



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



EVALUACIÓN GEOFÍSICA DE LOS ACANTILADOS DE LA COSTA VERDE DISTRITO DE MAGDALENA DEL MAR

Informe Técnico N°034-2021/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 Magdalena del Mar

Autores

Isabel Bernal, Hernando Tavera, Wilfredo Sulla y Liliana Torres

Participantes:

Evaluación Geofísica: Kelly Pari / Wilfredo Sulla / 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 / Julio Martínez / Luz Arredondo / Henry Salas / Ademir Cuya.

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

Apoyo administrativo: Marisol Enríquez / Susana Huaccachi

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

**EVALUACIÓN GEOFÍSICA
DE LOS ACANTILADOS DE LA COSTA VERDE

DISTRITO DE MAGDALENA DEL MAR**

Lima - Perú
Octubre, 2021

RESUMEN

En el Acantilado de la Costa Verde (ACV) del distrito de Magdalena del Mar, se ha determinado la estructura del subsuelo y su comportamiento dinámico ante sismos usando métodos geofísicos. Los resultados obtenidos muestran en promedio la existencia de tres capas de variado espesor y compuesto por materiales de diferente rigidez: a) La primera capa con espesores de 2 a 8 metros, está constituida por materiales aluviales sueltos o poco consolidados ($V_s=200-345$ m/s, $V_p=350-580$ m/s); b) La segunda capa con espesores de 4 a 14 metros, está constituida por materiales aluviales medianamente compactos ($V_s=390-550$ m/s, $V_p=580-1180$ m/s), y c) La tercera capa, de ~ 10 metros de espesor está constituida con materiales aluviales compactos ($V_s=550-620$ m/s, $V_p \geq 1180$ m/s). Estos resultados coinciden con la ubicación de las principales interfaces en el subsuelo a profundidades de 4-10 y 7-18 metros, las mismas que definen la presencia de tres capas compuestas con materiales de diferentes densidades (1.6 gr/cm^3 , 1.8 gr/cm^3 , 2.0 gr/cm^3).

En el Conjunto Residencial Marbella-ENACE, Malecón Godofredo García y Malecón Castagnola (coliseo Aldo Chamocho), se ha identificado la presencia de suelos compuestos por materiales medianamente compactos en capas que superan los 20 metros de espesor; mientras que, en el parque Grau y Bajada de Marbella, esta misma capa presenta espesores de 13 metros.

A lo largo del acantilado, se ha identificado la presencia de suelos con moderado a alto contenido de humedad en capas con espesores que varían de 20 a 40 metros, principalmente en el sector del Conjunto Residencial Marbella-ENACE y el Malecón Godofredo García. Asimismo, en el Malecón Castagnola, Jr. Leoncio Prado, parque Grau (extremo norte) y en el Puericultorio Pérez Aranibar se presentan de manera sectorizada. En la

mayoría de estas zonas, existen áreas verdes con riego continuo que facilitan la presencia de grietas con profundidades de hasta 1.5 metros y desplazamientos en el terreno visibles en superficie.

El comportamiento dinámico del suelo en los ACV del distrito de Magdalena del Mar, 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 60 a 130 metros y de manera local en el Conjunto Residencial Marbella-ENACE alcanza una distancia de 250 metros. Ante la ocurrencia de un sismo que genere elevados niveles de sacudimiento del suelo, las zonas con mayor riesgo son: Malecón Castagnola (coliseo Aldo Chamochumbi), final de la Av. Sucre (Hotel Megamar), parque Grau, Puericultorio Pérez Aranibar, sectores de la calle Alberto Yabar y del Conjunto Residencial Marbella-ENACE.

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

ANEXOS

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 la composición geológica y propiedades físicas atenuaran o amplificaran los niveles de sacudimiento del suelo.

En Lima Metropolitana, uno de los accidentes topográficos más resaltante y vulnerable ante la ocurrencia de un sismo, es el Acantilado de la Costa Verde (ACV), que con una extensión de 22.5 km une a los distritos de San Miguel, Magdalena del Mar, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos. Los ACV presentan una altura promedio de 50 metros sobre el nivel medio del mar y está conformado por una terraza fluvio-aluvional como parte del cono de deyección de los ríos Rímac y Chillón, 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 las cárcavas y quebradas. Asimismo, algunas de estas zonas fueron destinadas a

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



Figura 1: Imagen panorámica de los ACV (Fuente: Municipalidad de Magdalena)

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. Deslizamiento ocurrido el 08 de agosto de 2019 en el ACV (Fuente Diario Gestión).

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

En este informe se presentan los resultados obtenidos del estudio geofísico realizado en los ACV del distrito de Magdalena del Mar aplicando técnicas geofísicas como refracción sísmica (RS), análisis multicanal de las ondas superficiales (MASW) y el análisis multicanal de microtremores (MAM) para identificar espesores de capas y velocidades de ondas a diferentes niveles de profundidad; tomografía eléctrica (ERT) para conocer el contenido

de humedad de los suelos; georadar para definir la presencia de estructuras superficiales como grietas; razones espectrales (H/V), para conocer el periodo de respuesta del suelo y estimar su factor de amplificación ante la ocurrencia sísmica y gravimetría, para definir la interface de los estratos a diferentes profundidades en función de la densidad de los materiales presentes en el subsuelo.

1.1.-Objetivo del estudio

El objetivo del presente estudio es conocer la estructura del subsuelo en los ACV del distrito de Magdalena del Mar, 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 50°, principalmente en los distritos de Magdalena del Mar, San Isidro y Miraflores.

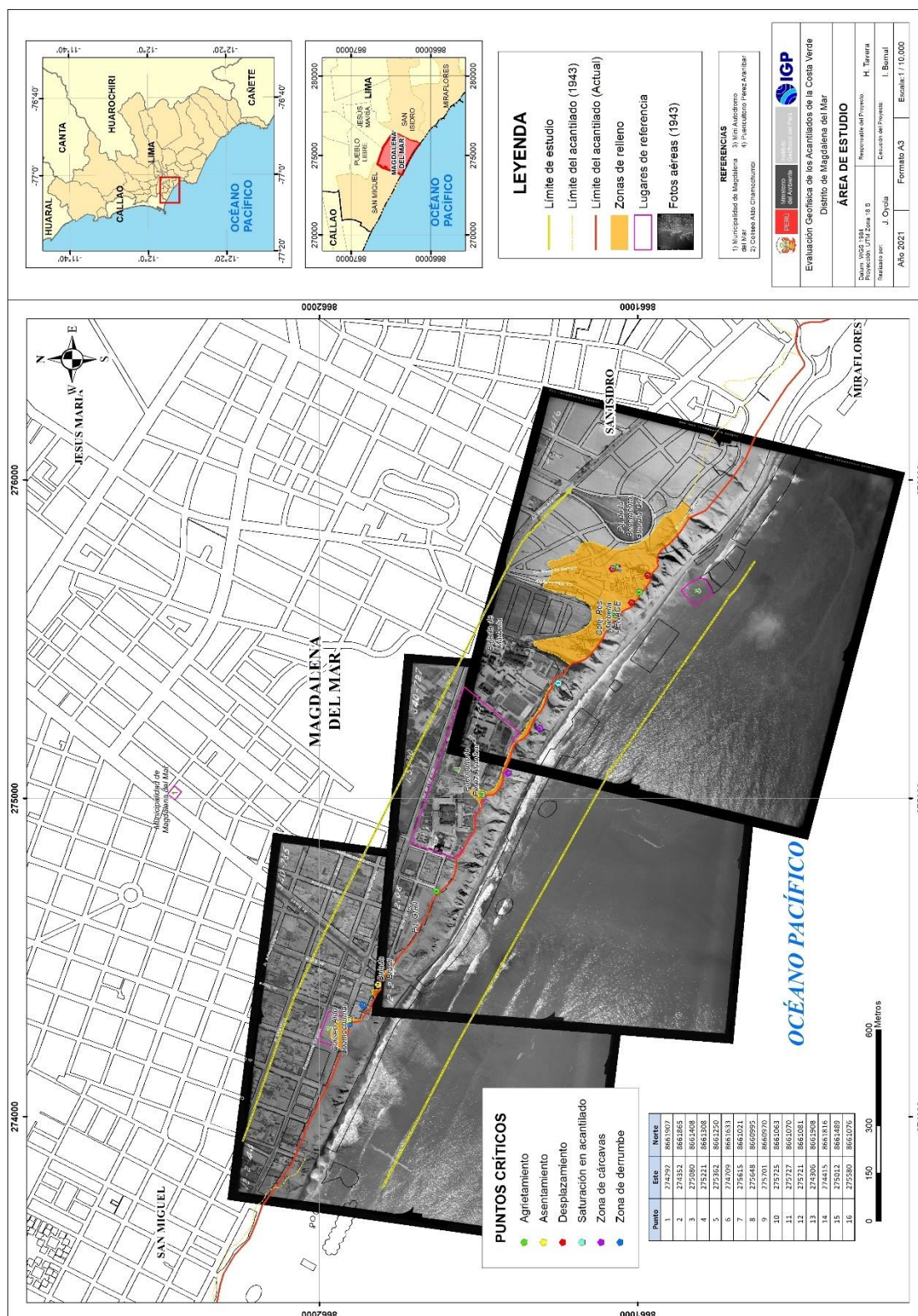


Figura 3. Mapa del área de estudio. La interlínea de color naranja indica el límite del acantilado en el año 1943 y la línea roja, el límite actual. Asimismo, se indica la ubicación de los puntos críticos identificados en el área de estudio como cárcavas, áreas de relleno, depósitos antrópicos, grietas,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

En el distrito de Magdalena del Mar, los ACV tienen una longitud de 2.3 km y alturas entre 50 a 60 metros con una inclinación de 50° a 60°. En la Figura 3, se presenta el mapa con la delimitación del área de estudio a escala 1:10,000 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.

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 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 en los ACV en el distrito de Magdalena del Mar, están conformados por depósitos aluviales provenientes del río Rímac; es decir, gravas (bolonería) soportadas en matriz areno limosa y lentes de arenas (parte media de acantilado), tal como se observa en la Figura 4a. Asimismo, en los acantilados se ha identificado la presencia de áreas rellenas con material alóctono (rellenos antrópicos) hasta alcanzar, en la actualidad, una altura promedio de 58 metros sobre el nivel medio de la Vía Circuito de Playas. El trabajo de campo realizado a pocos metros del acantilado, como parte del presente estudio, ha mostrado en la morfología del acantilado, la presencia de asentamientos diferenciales del suelo, así como la presencia de grietas de longitudes variables, las cuales han generado la formación de fisuras en algunas paredes de viviendas y en los pavimentos (Figura 4b).



Figura 4: a) Vista de la estratigrafía de los ACV en el distrito de Magdalena del Mar (espalda coliseo Aldo Chamocho). Obsérvese la presencia de depósitos aluviales, gravas sub redondeadas con intercalaciones de lentes de limos.

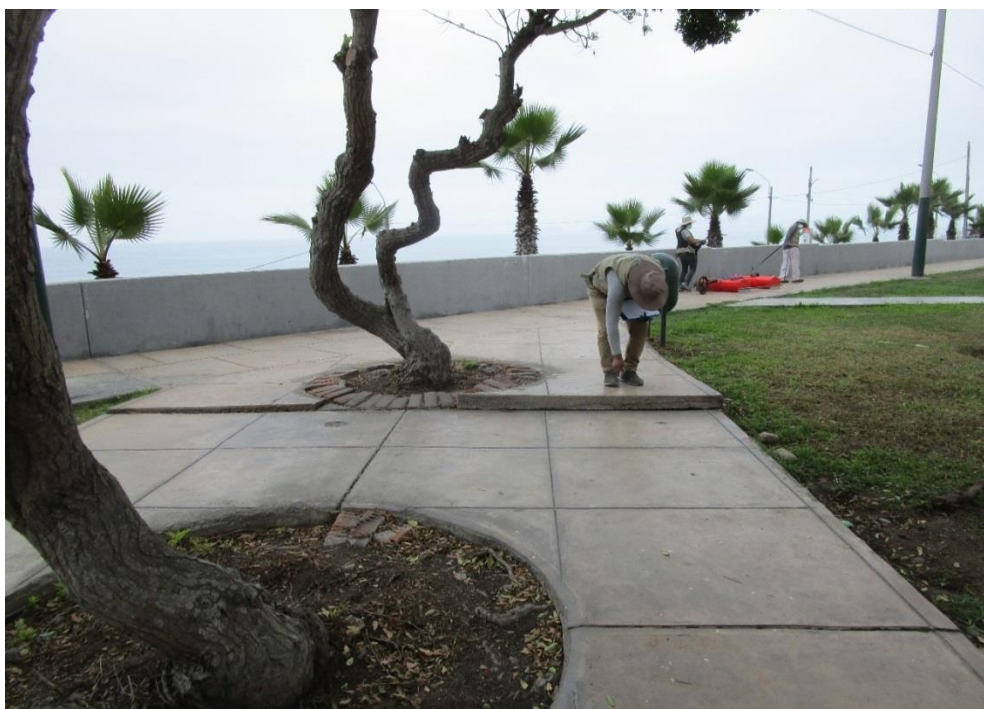


Figura 4. b) Asentamientos del suelo y grietas en los ACV en el entorno del Conjunto Residencial Marbella-ENACE, distrito de Magdalena del Mar.

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.

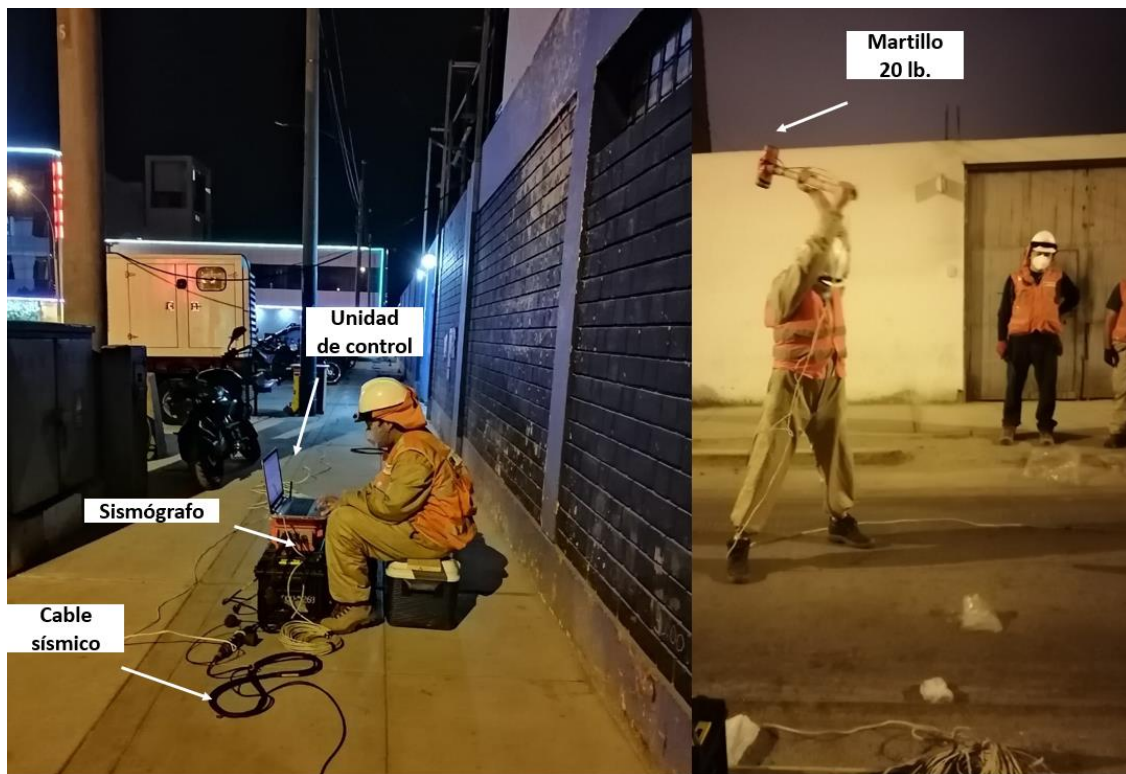


Figura 5. Equipos utilizados en la adquisición de datos de RS.

2.1.1.- Adquisición de datos

Para la aplicación del método de RS se ha utilizado un equipo sísmico de uso multipropósito, modelo GEODE de Geometrics, 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, tal como muestra la Figura 5. Para este método se ha considerado tendidos lineales

de hasta 335 metros de longitud y geófonos espaciados cada 5 metros, y frecuencia de muestreo de 4000 Hz (0.25 ms). La ubicación de cada línea RS fue variable ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio y de su accesibilidad.

En el distrito de Magdalena del Mar se realizaron, 03 líneas de RS con longitudes de hasta 335 metros y 20 líneas con longitudes de 57 a 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 el levantamiento geofísico.

Tabla 1: Coordenadas y características de las líneas sísmicas.

Línea Sísmica	Coordenadas UTM – WGS84		Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
	Este (m)	Norte (m)			
RS					
RS01-MG	274299	8661889	52	5	335
	274423	8662216	59		
RS02-MG	275808	8660892	60	5	335
	275732	8661215	65		
RS03-MG	275808	8660892	60	5	335
	275959	8661210	62		
RS04-MG	274191	8661963	53	6	138
	274319	8661917	53		
RS05-MG	274583	8661703	55	6	138
	274712	8661655	55		
RS06-MG	274938	8661523	57	4	92
	275027	8661513	57		
RS07-MG	275481	8661329	53	4	92
	275461	8661240	43		
RS08-MG	275709	8660970	37	2.5	57.5
	275741	8660925	37		
RS09-MG	275786	8660923	61	4	92
	275859	8660861	60		
RS10-MG	274237	8662008	58	4	92
	274322	8661983	58		
RS11-MG	274444	8661860	59	3	69
	274497	8661845	59		

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)			
RS					
RS12-MG	274414	8661814	56	3	69
	274467	8661778	53		
RS13-MG	274527	8661769	59	5	115
	274607	8661685	58		
RS14-MG	274703	8661632	58	5	115
	274745	8661734	60		
RS15-MG	274818	8661569	58	5	115
	274841	8661684	60		
RS16-MG	275049	8661460	60	5	115
	275013	8661569	60		
RS17-MG	275156	8661396	60	4	92
	275239	8661356	61		
RS18-MG	275480	8661345	53	4	92
	275519	8661431	62		
RS19-MG	275331	8661286	61	4	92
	275413	8661248	61		
RS20-MG	275443	8661153	37	6	138
	275559	8661081	38		
RS21-MG	275748	8661153	65	6	138
	275707	8661281	65		
RS22-MG	275566	8661161	39	6	138
	275663	8661066	39		
RS23-MG	275680	8661091	39	6	138
	275736	8660970	41		

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-MG que se inicia en el coliseo Aldo Chamocho y continúa en dirección del Jr. Tacna. Así como el sismograma que contiene las señales sísmicas obtenidas para esta línea.

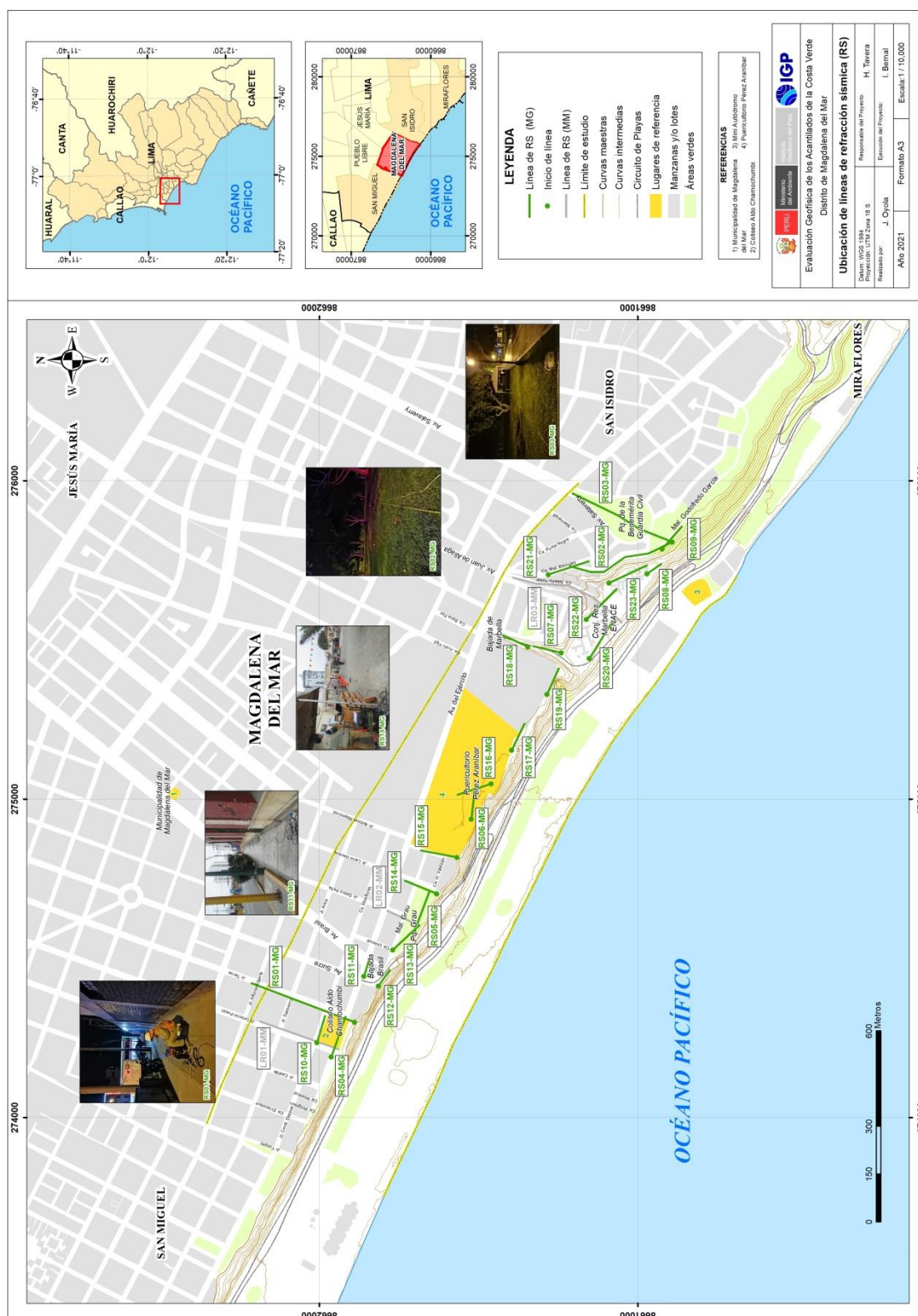


Figura 6. Distribución espacial de las líneas de RS, codificadas como RS01-MG,..., RS23-MG. Los códigos en gris, corresponden a líneas realizadas en el año 2019 (LR01-MM, LR02-MM, LR03-MM).

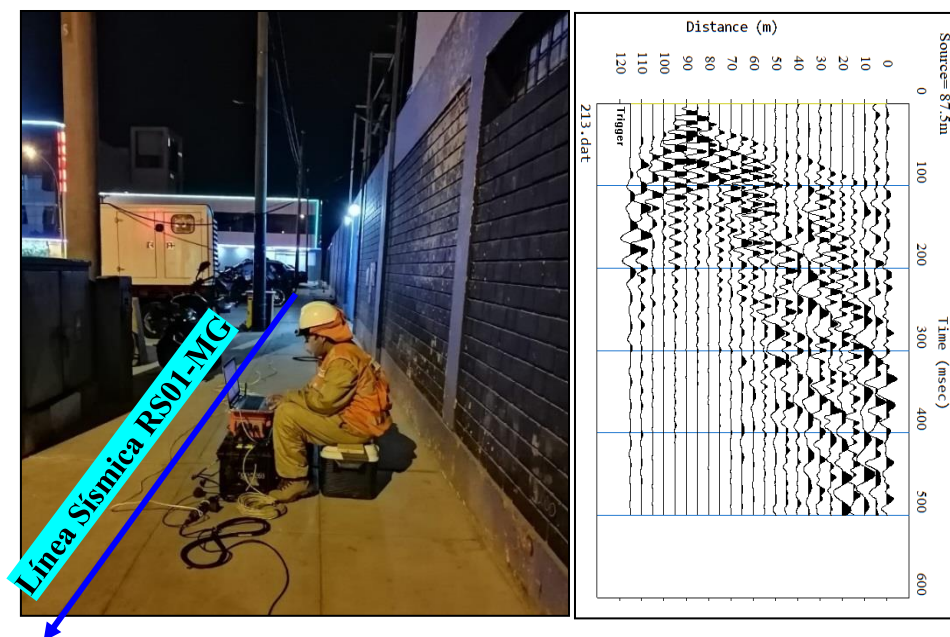


Figura 7. Disposición del equipo de adquisición de datos con la técnica de refracción sísmica (RS01-MG, coliseo Aldo Chamochumbi) y registro sísmico obtenido.

2.1.2.- Procesamiento y análisis

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

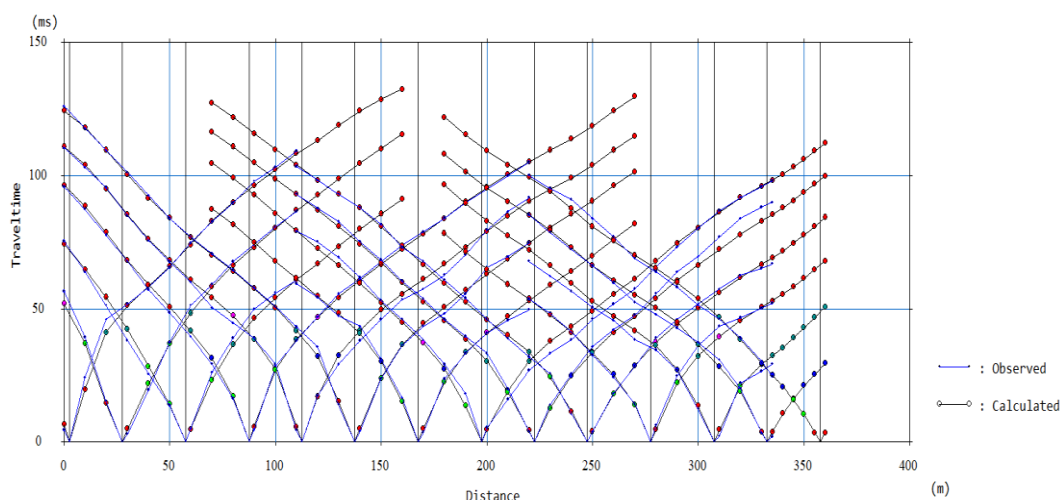


Figura 8. Curvas de tiempo - distancia obtenidas para la línea sísmica RS01-MG.

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

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

ASTM - D5777	
Velocidad 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 23 líneas de RS, de las cuales 3 presentan resolución hasta una profundidad de 50 metros (RS01-MG, RS02-MG y RS03-MG) y el resto hasta los 30 metros (RS04-MG,..., RS23-MG). En la Figura 9, se presenta la sección de RS obtenida para la línea RS01-MG y en el Anexo I, las líneas restantes, siendo sus características las siguientes:

Sección sísmica RS01-MG: Realizada en el Jr. Tacna (costado del coliseo Aldo Chamochumbi) y los resultados obtenidos, han permitido identificar en el subsuelo, la presencia de 3 capas con las siguientes características:

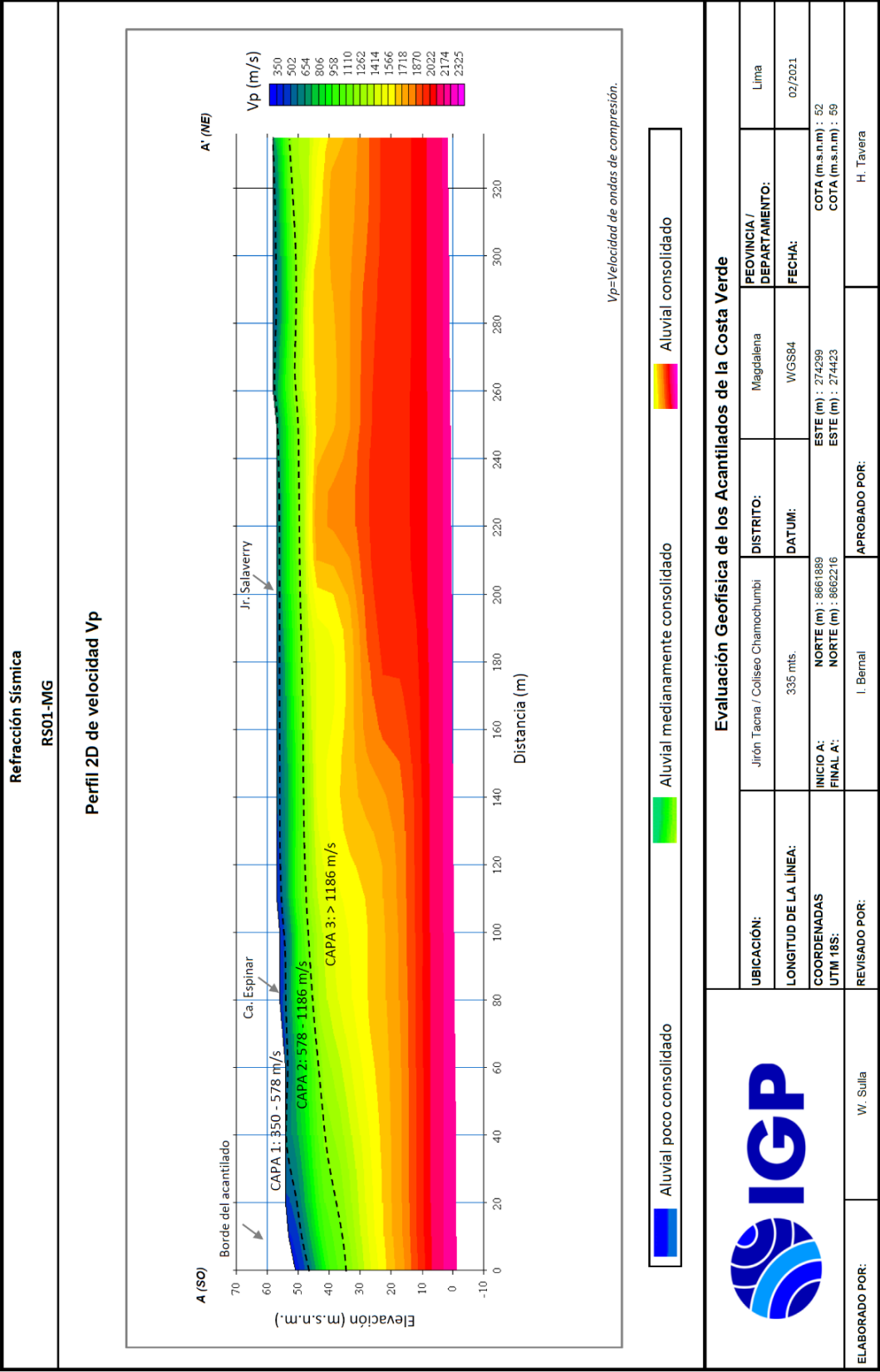


Figura 9. Resultados obtenidos con el método de refracción sísmica para la línea RS01-MG.

