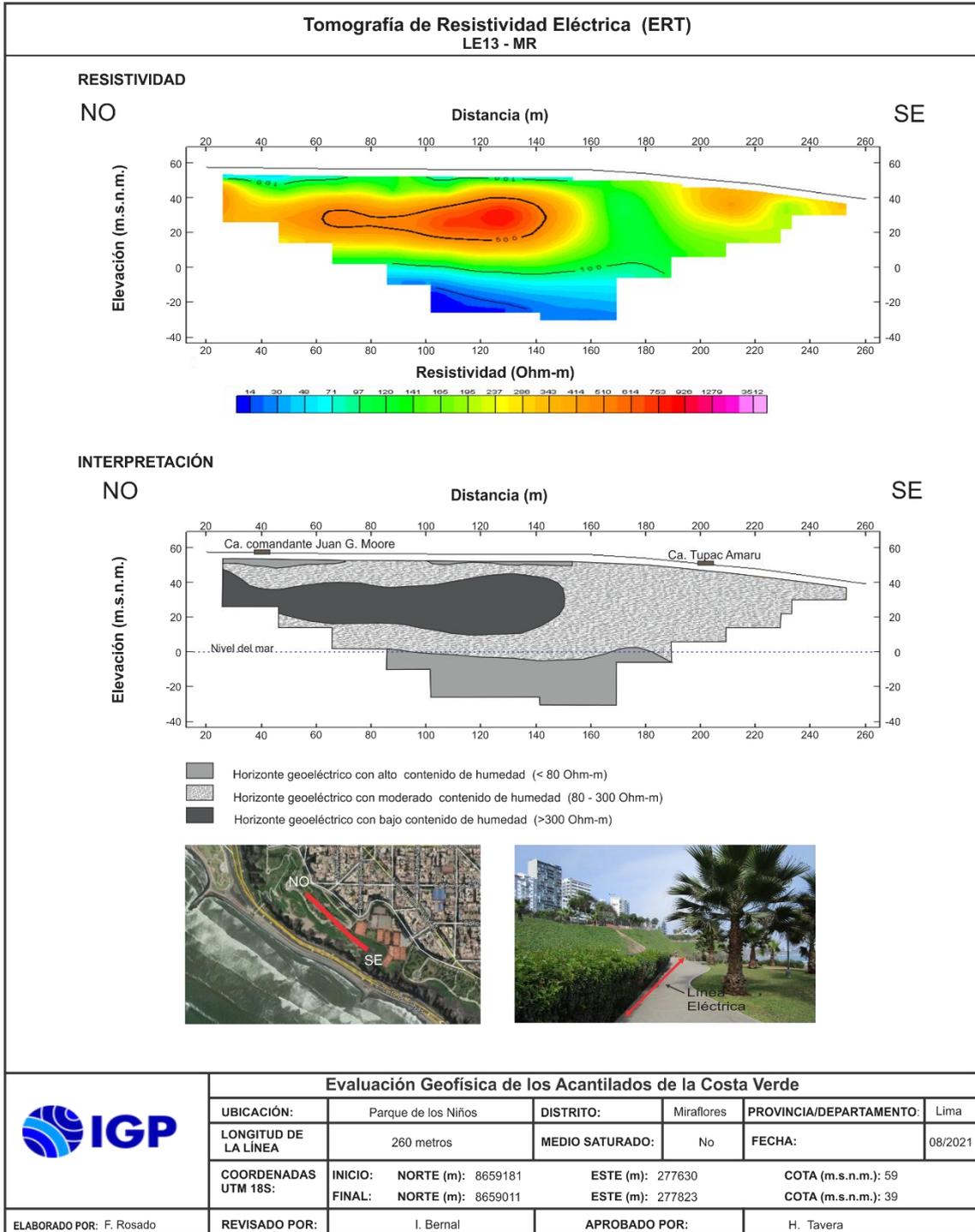


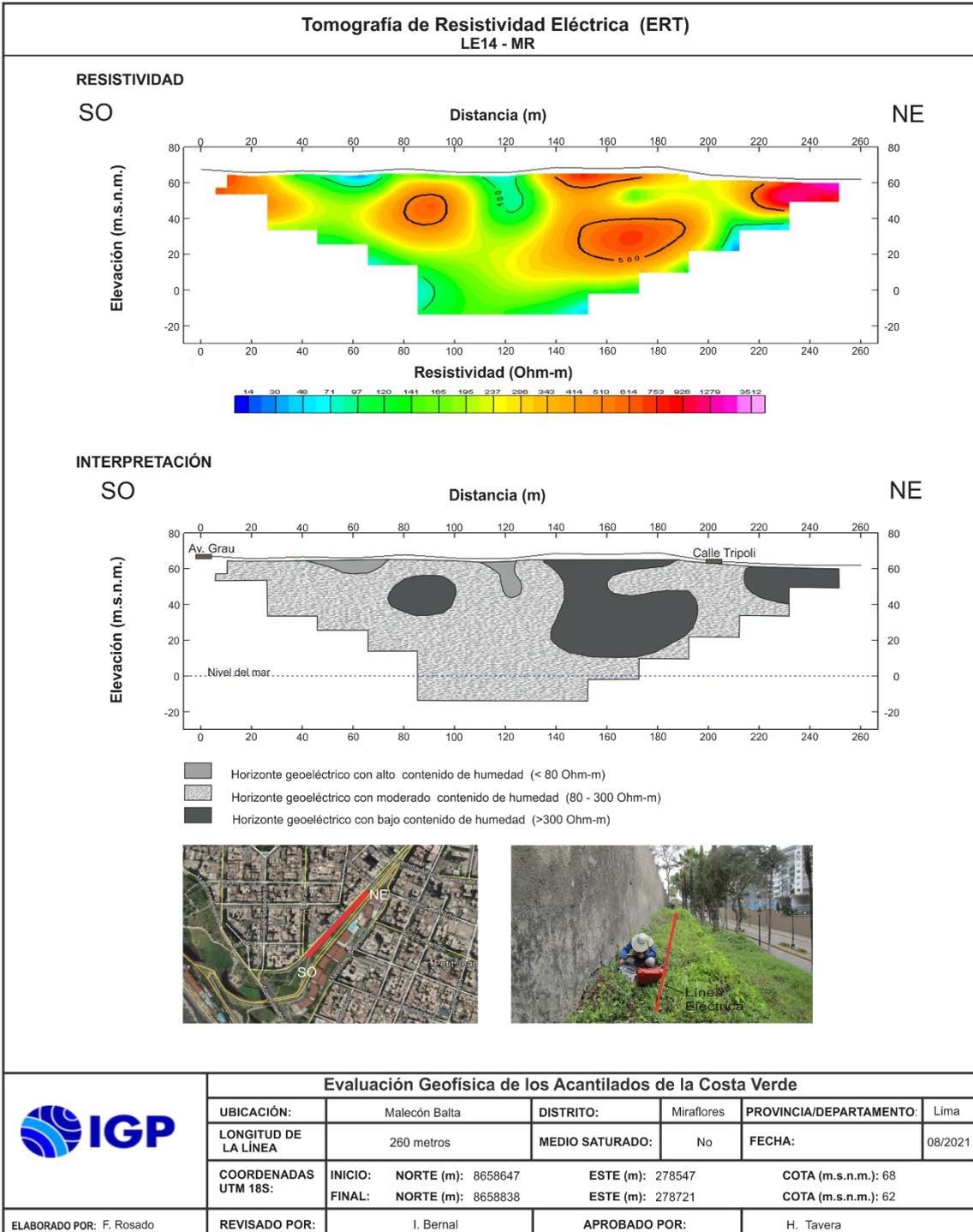


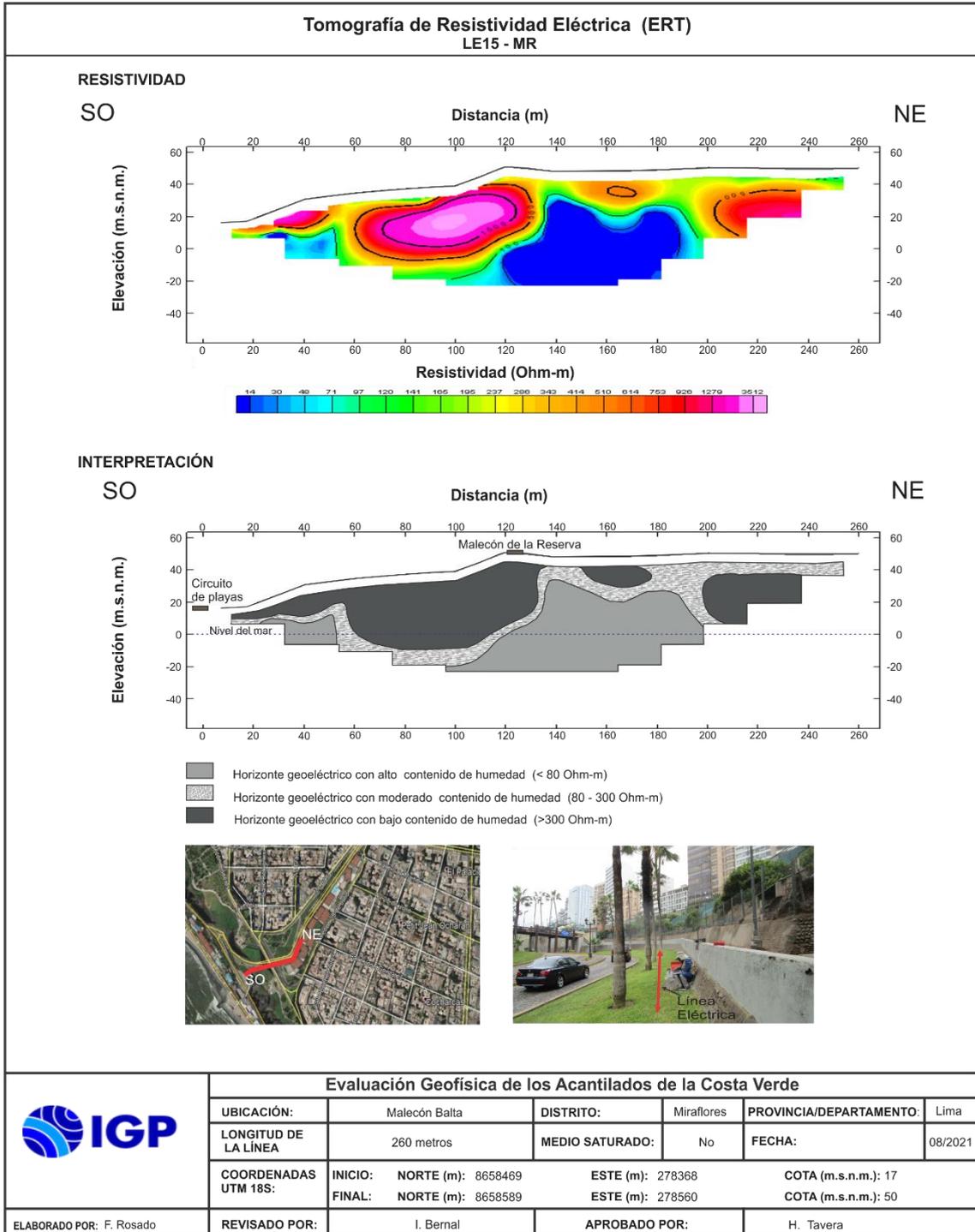


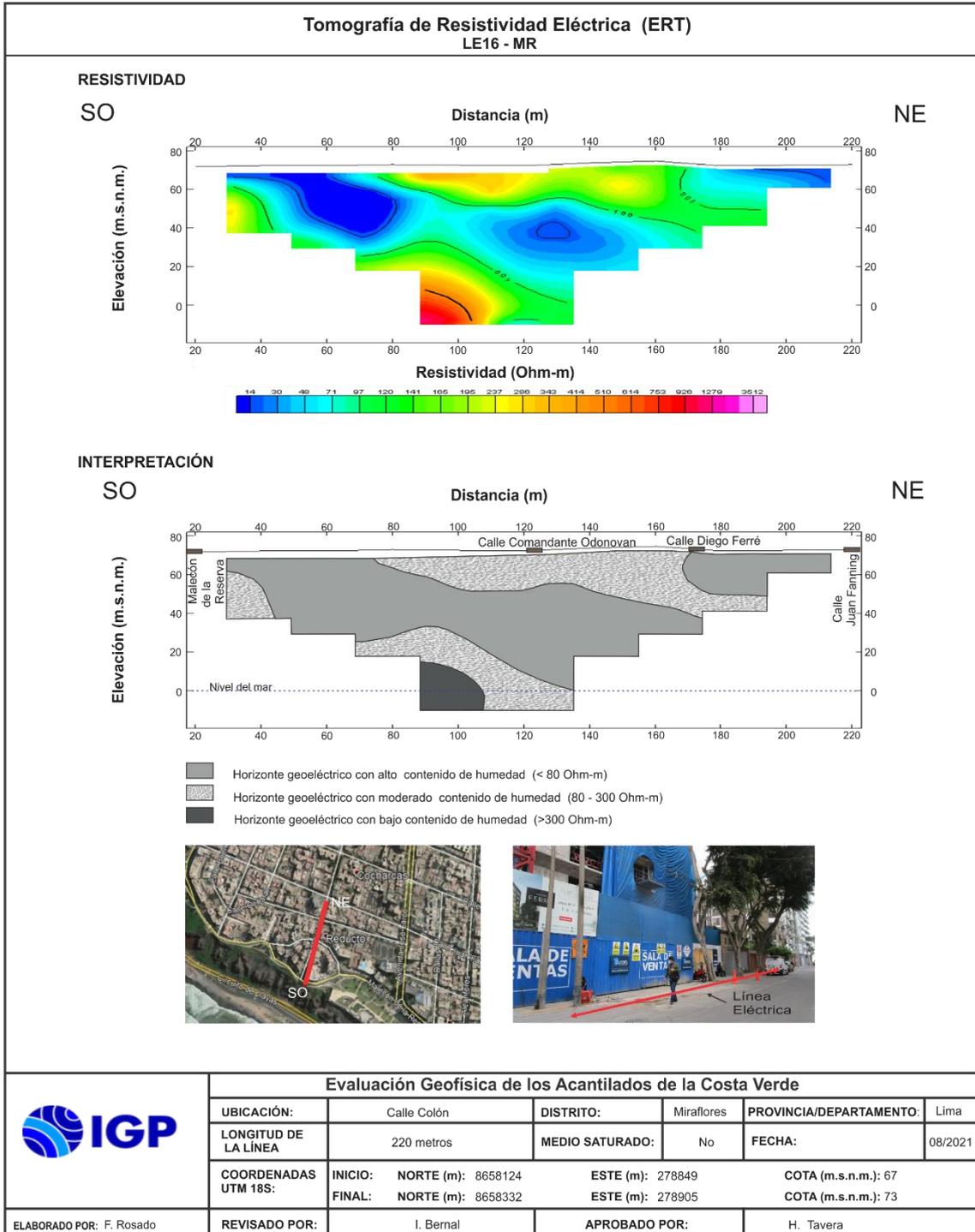


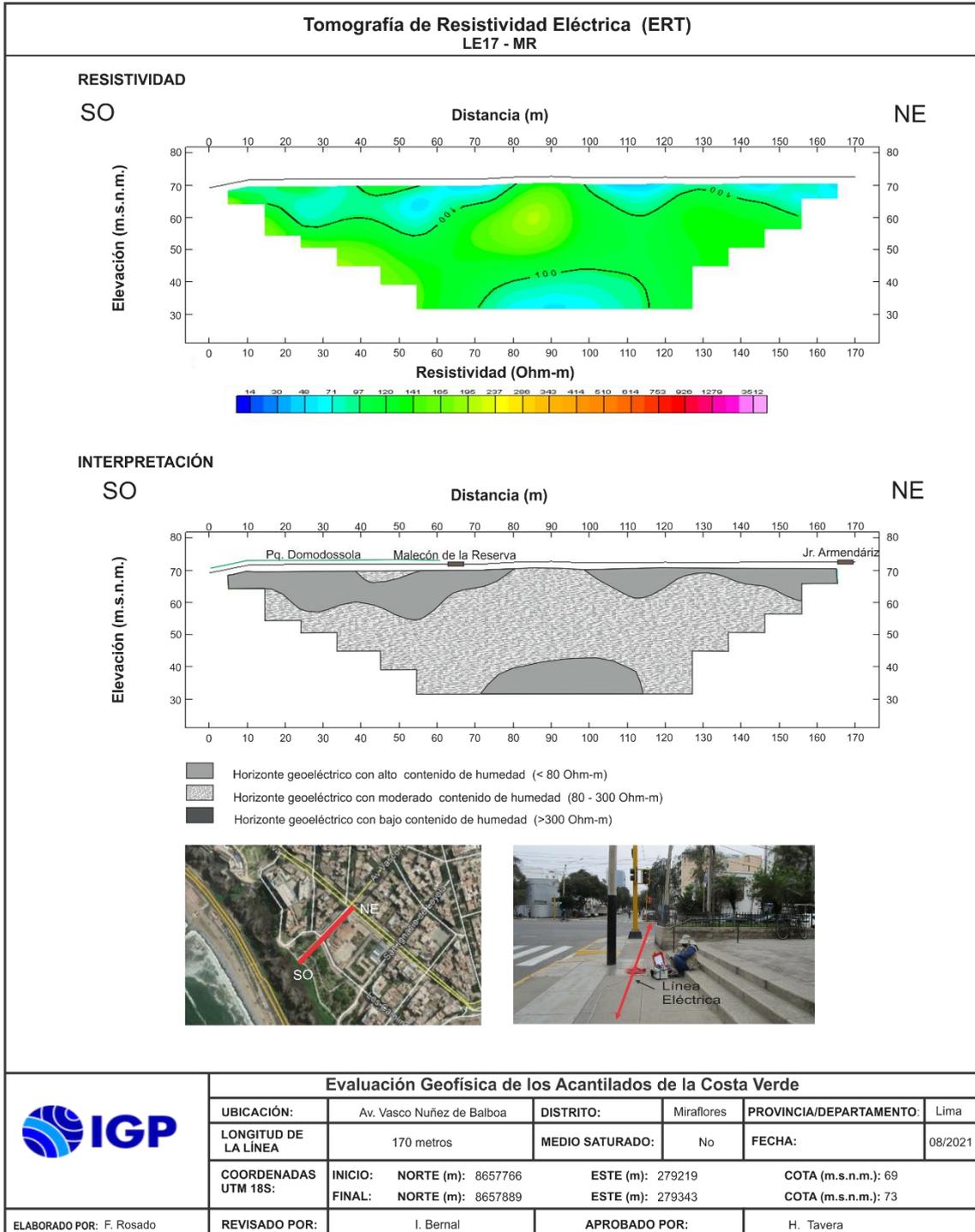