Capa	Espesor (m)	Velocidad Vp (m/s)	Descripción
01	1- 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 RS02-MG: Realizada en el Malecón Bernales, parte alta del Conjunto Residencial Marbella-ENACE 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	5-12	578-1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	>1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS03-MG: Realizada en el parque de la Benemérita Guardia Civil desde el límite 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- 4	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 RS04-MG: Realizada en el Malecón Castagnola (coliseo Aldo Chamochumbi) 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	25 – 30	578-1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	>1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS05-MG: 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	2- 3	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 RS06-MG: Realizada en el Puericultorio Pérez Aranibar y 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	5-7	578-1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	>1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS07-MG: Realizada en la Bajada de Marbella 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 RS08-MG: Realizada en el Conjunto Residencial Marbella-ENACE 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	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 RS09-MG: Realizada en el Malecón Godofredo García 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	6- 8	350-578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	12-14	578-1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	>1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS10-MG: Realizada en la Av. Comandante Espinar (Coliseo Chamochoy) 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 RS11-MG: Realizada en la Av. del Ejército, altura de la Av. Brasil 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	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 RS12-MG: Realizada en la Bajada Brasil 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	14-18	578-1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	>1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS13-MG: Realizada en el parque Grau (borde del acantilado) y 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	9-12	578-1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	>1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS14-MG: Realizada en el Jr. Larco Herrera 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	7-13	578-1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	>1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS15-MG: Realizada en el Jr. Antonio Raymondi 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	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 RS16-MG: Realizada en el sector central del Puericultorio 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	7-13	578-1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	>1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS17-MG: Realizada en el Puericultorio Pérez Aranibar en el borde del acantilado (extremo SE) 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	4-6	578-1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	>1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS18-MG: Realizada en la Bajada de Marbella 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 RS19-MG: Realizada en el Puericultorio Pérez Aranibar – Oficinas de la ONU 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	5-10	578-1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	>1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS20-MG: Realizada en el Conjunto Residencial Marbella-ENACE y 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 RS21-MG: Realizada en la calle Malecón Bernales 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	5-8	578-1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	>1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS22-MG: Realizada en el Conjunto Residencial Marbella-ENACE (estacionamiento - altura de la calle Alberto Yabar) 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- 5	350-578	Material compuesto por depósitos aluviales poco consolidados.
02	2-10	578-1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	>1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

Sección sísmica RS23-MG: Realizada en el Conjunto Residencial Marbella – ENACE (estacionamiento – altura de la calle Bernales) 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	8-12	578-1186	Material compuesto por depósitos aluviales medianamente consolidados.
03	-	>1186	Material compuesto por depósitos aluviales de mediana a altamente consolidados.

b) Interpretación

Del total de las secciones de RS, cinco se inician en el acantilado (RS01-MG, RS02-MG, RS03-MG, RS14-MG, RS15-MG) y se extienden en dirección noreste (área urbana). Los restantes RS se realizaron paralelos al acantilado. A estos resultados se adicionan tres líneas de refracción sísmica (LR01-MM, LR02-MM, LR03-MM) obtenidos en la campaña del año 2019. En las secciones, los suelos menos consistentes y de mayor espesor (suelos no consolidados a medianamente consolidados) están presentes en las proximidades del borde del acantilado (Figura 10). Estos suelos presentan espesores mayores a 18 metros por el Malecón Castagnola, Conjunto Residencial Marbella-ENACE y el Malecón Godofredo García; mientras que, por el parque Grau y el Puericultorio Pérez Aranibar, presentan espesores del orden de 8 a 12 metros.



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 Magdalena del Mar.

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

2.2.- Métodos sísmicos MASW y MAM

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

El ensayo de Análisis Multicanal de Microtremores (MAM) o sísmica de Microtremores (Louie, 2001), es otro método para conocer la estructura del subsuelo a partir de la velocidad de ondas de corte, pero en este caso se hace uso del registro de ruido sísmico (vibración generada por la actividad humana), cuya contribución es principalmente en bajas frecuencias, lo que permite investigar a mayores profundidades. La combinación de los métodos MASW y MAM permite obtener información de 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 de uso multipropósito, modelo GEODE de Geometrics, 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Para la técnica MASW se usó como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, un martillo de 20 lbs (Figura 11). Los parámetros de registro, la geometría del tendido y espaciamiento entre geófonos fueron variables,

ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio y accesibilidad. La frecuencia de muestreo fue de 4000 Hz (0.25 ms) para una longitud de registro de 2 segundos.

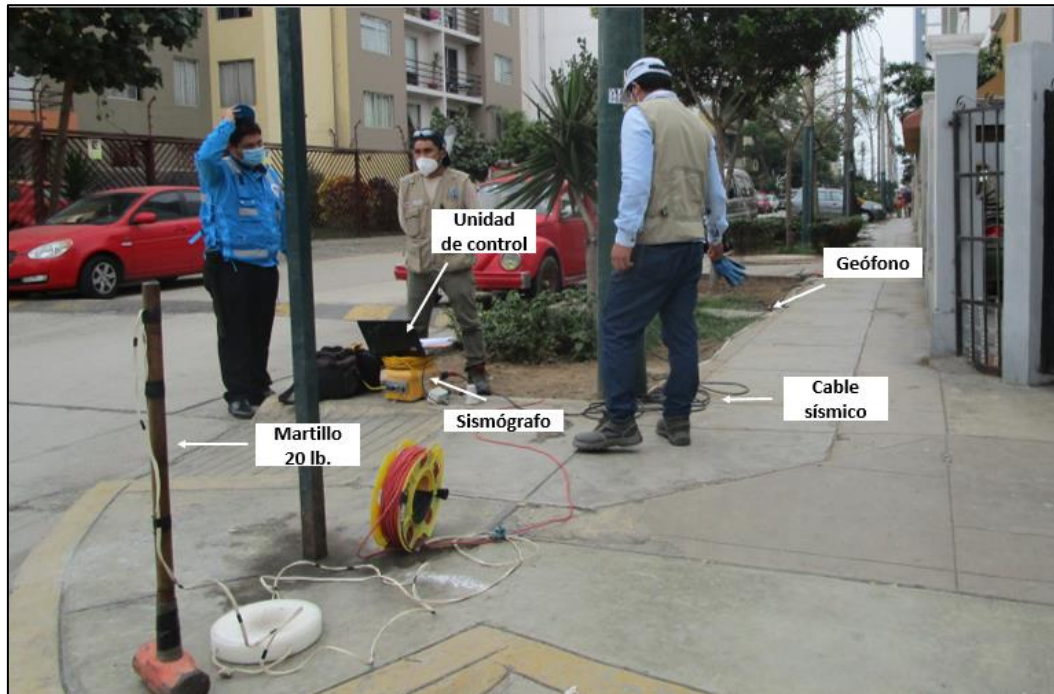


Figura 11. Equipos utilizados en la toma de datos por el método de MASW.

En el distrito de Magdalena del Mar se realizaron 20 arreglos lineales MASW y MAM, y sus coordenadas se muestran en la Tabla 3 y en la Figura 12, su distribución espacial en el área de estudio.

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 Puericultorio Pérez Aranibar y el registro sísmico obtenido con el método MASW. El sismograma contiene las señales sísmicas con presencia de bajo ruido

ambiental. En este caso, el punto de golpe fue ubicado a una distancia de 4 metros al final de la línea sísmica.

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-MG	274691	8661918	42	4	92
LS02- MG	274648	8661678	82	2	138
LS03- MG	274545	8661539	14	4	92
LS04- MG	275471	8661289	66	4	92
LS05- MG	275937	8661097	59	6	138
LS06- MG	275826	8660889	81	4	92
LS07- MG	275681	8660820	18	3	69
LS08- MG	275727	8660951	48	2.5	57.5
LS09- MG	274255	8661940	77	6	138
LS10- MG	274979	8661520	61	4	92
LS11-MG	274278	8661995	58	4	92
LS12- MG	274443	8661798	54	3	69
LS13- MG	274816	8661624	60	5	115
LS14- MG	275198	8661376	66	4	92
LS15- MG	275371	8661266	61	4	92
LS16- MG	275682	8661352	63	3	69
LS17- MG	275725	8661214	65	6	138
LS18- MG	275670	8661215	53	3	69
LS19- MG	275611	8661112	39	6	138
LS20- MG	275716	8661036	40	6	138

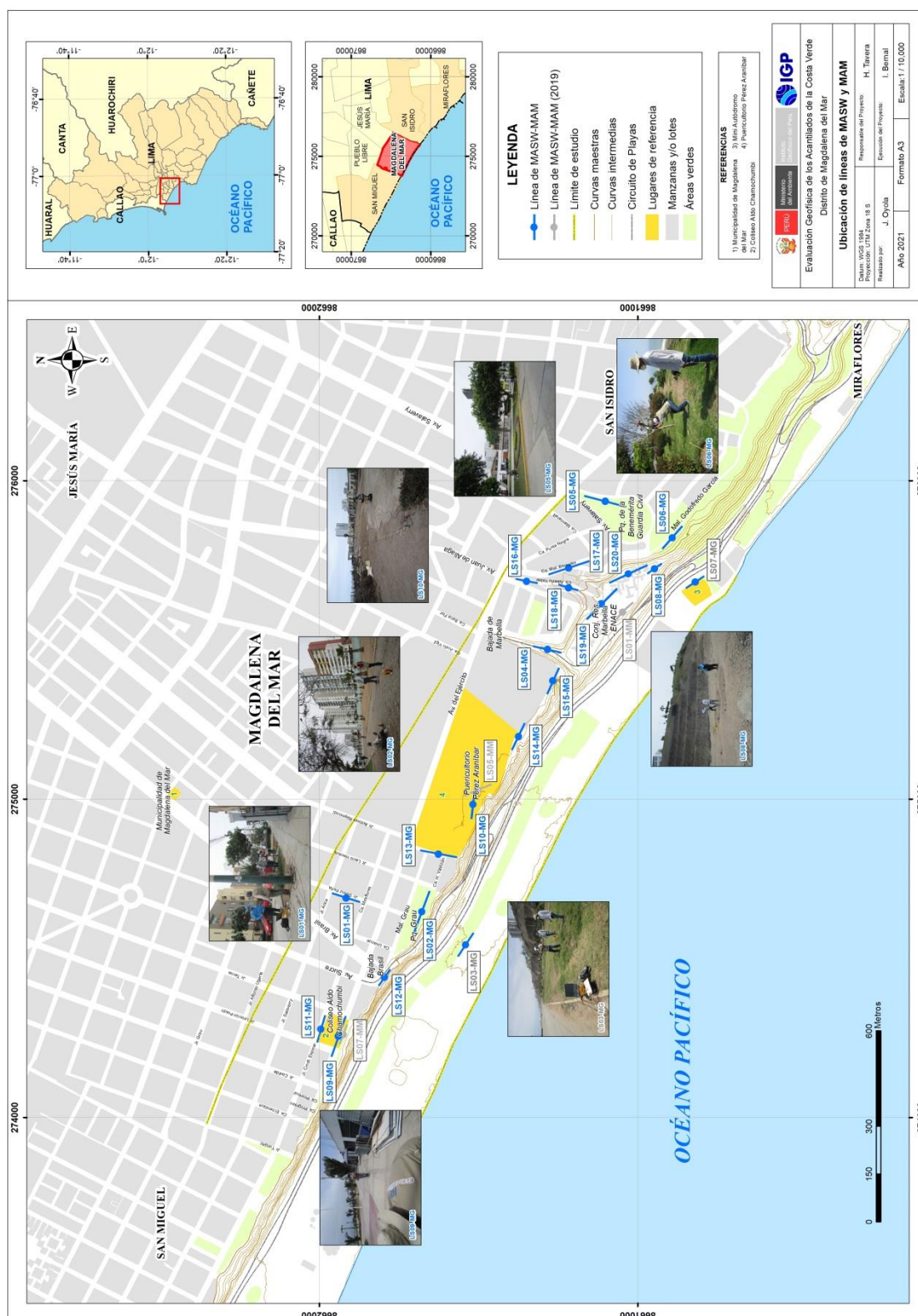


Figura 12. Distribución espacial de las líneas MASW y MAM, codificadas como LS01-MG,..., LS20-MG. Los códigos en gris, corresponden a líneas realizadas en la zona baja del acantilado y con líneas en gris, las realizadas en el año 2019 (LS01-MM, LS05-MM, LS07-MM).

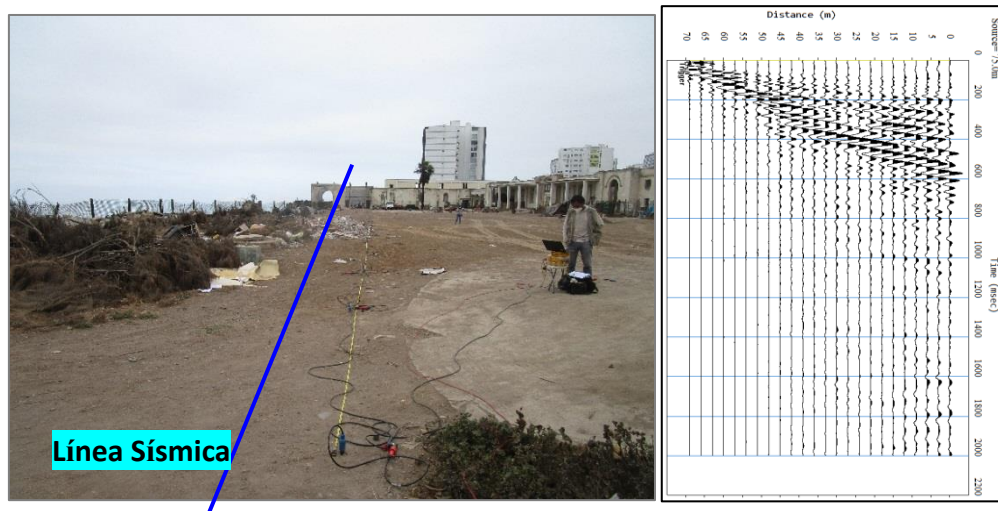


Figura 13. Disposición del equipo de adquisición de datos - MASW (Puericultorio Pérez Aranibar) y registro sísmico obtenido.

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 Vs en una dimensión (1D) para el punto central de la línea, ver Figura 14.

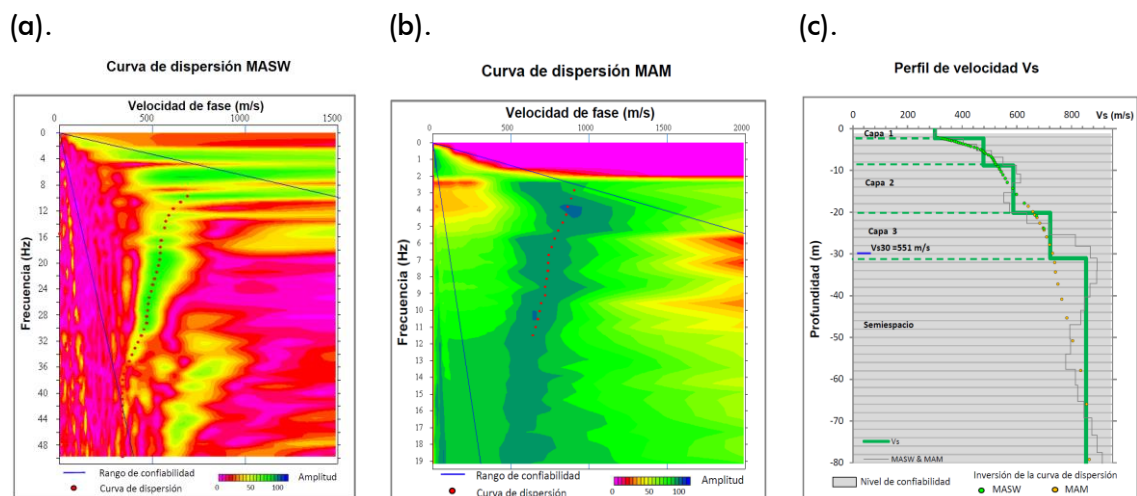


Figura 14. Curvas de dispersión obtenidos a partir de las técnicas MASW (a) y MAM (b) y perfil de velocidad obtenido a partir de la combinación de ambos ensayos (c).

Para el análisis de los resultados obtenidos, se considera la clasificación de suelos propuesta por la Norma de Diseño Sismorresistente (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 la zona de estudio, tal como son mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de perfiles de suelo a partir de la Norma de Diseño Sismorresistente (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 20 líneas sísmicas MASW y MAM con resolución hasta una profundidad de ~80 metros (Figura 12). Los resultados obtenidos para la línea LS01-MG 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-MG: Realizada en el Jr. Sáenz Peña, entre la calle Miraflores y el Jr. Arica, siendo la profundidad de resolución promedio de 78 metros. En este perfil se identifica la presencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 2 metros de espesor y velocidades Vs de

312 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto. La segunda capa de 5 metros de espesor y velocidades Vs de 449 m/s está compuesta por material aluvial medianamente compacta. La tercera capa tendría un espesor de 16 metros y velocidades de Vs de 621 m/s y la cuarta capa, con Vs de 683 m/s y 28 metros de espesor, ambas compuestas por material aluvial compacto. En el semiespacio, se tiene velocidades Vs > 838 m/s y corresponderían a material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS02-MG: Realizada en el parque Grau, siendo la profundidad de resolución promedio de 80 metros. En este perfil se identifica la presencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera, de 4 metros de espesor y velocidades Vs de 345 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto. La segunda capa, de 7 metros de espesor y velocidades Vs de 550 m/s y la tercera, de 26 metros de espesor y velocidades Vs de 620 m/s, ambas compuestas por material aluvial compacto. La cuarta capa de 21 metros y velocidades Vs de 852 m/s; mientras que, el semiespacio presentaría velocidades Vs > 1009 m/s, y en este caso ambas capas compuestas por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS03-MG: Ubicada en el Circuito de Playas, altura del parque Grau, siendo la profundidad de resolución promedio de 52 metros. En este perfil se identifica la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidades Vs de 222 m/s corresponde a material aluvial suelto a medianamente compacto, la segunda capa, con un espesor de 9 metros y velocidades Vs de 355 m/s, compuesta por material aluvial compacto. La tercera capa tendría un espesor de 18 metros y velocidades Vs de 793 m/s compuesta por material aluvial compacto. En el semiespacio, se tiene velocidades Vs > 972 m/s y corresponderían a material aluvial muy compacto.

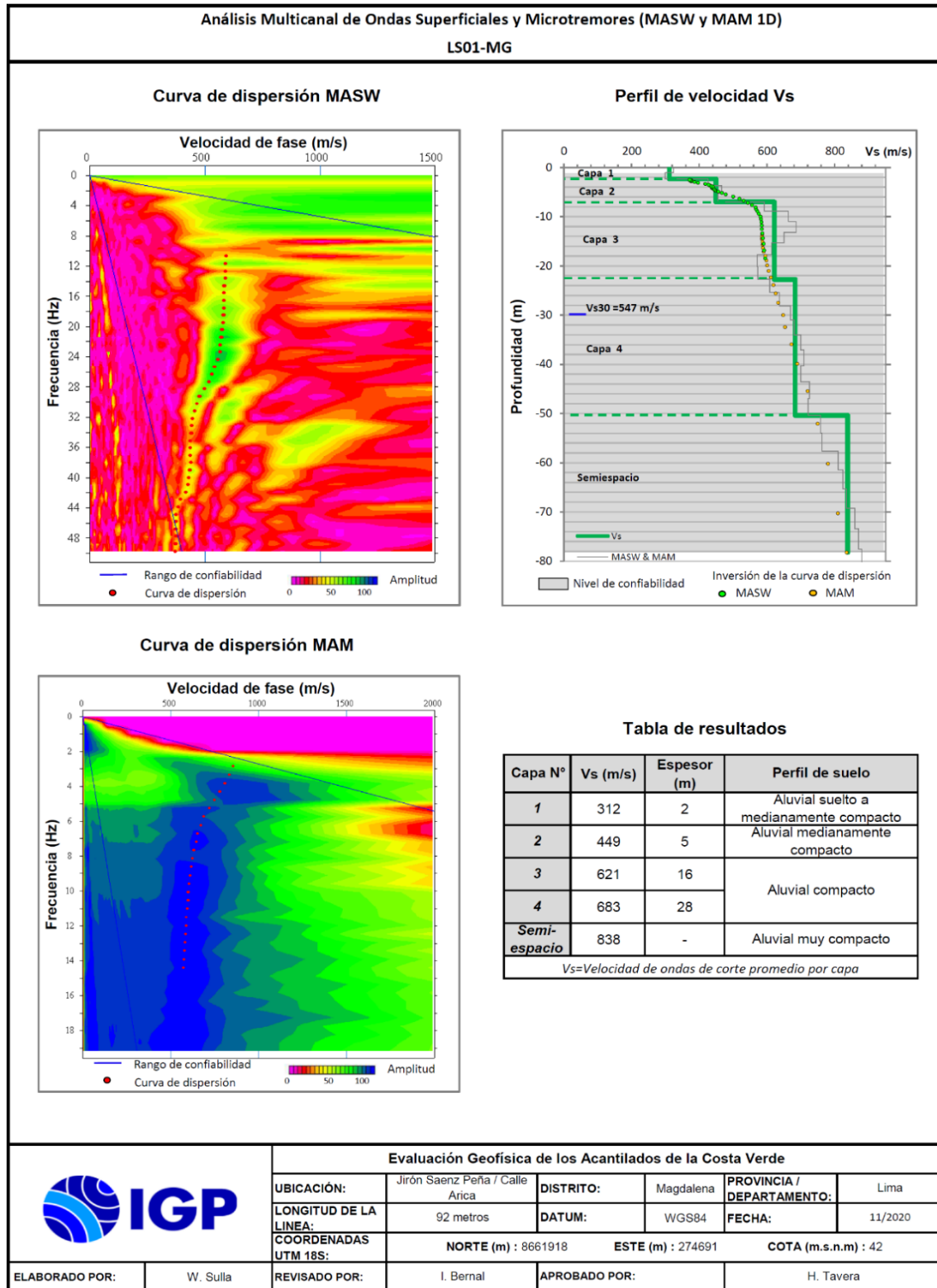


Figura 15. Resultados obtenidos con la técnica MASW y MAM para la línea sísmica LS01-MG.

Líneas sísmicas LS04-MG y LS10-MG: Realizadas en Bajada de Marbella y el Puericultorio Pérez Aranibar, respectivamente, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 58 y 80 metros. En este perfil se identifica la presencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera, de 2 y 4 metros de espesores y velocidades V_s entre 244 y 300 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto, la segunda capa, de 7 metros de espesor y velocidades V_s entre 452 y 465 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacta. La tercera capa tendría un espesor de 11 a 17 metros y velocidades V_s entre 572 y 587 m/s y la cuarta capa, de 10 a 19 metros de espesor y velocidades V_s entre 722 y 736 m/s, ambas capas estarían compuestas por material aluvial compacto. En el semiespacio, se tiene velocidades $V_s > 853$ m/s y corresponderían a material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS05-MG: Realizada en el parque de la Benemérita Guardia Civil, siendo la profundidad de resolución de 80 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 393 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto. La segunda capa, de 10 metros de espesor y velocidades V_s de 664 m/s. y la tercera, tendría un espesor de 31 metros y velocidades V_s de 756 m/s, ambas capas compuestas por material aluvial compacto. La cuarta capa tendría un espesor de 22 metros y velocidades V_s de 916 m/s; mientras que, el semiespacio presentaría velocidades $V_s > 1198$ m/s, ambas capas estarían compuestas por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS06-MG: Realizada en el Malecón Godofredo García, siendo la profundidad de resolución promedio de 78 metros. Este perfil permite identificar la presencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 207 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto y la segunda, de 10

metros de espesor y velocidades V_s de 421 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacta. La tercera capa de 13 metros de espesor y velocidades V_s de 553 m/s y la cuarta, tendría 22 metros de espesor y velocidades V_s 774 m/s, ambas capas compuestas por material aluvial compacto. El semiespacio presenta velocidades $V_s > 970$ m/s estaría compuesto por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS07-MG: Realizada en el Circuito de Playas, al costado del Mini autódromo (Figura 12), siendo la profundidad de resolución promedio de 30 metros. En este perfil se identifica la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 7 metros de espesor y velocidad V_s de 227 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto, la segunda capa, de 6 metros de espesor y velocidades V_s de 572 m/s compuesta por material aluvial compacto. La tercera capa tendría un espesor de 10 metros y velocidades V_s de 849 m/s; mientras que, el semiespacio presentaría velocidades $V_s > 984$ m/s, y en este caso, ambas capas estarían compuestas por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS08-MG: Realizada en el Conjunto Residencial Marbella-ENACE, siendo la profundidad de resolución promedio de 54 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 215 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto, la segunda capa, de 7 metros de espesor y velocidades V_s de 394 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto. La tercera capa con un espesor de 14 metros y velocidades V_s de 559 m/s compuesta por material aluvial compacto. La cuarta capa con un espesor de 14 metros y velocidades V_s de 950 m/s; mientras que, el semiespacio presenta velocidades $V_s > 1095$ m/s y estaría compuesto por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS09-MG: Realizada al borde del acantilado, a la altura del coliseo Aldo Chamochumbi (Figura 12), siendo la profundidad de resolución promedio de 80 metros. En este perfil se identifica la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 235 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto y la segunda de 12 metros de espesor y velocidades V_s de 418 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto. La tercera capa con 23 metros de espesor y velocidades V_s de 627 m/s y la cuarta con 25 metros de espesor y velocidades V_s 731 m/s, ambas capas compuestas por material aluvial compacto. En el semiespacio, se tiene velocidades $V_s > 850$ m/s y corresponderían a material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS11-MG: Realizada en el Av. Comandante Espinar, a la altura del Coliseo Aldo Chamochumbi, siendo la profundidad de resolución promedio de 80 metros. En este perfil se identifica la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidades V_s de 349 m/s compuesto por material aluvial suelto a medianamente compacto; la segunda capa, con un espesor de 9 metros y velocidades V_s de 546 m/s y la tercera capa de 41 metros de espesor y velocidades V_s de 635 m/s, ambas compuestas por material aluvial compacto. En el semiespacio, se tiene velocidades $V_s > 808$ m/s y corresponderían a material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS12-MG: Realizada en la Bajada Brasil, siendo la profundidad de resolución promedio de 64 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 353 m/s y la segunda de 9 metros de espesor y velocidades V_s de 470 m/s, ambas compuestas por material aluvial medianamente compacto. La tercera de 18 metros de espesor y velocidades V_s de 551 m/s, compuesta por material aluvial

compacto. En el semiespacio presentaría velocidades $V_s > 911$ m/s, y correspondería a material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS13-MG: Realizada en el Jr. Antonio Raymondi, siendo la profundidad de resolución promedio de 80 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 405 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto; la segunda capa, con un espesor de 42 metros y velocidades V_s de 621 m/s compuesta por material aluvial compacto. En el semiespacio, se tiene velocidades $V_s > 817$ m/s y corresponderían a material aluvial muy compacto.

Líneas sísmicas LS14-MG y LS15-MG: Realizadas al borde del acantilado, en el Puericultorio Pérez Aranibar y las oficinas de la ONU, respectivamente, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 80 metros. En estos perfiles se identifica la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera, de 4 metros de espesores y velocidades V_s entre 370 y 320 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto. La segunda capa, de 9 a 12 metros de espesor y velocidades V_s entre 590 y 530 m/s y la tercera capa de 32 a 48 metros de espesor y velocidades V_s entre 729 y 671 m/s; ambas capas estarían compuestas por material aluvial compacto. En el semiespacio, se tiene velocidades $V_s > 878$ m/s y corresponderían a material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS16-MG: Realizada en la calle Alberto Yabar, siendo la profundidad de resolución promedio de 70 metros. Este perfil permite identificar la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidades V_s de 401 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto. La segunda capa, de 7 metros de espesor y velocidades V_s de 638 m/s y la tercera capa de 20 metros de espesor y velocidades V_s de 756 m/s, ambas capas

compuestas por material aluvial compacto. El semiespacio presenta velocidades $V_s > 959$ m/s estaría compuesto por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS17-MG: Realizada en la calle Malecón Bernales, siendo la profundidad de resolución promedio de 80 metros. En este perfil se identifica la presencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidades V_s de 325 m/s compuesta por material aluvial suelto a medianamente compacto. La segunda capa de 9 metros de espesor y velocidades V_s de 580 m/s y la tercera con un espesor de 27 metros y velocidades V_s de 739 m/s, ambas compuestas por material aluvial compacto. La cuarta capa presenta un espesor de 21 metros y velocidades V_s de 851 m/s; mientras que, el semiespacio presenta velocidades $V_s > 1052$ m/s y estarían compuestas por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS18-MG: Realizada en la calle Alberto Yabar (Figura 12), siendo la profundidad de resolución promedio de 80 metros. En este perfil se identifica la presencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidad V_s de 386 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto. La segunda capa de 7 metros de espesor y velocidades V_s de 621 m/s y la tercera con un espesor de 23 metros y velocidades V_s de 742 m/s, ambas compuestas por material aluvial compacto. El semiespacio presentaría velocidades de $V_s > 1008$ m/s y estaría compuesta por material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS19-MG: Realizada en el Conjunto Residencial Marbella-ENACE, en el área de los estacionamientos (Figura 12), siendo la profundidad de resolución promedio de 80 metros. En este perfil se identifica la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 7 metros de espesor y velocidades V_s de 326 m/s compuesta por

material aluvial suelto a medianamente compacto. La segunda de 16 metros de espesor y velocidades V_s de 550 m/s, y la tercera capa con 11 metros de espesor y velocidades V_s de 715 m/s, ambas compuestas por material aluvial compacto. En el semiespacio, se tiene velocidades $V_s > 1059$ m/s y corresponderían a material aluvial muy compacto.

Línea sísmica LS20-MG: Realizada en el Conjunto Residencial Marbella-ENACE (Figura 12), siendo la profundidad de resolución promedio de 80 metros. En este perfil se identifica la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidades V_s de 447 m/s compuesta por material aluvial medianamente compacto, y la segunda capa de 12 metros de espesor y velocidades V_s de 651 m/s compuesta por material aluvial compacto. La tercera capa con 19 metros de espesor y velocidades V_s de 843 m/s, mientras que el semiespacio, tiene velocidades $V_s > 1164$ m/s, ambas capas compuestas por 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 de suelo (Tabla 4). Asimismo, en el Anexo III, se muestra los parámetros sísmicos identificados para cada uno de los perfiles V_s .

b) Interpretación

Los perfiles de velocidad (V_s) calculados en este estudio, fueron complementados, con los obtenidos por el IGP-2019 (LS01-MM, LS05-MM, LS07-MM) y el CISMID-2017 (LS01, LS02), todos ubicados próximos al borde del acantilado (Figura 16). De la correlación de estos perfiles nos permiten identificar la presencia en el subsuelo de 4 capas. Estas capas presentan diferente grado de compactación bien diferenciada en las cercanías del acantilado en comparación con los suelos ubicados a mayor distancia en dirección del área urbana.

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

Superficie → Profundidad											
Línea Sísmica	N° DE CAPA										
	1		2		3		4		Semiespacio		VS30 (m/s)
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
LS01-MG	312	2	449	5	621	16	683	28	838	-	547
LS02-MG	345	4	550	7	620	26	852	21	1009	-	549
LS03-MG	222	4	355	9	793	18	972	-	-	-	456
LS04-MG	244	4	452	7	572	17	736	19	934	-	468
LS05-MG	393	5	664	10	756	31	916	22	1189	-	637
LS06-MG	207	5	421	10	553	13	774	22	970	-	394
LS07-MG	227	7	572	6	849	10	984	-	-	-	497
LS08-MG	215	2	394	7	559	14	951	14	1095	-	492
LS09-MG	235	5	418	12	627	23	731	25	849	-	415
LS10-MG	300	2	465	7	587	11	722	11	853	-	551
LS11-MG	349	4	546	9	635	41	808	-	-	-	560
LS12-MG	353	4	470	9	551	18	911	-	-	-	487
LS13-MG	405	5	621	42	817	-	-	-	-	-	587
LS14-MG	370	4	590	9	729	48	878	-	-	-	620
LS15-MG	320	4	530	12	671	32	1233	-	-	-	537
LS16-MG	401	4	638	7	756	20	959	-	-	-	650
LS17-MG	325	4	580	9	739	27	851	21	1052	-	600
LS18-MG	386	4	621	7	742	23	1008	-	-	-	636
LS19-MG	326	7	550	16	715	11	1059	-	-	-	500
LS20-MG	447	4	651	12	843	19	1164	-	-	-	685
Aluvial suelto ($V_s < 180$ m/s) Aluvial suelto a medianamente compacto (180–350m/s) Aluvial medianamente compacto (350 – 500 m/s) Aluvial compacto (500 – 800 m/s) Aluvial muy compacto (800 – 1500 m/s) Roca ($V_s > 1500$ m/s)											



Figura 16. Distribución espacial de líneas sísmicas MASW y MAM realizados por IGP (2019, 2020) y CISMID (2017).

- **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 17 a 18 metros de espesor hacia el extremo noroeste del distrito, Malecón Castagnola (coliseo Aldo Chamocho) al final del Jr. Leoncio Prado y Jr. Tacna, donde en los últimos años han ocurrido derrumbes (INGEMMET, 2019); mientras que, en dirección sureste, a la altura del parque Grau y el Puericultorio Pérez Aranibar el espesor de la capa poco consolidada disminuye entre 4 y 11 metros (Figura 17), permitiendo la formación de fisuras en muros y asentamientos visibles en el suelo. Hacia el Conjunto Residencial Marbella-ENACE y el Malecón Godofredo García, los suelos menos compactos son parte de una capa que varía de 9 a 23 metros de espesor, encontrándose los mayores por el Conjunto Residencial Marbella-ENACE. Hacia el extremo sureste del distrito, Malecón Godofredo García, presenta suelos con espesores de 17 metros.

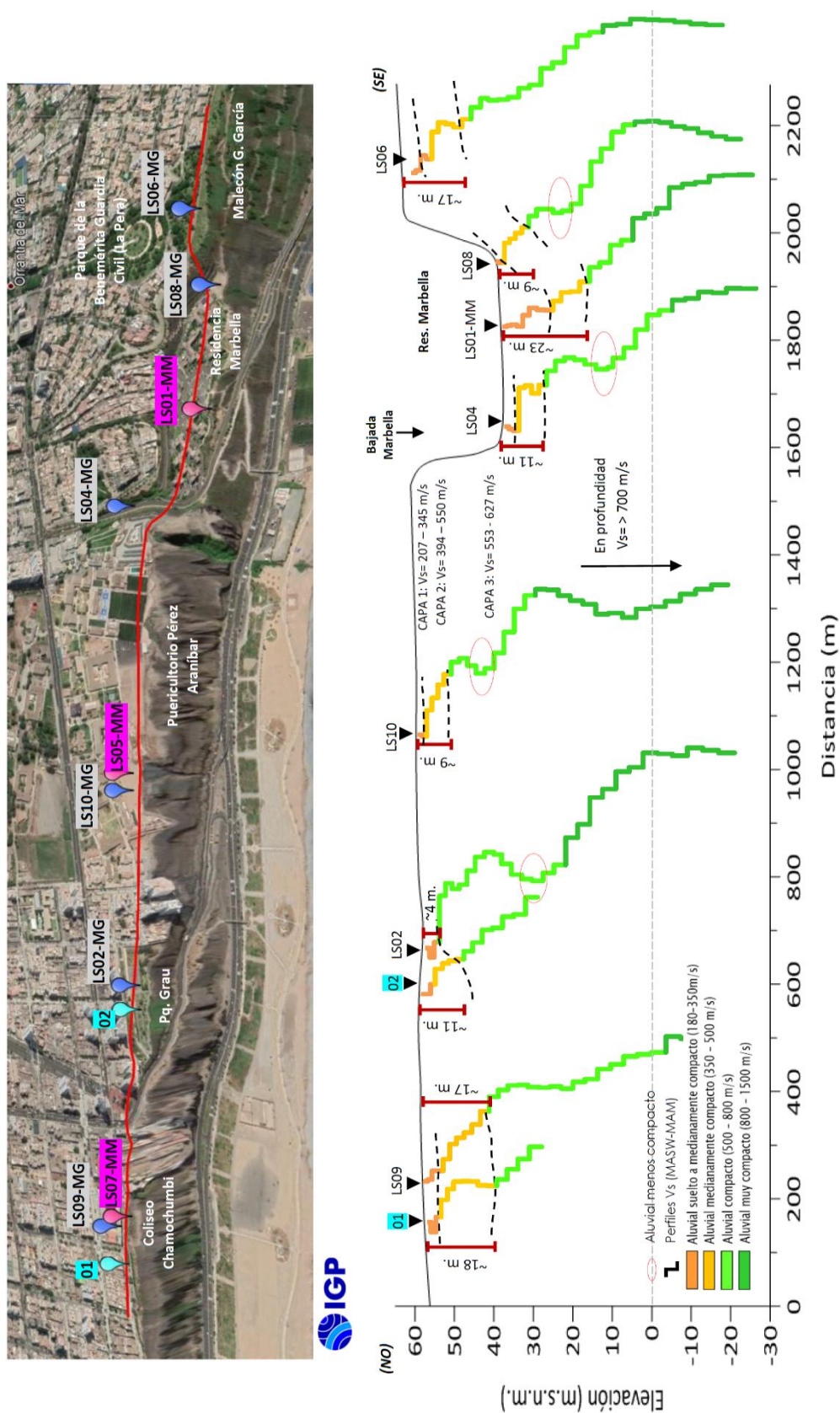


Figura 17. Correlación de resultados obtenidos en cada perfil sísmico (V_s) e identificación de la estructura del subsuelo en los ACV del distrito de Magdalena del Mar.

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, 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 11 líneas de ERT y 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 y en la Figura 18 su distribución espacial.

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 geoeléctricos y de procesamiento de imágenes. Asimismo, para la interpretación de los resultados se debe tener en cuenta que son varios los factores que influyen en las propiedades físicas de los suelos (grado de saturación, porosidad y forma del poro, salinidad del fluido, tipo y composición de la roca, temperatura, procesos geológicos que afectan a los materiales); es decir, el incremento de fluidos en el terreno se verá reflejado por una disminución en los valores de resistividad. En la Tabla 7, se presentan algunos valores de resistividad relacionados con los diferentes tipos de suelos y rocas.

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

Línea Eléctrica	Coordenadas UTM – WGS84		Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
	Este (m)	Norte (m)			
LE01- MG	274213	8661930	39	20	200
	274275	8662143	52		
LE02- MG	274524	8661756	48	20	200
	274708	8661645	49		
LE03- MG	275784	8660890	43	20	340
	275956	8661200	60		
LE04- MG	275791	8660928	51	20	480
	275719	866139	60		
LE05- MG	274415	8661873	59	20	200
	274614	8661799	61		
LE06- MG	275162	8661392	60	20	280
	275401	8661251	61		
LE07- MG	273983	8662031	51	20	320
	274300	8661900	58		
LE08- MG	275391	8661157	25	20	340
	275524	8661480	64		
LE09- MG	275445	8661151	36	20	440
	275797	8660876	50		
LE10- MG	274927	8661523	59	20	320
	275254	8661420	61		
LE11- MG	275596	8661043	37	20	380
	275707	8661400	65		

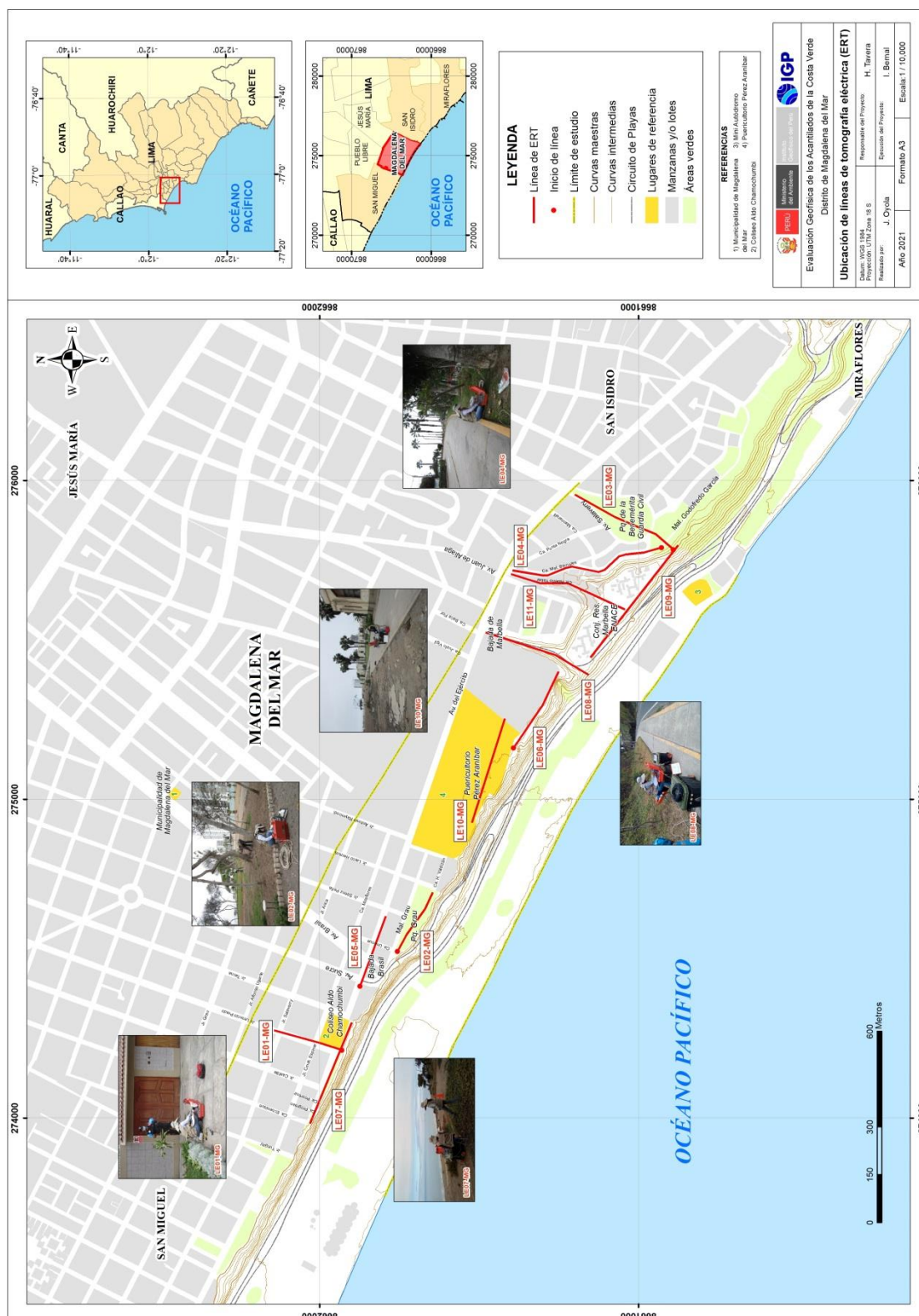


Figura 18: Distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica (ERT) codificadas como LE01-MG,..., LE11-MG. Los códigos en gris indican líneas realizadas en la zona baja del acantilado.

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

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

2.3.3.- Resultados e interpretación

a) Resultados

En el distrito de Magdalena del Mar se realizaron 11 secciones geoelectricas, con resolución hasta los 50 metros de profundidad. En la Figura 19, se presenta la sección geoelectrica para la línea LE01-MG y en el Anexo IV, para las secciones restantes. El análisis realizado para cada sección geoelectrica y/o tomografía eléctrica, permite tener los siguientes resultados:

Sección geoelectrica LE01-MG: Realizada en el Jr. Leoncio Prado sobre una longitud de 200 metros y en dirección SO-NE (perpendicular 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 10 a 20 metros; presentándose el mayor espesor entre la calle Comandante Espinar y Jr. Salaverry. El segundo horizonte, con moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m) presente entre el borde del acantilado

(extremo SO) y el Jr. Salaverry, con espesores mayores a 20 metros. El tercer horizonte, con bajo contenido de humedad ($> 300 \text{ Ohm-m}$), al final del Jr. Leoncio Prado y en donde existe una zona de derrumbe (Coliseo Aldo Chamochumbi).

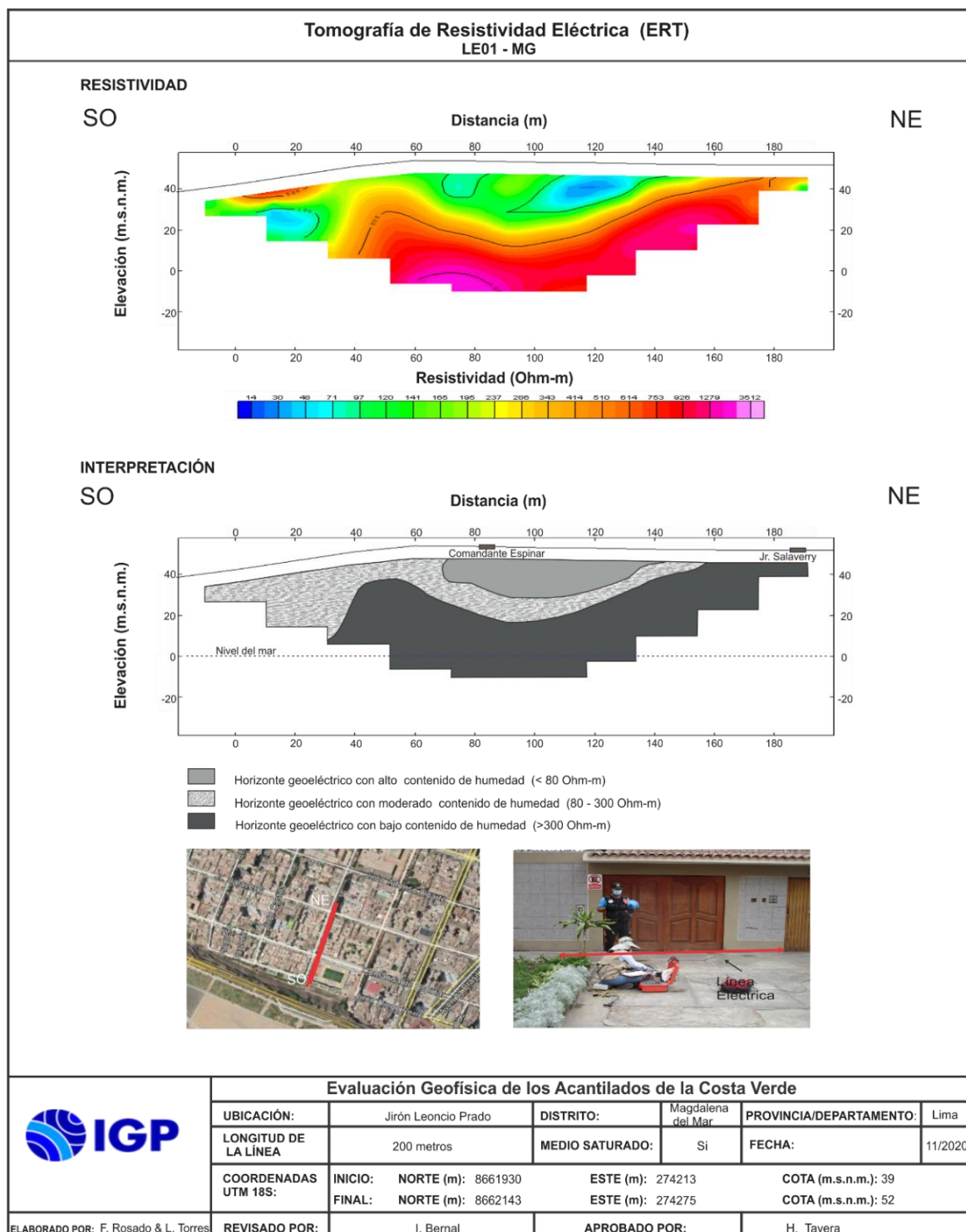


Figura 19: Resultado de tomografía eléctrica para la línea LE01-MG.

Sección geoelectrica LE02-MG: Realizada en el parque Grau sobre una longitud de 220 metros y en dirección NO-SE (paralela al acantilado). En esta sección predominan depósitos de alta resistividad (>300 Ohm-m), debido a la presencia de materiales aluviales con bajo contenido de humedad. Sin embargo, a la altura del Jr. Sáenz Peña, existen depósitos con moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m) que alcanzan espesores de hasta 50 metros, dentro de este depósito se ha identificado la presencia de un lente de material con alto contenido de humedad (<80 Ohm-m). Este horizonte a la altura de Jr. Saénz Peña, presenta un desnivel del suelo visible en superficie.

Sección geoelectrica LE03-MG: Realizada en el parque de la Benemérita Guardia Civil, sobre una longitud de 340 metros y en dirección SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección se ha identificado 4 horizontes geoelectricos: El primero de alta resistividad (>300 Ohm-m) está presente a lo largo del parque de la Benemérita Guardia Civil con espesores de 10 a 20 metros. El segundo horizonte está presente a lo largo de toda la sección con moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m). A la altura del Malecón Godofredo García, este horizonte está cerca de la superficie con espesores de 5 a 20 metros. El tercer horizonte, a lo largo de toda la sección presenta alto contenido de humedad (<80 Ohm-m) y está cerca de la superficie en el borde del acantilado. El cuarto horizonte, presenta alta resistividad.

Sección geoelectrica LE04-MG: Realizada en el Malecón Bernales sobre una longitud de 480 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, que alcanzan espesores de hasta 50 metros, cerca de la calle Punta Negra (hacia el extremo NE de la sección). Sin embargo, a nivel superficial hacia el extremo SO de esta

sección, entre el Malecón G. García y el Malecón Bernales, se ha identificado la existencia de depósitos con bajo y moderado contenido de humedad, que alcanzan espesores de 20 y 30 metros respectivamente.

Sección geoelectrica LE05-MG: Realizada en la Av. del Ejército sobre una longitud de 200 metros y en dirección NO-SE (paralela al acantilado). En esta sección se han identificado la presencia de 2 horizontes geoelectricos: El primero con moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m) y espesores de 10 a 30 metros. En este horizonte a nivel superficial, entre la Av. Brasil y la calle Unanue, se identifica una capa delgada de material húmedo hasta los 4 a 6 metros de profundidad. El segundo horizonte, con alto contenido de humedad (<80 Ohm-m), alcanza la superficie a la altura del Jr. Sáenz Peña.

Sección geoelectrica LE06-MG: Realizada al sur del Puericultorio Pérez Aranibar sobre una longitud de 280 metros y en dirección NO-SE (paralela al acantilado). En esta sección y en una capa de 40 metros de espesor predominan los depósitos de alta resistividad (>300 Ohm-m) debido a la presencia de materiales aluviales con bajo contenido de humedad. A mayor profundidad el horizonte presenta un alto contenido de humedad (<80 Ohm-m).

Sección geoelectrica LE07-MG: Realizada en el Malecón Castagnola sobre una longitud de 320 metros y en dirección NO-SE (paralela 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. Sin embargo, a nivel superficial, entre el Jr. Leoncio Prado y Jr. Tacna (extremo SE de la sección), se identifica la existencia de un depósito con bajo a moderado contenido de humedad. En este tramo se produjo un deslizamiento en el 2019 produciendo el cierre de la vía costanera.

Sección geoelectrica LE08-MG: Realizada en la Bajada de Marbella, sobre una longitud de 340 metros y en dirección SO-NE (perpendicular al acantilado). En esta sección predominan los depósitos de moderada resistividad (80 a 300 Ohm-m), con espesores mayores a 60 metros debido a la presencia de materiales aluviales con moderado contenido de humedad. A nivel superficial, entre el borde del acantilado y el Conjunto Residencial Marbella-ENACE, se identifica la presencia de un horizonte con bajo contenido de humedad (<80 Ohm-m) y espesores de 5 a 10 metros, por debajo de este horizonte se ha identificado un horizonte con moderado contenido de humedad. En profundidad se presentan un depósito con bajo a moderado contenido de humedad y hacia la Av. del Ejército, se ha identificado la presencia de un horizonte con bajo contenido de humedad (>300 Ohm-m) y espesores de 5 a 10 metros.

Sección geoelectrica LE09-MG: Realizada en el Conjunto Residencial Marbella-ENACE, sobre una longitud de 440 metros y en dirección NO-SE (paralela al acantilado). En esta sección se ha identificado la presencia de 3 horizontes geoelectricos: El primero de moderada a baja resistividad (<300 Ohm-m) está presente a lo largo del conjunto residencial con espesores de 10 a 50 metros. El segundo horizonte, está presente entre el tramo central de la sección a la altura de la calle Alberto Yabar y el Malecón Godofredo García, con alto contenido de humedad (<80 Ohm-m). El tercer horizonte, a lo largo de toda la sección está compuesto por depósitos aluviales con bajo contenido de humedad.

Sección geoelectrica LE10-MG: Realizada en el Puericultorio Pérez Aranibar, sobre una longitud de 320 metros y con orientación NO-SE (paralela 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. Sin embargo, a nivel superficial se ha identificado depósitos con moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m) hasta una profundidad de 30 a 50 metros.

Sección geoelectrica LE11-MG: Realizada en la calle Alberto Yabar, sobre una longitud de 380 metros y con orientación SO-NE (perpendicular al acantilado). A nivel superficial, a la altura de la Av. del Ejército (extremo NE de la sección), se observa el predominio de depósitos de alta resistividad (> 300 Ohm-m) debido a la presencia de materiales aluviales con bajo contenido de humedad hasta una profundidad de 40 metros. Además, a la altura del Conjunto Residencial Marbella-ENACE (extremo SO de la sección), se ha identificado la presencia de dos zonas anómalas a nivel superficial de baja y moderada resistividad.

b) Interpretación

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

- **Hacia el extremo noroeste del distrito** (entre la calle Echenique y el Jr. Tacna), se ha identificado la presencia de una capa de suelos con bajo contenido de humedad y espesor de 40 metros hacia el extremo oeste del área de estudio, paralelo al acantilado. Sin embargo, a la altura del coliseo Chamocho (entre el Jr. Leoncio Prado y Jr. Tacna), los suelos presentan moderado contenido de humedad, siendo mayor hacia el Jr. Tacna, en donde la capa alcanza espesores de hasta 30 metros (Figura 20, Línea LE07-MG).

Sobre el Jr. Leoncio Prado (perpendicular al acantilado), sobresalen suelos con moderado a bajo contenido de humedad en una capa de 20 metros de espesor. En esta capa y a la altura del Jr. Cmdt. Espinar, los suelos presentan alto contenido de humedad en una capa secundaria de 10 metros de espesor (Figura 19, Línea LE01-MG).

- **En la zona central del distrito** (entre el parque Grau y el Puericultorio Pérez Aranibar), en el parque Grau se ha identificado, en dirección norte (entre la Calle Unanue y Jr. Sáenz Peña), la presencia de suelos con moderado contenido de humedad, hasta los 40 metros de profundidad. En este horizonte sobresale una anomalía con alto contenido de humedad a 20 metros de profundidad. En dirección sur, los suelos presentan bajo contenido de humedad (Figura 19, Líneas LE02-MG y LE10-MG). En el puericultorio, a nivel superficial y hasta 20 metros de profundidad, sobresalen en su extremo norte y sur, dos zonas con moderado a alto contenido de humedad y en la zona céntrica con bajo contenido de humedad (Figura 20, Líneas LE02-MG y LE10-MG).

- **Hacia el extremo sureste del distrito** (entre la Av. del Ejército y el Conj. Res. Marbella y Bajada de Marbella con calle Malecón Bernales), se ha identificado la presencia de una capa de moderado contenido de humedad y espesor de 40 metros a lo largo del conjunto residencial Marbella. Así mismo, a nivel superficial, se ha identificado sectores cuyos suelos presentan alto contenido de humedad a la altura del Malecón G, García y sectores del Conj. Res. Marbella (Figura 20, Líneas LE004-MG, LE008-MG, LE09-MG y LE11-MG).

De acuerdo a las secciones eléctricas realizadas próximas al borde del ACV, se ha identificado la presencia de suelos con alto contenido de humedad. Por ejemplo, en la Av. Ejército-Av. Sucre, parque Grau y Malecón G. García, se ha identificado la presencia de suelos con alto contenido de humedad en una capa que supera los 30 metros de espesor.

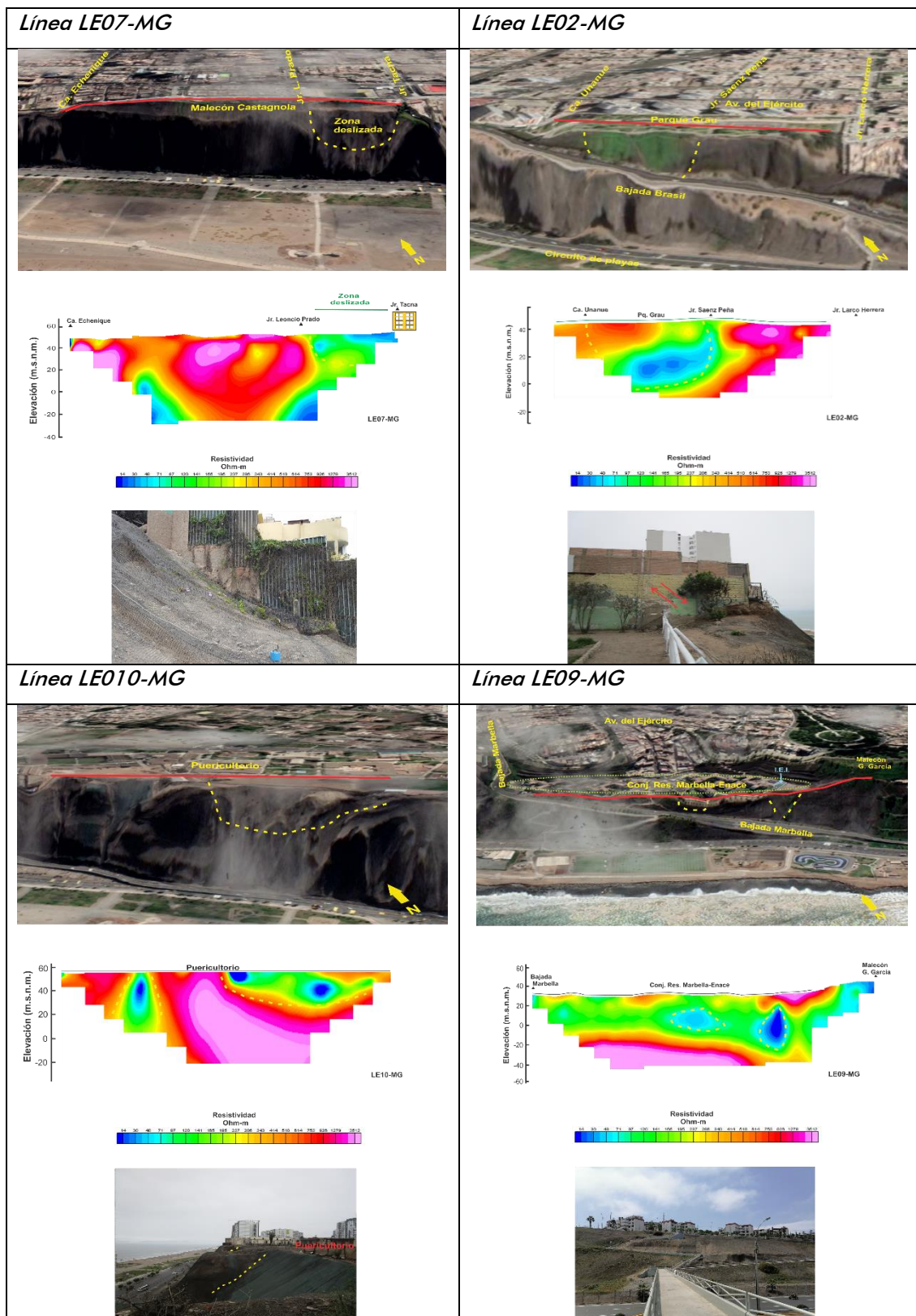


Figura 20. Ubicación y orientación de las líneas de tomografía eléctrica realizadas en el extremo NO (LE07-MG), Central (LE02-MG, LE10-MG) y SE (LE09-MG) de los Acantilados de la Costa Verde. Las líneas discontinuas delimitan las zonas con mayor contenido de humedad en cada sección y su proyección en el perfil del acantilado.

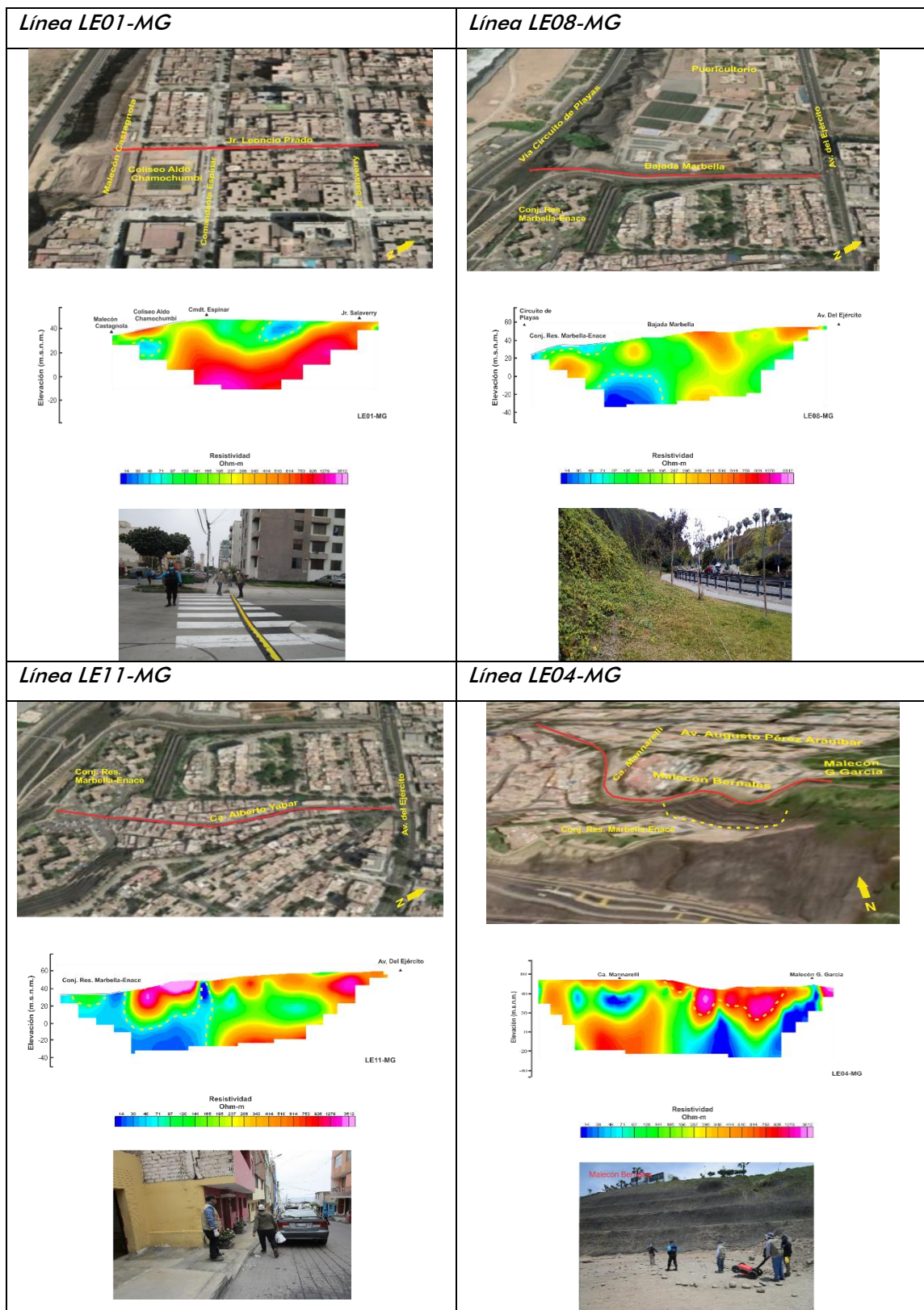


Figura 20. ...Continuación.../. Ubicación y orientación de las líneas de tomografía eléctrica realizadas en el extremo NO (LE01-MG) y SE (LE04-MG, LE08-MG y LE11-MG) de los Acantilados de la Costa Verde. Las líneas discontinuas delimitan las zonas con mayor contenido de humedad en cada sección y su proyección en el perfil del acantilado.

Asimismo, de manera puntual, al borde del acantilado, los suelos con niveles altos de humedad se encuentran en capas de 10 a 20 metros de espesor distribuidas a la altura del Jr. Sáenz Peña, Av. Sucre-Calle Unanue, Jr. L. Prado – Jr. Tacna, el Puericultorio Pérez Aranibar, Bajada de Marbella, Conj. Res. Marbella. Estos niveles de humedad identificados sugieren que los suelos representan un alto riesgo a la ocurrencia de 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 y con diferentes propiedades electromagnéticas y de permeabilidad. El método emplea una antena emisora para dirigir pulsos electromagnéticos de 1-20 ns de duración hacia el interior del terreno. Este frente de ondas es parcialmente reflejado al encontrar una discontinuidad o un cambio de material en el subsuelo, pudiendo ser detectado en la superficie mediante una antena receptora dispuesta a tal efecto. Al ir desplazando el sistema sobre la superficie del terreno será posible registrar la historia de reflexiones detectadas en el subsuelo bajo la línea de desplazamiento del equipo (Biskup et al. 2005; Villela, 2013). De esta forma se obtienen los llamados radargramas (Figura 21), similares a los registros clásicos de sismica de reflexión, pero con la gran diferencia de que, en el caso del radar, la propagación de las ondas está condicionada por las características electromagnéticas del medio de propagación. Este método permite determinar e identificar en base a las reflexiones, los límites de las interfaces de los diferentes horizontes con cierto grado de compactación, zonas de rellenos y anomalías relacionados a algún tipo de material distinto al contenido del suelo.