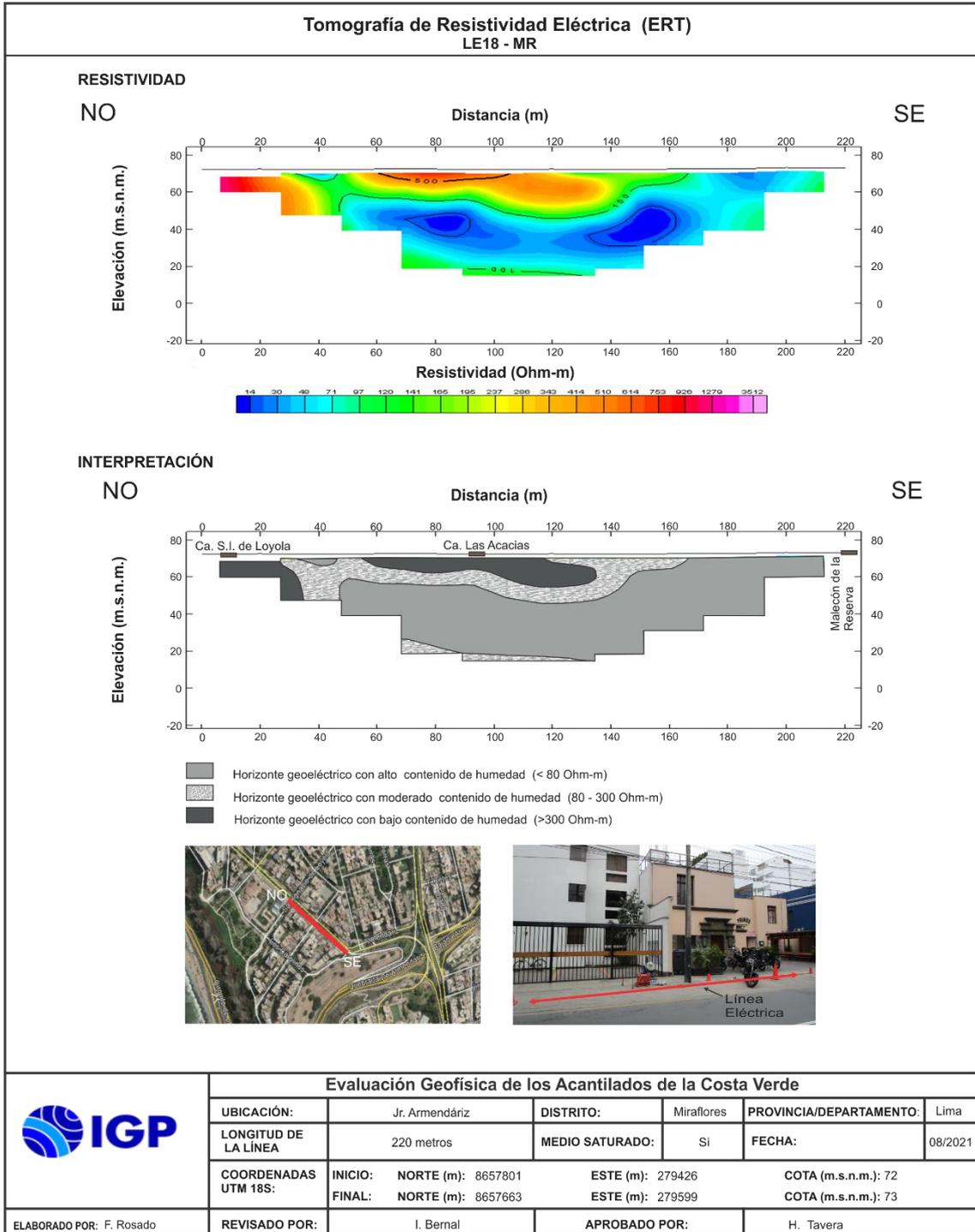


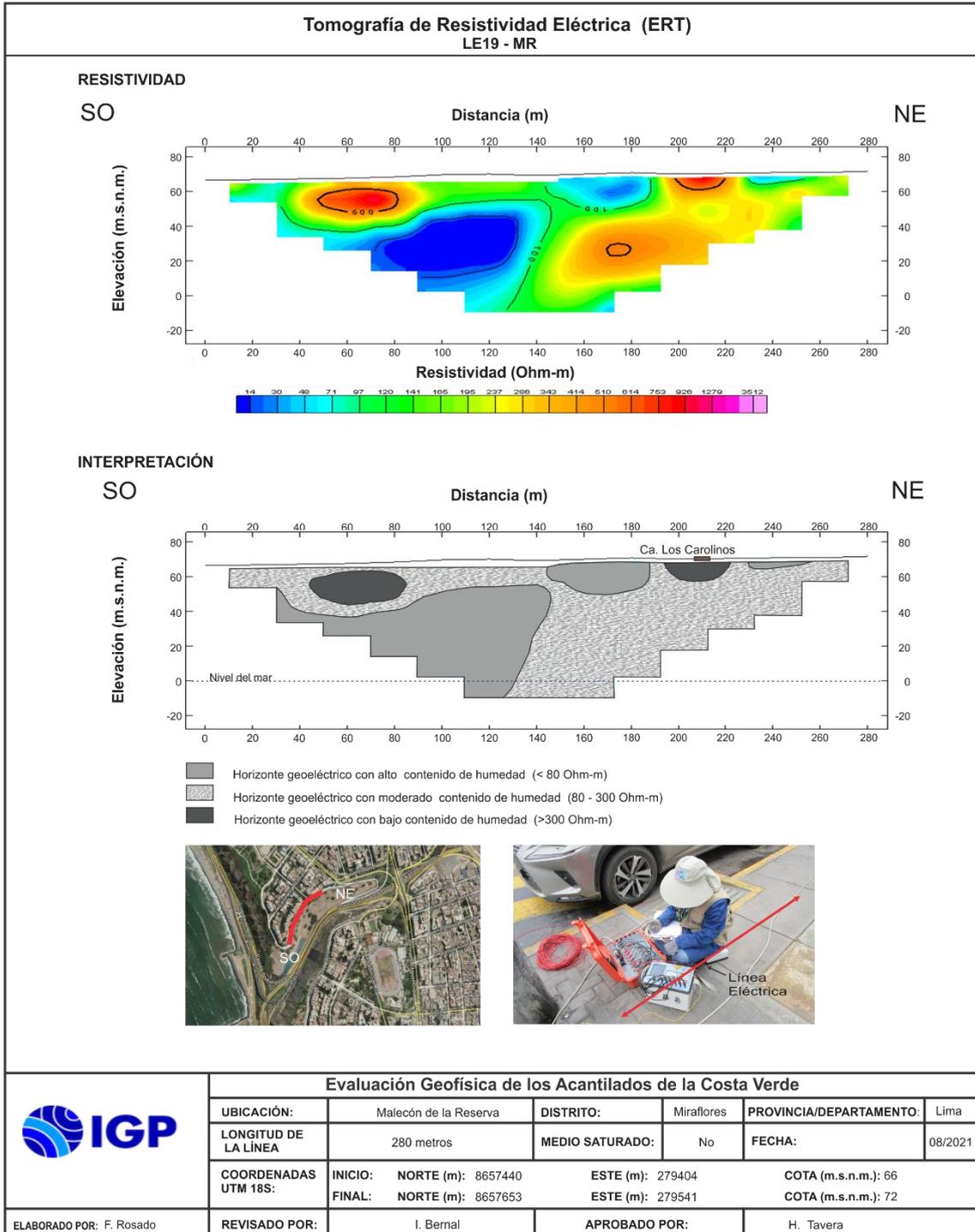


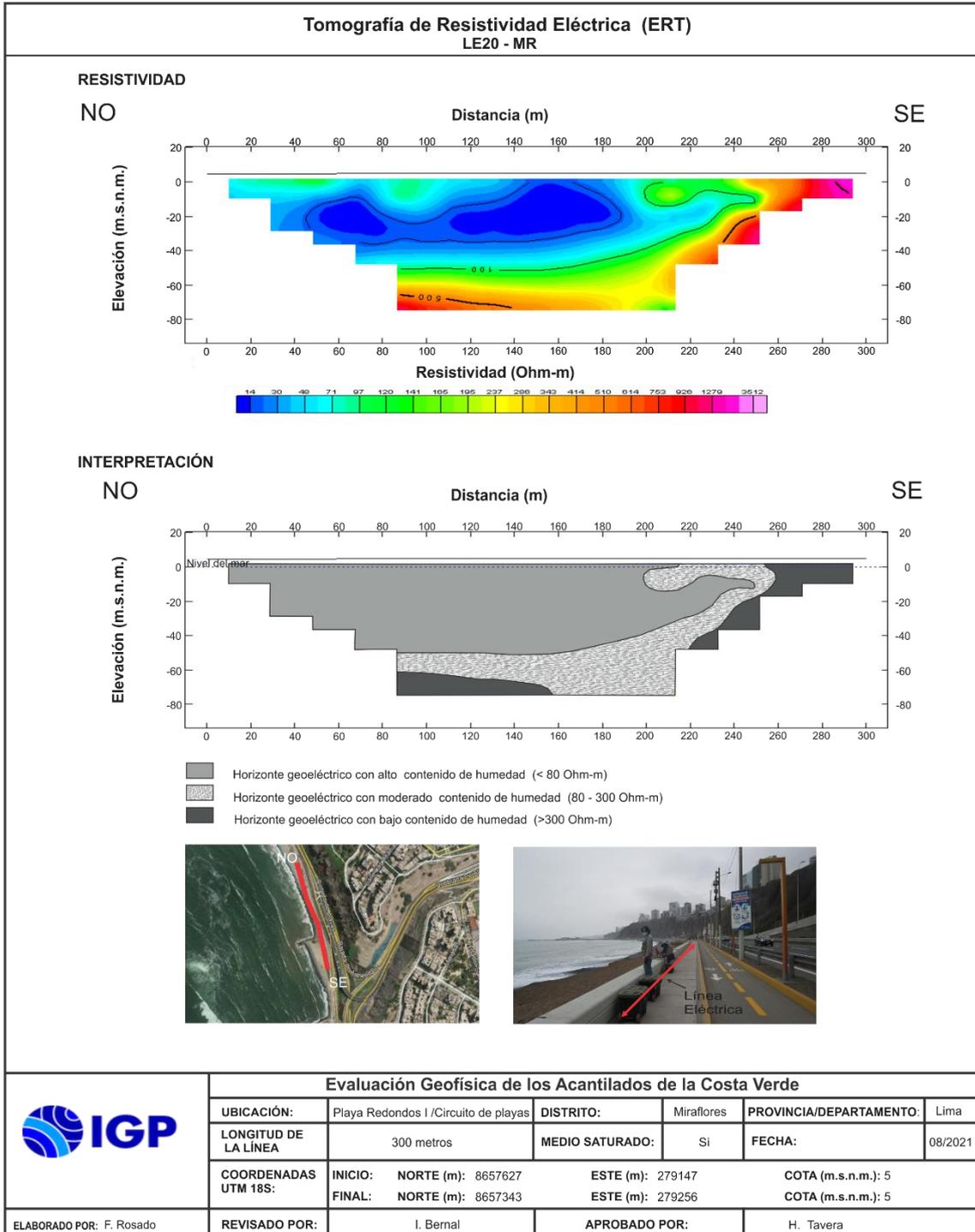


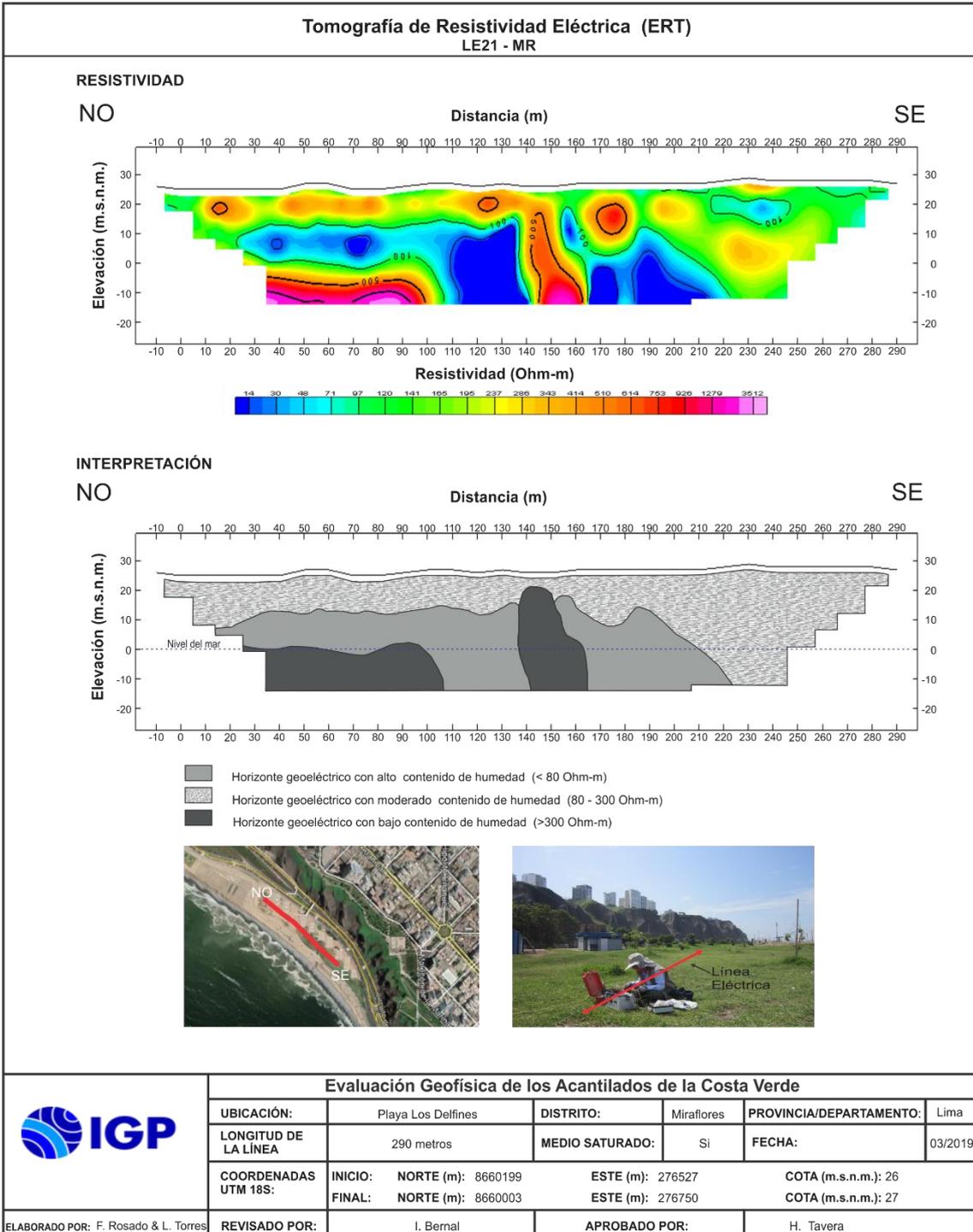


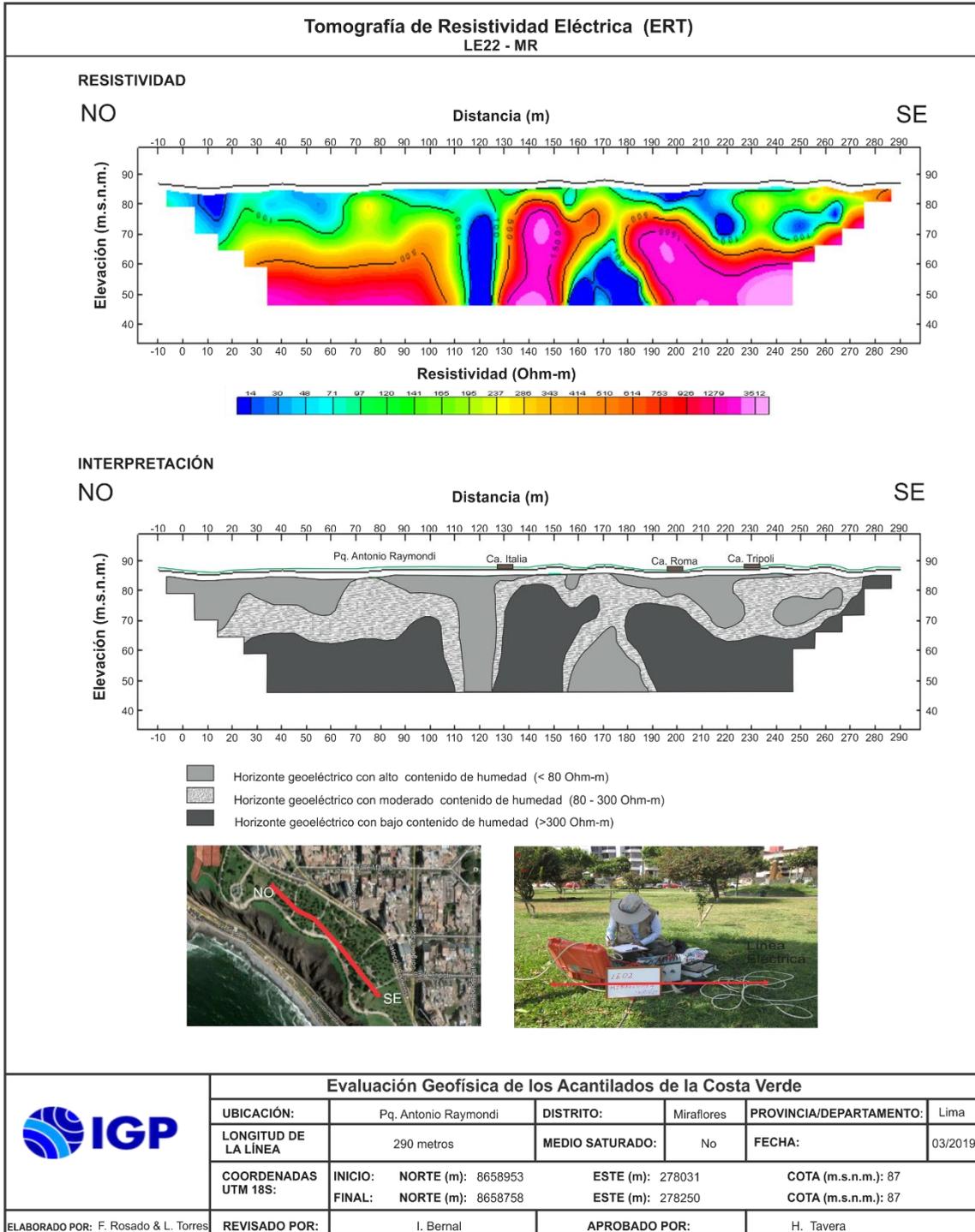