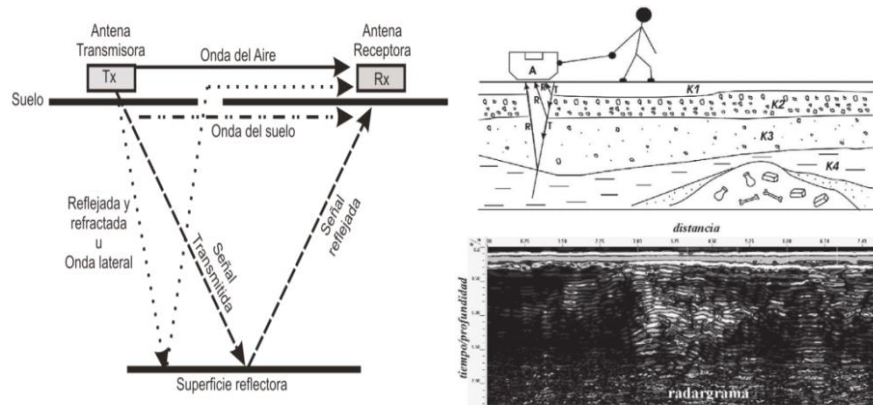


Figura 21. Esquema de la base del método de georadar y ejemplo del registro de un radargrama (Villela, 2013)

2.4.1.- Adquisición de datos

La exploración del subsuelo se realizó con un georadar GSSI y antena de 350 MHz. En general, la capacidad de penetración de la onda electromagnética dependerá de las condiciones de conductividad y permisividad del subsuelo, llegando a profundidades de hasta 6 metros. Durante el trabajo de campo se utilizó una configuración de 512 muestras/escaneo, 50 scan/m. con ganancias manuales y automáticas para obtener mejores resultados (200scan/segundos) y una configuración por distancia de odómetro de 20 metros (Figura 22).



Figura 22. Disposición del georadar utilizando la antena de 350 MHz.

En el distrito de Magdalena del Mar se realizaron 23 líneas de GPR (antena de 350 MHz), y su distribución espacial y coordenadas se puede ver en la Figura 23 y Tabla 8.ç



Figura 23. Distribución espacial de las líneas de GPR, codificadas como GPR01-MG,..., GPR23-MG.

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

	Línea GPR	Coordenadas UTM – WGS84		Cota (m.s.n.m.)	Longitud total (m)	Antena (MHz)
		Este (m)	Norte (m)			
1	GPR01- MG	274201	8661943	65	535	350
		274381	8662447	70		
2	GPR02- MG	274204	8661953	79	98	350
		274289	8661925	79		
3	GPR03-MG	274627	8661727	80	476	350
		274786	8662184	84		
4	GPR04-MG	274492	8661792	51	262	350
		274330	8661692	58		
5	GPR05-MG	274724	8661639	67	536	350
		274891	8662143	84		
6	GPR06-MG	275183	8661159	6	76	350
		275206	8661232	6		
7	GPR07-MG	275210	8661245	6	196	350
		275347	8661107	6		
8	GPR08-MG	275394	8661064	6	94	350
		275356	8660976	6		
9	GPR09-1MG	275699	8661410	63	174	350
		275613	8661110	60		
	GPR09-2MG	275394	8661064	60	45	350
		275356	8660976	59		
	GPR09-3-MG	275394	8661064	59	74	350
		275356	8660976	58		
10	GPR10-MG	275342	8661282	57	78	350
		275414	8661250	53		
11	GPR11-MG	275699	8661410	82	318	350
		275613	8661110	57		
12	GPR12-MG	275781	8660978	83	462	350
		275727	8661407	83		
13	GPR13-MG	275701	8660966	47	42	350
		275733	8660936	49		
14	GPR14-MG	275063	8661445	58	122	350
		275175	8661392	58		
15	GPR15-MG	274911	8661526	58	103	350
		275013	8661489	56		
16	GPR16-MG	275174	8661387	57	161	350
		275310	8661299	58		
17	GPR17-MG	273990	8662031	65	253	350
		274220	8661950	65		
18	GPR18-MG	274323	8661915	72	360	350
		274649	8661793	76		
19	GPR19-MG	274415	8661835	75	200	350
		274544	8661685	60		
20	GPR20-MG	274323	8661915	72	602	350
		274649	8661793	76		
21	GPR21-MG	275429	8661525	82	270	350
		275687	8661430	85		
22	GPR22-MG	275512	8661490	80	350	350
		275416	8661166	60		
23	GPR23-MG	275447	8661154	43	330	350
		275690	8660967	46		

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.

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.

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.

Para proceder con la interpretación de los radargramas se define la existencia, en la zona de estudio, de tres tipos de anomalías: **a)** Anomalías de tipo hiperbólico, que se evidencian por reflectores hiperbólicos con base angosta y ancha, la primera se asociada a materiales metálicos enterrados (tuberías, cables) y la segunda a grandes bloques de roca, cavidades y túneles; **b)** Anomalías de tipo lineal, de grande y pequeña extensión; la primera se asocia a interfaces entre dos medios con diferentes propiedades

electromagnéticas (nivel freático, fracturas y fallas) y la segunda, a hoyos, cavidades y zonas de asentamiento de suelos; **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).

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

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

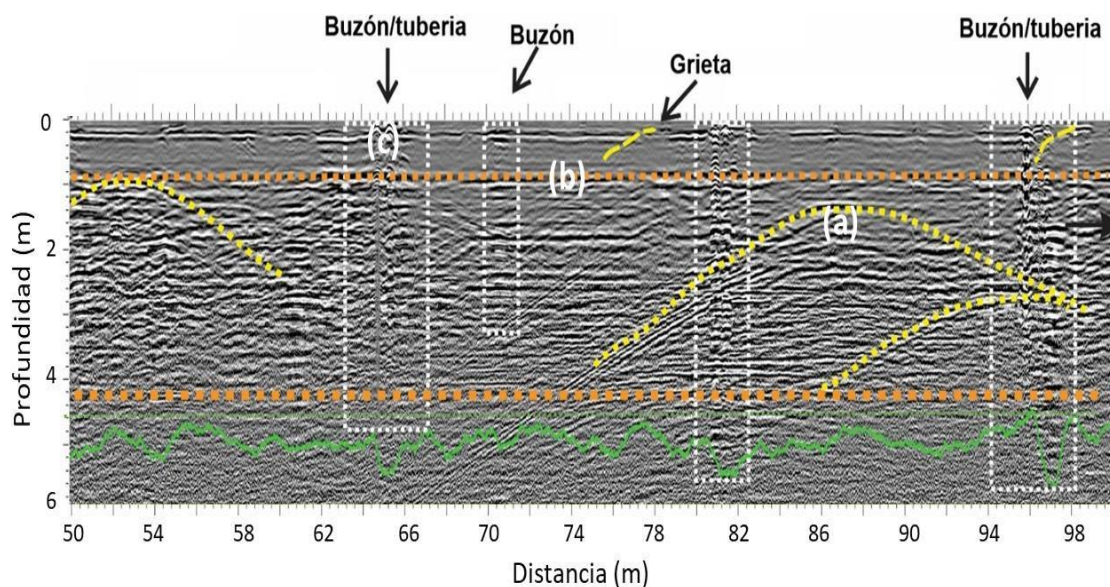


Figura 24. Radargrama, con los diferentes tipos de reflectores asociados a anomalías de tipo hiperbólico (a), lineal (b) y puntuales (c).

2.4.3.- Resultados e interpretación

a) Resultados

En el área de estudio se realizaron 23 líneas de GPR, con resolución hasta los 6 metros de profundidad. Los resultados obtenidos para la línea GPR01-MG 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-MG: Realizada en el Jr. Leoncio Prado con una longitud de 535 metros y orientada en dirección SO a NE, perpendicular al acantilado. En la línea y a la altura de la primera cuadra del Jr. Leoncio Prado, se identifica la existencia de una capa de 2 metros de espesor conformada por material heterogéneo. Se observa grietas a la altura de la 1ra. Cuadra del Jr. L. Prado, que alcanzan profundidades de 1.5 metros. Asimismo, se presenta anomalías por un cambio de material en superficie (Figura 25).

Línea GPR02-MG: Realizada en el parque Chamochoy, con una longitud de 98 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 que presenta anomalías en el extremo SE del perfil y presencia de material removido. Asimismo, se observa la presencia de grietas en la parte exterior del coliseo Aldo Chamochoy con profundidad de 2 metros.

Línea GPR03-MG: Realizada en el Jr. Sáenz Peña, cerca al parque Grau, con una longitud de 476 metros y orientada en dirección NE a SO, perpendicular al acantilado. En esta línea se identifica la presencia de una capa hasta los 2 metros de espesor conformado por material heterogéneo, con un cambio en sus propiedades físicas a una

profundidad de 1 metro y grietas que llegan hasta 1 metro de profundidad sobre la última cuadra del Jr. Sáenz Peña. Asimismo, se observa la presencia de anomalías puntuales asociadas a la presencia de buzones y desniveles del suelo.

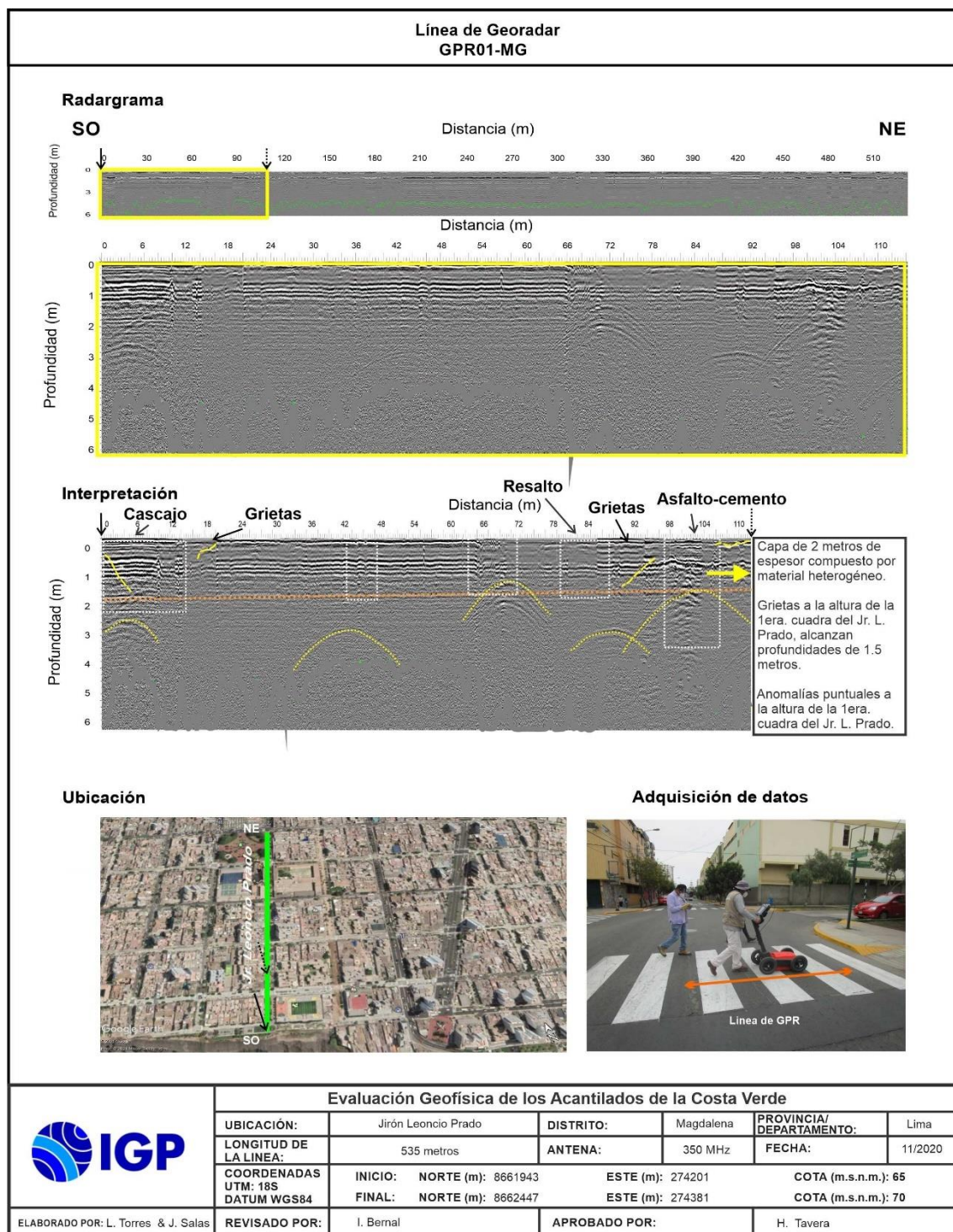


Figura 25. Resultados obtenidos con la técnica de georadar para la línea GPR1-MG.

Línea GPR04-MG: Realizada en el Malecón Graú, con una longitud de 262 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. En la línea se identifica la existencia de una capa de hasta 1 metro de espesor conformada por material heterogéneo y la presencia de grietas que llegan hasta 1.5 metros de profundidad en el extremo NO del perfil a la altura de la calle Unanue. Asimismo, se presentan anomalías asociadas a zonas de material suelto, con espesores que varían entre 1 y 1.5 metros.

Línea GPR05-MG: Realizada en el Jr. Larco Herrera, con una longitud de 536 metros y orientada en dirección SO a NE, perpendicular al acantilado. En esta línea se identifica la existencia de una capa de 2 metros de espesor conformada por material heterogéneo y la presencia de anomalías asociadas a grietas que llegan a profundidades de 1.5 metros sobre la primera cuadra del Jr. Larco Herrera, al costado del parque Graú. Asimismo, se observa anomalías puntuales asociadas a la presencia de buzones.

Líneas GPR06-MG a GPR08-MG: Realizada en el Circuito de Playas, a la altura del Puericultorio y Bajada de Marbella, con una longitud de 76, 196 y 94 metros respectivamente. En estas líneas se identifica la presencia de una capa de 2 metros de espesor conformada por material heterogéneo (relleno) y la presencia de anomalías en forma de pliegues asociadas a material suelto y grietas que llegan hasta 2 metros de profundidad, principalmente a la altura de la Bajada de Marbella y a la altura del grifo Primax. Asimismo, se observa anomalías superficiales asociadas a la presencia de material suelto y veredas.

Línea GPR09-MG: Realizada dentro de las instalaciones de la ONU, con una longitud total de 293 metros y orientada en dirección NE a SO, perpendicular al acantilado. En esta línea se identifica la presencia de una capa que varía de 1.5 a 2 metros de espesor conformada por

material heterogéneo, con un cambio de material entre 0.5 a 1 metro de profundidad, y la presencia de anomalías asociadas a grietas en el acceso principal y hacia el borde del acantilado con profundidades de hasta 1.5 metros. Asimismo, se observa anomalías puntuales asociadas a la existencia de tuberías, buzones, asentamientos de suelos, entre otros.

Línea GPR10-MG: Realizada en dentro de las instalaciones de la ONU, con una longitud de 78 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. En la línea se identifica, hasta una profundidad de 1.5 metros, la existencia de una capa conformada por material heterogéneo. Asimismo, se identifican anomalías puntuales asociadas a la presencia de tuberías, veredas y entre otros.

Línea GPR11-MG: Realizada en la calle Alberto Yabar, con una longitud de 318 metros y orientada en dirección NE a SO, perpendicular al acantilado. En la línea se identifica, hasta una profundidad de 1.5 metros, la presencia de una capa conformada por material heterogéneo con anomalías en forma de pliegues que definen la presencia de fisuras o grietas que llegan hasta 0.5 metros de profundidad, principalmente sobre la tercera cuadra de la calle Alberto Yabar. Asimismo, se identifica la existencia de anomalías puntuales a lo largo de la línea debido a la presencia de tuberías, entre otros.

Línea GPR12-MG: Realizada en la calle Malecón Bernales, con una longitud de 462 metros y orientada en dirección SO a NE, perpendicular al acantilado. En esta línea se identifica la presencia de una capa de 1.5 metros de espesor conformado por materiales heterogéneos y anomalías en forma de pliegues a lo largo del perfil a causa de material removido, grietas sobre la segunda cuadra del Malecón Bernales que llegan a profundidades de 1 metro.

Línea GPR13-MG: Realizada en el Conjunto Residencial Marbella-ENACE, con una longitud de 42 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. En esta línea se identifica la existencia de una capa de 1.5 metros de espesor conformada por material heterogéneo, además de anomalías puntuales en todo el perfil por la presencia de material suelto, desniveles y huecos en superficie.

Línea GPR14-MG: Realizada en el interior del Puericultorio Pérez Araníbar, con una longitud de 122 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. En la línea se identifica la existencia de una capa de 1 metro de espesor conformado por material heterogéneo, además de anomalías puntuales asociadas a la presencia de material suelto. Asimismo, se identifica la presencia de algunas fisuras o grietas superficiales dispersas que no sobrepasan los 0.5 metros de profundidad.

Línea GPR15-MG: Realizada en el interior del Puericultorio Pérez Araníbar, con una longitud de 103 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. En la línea se identifica la presencia de una capa de 1 metro de espesor conformado por material heterogéneo; sin embargo, en el externo SE del perfil aumenta el espesor de la capa hasta 2 metros. Asimismo, se identifica la existencia de anomalías puntuales asociadas a material suelto y rellenos; además de grietas que llegan hasta profundidades de 0.5 metros en la parte posterior del Puericultorio, cerca de las canchas deportivas.

Línea GPR16-MG: Realizada en el interior del Puericultorio Pérez Araníbar, con una longitud de 161 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. En esta línea se identifica, hasta una profundidad de 1 metro, la presencia de una capa conformada por material heterogéneo con anomalías puntuales en la parte posterior -

límite con las instalaciones de la ONU, asociadas al cambio del material en superficie (bloquetas y cemento).

Línea GPR17-MG: Realizada en el Jr. Diego Ferre, con una longitud de 253 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. En la línea se identifica una capa de 2 metro de profundidad, conformada por material heterogéneo. Asimismo, se identifican anomalías puntuales asociadas a la presencia de postes y desniveles.

Línea GPR18-MG: Realizada en el Jr. Diego Ferre con la Av. del Ejército, con una longitud de 360 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. En la línea se identifica, hasta una profundidad de 2 metros, la presencia de una capa conformada por material heterogéneo, sin embargo, a la altura de la Av. Brasil esta capa disminuye de espesor hasta 1 metro de profundidad, Asimismo, se identifica la existencia de anomalías puntuales a lo largo de la línea debido a la presencia de buzones, desniveles, entre otros.

Línea GPR19-MG: Realizada en la Bajada Sucre, con una longitud de 200 metros y orientada en dirección NO a SE, paralelo al acantilado. En esta línea se identifica la presencia de una capa de hasta 2 metros de espesor conformada por materiales heterogéneos. A partir de los 25 metros esta capa disminuye en espesor hasta 1 metro. Asimismo, se identifican anomalías en forma de pliegues a lo largo del perfil debido a la presencia de cambios de material.

Línea GPR20-MG: Realizada en la Av. del Ejército, con una longitud de 410 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. En esta línea se identifica la existencia de una capa hasta 2 metros de espesor conformada por material heterogéneo, que decrece en espesor hasta los 1.5 metros a la altura del Jr. Raymondi. Además

de tiene anomalías puntuales por la presencia de buzones y posibles zonas de asentamientos.

Línea GPR21-MG: Realizada en la Av. del Ejercito, 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 conformado por material heterogéneo, además de anomalías puntuales asociadas a la presencia de tuberías, buzones y cambio de material.

Línea GPR22-MG: Realizada en la Bajada Marbella, con una longitud de 350 metros y orientada en dirección SO a NE, perpendicular al acantilado. En la línea se identifica la presencia de una capa de 1.5 metros de espesor conformada por material heterogéneo. Asimismo, se identifica la existencia de grietas sobre la Bajada Marbella, que alcanzan una profundidad de 1.5 metros y en superficie fisuras y asentamientos (desniveles) del suelo.

Línea GPR23-MG: Realizada en el Conjunto Residencial Marbella ENACE, con una longitud de 330 metros y orientada en dirección NO a SE, paralela al acantilado. En esta línea se identifica, hasta una profundidad de 1.5 metros, la presencia de una capa conformada por material heterogéneo con grietas que alcanzan 1 metro de profundidad. Asimismo, a la altura de las gradas que conectan con la Bajada Marbella, se pueden observar en superficie. Anomalías provocadas por el desnivel de las gradas.

b) Interpretación

Los radargramas obtenidos para el distrito Magdalena del Mar permiten identificar la presencia, en el subsuelo, de 2 capas con espesores de 1 a 2 metros con la existencia de anomalías asociadas a

grietas y asentamientos del suelo en varios puntos del acantilado, siendo sus características las siguientes:

- En el extremo norte del área de estudio, entre la calle Echenique y Jr. Larco Herrera, se identificó la presencia de anomalías lineales con amplitudes que se incrementan en zonas donde se ha identificado con existencia de asentamientos, grietas o fisuras en el suelo, que desde la superficie; por ejemplo, alcanzan 2 metros de profundidad, principalmente en la parte posterior del coliseo Aldo Chamochumbi (GPR02-MG). Asimismo, estas fisuras y grietas son visibles en el parque Grau alcanzado profundidades de 1 a 1.5 metros. Y a la altura de la Av. Brasil con la Av. del Ejército se observa una disminución del espesor de la capa superficial.
- Hacia la zona central, entre el Jr. Larco Herrera y la Bajada de Marbella, se observa la presencia de grietas que llegan hasta los 2 metros de profundidad evidenciadas en superficie en las instalaciones de la ONU (GPR16-MG) y en sectores del Puericultorio Pérez Aranibar, y se observa la atenuación de la energía en la Av. del Ejército a la altura de la Bajada Marbella (GPR21-MG).
- En el extremo sur, entre la Bajada de Marbella y la calle Malecón Bernaldes (límite con el distrito de San Isidro), se identifica la existencia de pequeñas grietas que alcanzan profundidades de 1 metro (GPR12-MG).

En todo el acantilado se tiene la presencia de anomalías puntuales debido a la existencia de servicios de alcantarillado y buzones de agua, así como cambios de asfalto a cemento (GPR03-MG).

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 solicitación 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.



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

2.5.1.- Adquisición de datos

La adquisición de datos en campo se realizó durante los días 17 y 18 de noviembre del 2020. Durante este periodo se recolectaron registros de vibración ambiental en 75 puntos utilizando sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 26). Los puntos de adquisición de datos se distribuyen siguiendo 10 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, para incrementar los datos se consideran 97 registros de vibración obtenidos 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.

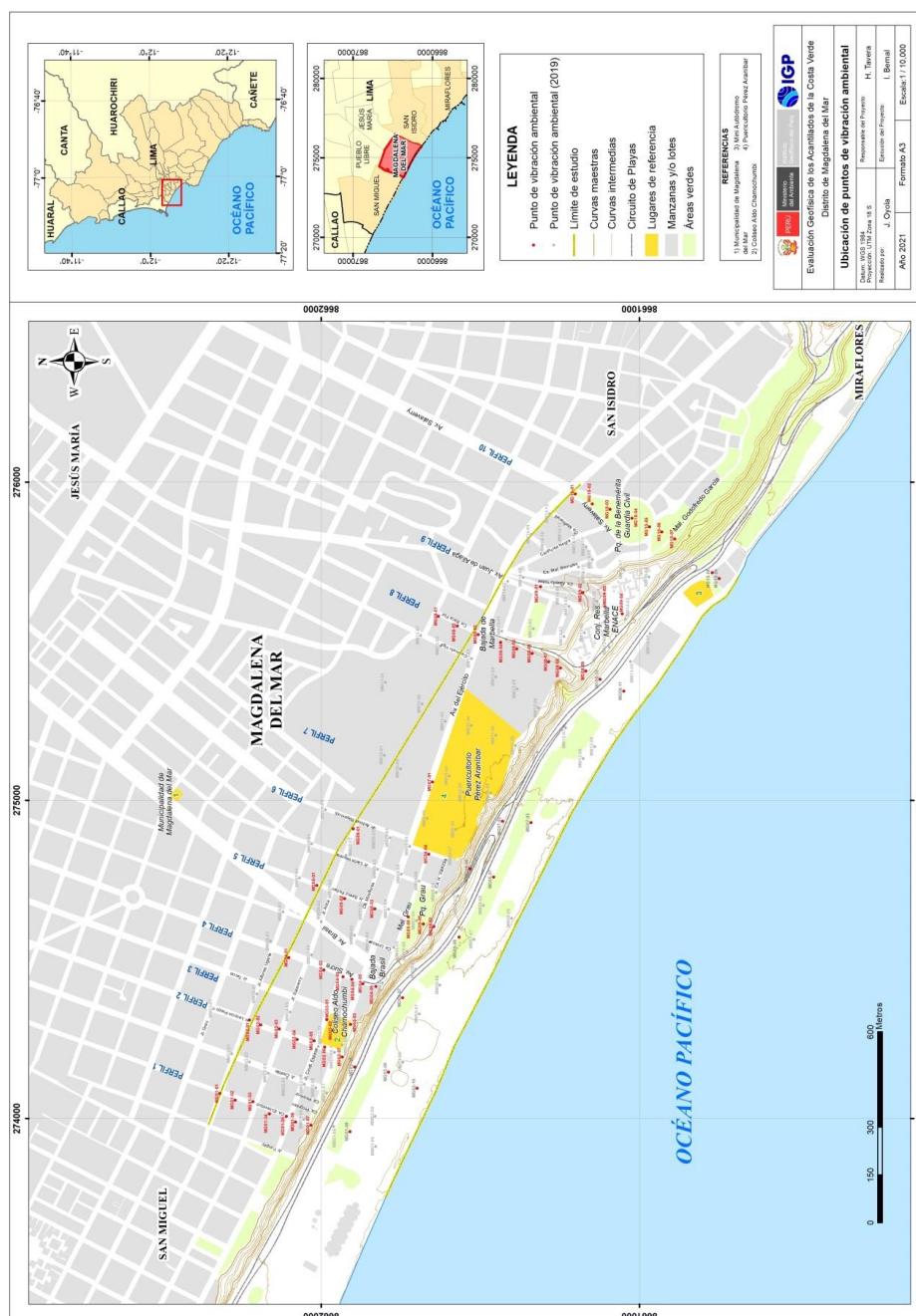


Figura 27. Distribución espacial de los puntos de registros de vibración ambiental, en los ACV del distrito de Magdalena del Mar. Los perfiles, consideran puntos distribuidos siguiendo líneas perpendiculares al acantilado. Los códigos en gris, corresponden a puntos realizados en la zona baja del acantilado.

En la Figura 28, se muestra ejemplos de señales de vibración ambiental registrados en el punto ubicado en el cruce del Jr. Leoncio Prado y Jr. Salaverry donde existe ruido de poca amplitud y/o saltos transitorios (MG02-03, suelos compactos), el siguiente por el coliseo Aldo Chamochumbi sobre el acantilado con presencia de ruido de fondo constante (MG02-07, suelos heterogéneos); y finalmente, un punto de registro ubicado en el circuito de playas con presencia de altos niveles de ruido (MG02-10, 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 solicitación 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 de las componentes horizontales entre su componente vertical (EO/V; NS/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.

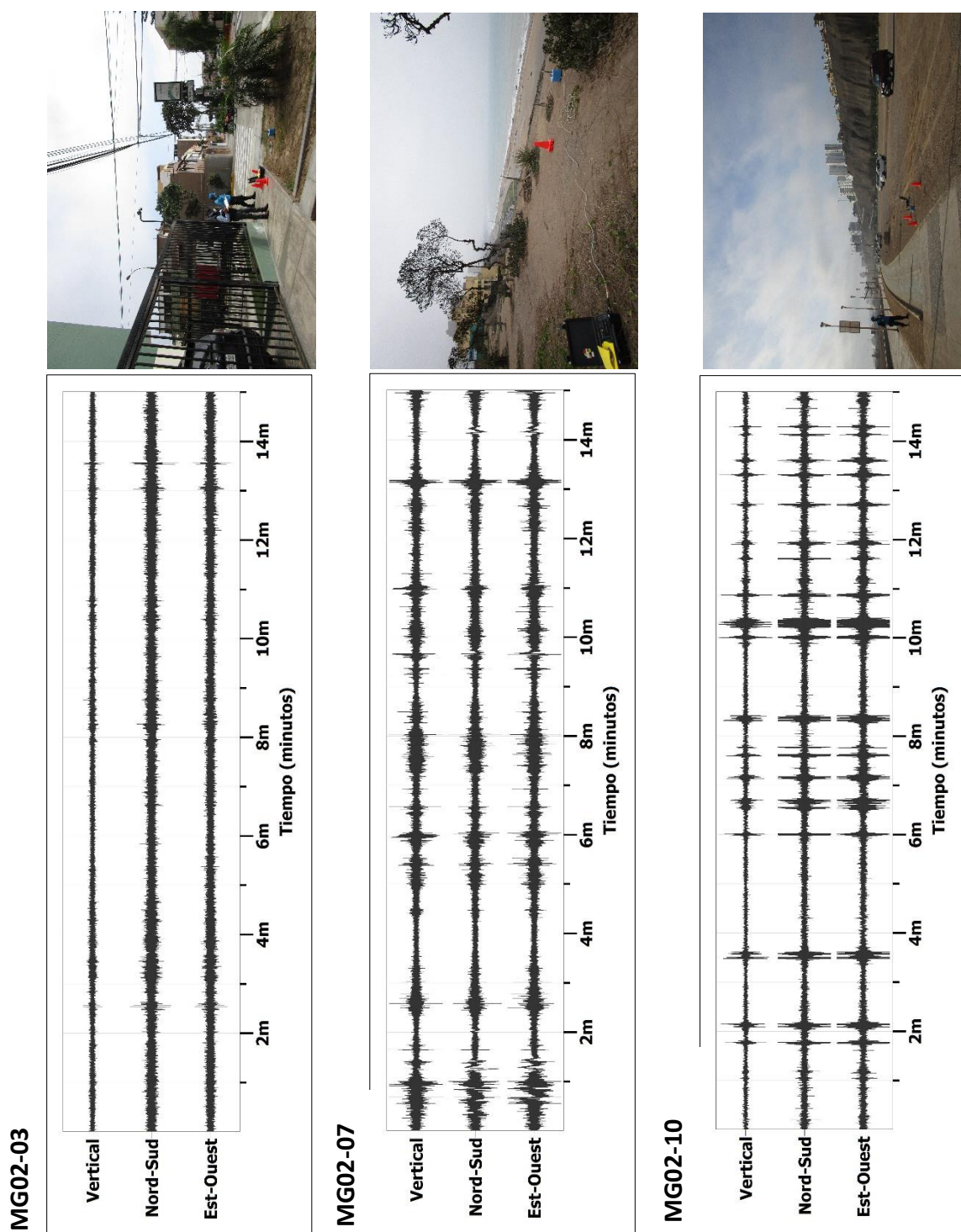


Figura 28. Disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros obtenidos en el cruce del Jr. Leoncio Prado y Jr. Salaverry con ruido transitorio (MG02-03); en el coliseo Aldo Chamocho sobre el acantilado con ruido constante (MG02-07) y en el circuito de playas con ruido permanente (MG02-10). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

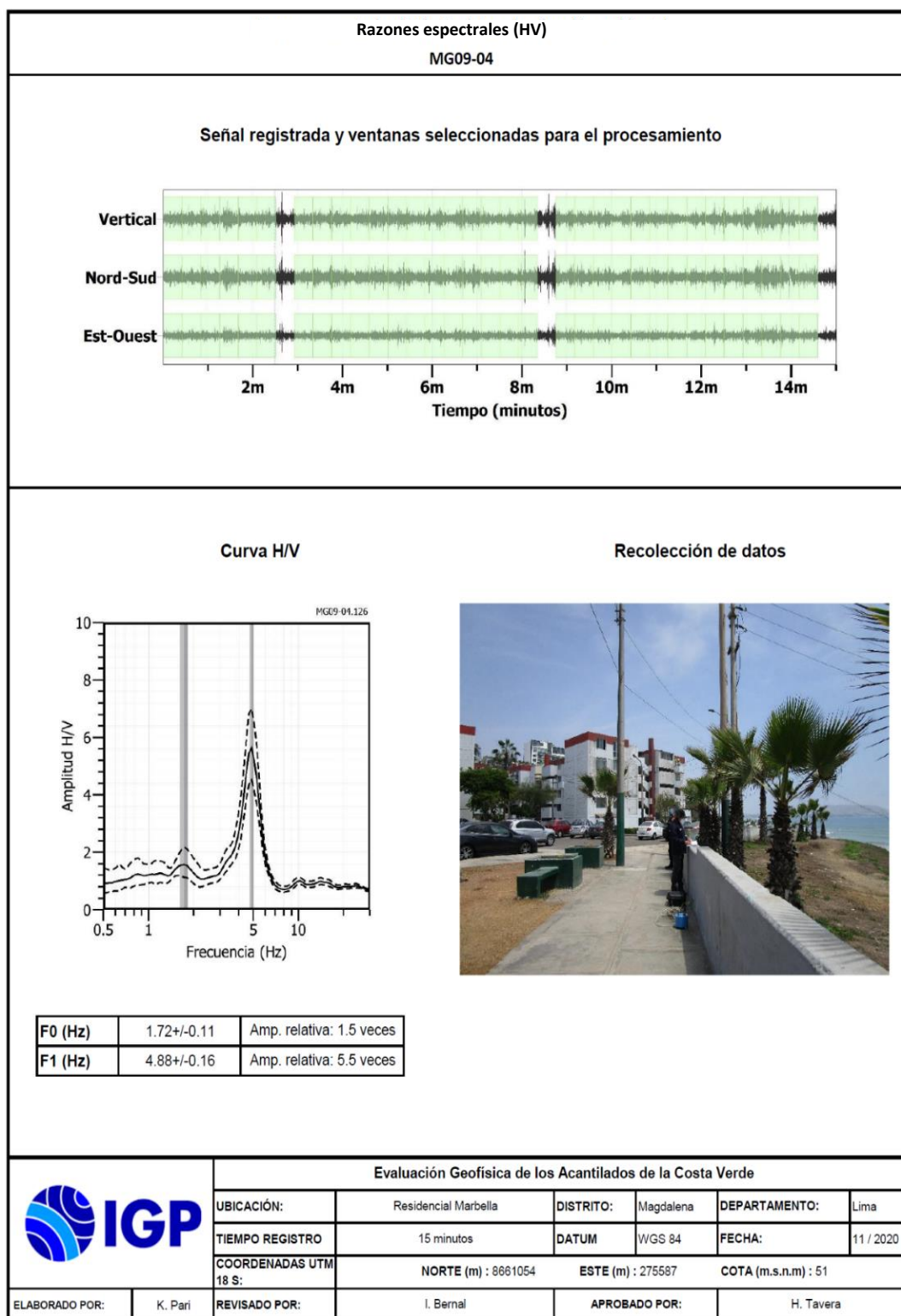


Figura 29. Resultados obtenidos con el método de razones espectrales (H/V) para el punto MG09-04. Arriba, la señal registrada y abajo la curva promedio de las razones espectrales (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

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

- ✓ 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 la presencia de 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.

2.5.3.- Resultados e interpretación

En los ACV del distrito de Magdalena del Mar, los suelos responden a dos rangos de frecuencias: F_0 ($F \leq 2.0$ Hz) y F_1 ($F > 2.0$ 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. Estas características sugieren que en las cercanías del acantilado los suelos son menos compactos y más heterogéneos.

- Frecuencias predominantes F_0 : En la Figura 30 se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de F_0 , observándose en toda el área de estudio el predominio de valores entre 0.8 a 1.7 Hz (0.6 - 1.2 segundos) representado 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 del ACV.

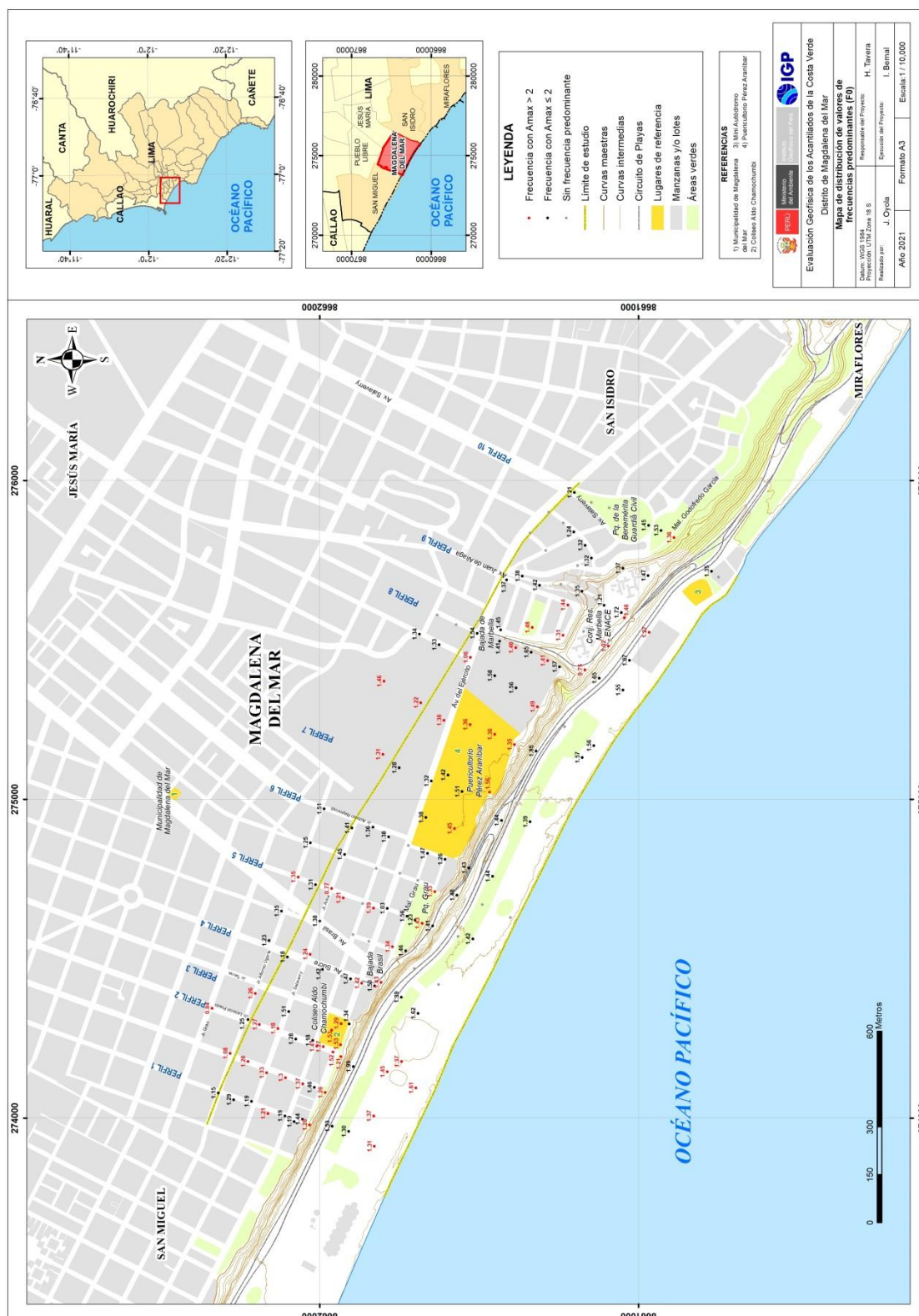


Figura 30. Distribución espacial de las frecuencias F_0 ($F < 2.0\text{Hz}$). Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2 veces.

- Frecuencias predominantes F1: En la Figura 31, se muestra la distribución espacial de los valores de F1, observándose el predominio de valores entre 3 a 14 Hz (0.1-0.3 segundo). En general, en toda el área de estudio y para este rango de frecuencias, las señales presentan amplificaciones mayores a 2 veces y en algunos casos dos picos de frecuencias. Los múltiples picos de frecuencias predominantes están presentes en las cercanías del acantilado y 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 entre 5 a 10 Hz; con amplificaciones de hasta 7 veces, lo cual sugiere la presencia de suelos blandos.

En la Figura 32 se muestra ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos MG03-02, MG02-04 y MG06-01 ubicados a 40, 160 y 350 metros del borde del acantilado, sobre el coliseo Aldo Chamocho, el Jr. Leoncio Prado y entre los Jr. Arica con el Jr. Antonio Raymondi. En estos espectros sobresalen picos de frecuencias a 1.18, 1.25 y 1.56 Hz respectivamente con amplificaciones menores a 2 veces.

A fin de evaluar el comportamiento dinámico del suelo a lo largo del ACV del distrito de Magdalena del Mar, se analiza de manera conjunta la información contenida en cada gráfico de razones espectrales (H/V) para los 16 perfiles perpendiculares al acantilado. En la Figura 33a, se muestra los gráficos de razones espectrales correspondientes a puntos del perfil P-08 (Figura 27), siendo sus características las siguientes:

- En el punto MG08-04 ubicado a 150 metros del acantilado, sobre la Bajada de Marbella, dentro del Puericultorio Pérez Aranibar, sobresale un pico de frecuencia de 1.4 Hz con bajas amplificaciones.
- En el punto MG08-08 ubicado dentro del Puericultorio Pérez Aranibar y sobre el acantilado, se observa tres picos de frecuencias a 1.5, 3.6 y 14 Hz con amplificaciones mayores a 2 veces.

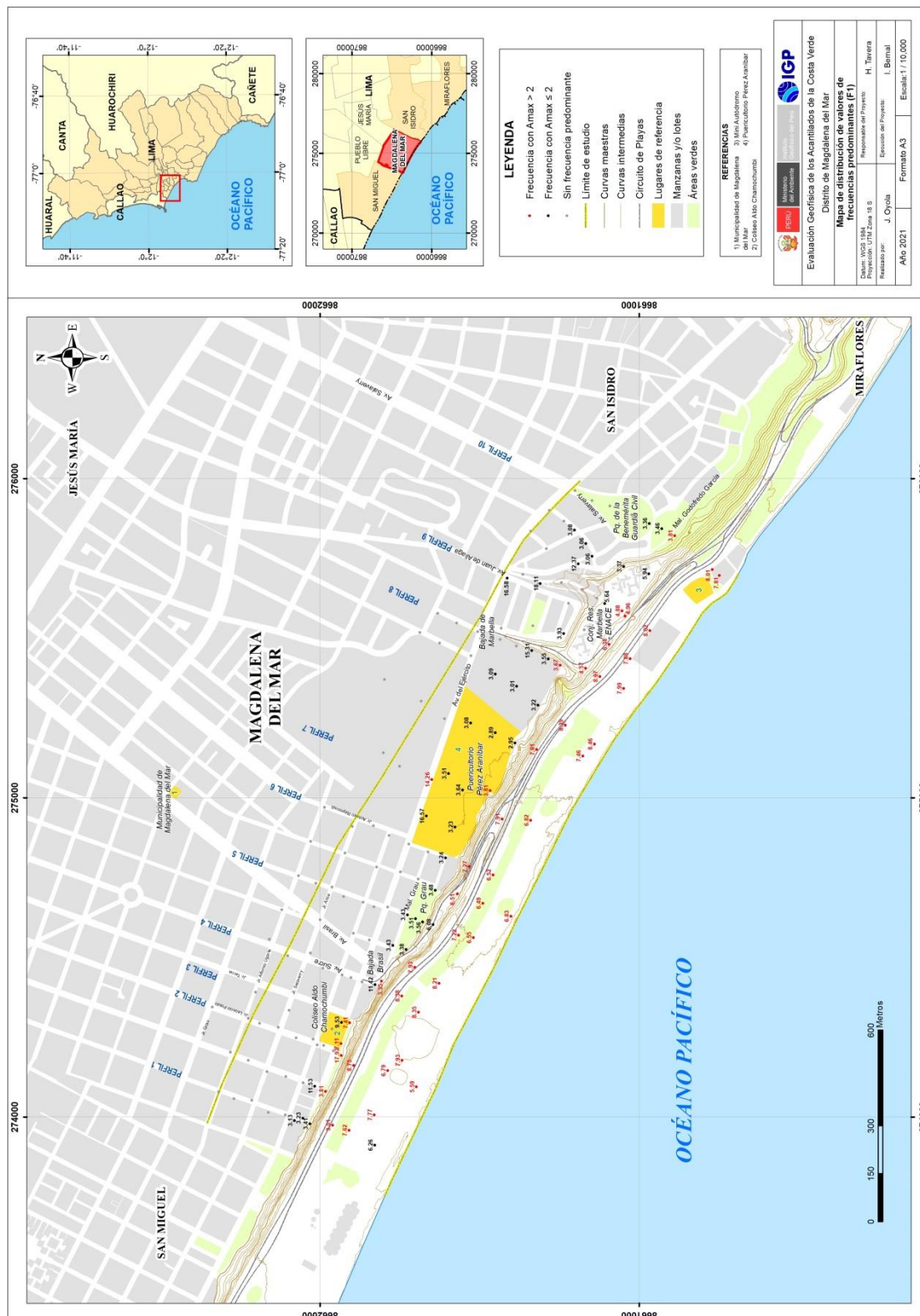
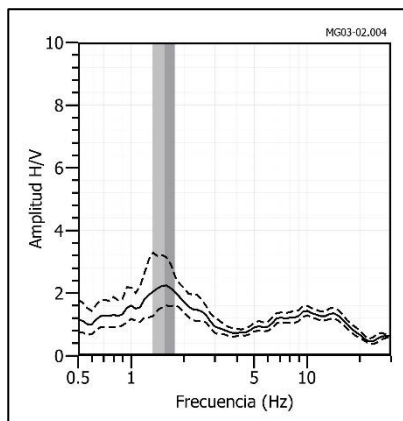
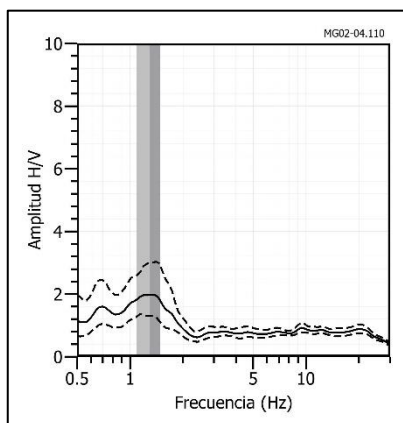


Figura 31. Distribución espacial de las frecuencias F1 ($F > 2.0 \text{ Hz}$). Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2 veces.

MG03-02



MG02-04



MG06-01

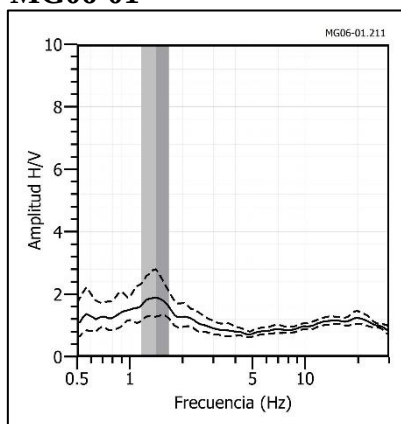


Figura 32. Ejemplos de razones espectrales (H/V): puntos MG03-02, MG02-04 y MG06-01, ubicados a 40, 160 y 350 metros del borde del acantilado. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

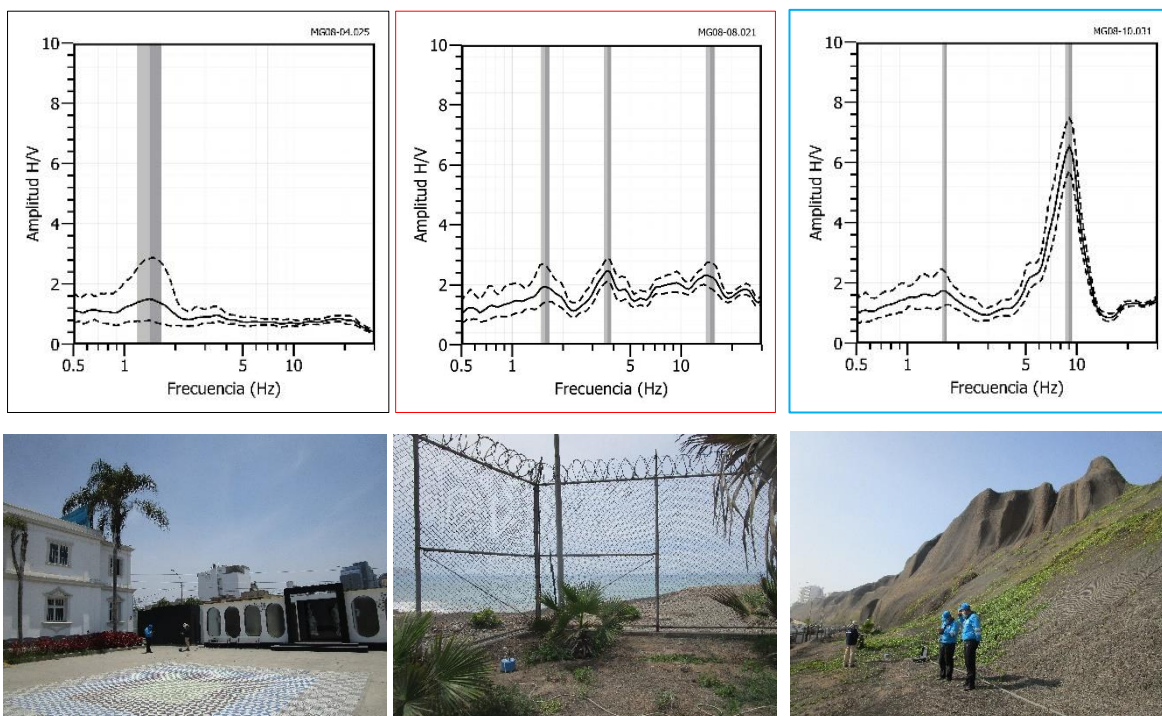


Figura 33. a) Razones espectrales obtenidas para puntos del perfil P-08 (MG08-04, MG08-08 y MG08-10), ubicados de Este a Oeste, a 150 metros del acantilado, a 5 metros y el tercero en el circuito de playas.

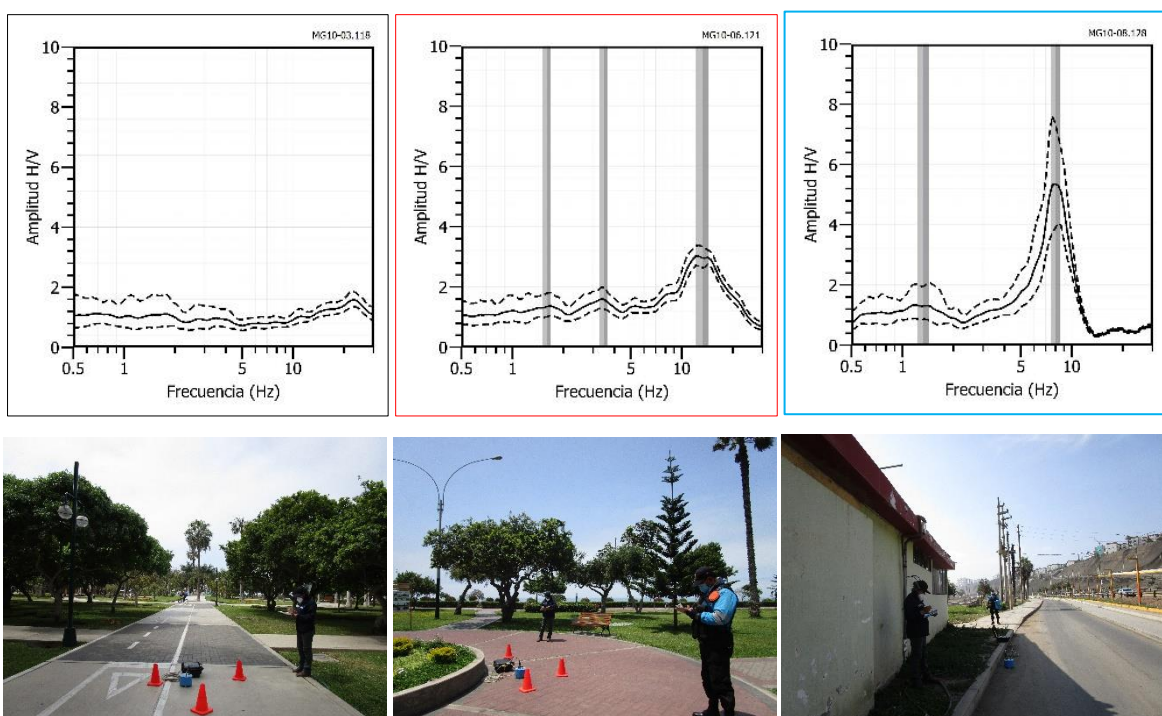


Figura 33. b) Razones espectrales obtenidas para puntos del perfil P-10 (MG10-03, MG10-06 y MG10-08), ubicados de Este a Oeste, a 140 metros del acantilado, a 30 metros y el tercero en el circuito de playas.

- En el tercer punto, ubicado en la vía Circuito de Playas, sobresalen dos picos de frecuencia bien definidos a 1.6 y 8.9 Hz con amplificaciones de hasta 4.5 veces.

Asimismo, en la Figura 33b, se muestra los gráficos de razones espectrales correspondientes a puntos del perfil P-10, siendo sus características las siguientes:

- En el punto MG10-03 ubicado a 140 metros del acantilado, no sobresale ningún pico de frecuencia.
- En el punto MG10-06 ubicado sobre el acantilado, en el parque de la Benemérita Guardia Civil, se observa el registro de tres picos a frecuencias de 1.5, 3.4 y 13.2 Hz con amplificaciones de 1.4, 1.5 y 2.9 veces respectivamente.
- En el tercer punto, ubicado en la Vía Circuito de Playas, sobresale dos picos de frecuencia bien definidos a 1.3 y 8.0 Hz con amplificaciones de hasta 5.5 veces.

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 observa en el borde del acantilado y 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.

Los resultados obtenidos muestran que los suelos en los ACV del distrito de Magdalena del Mar responden principalmente a dos rangos de periodos: Próximos al acantilado, los suelos responden a más de dos picos con valores entre 0.1 a 1.0 segundos, evidenciando la presencia de suelos heterogéneos e inestables. A mayor distancia, en dirección este (hacia el área urbana), los suelos responden a un único pico de periodo (0.6 a 1.0 segundo) con bajas amplificaciones y en muchos casos, no se identifica ningún periodo, evidenciando la presencia de suelos homogéneos y compactos. Sin embargo, se tiene el predominio de periodos de 0.3 segundos, entre el Puericultorio Pérez Aranibar y la Av. del Ejército, evidenciando que la capa superficial presenta espesores continuos desde el borde del acantilado hasta la Av. Del Ejército.

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 ellas, 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).

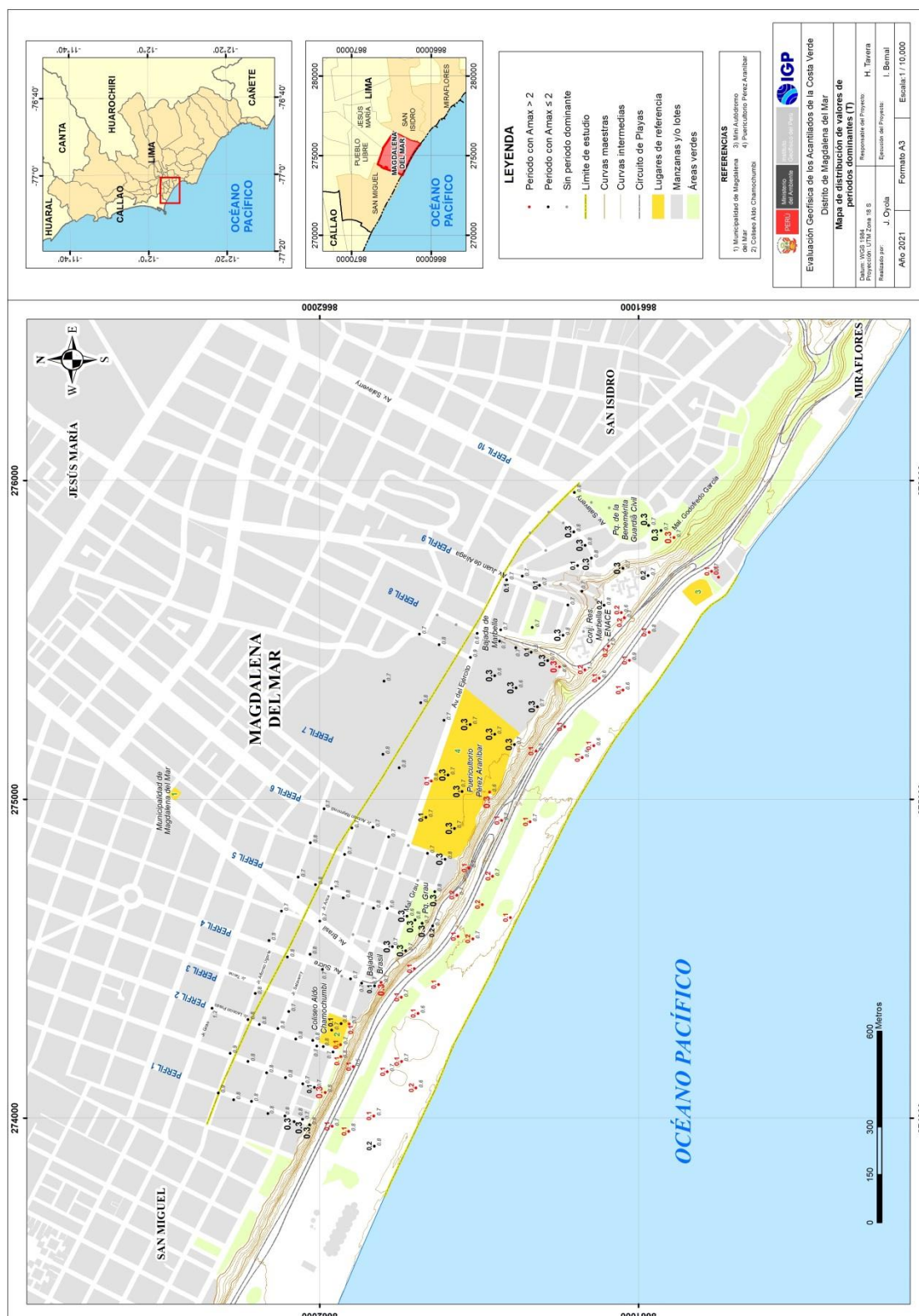


Figura 34. Distribución espacial de los valores de periodos dominantes del suelo para el distrito de Magdalena del Mar. Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2 veces.

2.6.1.- Adquisición de datos

En el área de estudio, se recolectaron 12 datos gravimétricos distribuidos en 1 línea con longitud de 503 metros; orientada de manera perpendicular a los acantilados del distrito de Magdalena del Mar (Figura 35). La distancia entre cada punto de medición fue de 50 metros en promedio y en algunos casos de 100 y 150 metros. 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).

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, topográfica, aire libre y de Bouguer (Kane, 1962; Nagy, 1966). Para este objetivo se utilizó el software Oasis Montaj de Geosoft y un valor de densidad media para las rocas de 2.67 g/cm^3 (Hinze et al., 2005). Asimismo, para separar los efectos gravimétricos debido a las estructuras regionales profundas (anomalía regional) y estructuras locales y superficiales (anomalía residual), se aplicó el filtro de continuación analítica ascendente (Geosoft; 2006).

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

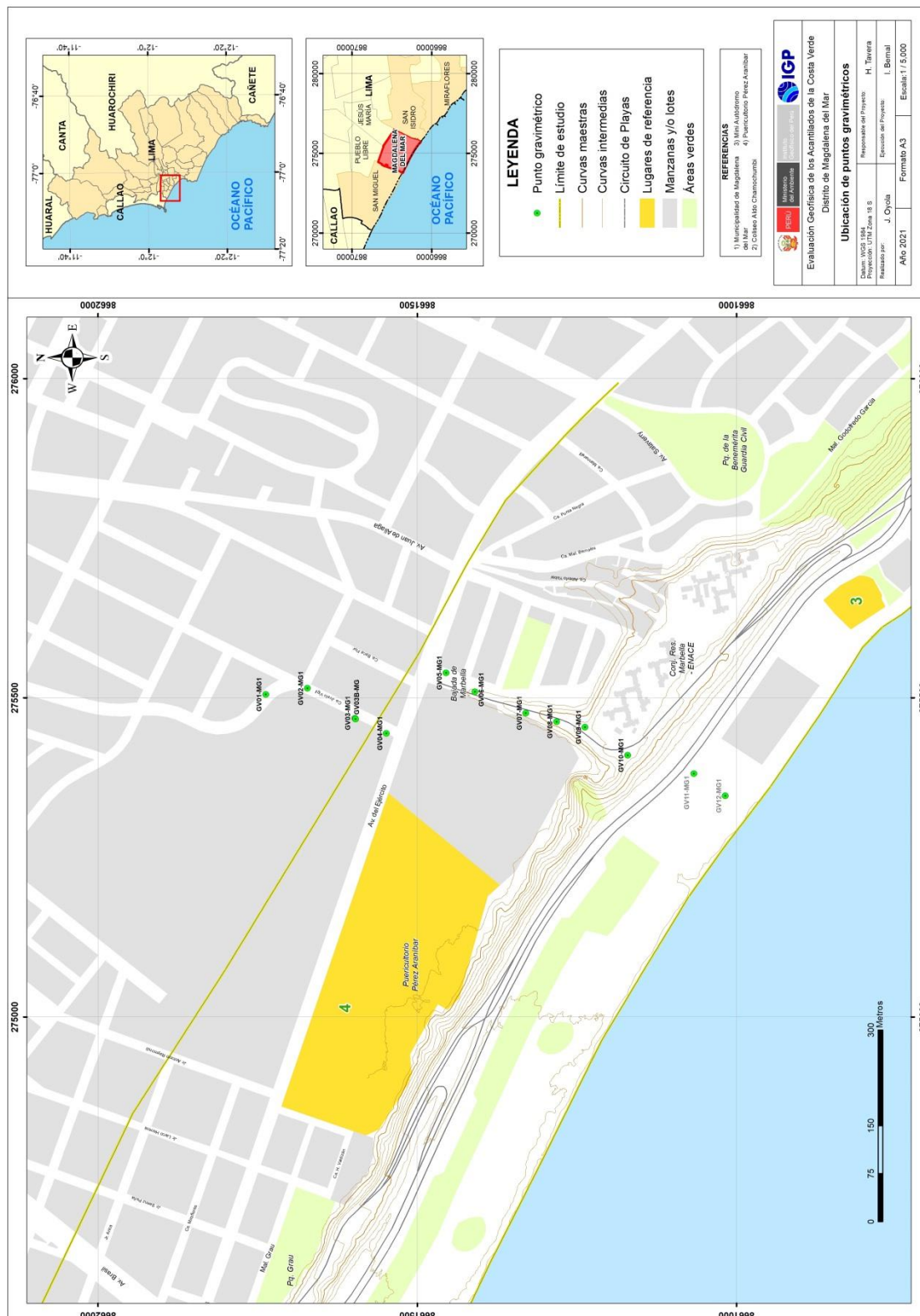


Figura 35. Distribución espacial de los puntos gravimétricos tomados en el acantilado del distrito de Magdalena del Mar.



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

2.6.3.- Resultados e interpretación

a) Resultados

En el perfil gravimétrico, se ha identificado que los valores de anomalías residuales varían de -0.1 a 0.15 mGal (Figura 37), estando los valores bajos presentes en la Bajada de Marbella debido a la presencia de capas de gran espesor compuestas por material heterogéneo. Los valores altos (0.1 a 0.15 mGal) están presentes principalmente 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 elaboró un perfil gravimétrico (MG01) haciendo uso del módulo GM-SYS del software Oasis Montaj.