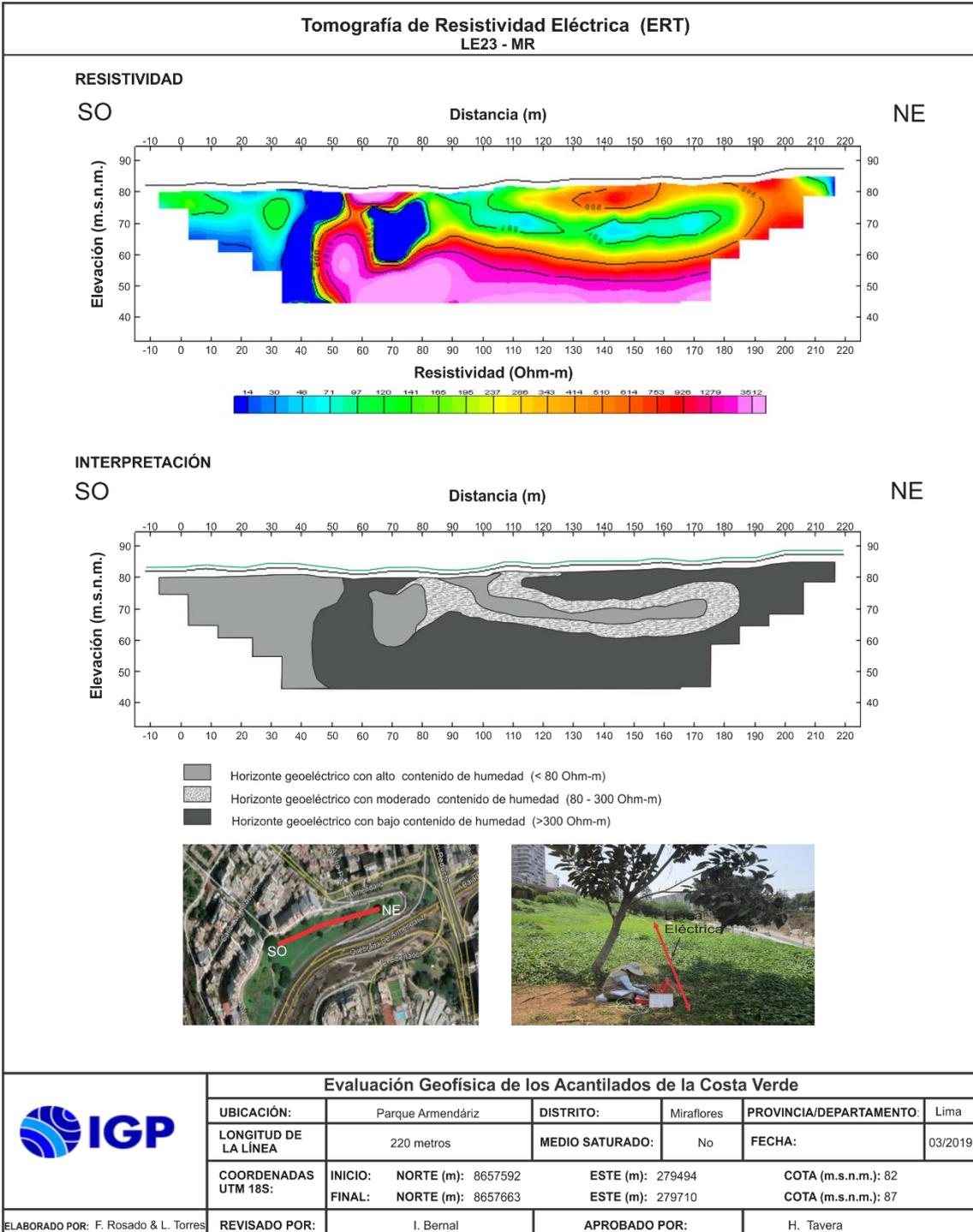






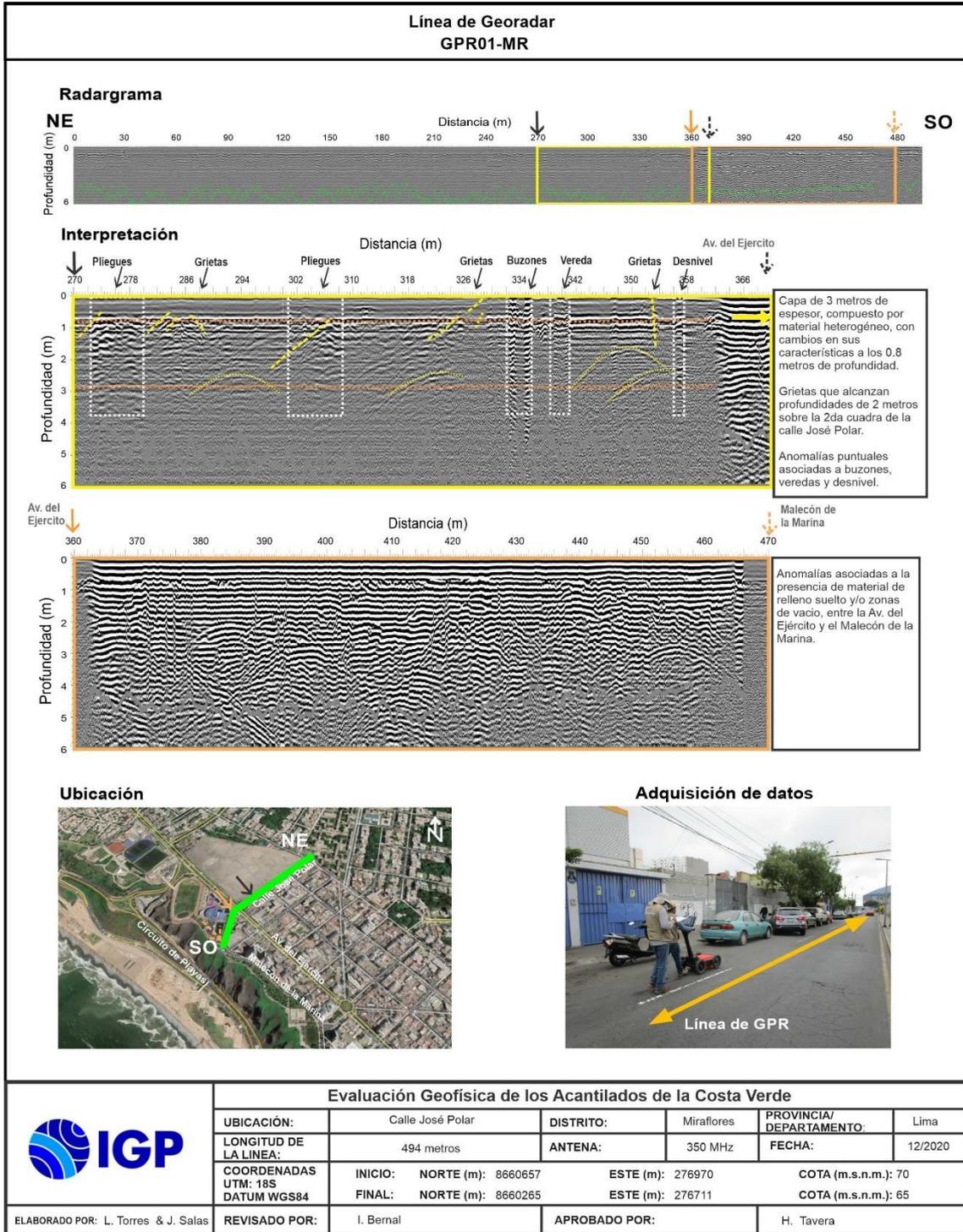


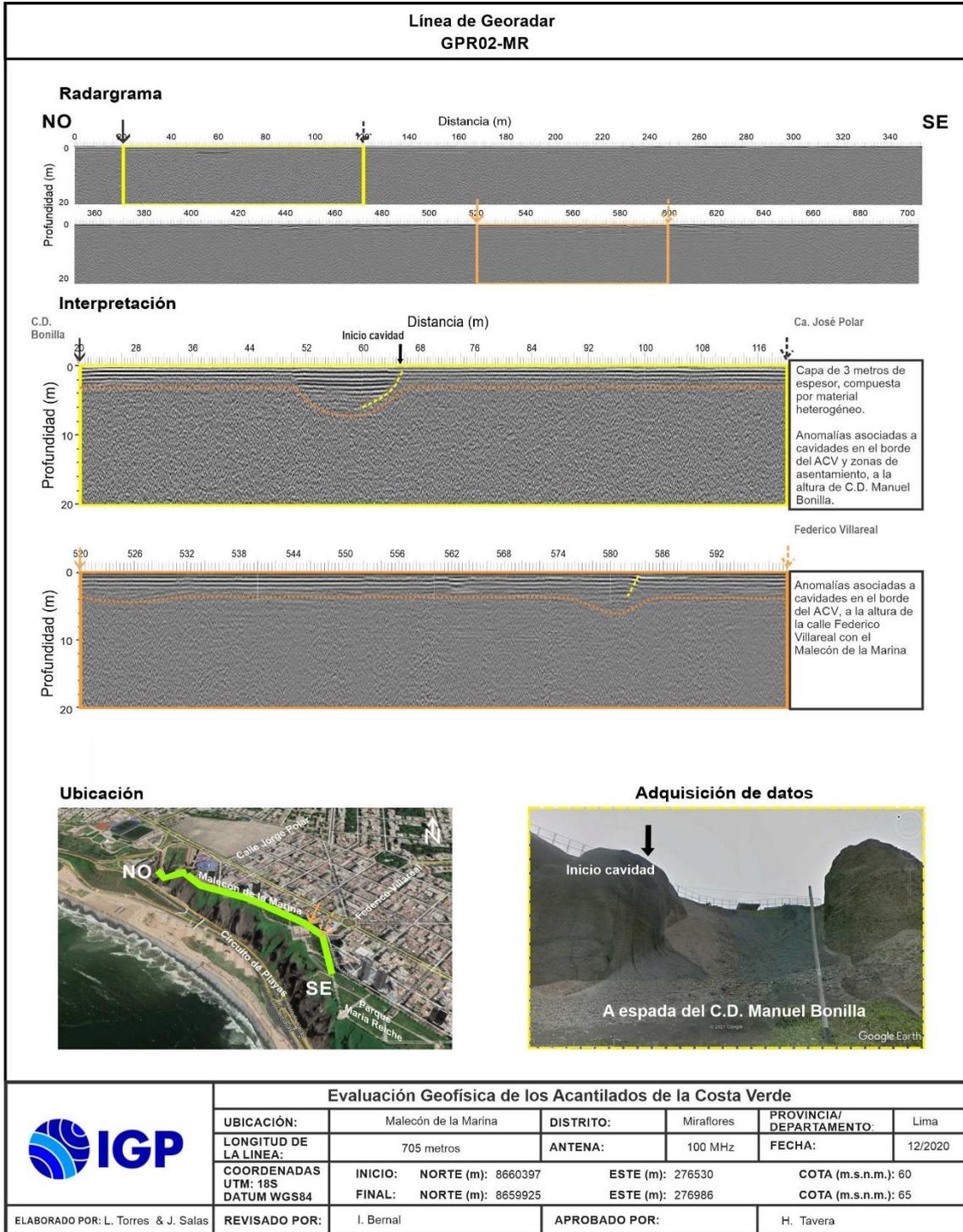


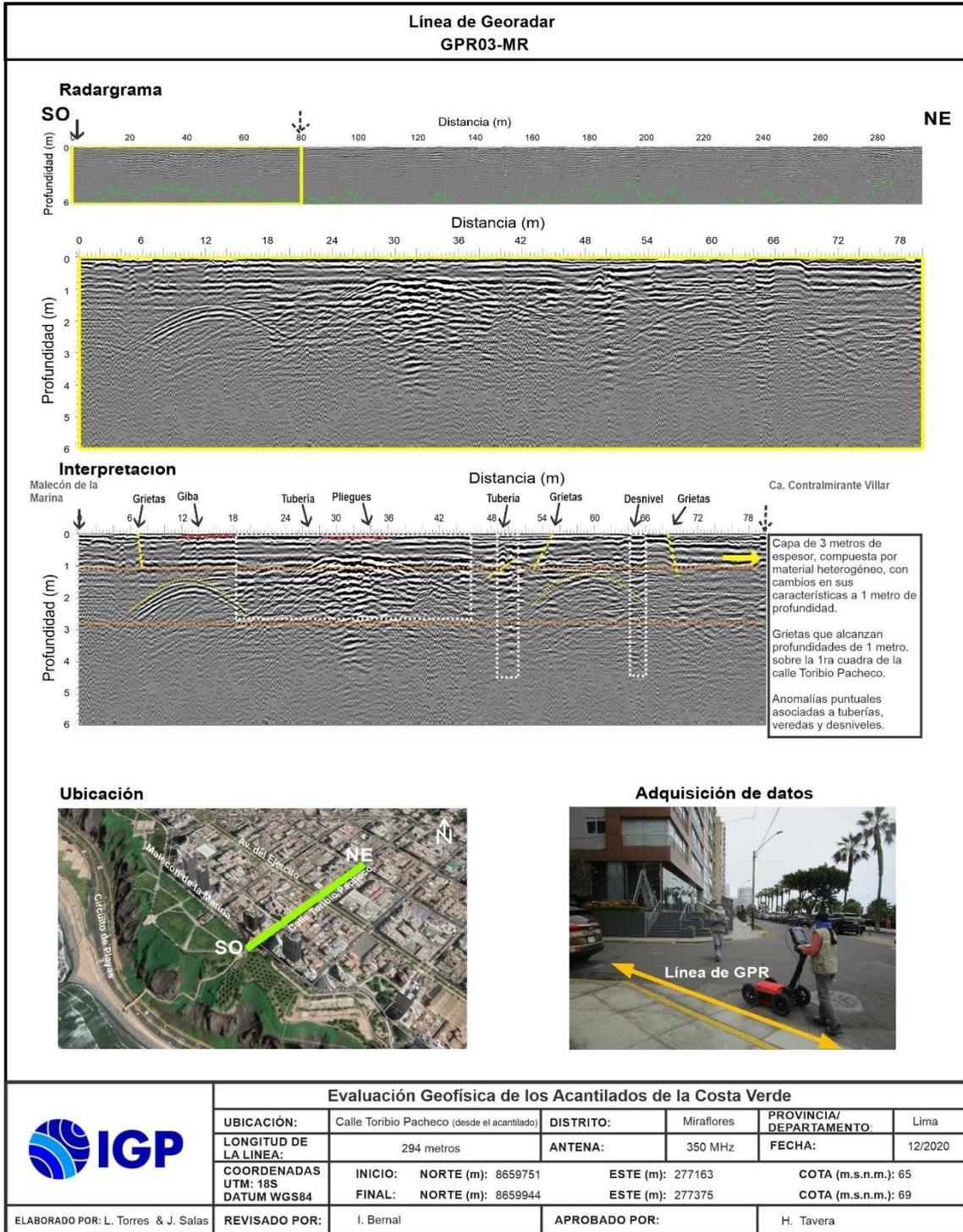


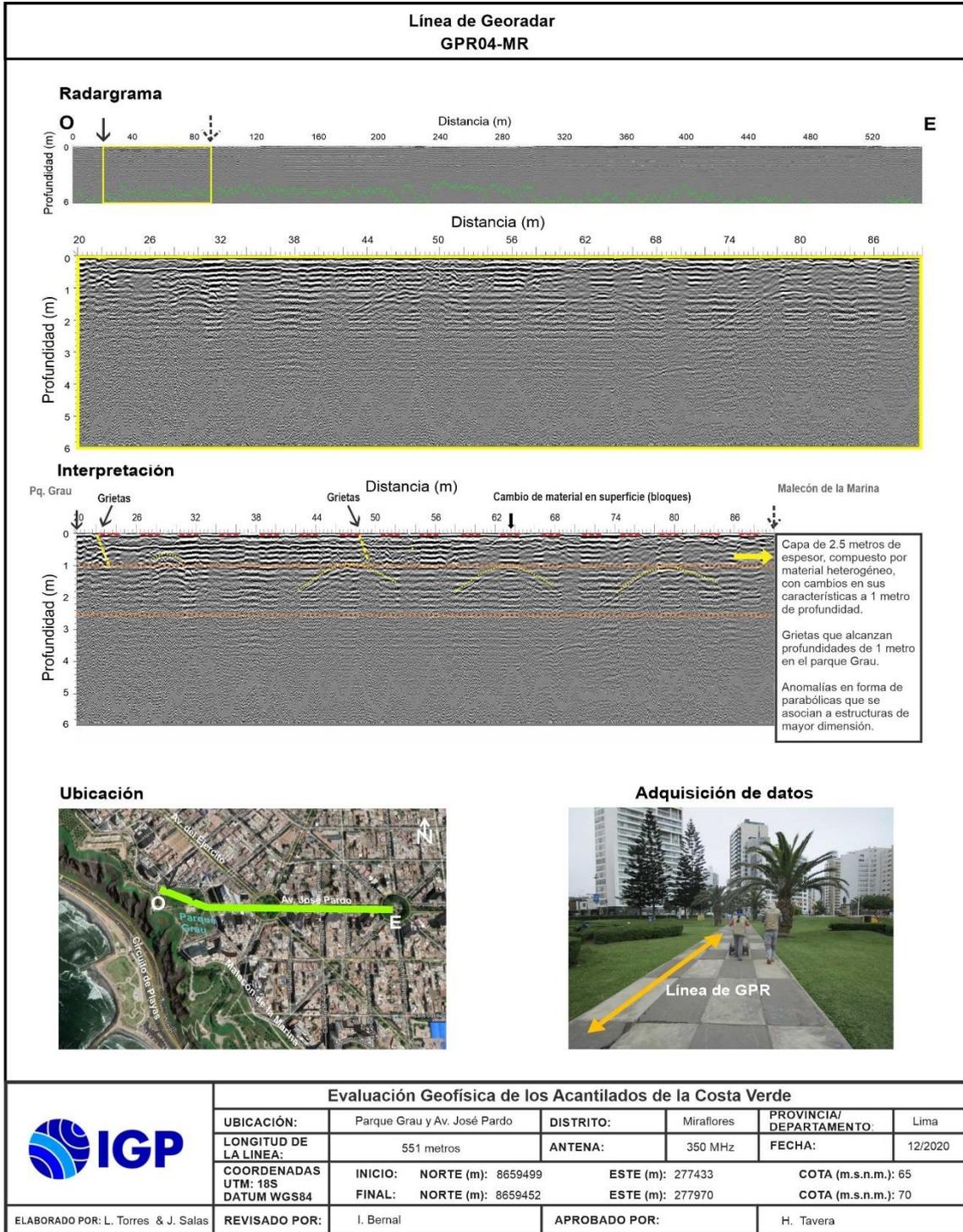