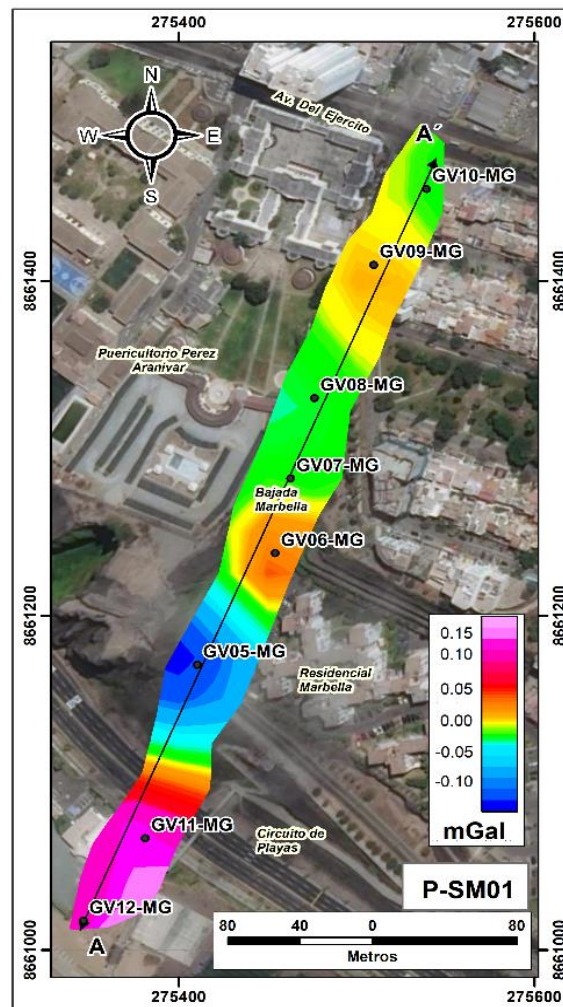


Figura 37. Mapa de anomalía residual de Bouguer. El perfil A-A' corresponde al perfil MG01 que cruzan la Bajada de Marbella.

Perfil gravimétrico MG01: En la Figura 38 se observa que las variaciones de la anomalía residual reflejan cambios en la densidad de los materiales del suelo en profundidad (puntos negros). El perfil obtenido define la existencia de tres capas en el subsuelo:

- La primera capa de baja densidad (1.6 gr/cm^3) y espesores varían desde 4 metros cerca del acantilado, hasta 10 metros hacia el externo NE, próximo al Conjunto Residencial Marbella-ENACE.

- La segunda capa presenta una densidad de 1.8 gr/cm^3 y espesores de 7 a 18 metros, siendo esta capa la de mayor espesor.
- La tercera capa presenta una densidad de 2.0 gr/cm^3 con espesores de hasta 10 metros.

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

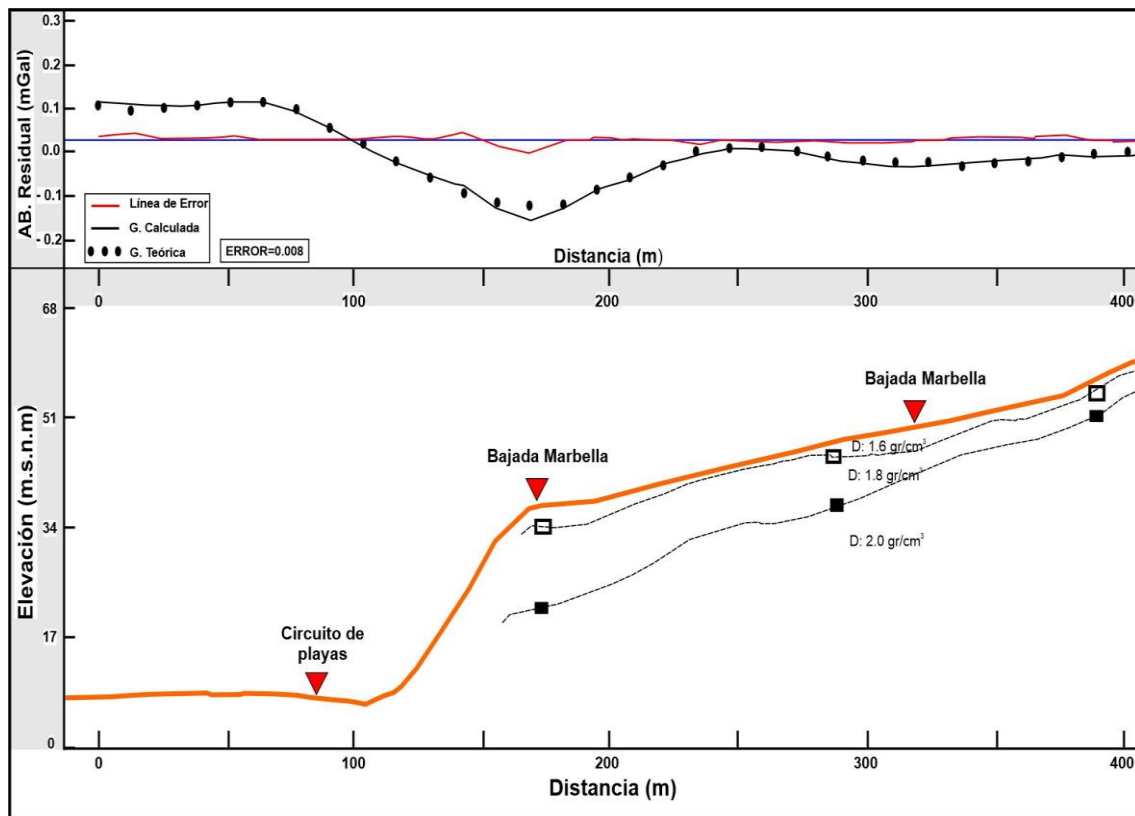


Figura 38. Sección gravimétrica MG01, orientada de suroeste-noreste. En el extremo superior, los puntos representan la gravedad observada y la curva negra la gravedad calculada. En el extremo inferior se muestra el perfil gravimétrico propuesto.

b) Interpretación

Los resultados obtenidos en el perfil gravimétrico, fue correlacionado con la información obtenida de los estudios de refracción sísmica, MASW y

HV. En los ACV del distrito de Magdalena del Mar, identificándose en el subsuelo la existencia de tres capas con espesores bien definidos y valores de densidad que se incrementan gradualmente de 1.6 a 2.5 gr/cm³: La primera capa con espesores entre 4 y 10 metros, con baja densidad y compuesta por materiales heterogéneos y/o rellenos poco consolidados. La segunda capa con espesores de 7 a 18 metros, y la tercera con espesores de 10 a 45 metros, con moderada densidad y que 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 del ACV del distrito de Magdalena del Mar fue realizada usando datos e información generada usando métodos geofísicos y su correlación con la información geológica, siendo los resultados obtenidos los siguientes:

3.1. Estructura del subsuelo

El área urbana del distrito de Magdalena del Mar, 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 V_p , perfiles unidimensionales 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, de manera frontal los ACV del distrito de Magdalena del Mar han sido divididos en 3 sectores en base a sus características físicas similares y que son descritas a continuación:

Extremo Norte

En el Jr. Leoncio Prado y Jr. Tacna (Figura 39), se ha identificado en el subsuelo la presencia de 3 capas:

- *La primera capa constituida por material aluviales suelto a medianamente compacto ($V_s = 235$ m/s; $V_p = 456$ m/s) y espesores de hasta 5 metros. Estos suelos presentan moderado contenido de humedad, que se profundiza hacia la zona de*

pendiente, encontrándose a nivel superficial material de rellenos (aluvial) y suelos alóctonos de baja a moderada compactación.

- La segunda capa está constituida por material heterogéneo y aluvial medianamente compacto ($V_s = 418$ m/s; $V_p = 915$ m/s) con espesores hasta 12 metros. Estos suelos presentan de moderado a bajo contenido de humedad.*
- La tercera capa está compuesta por materiales compactos ($V_s = 627$ m/s; $V_p = 1593$ m/s) con espesores de 23 metros. Estos suelos están conformados por gravas y finos con bajo contenido de humedad.*

En este extremo del ACV y a nivel superficial, se identifica la presencia de grietas en el suelo alrededor del coliseo Aldo Chamochumbi con profundidades de hasta 2.0 metros; además de la zona de derrumbes en el Malecón Castagnola. En general, la morfología del terreno muestra la heterogeneidad de los suelos en profundidad, principalmente cerca del borde del acantilado; mientras que, a mayor distancia, hacia el área urbana, los suelos se muestran más compactos.

Zona Central

Entre el parque Grau y el Puericultorio Pérez Aranibar (Figura 40), se ha identificado la presencia en el subsuelo de 3 capas con las siguientes características:

La primera capa constituida por material heterogéneo y/o rellenos ($V_s = 345$ m/s; $V_p = 774$ m/s) con un espesor de 4 metros. Los suelos presentan diferente contenido de humedad que disminuye claramente hacia el extremo SE del parque Grau, lo cual indica la presencia de material de relleno con predominio de grietas.

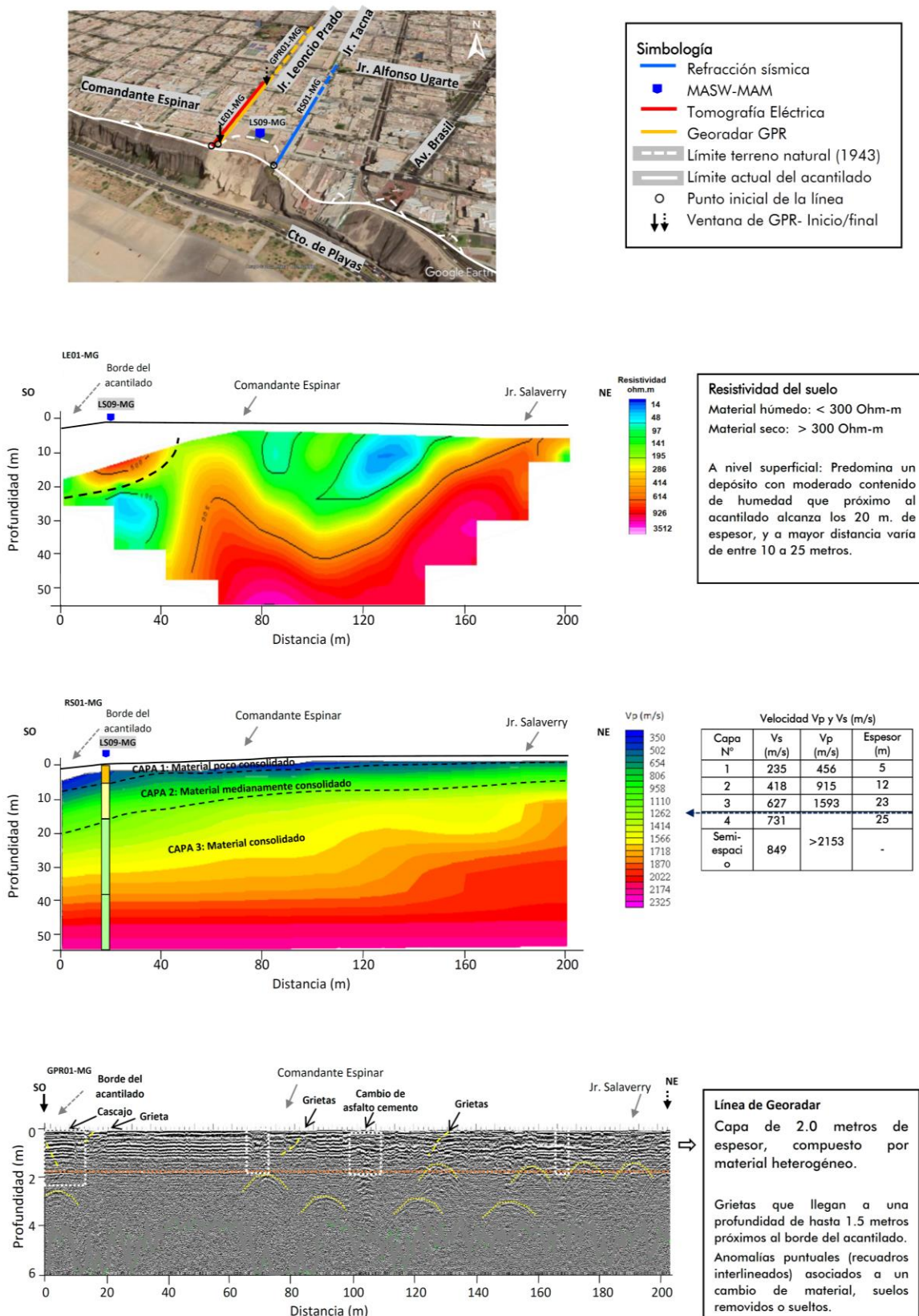


Figura 39. Correlación de los resultados obtenidos con los métodos de tomografía eléctrica, refracción sísmica, MASW-MAM y georadar para el extremo Norte del distrito de Magdalena del Mar (Jr. Tacna y Jr. Leoncio Prado).

- *La segunda capa está constituida por material heterogéneo de moderada compacidad ($V_s = 550$ m/s; $V_p = 1205$ m/s) con espesores de 7 metros. Estos suelos presentan moderado contenido de humedad y están compuestos por gravas y finos de mediana compacidad.*
- *La tercera capa de hasta 26 metros de espesor, está constituida por un estrato de alta compacidad ($V_s = 620$ m/s; $V_p = 1539$ m/s) y conformado por gravas, con moderado a bajo contenido de humedad. A mayor profundidad, el incremento de la velocidad de las ondas de corte (V_s de 700 a 850 m/s) indica la presencia de suelos húmedos en una capa de 37 metros de espesor.*

En esta zona, se ha identificado la presencia de grietas y asentamientos o desniveles en los suelos paralelos al acantilado hasta profundidades de 2.0 metros. Estos escenarios indican la presencia de suelos con alta heterogeneidad y poco compactos. A mayor distancia, hacia el área urbana, los suelos son compactos y están compuestos por material aluvial gravoso con alta rigidez.

Extremo Sur

Entre la Bajada de Marbella y el Malecón Godofredo García con el parque de la Benemérita Guardia Civil (Figura 41), se ha identificado en el subsuelo la presencia de 3 capas con las siguientes características:

La primera capa está conformada por material aluvial sueltos a medianamente compactos ($V_s = 207$ m/s; $V_p = 454$ m/s) con espesores de hasta 5 metros. Estos suelos presentan diferentes niveles de humedad, que se incrementan hacia el Malecón Godofredo García (extremo SO) y disminuyen hacia la calle Malecón Bernales y la Av. del Ejército (extremo NE).

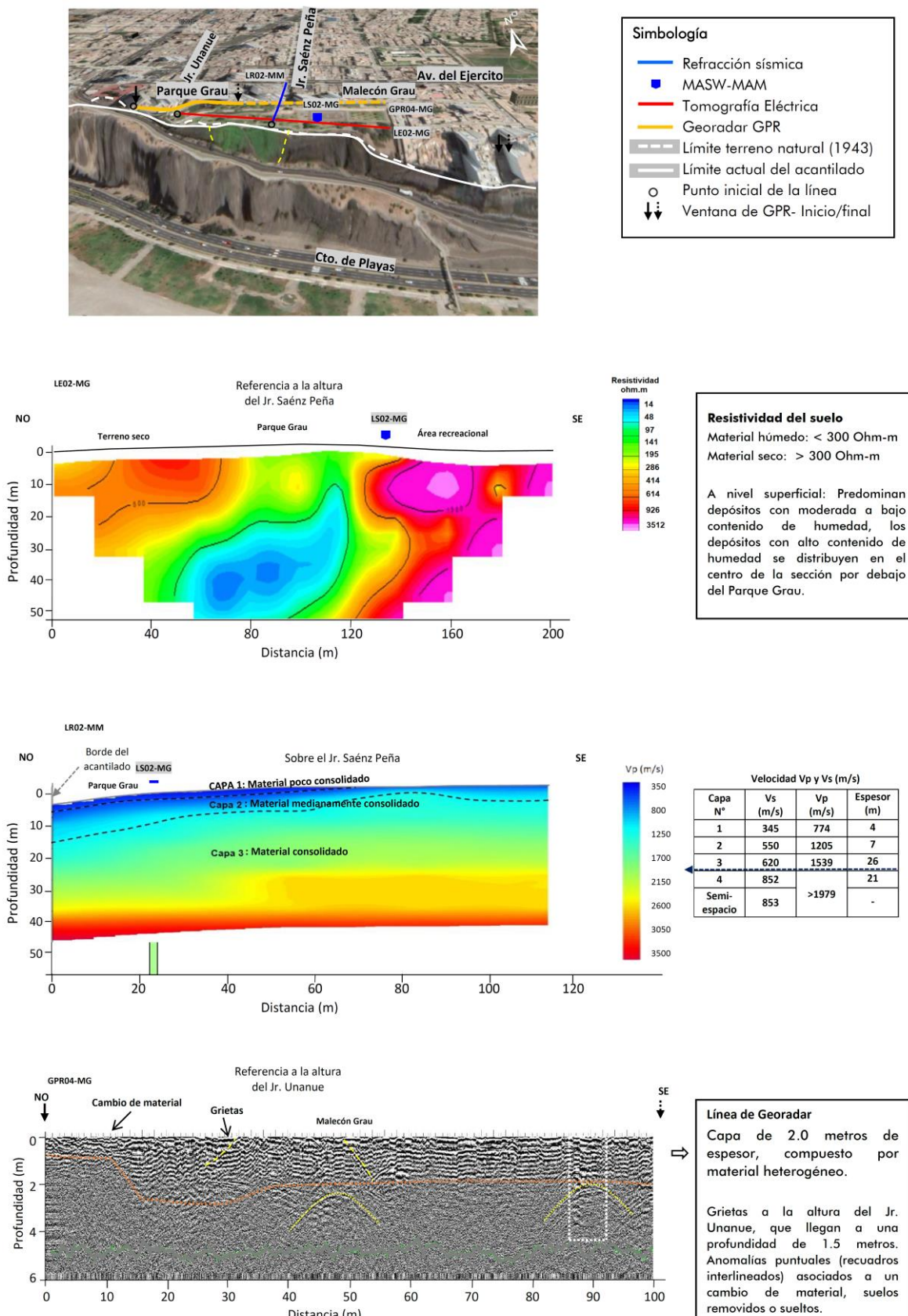


Figura 40. Correlación de los resultados obtenidos con los métodos de tomografía eléctrica, refracción sísmica, MASW-MAM y georadar para el sector central del distrito de Magdalena del Mar (parque Grau).

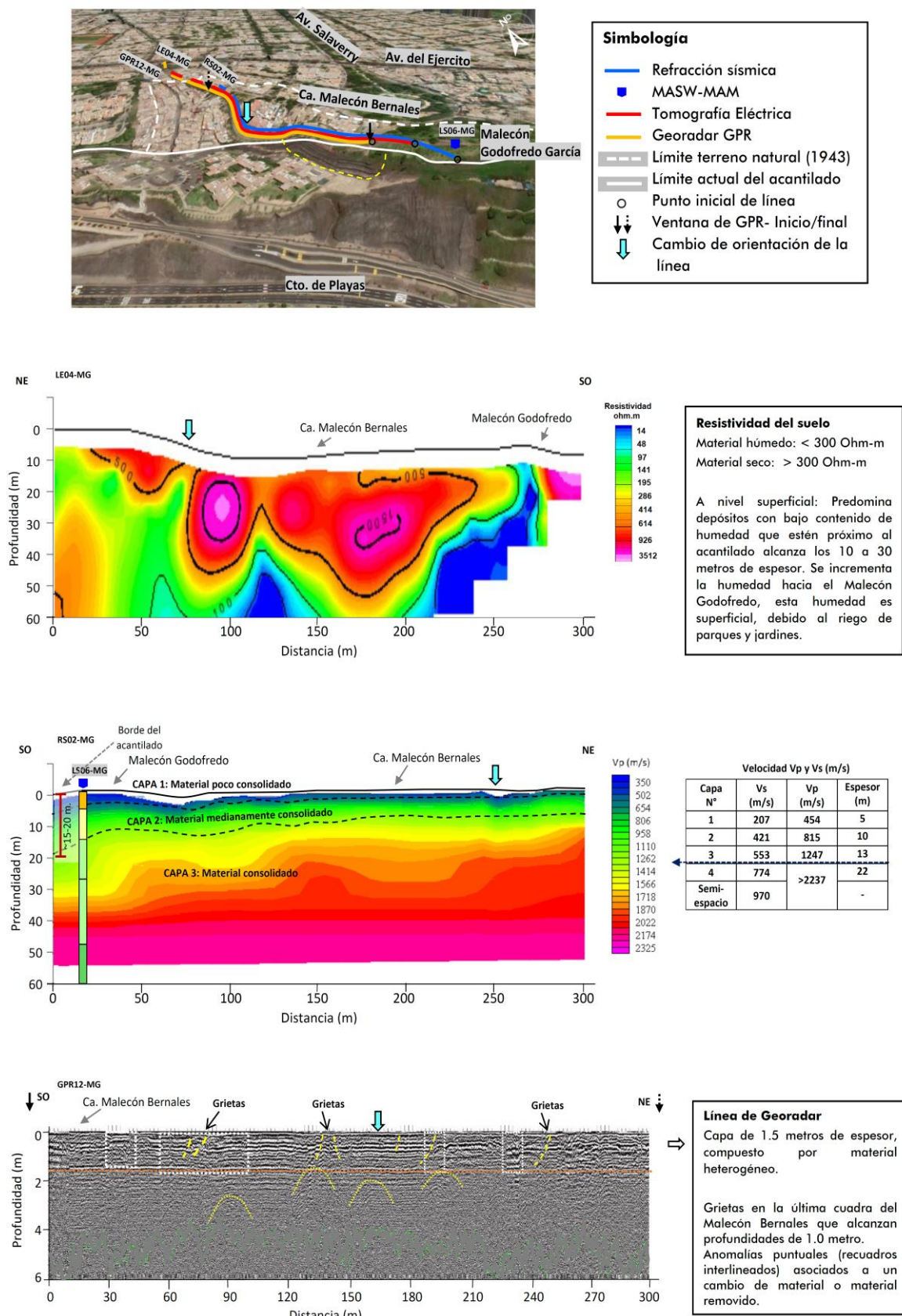


Figura 41. Correlación de los resultados obtenidos con los métodos de tomografía eléctrica, refracción sísmica, MASW-MAM y georadar para el extremo Sur del distrito de Magdalena del Mar (calle Malecón Bernales y Malecón Godofredo García).

- *La segunda capa está constituida por materiales aluviales medianamente compactos ($V_s = 421$ m/s; $V_p = 815$ m/s) con espesores de hasta 10 metros. Estos suelos presentan de moderado a bajo contenido de humedad.*
- *La tercera capa de 13 metros de espesor corresponde a un estrato compacto ($V_s = 553$ m/s; $V_p = 1247$ m/s), debido a que está conformado por gravas con moderado a alto contenido de humedad. A mayor profundidad se observa el incremento en la velocidad de las ondas de corte (V_s de 600 a 770 m/s) y la presencia de una capa de suelos húmedos con espesores de 28 metros.*

En este sector y a niveles superficiales, se identifica la presencia de grietas a lo largo de las cuales se han producido asentamientos próximos al acantilado hasta profundidades de 1.5 metros. Estas características del suelo muestran su alta heterogeneidad a niveles superficiales.

En general, en el distrito de Magdalena del Mar, en dirección perpendicular al acantilado, se ha identificado que los suelos presentan dos capas con similar composición y comportamiento dinámico, y en conjunto sus características son (Figura 42):

- A 10 metros del acantilado, la capa de material heterogéneo presenta un espesor promedio de 16 metros por el Jr. Tacna (coliseo Aldo Chamochumbi); de 12 metros por el Jr. Saénz Peña (parque Grau); y de 20 metros por el Malecón Godofredo García.
- A 100 metros, la capa de material heterogéneo presenta un espesor de 11 metros a la altura del coliseo Aldo Chamochumbi, de 5 metros en el Jr. Saénz Peña; mientras que, a la altura del parque de la

Benemérita Guardia Civil (Malecón Godofredo García), la capa de suelos presenta un espesor de 10 metros.

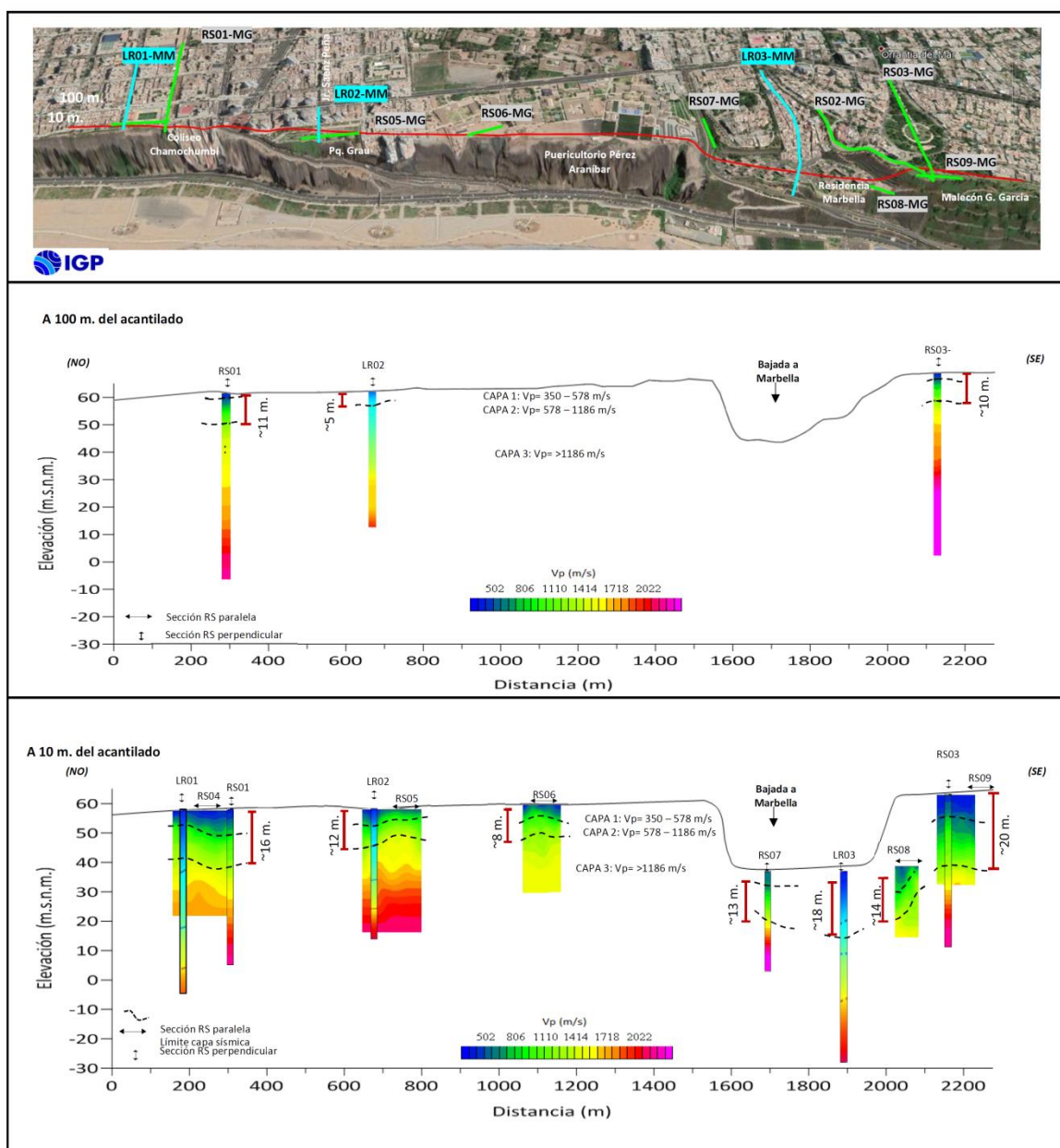


Figura 42. Variación en el espesor de las capas de suelos desde el borde del acantilado hasta distancias de 10 y 100 metros. Resultados obtenidos con el método de refracción sísmicas (RS01, LR02 y RS03).

De acuerdo a lo indicado, en el extremo norte la primera capa o estrato de suelos disminuye, desde el acantilado hasta una distancia de 100 metros hacia el área urbana. En el extremo sur el espesor disminuye de 20 a 10 metros, mientras que, en el extremo norte y centro, el espesor disminuye

pasando de 16 a 11 metros y de 12 a 5 metros, respectivamente, evidenciando que los suelos son más estables hacia el extremo SE del área de estudio.

Analizando imágenes frontales del acantilado y su correlación con los resultados obtenidos con los métodos sísmicos y de eléctrica, se distingue la presencia de dos capas superficiales con las siguientes características (Figura 43):

- A la altura del Malecón Castagnola y coliseo Aldo Chamochumbi (entre los jirones Leoncio Prado y Tacna), donde actualmente se realizan trabajos de estabilidad del talud, se observa la presencia de un estrato de material heterogéneo (suelos de cultivo), emplazado sobre capas de gravas y material fino de mayor espesor. Según los resultados obtenidos con el método sísmico ($V_s < 500 \text{ m/s}$), las dos primeras capas presentan un espesor promedio de 17 metros con el predominio de materiales medianamente compactos como gravas. Este material presenta moderado contenido de humedad hasta los 20 metros de profundidad, para luego decrecer a niveles bajos.

A la altura del parque Grau, y hasta una profundidad de 12 metros se observa la presencia de una capa superficial de material heterogéneo (relleno y suelos de cultivo) emplazada sobre capas de gravas y material fino, coherente con las dos primeras capas identificados con los métodos sísmicos ($V_s < 500 \text{ m/s}$). Este material heterogéneo presenta de moderado a bajo contenido de humedad, excepto a la altura del Jr. Sáenz Peña donde se presentan depósitos de rellenos con alto contenido de humedad que se mantiene constante debido al riego del parque Grau.

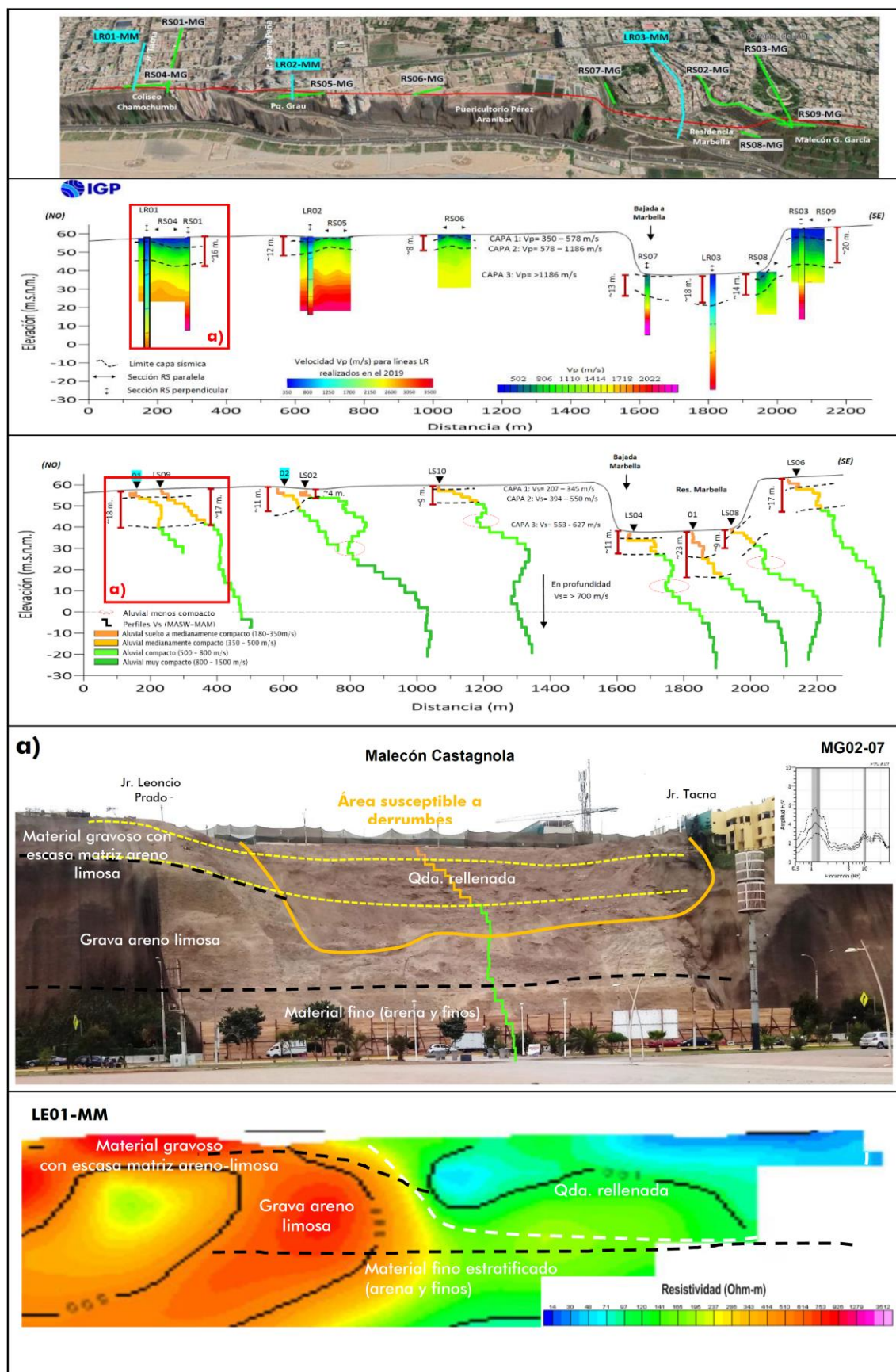
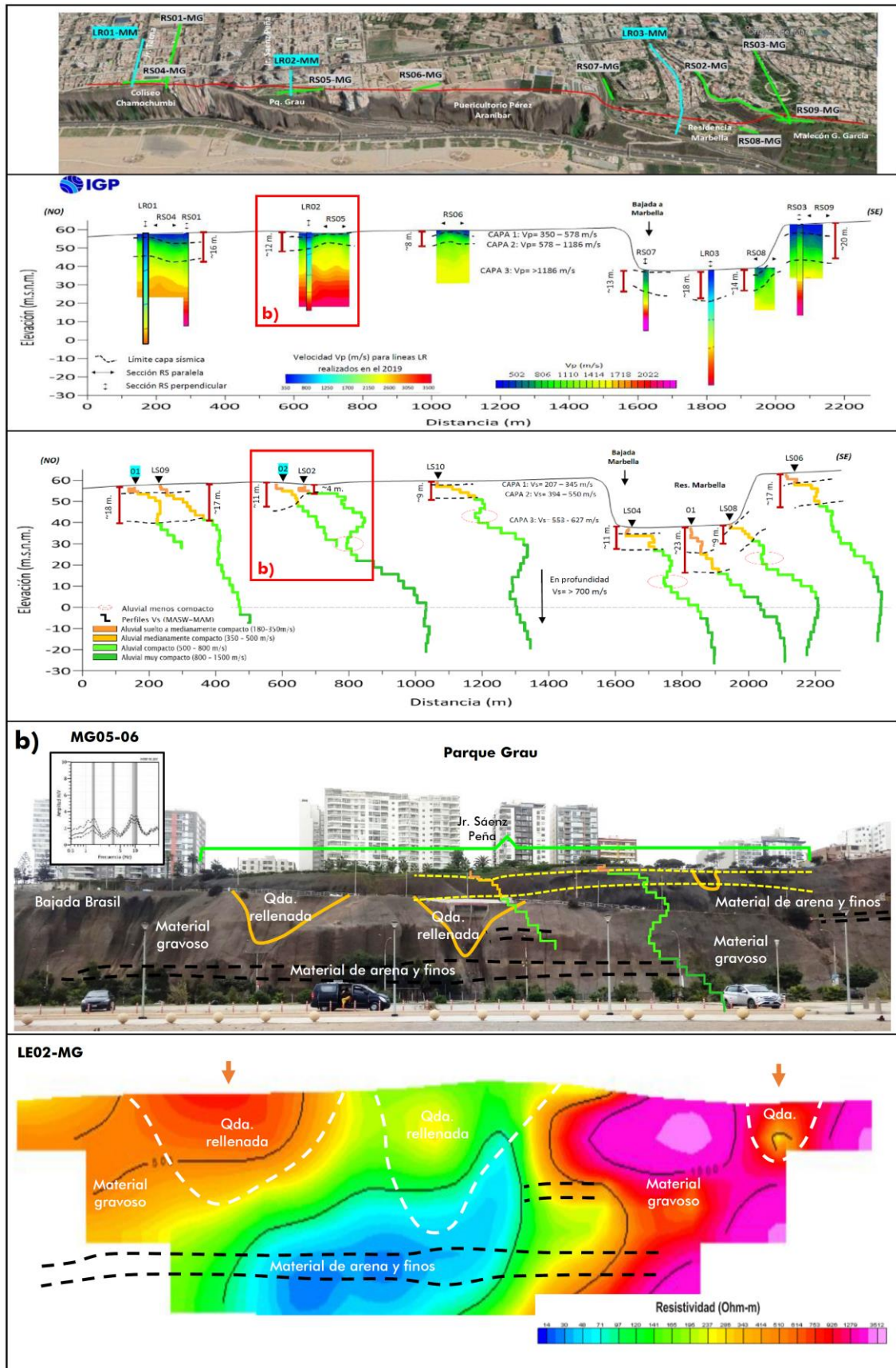


Figura 43. Correlación de los resultados obtenidos con los métodos sísmico y eléctrico, con la cara expuesta del ACV, a la altura del Malecón Castagnola.



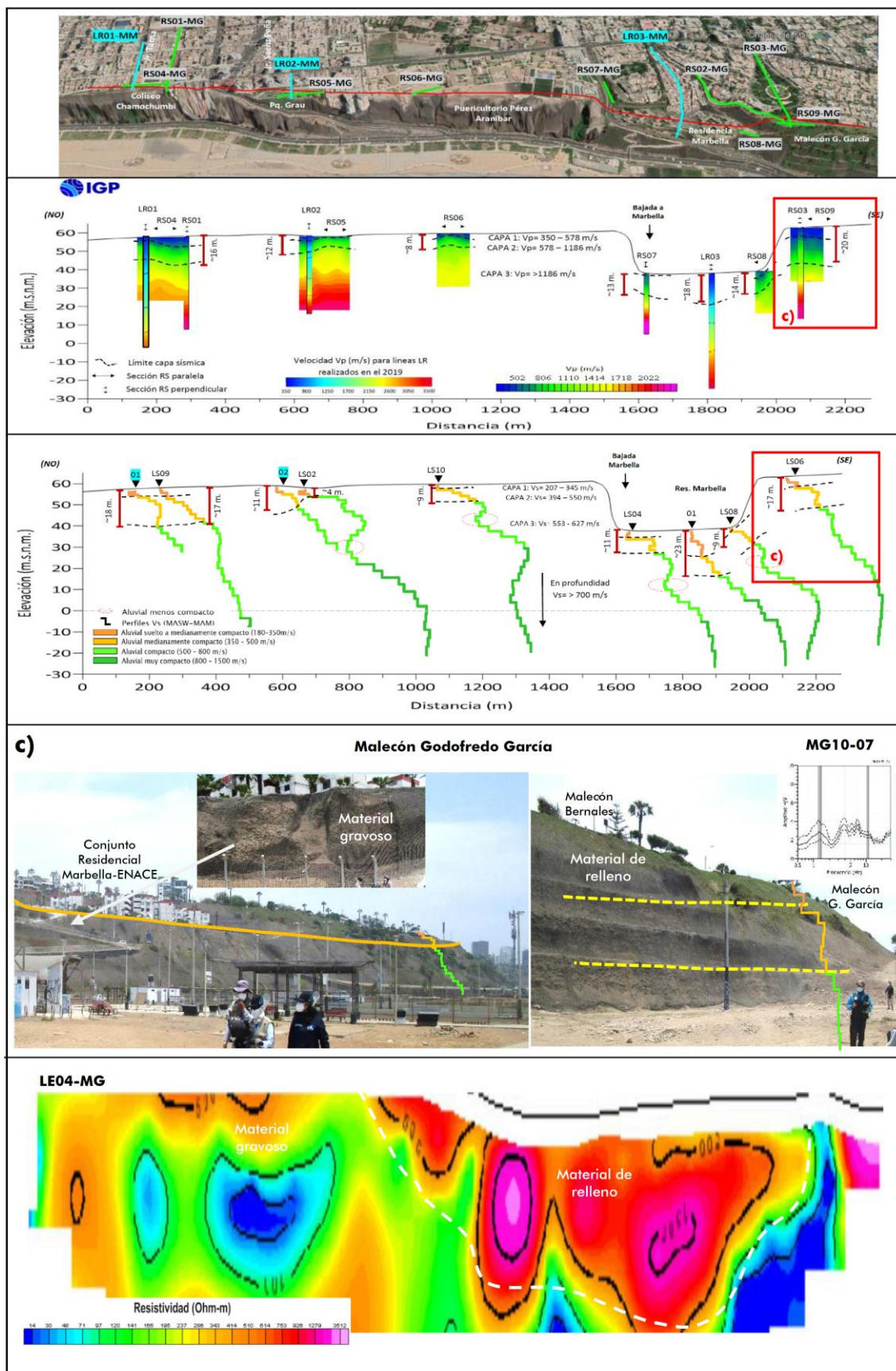


Figura 43. Correlación de los resultados obtenidos con los métodos sísmico y eléctrico, con la cara expuesta del ACV, a la altura Malecón Godofredo García.

- A la altura del Malecón Godofredo García, se identifica la presencia de una capa superficial de material aluvial, emplazada sobre capas de grava y material fino. Según los resultados obtenidos con los métodos sísmicos, predominan material medianamente compacto en las dos primeras capas con un espesor promedio de 20 metros para luego disminuir hasta 14 metros conforme se tiene hacia el Malecón Bernales. La zona del Conjunto Residencial Marbella-ENACE se emplaza en una zona de depresión del acantilado y parte de las calles Alberto Yabar con Malecón Bernales, corresponden a una zona de quebrada rellena con bajo contenido de humedad; sin embargo, al borde del acantilado se presenta niveles altos de humedad hasta profundidades de 50 metros.

Las interpretaciones detalladas se correlacionan con los resultados obtenidos a partir de las razones espectrales para puntos ubicados sobre los mismos estratos. El primer estrato de menor espesor presenta frecuencias $F > 10\text{Hz}$; el segundo estrato de mediano espesor y el estrato de mayor espesor con frecuencias de $F < 2.0\text{ Hz}$.

En conclusión, en el distrito de Magdalena del Mar, a nivel superficial, los suelos presentan baja compacidad y densidad por estar constituidos por materiales heterogéneos y de rellenos poco compactos; mientras que, a mayor profundidad las capas del subsuelo presentan mayor rigidez y densidad por estar constituidos por gravas y conglomerados consolidados. Asimismo, entre la Bajada de Marbella y la calle Alberto Yabar, y en el Conjunto Residencial Marbella-ENACE, se ha identificado la presencia de estratos permeables con alto contenido de humedad a diferentes niveles de profundidad, debido a la presencia de materiales finos como limos o arcilla de mayor permeabilidad, presentándose zonas de depresión hacia el borde del acantilado. Asimismo, en la calle Alberto Yabar se ha identificado la existencia de grietas en el suelo con profundidades de hasta 1 metro. En la zona del Puericultorio Pérez Aranibar y espaldas de la oficina de la ONU, las

grietas alcanzan profundidades de 1 metro; mientras que, en el Jr. Leoncio Prado las grietas que acompañan a suelos deslizados en el 2019 (a la altura del coliseo Aldo Chamochumbi) llegan hasta los 1.5 metros de profundidad (Figura 44).



Figura 44. Imágenes de las grietas observadas en la pared de vivienda (abertura de 3 cm), ubicada en el extremo norte del parque Grau, del ACV en el distrito de Magdalena del Mar.



Figura 44. ... Continuación.../. Imágenes de desplazamiento de 3 cm en el muro de concreto que circunda el Conjunto Residencial Marbella-ENACE, distrito Magdalena del Mar.



Figura 44. ... Continuación.../. Imágenes de erosión en la parte alta del talud y sobre el cual se asientan edificaciones, próximo al Malecón Castagnola y de la oficina de seguridad ciudadana.

3.2.- Zonas de quebradas

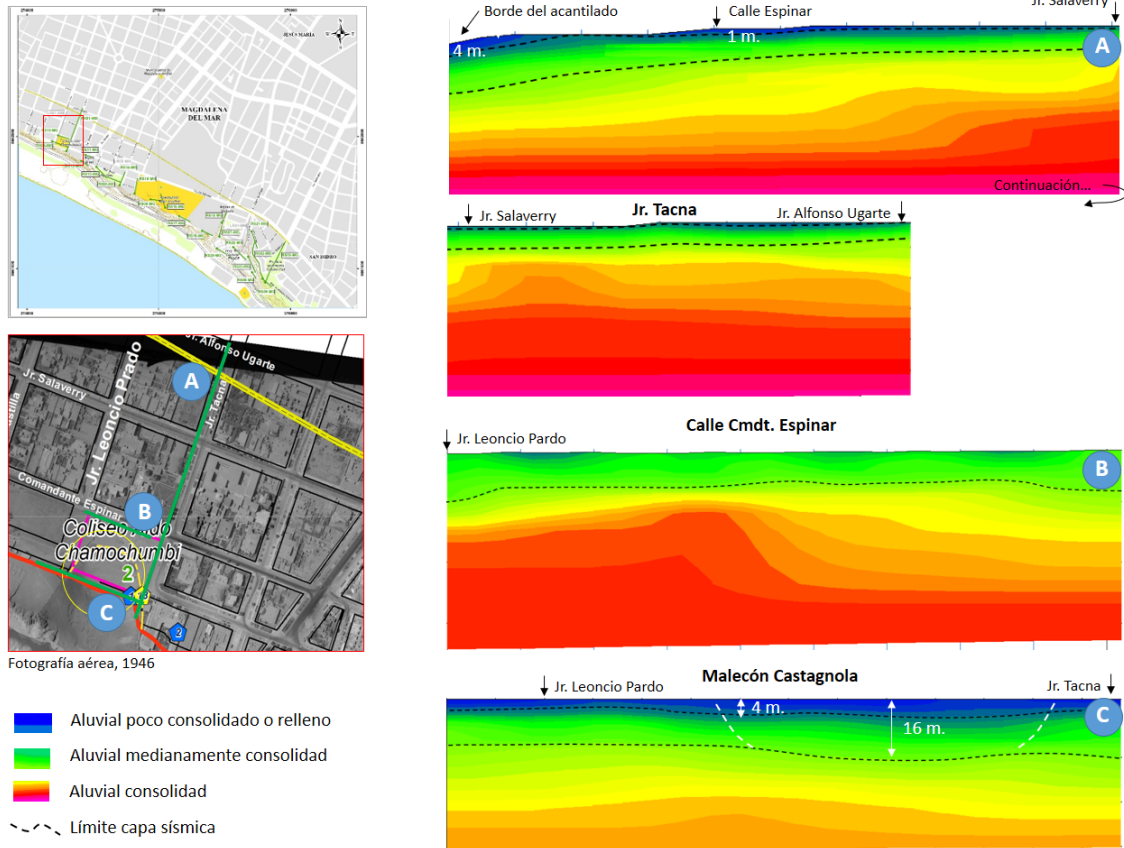
Haciendo uso de fotografías aéreas del año 1946, en los acantilados del distrito de Magdalena del Mar se han identificado la presencia de áreas que inicialmente fueron cárcavas o quebradas y con el tiempo fueron rellenas con la finalidad de aprovechar el espacio. En algunos casos, estas áreas fueron destinadas a parques, jardines y áreas deportivas, pero en su mayoría para la construcción de edificaciones. En el distrito de Magdalena del Mar, estas zonas fueron principalmente dedicadas a áreas de recreación y la construcción de viviendas familiares.

Para un mejor análisis e interpretación, a estas áreas de rellenos se les denominada Quebrada Q1, Q2 y Q3, y sus características se detallaran a continuación:

Quebrada Q1: Presente en el coliseo Aldo Chamocho y para su análisis se considera los resultados mostrados en la Figura 45. La sección A, realizada sobre el Jr. Tacna, muestra la variación de los espesores de la capa superficial del suelo de 4 metros al borde del acantilado hasta 1 metro en la calle Cmdt. Espinar (a 40 metros del borde del acantilado). Hacia el norte de esta calle (sección B), la capa de suelos tiende a disminuir este espesor.

En la sección C, Malecón Castagnola, la capa superficial de suelos heterogéneos presenta un espesor de 4 metros a la altura del coliseo Aldo Chamocho, y luego disminuye a los extremos en dirección del Jr. Leoncio Pardo y Jr. Tacna. Esta capa superficial, de relleno son depositados sobre material aluvial medianamente compacto que alcanza los 16 metros de espesor en el borde de acantilado, para luego disminuir a 8 metros a la altura de la calle Espinar.

Quebrada Q1



Quebrada Q2: Presente al final de la Av. Sucre y la bajada Brasil. Se ha realizado 3 líneas de RS adicionales y los resultados son mostrados en la Figura 46. En la Av. del Ejército (sección D), se observa una capa superficial, que al inicio de la línea próximo a la Av. Sucre, no se evidencia, pero conforme se avanza hacia su extremo SE (grifo Primax) llega a presentar un espesor de 3 metros. En la bajada Brasil (sección E), se evidencia un tramo de la capa superficial con espesores de 3 metros y que al final de la línea (hacia la calle Unanue), desaparece.

En el Parque Grau (sección F), la capa superficial de suelos presenta espesores de 3 metros al inicio de la línea, para luego incrementarse hasta 8 metros al borde del acantilado. En general, en este sector el suelo menos consolidado alcanza los ~12 a 16 metros de espesor.

Quebrada Q2

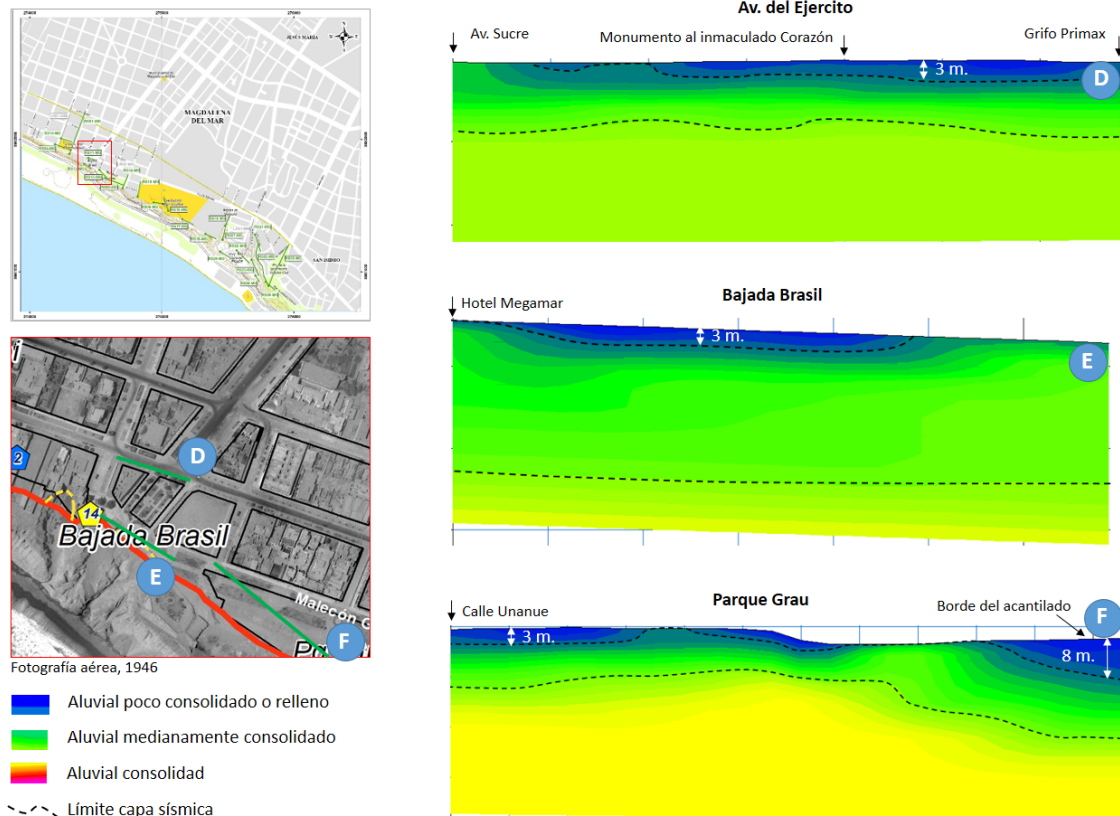


Figura 46. Análisis de los resultados obtenidos entre la Av. del Ejército, la Bajada Brasil y el parque Grau.

Quebrada Q3: Presente en la bajada y residencial Marbella. Aquí se han realizado 4 líneas de RS adicionales y los resultados se muestran en la Figura 47. En la bajada Marbella y residencial Marbella (sección G), la capa superficial presenta espesores de 2 metros.

La sección H, está ubicada dentro de la residencial Marbella, la capa superficial solo se presenta en un tramo con espesores de hasta 5 metros a la altura de la capilla y en dirección al estacionamiento. En cuanto a la sección J, el espesor de la capa superficial alcanza los 2 metros al inicio y en la parte media de la sección, correspondiendo a antiguas quebradas rellenas.

En la sección I, ubicada en la residencia Marbella, el suelo superficial presenta espesores de hasta 3 metros y en promedio, el suelo menos consolidado alcanza los ~15 metros de espesor.

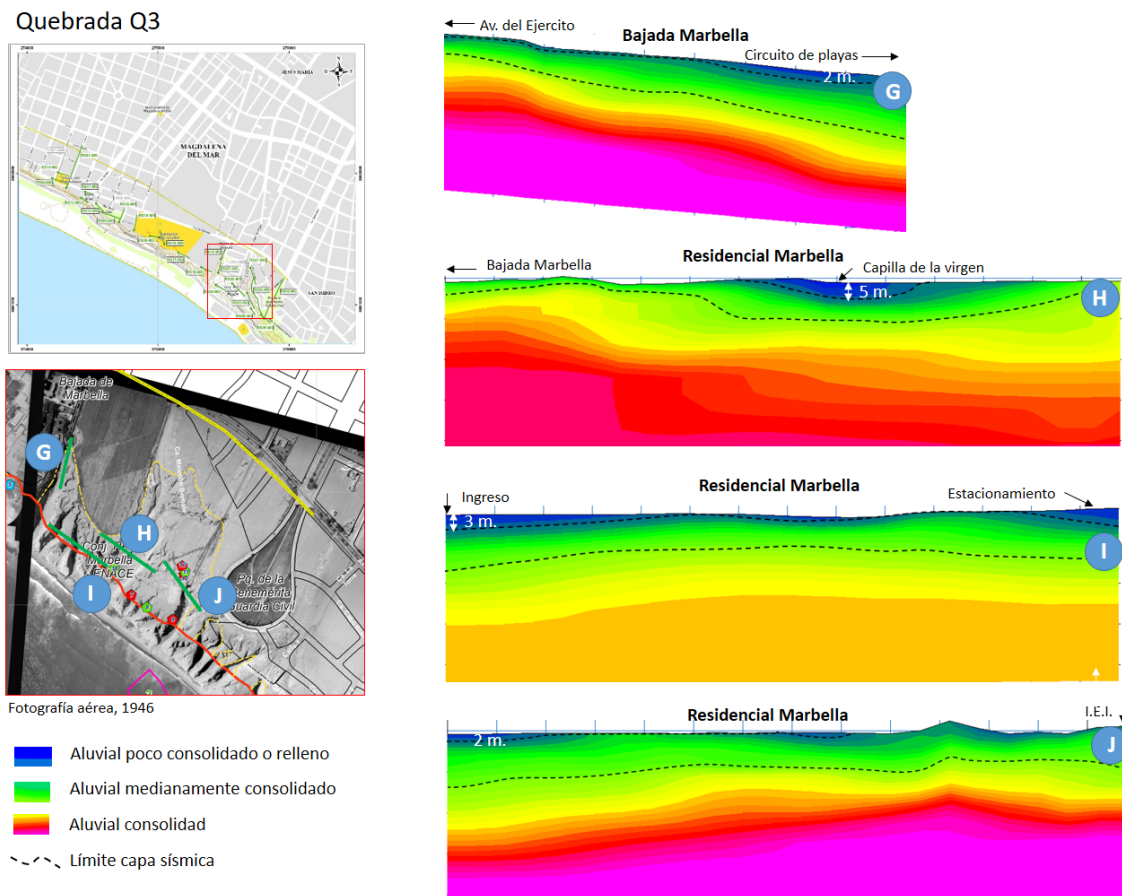


Figura 47. Análisis de los resultados obtenidos en la bajada y residencia Marbella.

Según estos resultados, la Quebrada Q3 contiene suelos de relleno con espesores que alcanzan los 15 metros al borde del acantilado, a la altura de la Residencial Marbella. Actualmente, estos suelos vienen siendo parte de regadíos constantes que saturan los suelos y podrían aportar en la generación de asentamientos y agrietamientos durante un evento sísmico.

3.3. Delimitación de zonas de mayor riesgo por sismos

La aplicación de métodos geofísicos para evaluar el comportamiento dinámico de los suelos en los ACV del distrito de Magdalena del Mar, ha permitido identificar espacialmente, la ubicación aproximada de la línea

límite paralela al acantilado, que en superficie separaría los suelos estables de los inestables y que ante la ocurrencia de un sismo de elevada magnitud podrían experimentar asentamientos diferenciales y/o deslizamientos en dirección de la Vía Circuito de Playas. Para el distrito de Magdalena del Mar, el análisis de los resultados obtenidos se realiza de manera sectorizada de acuerdo a la Figura 43:

Sector A - MG: *Considera el área del acantilado, entre la calle Diego Agüero (extremo norte) y el Jr. Antonio Raymondi. En este sector el límite que separa, en superficie, los suelos con diferente comportamiento dinámico, se encuentra a 60 metros del acantilado, el mismo que se incrementa progresivamente a 100 metros hacia su extremo sur, desde la calle Unanue hasta el Jr. Antonio Raymondi.*

En este sector se ha identificado la presencia de suelos con moderado contenido de humedad hasta una profundidad de 20 metros, así como la presencia de deslizamientos y grietas con una profundidad de hasta los 1.5 metros, también hay presencia de asentamientos en el suelo en el Malecón Grau.

Sector B – MG: *Considera el área del acantilado, entre el Jr. Antonio Raymondi (extremo norte) y la Bajada de Marbella. En este sector el límite que separa, en superficie, los suelos con diferente comportamiento dinámico, se encuentra a 100 metros del acantilado y aumenta progresivamente hasta 130 metros en su extremo sur. Este sector se encuentra en el interior del Puericultorio Pérez Aranibar y la parte posterior de las oficinas de la ONU.*

En este sector los suelos presentan entre bajo y moderado contenido de humedad de manera focalizada y la presencia de agrietamiento en el suelo que alcanzan 1.5 metros de profundidad. Estas grietas ocasionan problemas geotécnicos (grietas, asentamientos), como los observados en el Puericultorio Pérez Aranibar (canchas deportivas) hacia el borde del acantilado.

Sector C – MG: *Considera el área del acantilado, entre la Bajada de Marbella (extremo norte) y la Av. Salaverry. En este sector el límite en superficie que separa, los suelos con diferente comportamiento dinámico, se encuentra a 130 metros de distancia del acantilado y aumenta progresivamente a 250 metros en la calle Alberto Yabar y disminuye progresivamente hacia su extremo sur límite con el distrito de San Isidro hasta los 60 metros.*

Los suelos tienen el predominio de material aluvial con alto contenido de humedad hasta profundidades de 50 metros. Esto es debido a la presencia de áreas verdes y cuyos sistemas de regadío ocasionan problemas geotécnicos (grietas, asentamientos), como los observados en el Conjunto Residencial Marbella y hacia el Malecón Godofredo García.

CONCLUSIONES

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

•A lo largo del acantilado, se define la existencia de tres capas sísmicas:

- La primera capa con velocidades $V_p = 350$ a 580 m/s y $V_s = 200$ a 345 m/s, y espesores del orden de 2 a 8 metros. Los suelos están compuesto por material aluvial suelto a medianamente compacto (densidad de 0.16 gr/cm^3).*
- La segunda capa con velocidades $V_p = 580$ a 1180 m/s y $V_s = 390$ a 550 m/s, y espesores de 4 a 14 metros. Estos suelos están compuestos de material aluvial medianamente consolidado (1.8 gr/cm^3).*
- La tercera capa con velocidades $V_p > 1180$ m/s y $V_s = 550$ a 620 m/s, y espesores que superan los 10 metros. Estos suelos están compuestos por material aluvial consolidado (2.0 gr/cm^3).*
- A mayor profundidad, la velocidad de las ondas de corte V_s supera los 700 m/s, indicando la presencia de suelos compactos compuestos por gravas*

•A lo largo de todo el acantilado, los suelos poco a moderadamente consolidados, son parte de una capa que disminuye su espesor desde el acantilado hasta una distancia de 100 metros hacia el área urbana; de 12 a 5 metros. El menor espesor de esta capa es menor en la zona central del acantilado, evidenciando mayor consistencia respecto a sus extremos norte y sur.

•El límite del acantilado, entre la zona del Malecón Castagnola y Jr. Leoncio Prado (extremo noroeste), se ha identificado la existencia de horizontes

geoeléctricos con alto a moderado contenido de humedad y espesores de 20 a 35 metros, lo cual contribuye a la generación de deslizamientos, tal como ocurrió en el año 2019 en el Malecón Castagnola (a la altura del coliseo Aldo Chamochumbi).