ANEXO V

Secciones de Radargramas

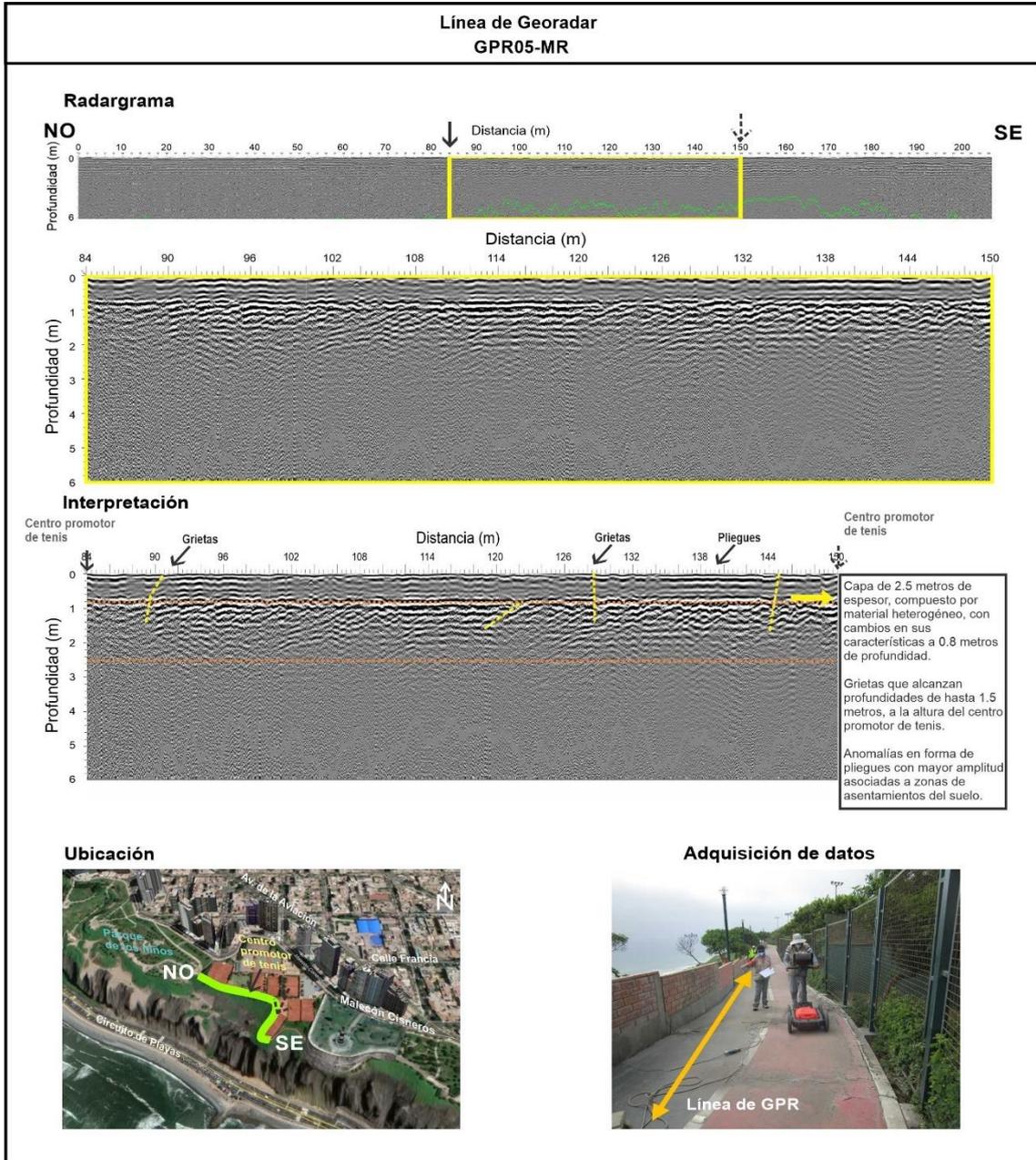








Evaluación Geofísica de los Acanilados de la Costa Verde							
	UBICACIÓN:	Parque Grau y Av. José Pardo	DISTRITO:	Miraflores	PROVINCIA/DEPARTAMENTO:	Lima	
	LONGITUD DE LA LINEA:	551 metros	ANTENA:	350 MHz	FECHA:	12/2020	
	COORDENADAS UTM: 18S DATUM WGS84	INICIO:	NORTE (m): 8659499	ESTE (m):	277433	COTA (m.s.n.m.): 65	
		FINAL:	NORTE (m): 8659452	ESTE (m):	277970	COTA (m.s.n.m.): 70	
ELABORADO POR: L. Torres & J. Salas	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera			



Evaluación Geofísica de los Acanilados de la Costa Verde						
	UBICACIÓN:	Al lado del centro promotor de tenis	DISTRITO:	Miraflores	PROVINCIA/ DEPARTAMENTO:	Lima
	LONGITUD DE LA LÍNEA:	206 metros	ANTENA:	350 MHz	FECHA:	12/2020
	COORDENADAS UTM: 18S DATUM WGS84	INICIO: NORTE (m): 8659076 FINAL: NORTE (m): 8658965	ESTE (m): 277769 ESTE (m): 277879	COTA (m.s.n.m.): 60 COTA (m.s.n.m.): 59		
	ELABORADO POR: L. Torres & J. Salas	REVISADO POR: I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera		