- Entre el parque Grau y el Puericultorio Pérez Aranibar (zona central), se ha identificado la existencia de dos horizontes geoeléctricos, uno con bajo contenido de humedad y el otro con moderado contenido de humedad que se presenta en forma de lentes y con un espesor de 50 metros. A mayor profundidad los suelos no muestran humedad.*

- En el Conjunto Residencial Marbella-ENACE y Malecón Godofredo García (extremo sureste), se ha identificado la existencia de un horizonte geoeléctrico de 40 metros de espesor con moderado a alto contenido de humedad. El alto grado de humedad, se asocia a las extensiones de áreas verdes que están siendo regadas continuamente, y que en el tiempo generan problemas geotécnicos como deslizamientos, asentamientos, desplazamientos y la formación de grietas en el suelo, tal como ocurre en el área del Malecón Castagnola (coliseo Aldo Chamochumbi) y en el Conjunto Residencial Marbella-ENACE.*

- De acuerdo a los resultados obtenidos con la técnica del georadar, en el Puericultorio Pérez Aranibar se observa la presencia de áreas afectadas por asentamientos que alcanzan desniveles hasta profundidades de 1.5 metros y en las instalaciones de la ONU y en el parque Grau, hasta 2 metros de profundidad. Asimismo, en el Jr. Leoncio Prado se han identificado la presencia de grietas en el Malecón Castagnola que llegan hasta profundidades de 1 metro y en el Conjunto Residencial Marbella-ENACE, desplazamientos y grietas que se profundizan hasta 1.5 metros. Además, por las calles Alberto Yabar y Malecón Bernales, las grietas alcanzan 1 metro de profundidad.*

• *Los resultados obtenidos con razones espectrales, evidencian que 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 ACV en el distrito de Magdalena del Mar, 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 la calle Comandante Espinar al noroeste y la Av. del Ejército (hasta el Jr. Antonio Raymondi) cruza el Puericultorio Pérez Aranibar hacia la Calle 3 hasta el extremo sureste límite con el distrito de San Isidro en el parque de la Benemérita Guardia Civil. Este límite se encuentra a distancias que varían entre 60 a 250 metros desde el 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: Extremo oeste del Jr. Leoncio Prado (Malecón Castagnola), Av. Sucre (Hotel Megamar), Jirones Larco Herrera y Francisco Bejarano, parque Grau, Puericultorio Pérez Aranibar, la parte superior del borde de los acantilados de la Bajada de Marbella y algunos sectores del Conjunto Residencial Marbella-ENACE.*

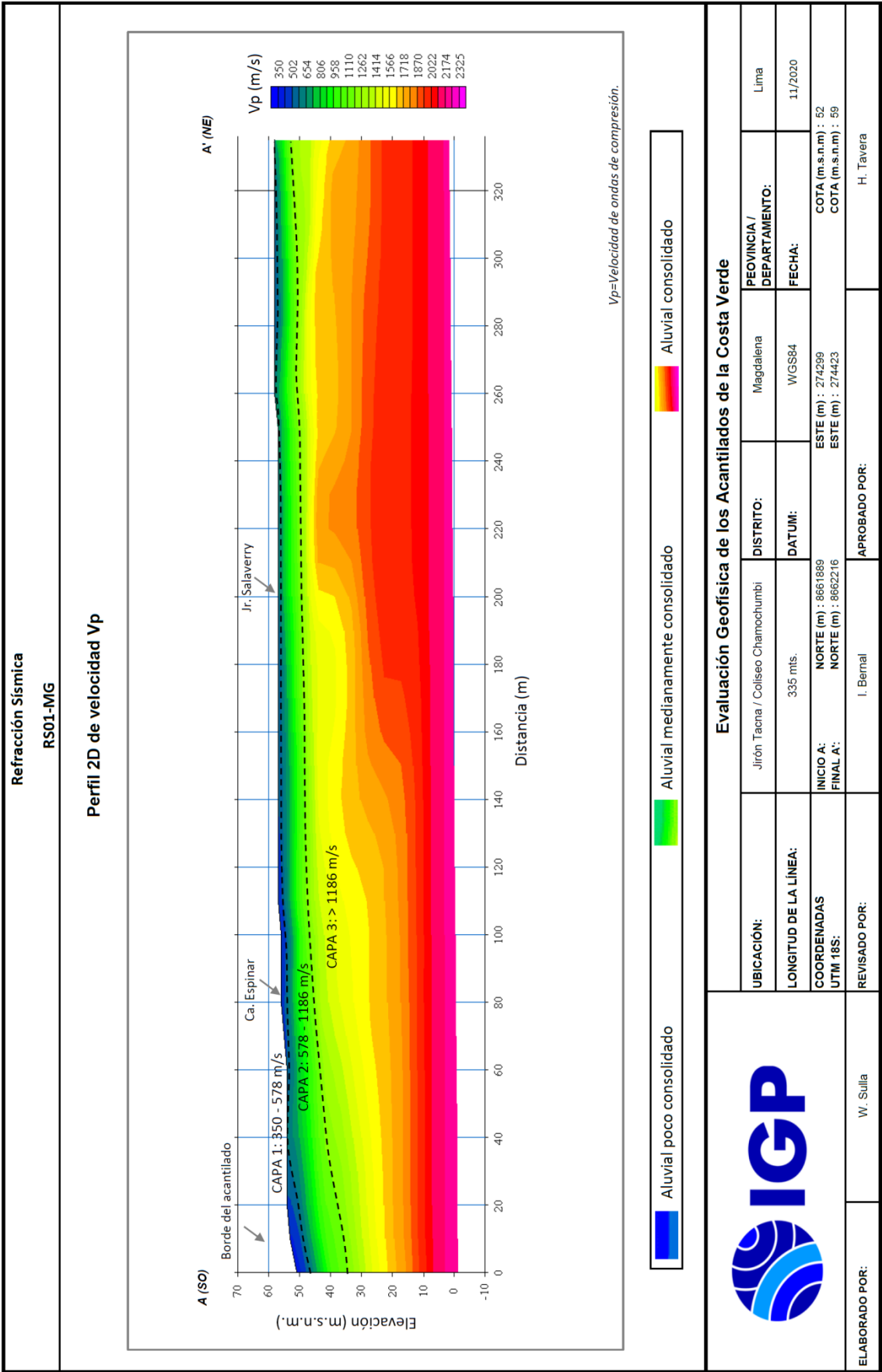
BIBLIOGRAFÍA

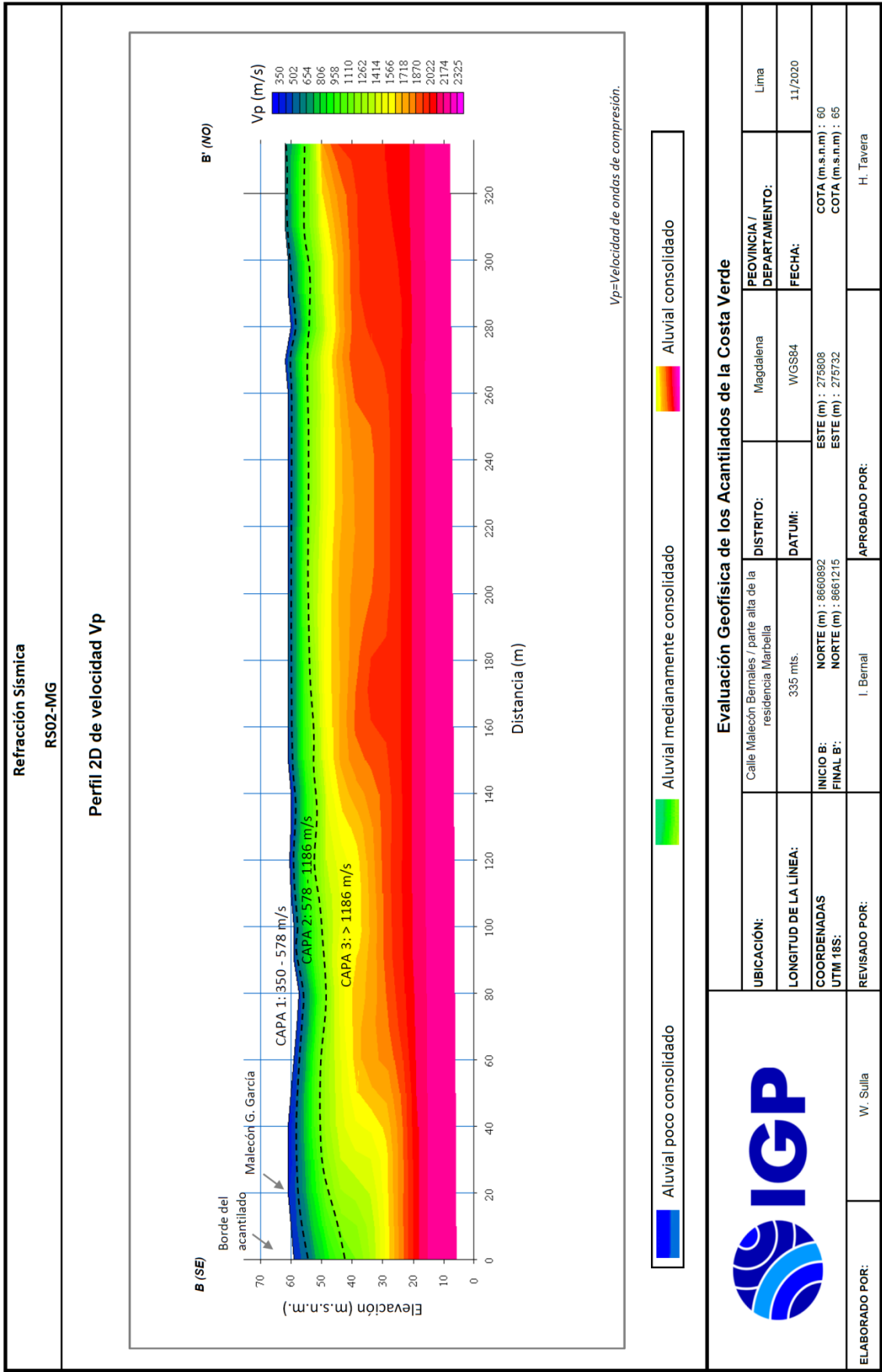
- ASTM D6432-11. Standard Guide for using the Surface ground Penetrating Radar Method for Subsurface, Investigation. <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/astm>.
- CISMID (2017). Microzonificación sísmica del distrito de Magdalena del Mar. Caracterización dinámica del suelo (Apéndice D).
- Díaz, J. (2008). Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Magdalena. Tesis de grado PUCP.
- GSSI, SIR 4000 Manual MN 72-574 Rev H. Geophysical Survey Systems. Inc. 158pp.
- IGP (2020). Estudio geofísico de los Acantilados de la Costa Verde en el distrito de Magdalena del Mar.
- INGEMMET (1997). Estudio de la seguridad física de los Acantilados de la Costa Verde.
- INGEMMET (2019). Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el Malecón Castagnola – Acantilado de la Costa Verde.
- INDECI-PNUD (2008). Vulnerabilidad de edificaciones adyacentes a la bajada Marbella-Costa Verde de Lima.
- Loke M.H. (2004). Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys
- Marrios A. Sánchez-Sesma F. (2015). Full microtremor H/V (Z_f) inversion for shallow subsurface characterization. Geophysical Journal International.
- Mironov V. (1977). Curso de Prospección Gravimétrica. Reverté. Barcelona, España. 542 pp.
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface, Quaterly Report of Railway Technical Research Institute, 30(1):25-33.
- Orellana, E (1982). "Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua". 2° Ed. Madrid: Paraninfo Volumen 1.

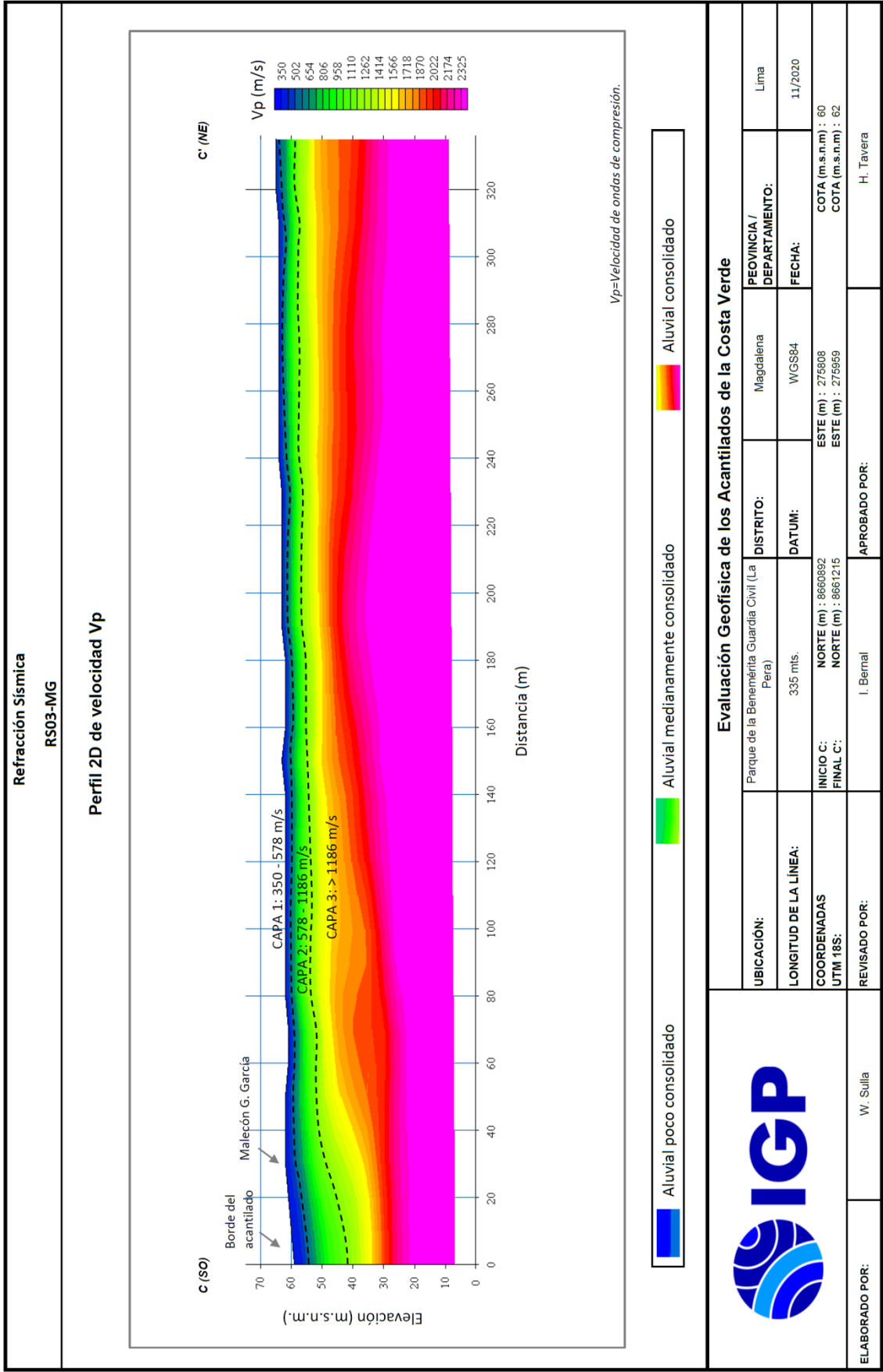
- Pueyo. (2016). Ground penetrating radar evaluation of the internal structure of fluvial tufa deposits (Devanos-A navieja system, NE Spain). *Geophysical Journal International*. 564-566 pp.
- Quintana A. (2013). Aplicación de la Tomografía Eléctrica en la Caracterización del Deslizamiento de Doña Mencía. Tesis de grado para optar el título de maestría en Geofísica y Meteorología. Universidad de Granada, España.
- Reynolds, J.M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Richards B.G. (1985). "Geotechnical aspects of Residual Soils". Southeast Asian Geotechnical. Society, Scorpion Press, Hong Kong.
- 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 (2004). Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations, Research Report WP12, Available online at: <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>.
- Telford W.M, Geldart L.P. and Sheriff R.E. (1990) *Applied Geophysics*. 2ª ed. New York: Cambridge University Press
- Trigo S. T. (2007): Influencia de la amplificación local de las ondas sísmicas y la interacción suelo-fundación en el puente marga-marga.
- 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).

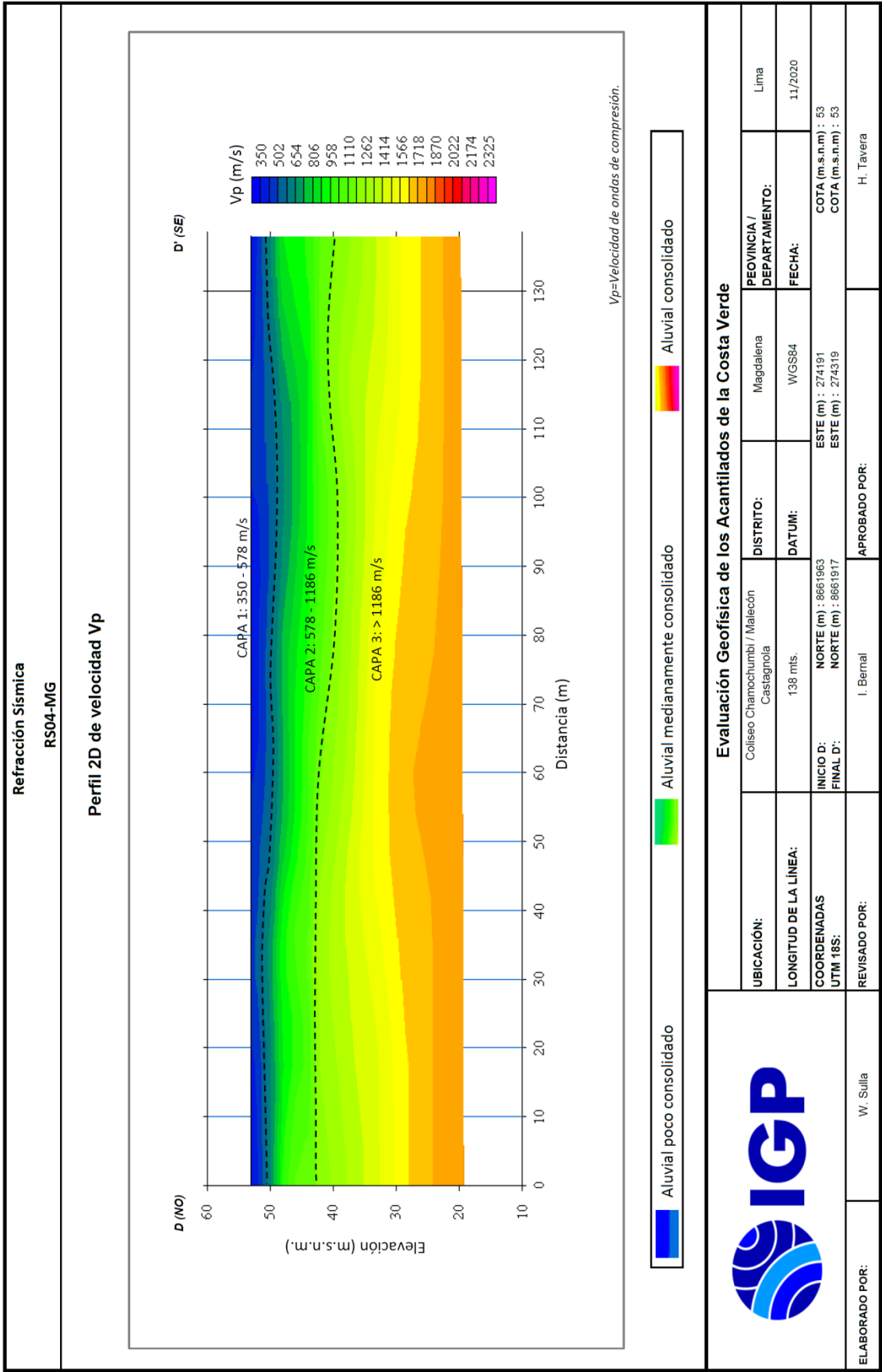
ANEXO I

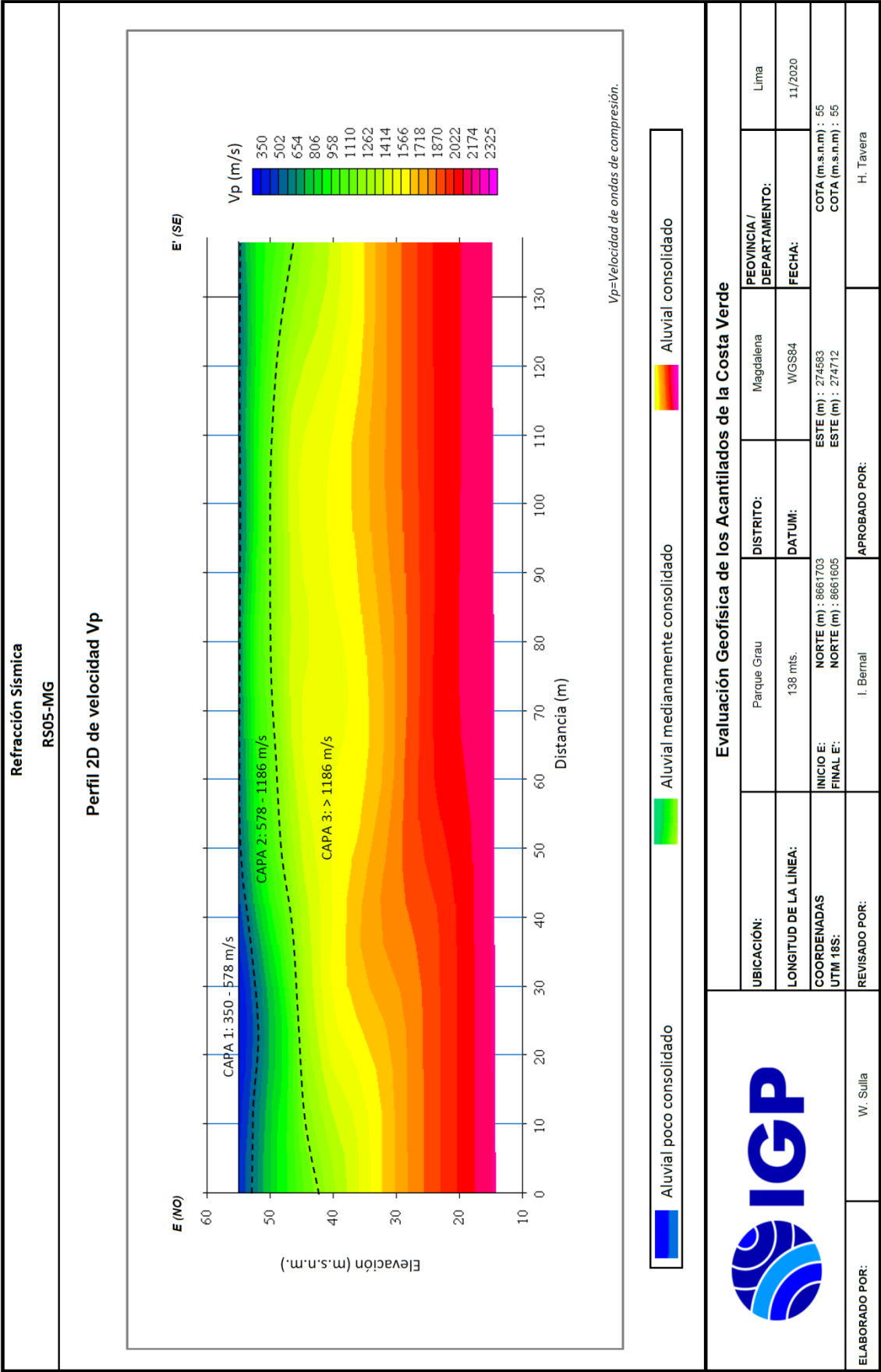
Secciones de Refracción Sísmica

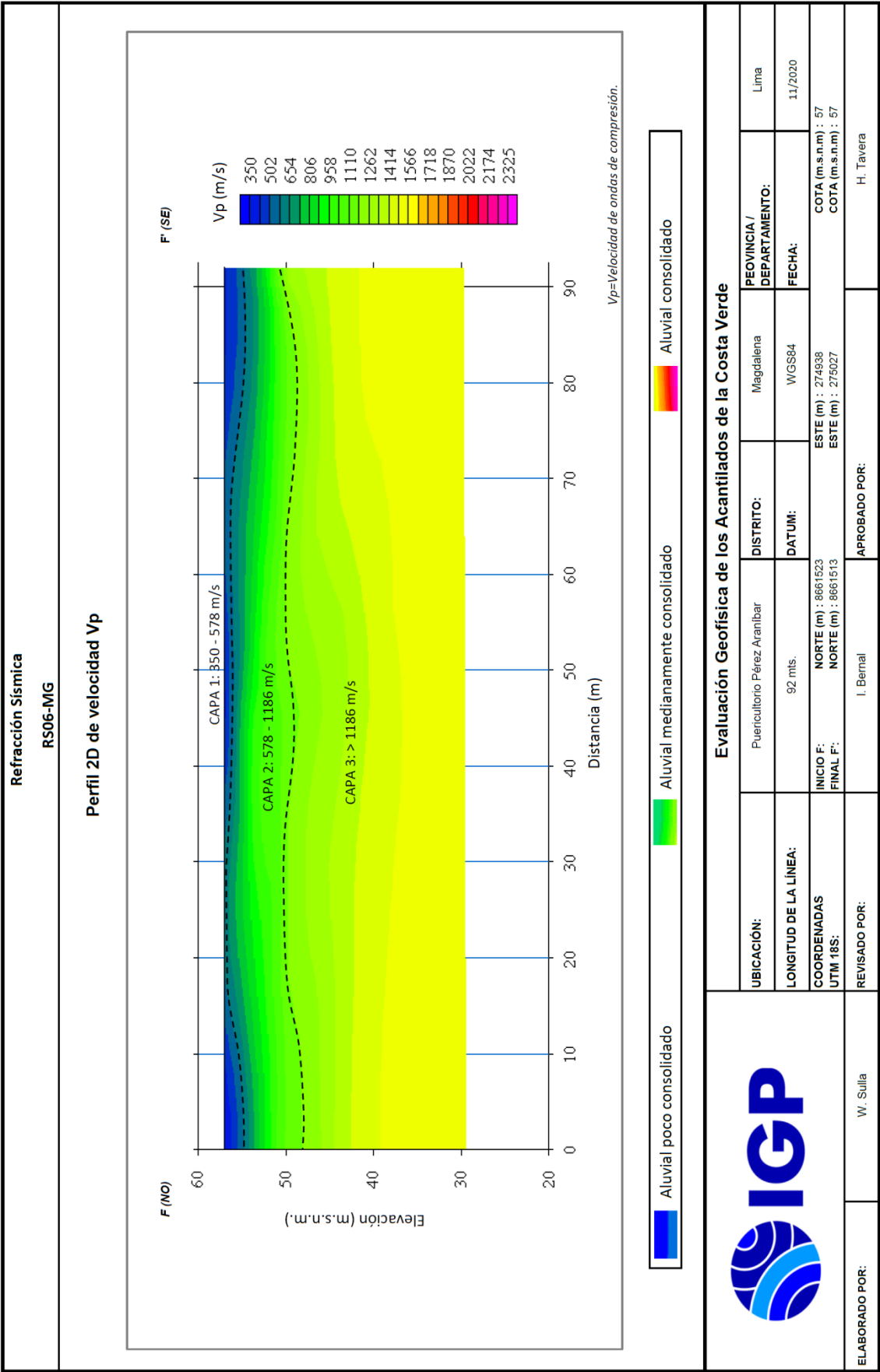


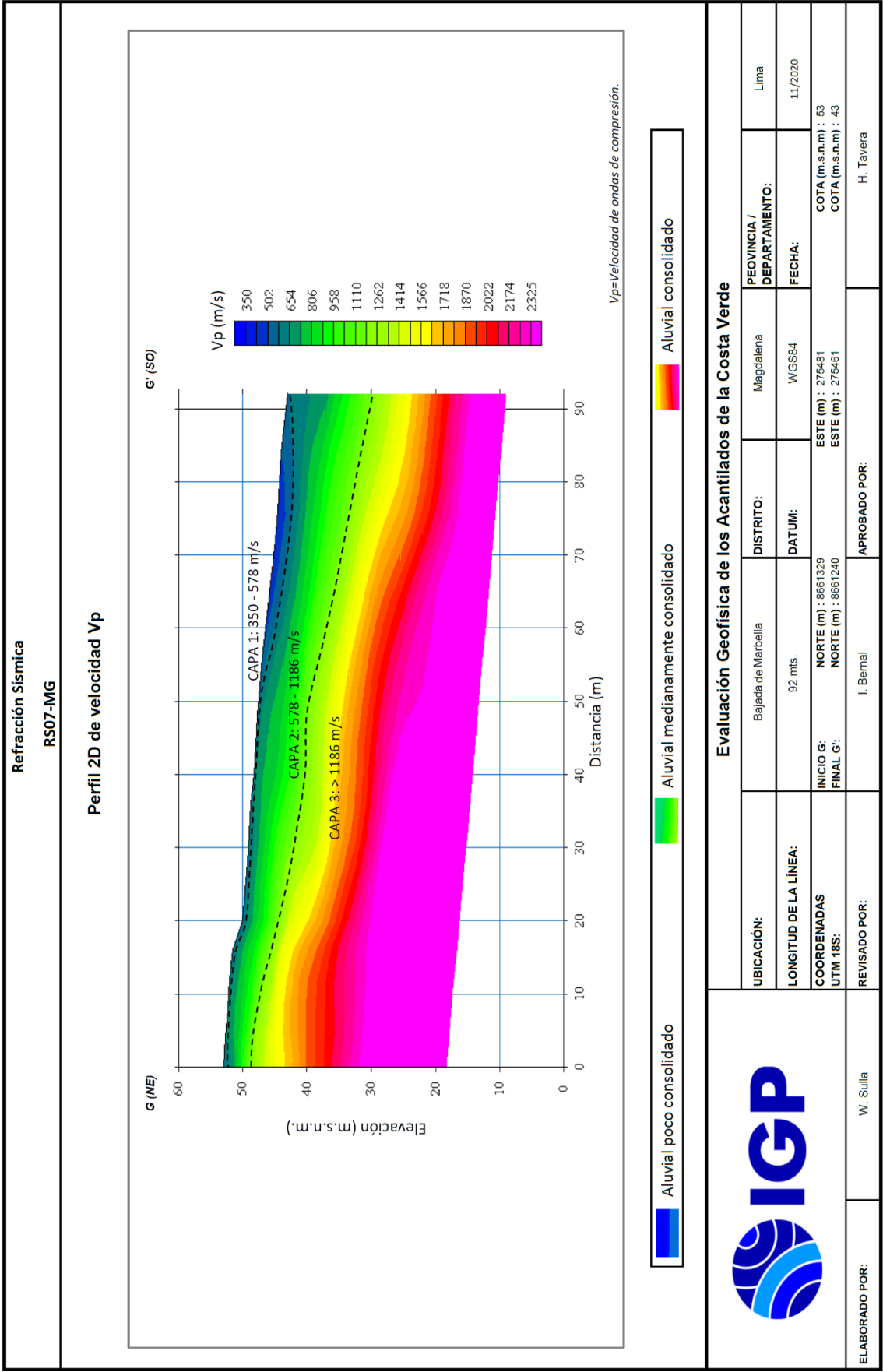




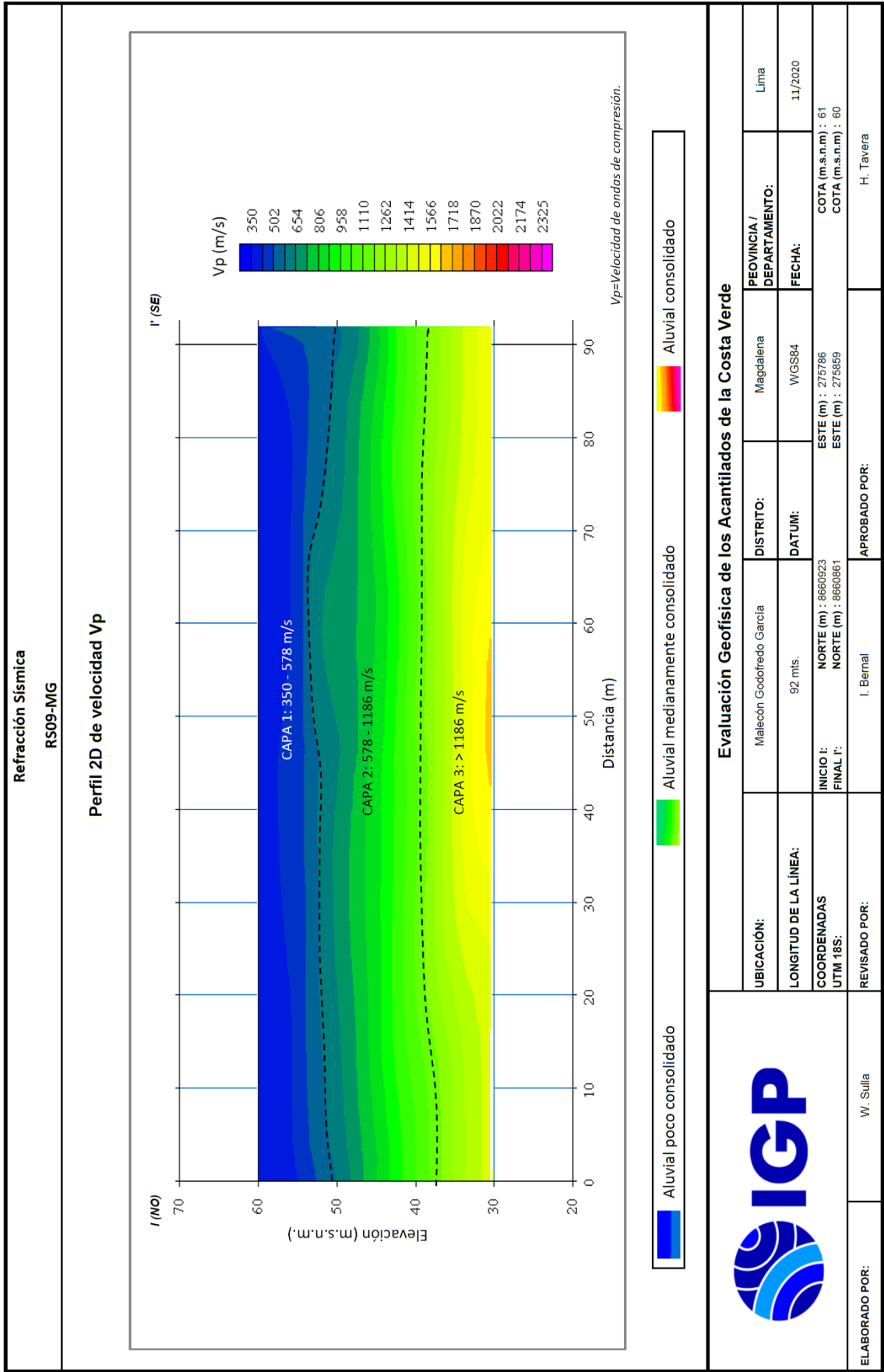


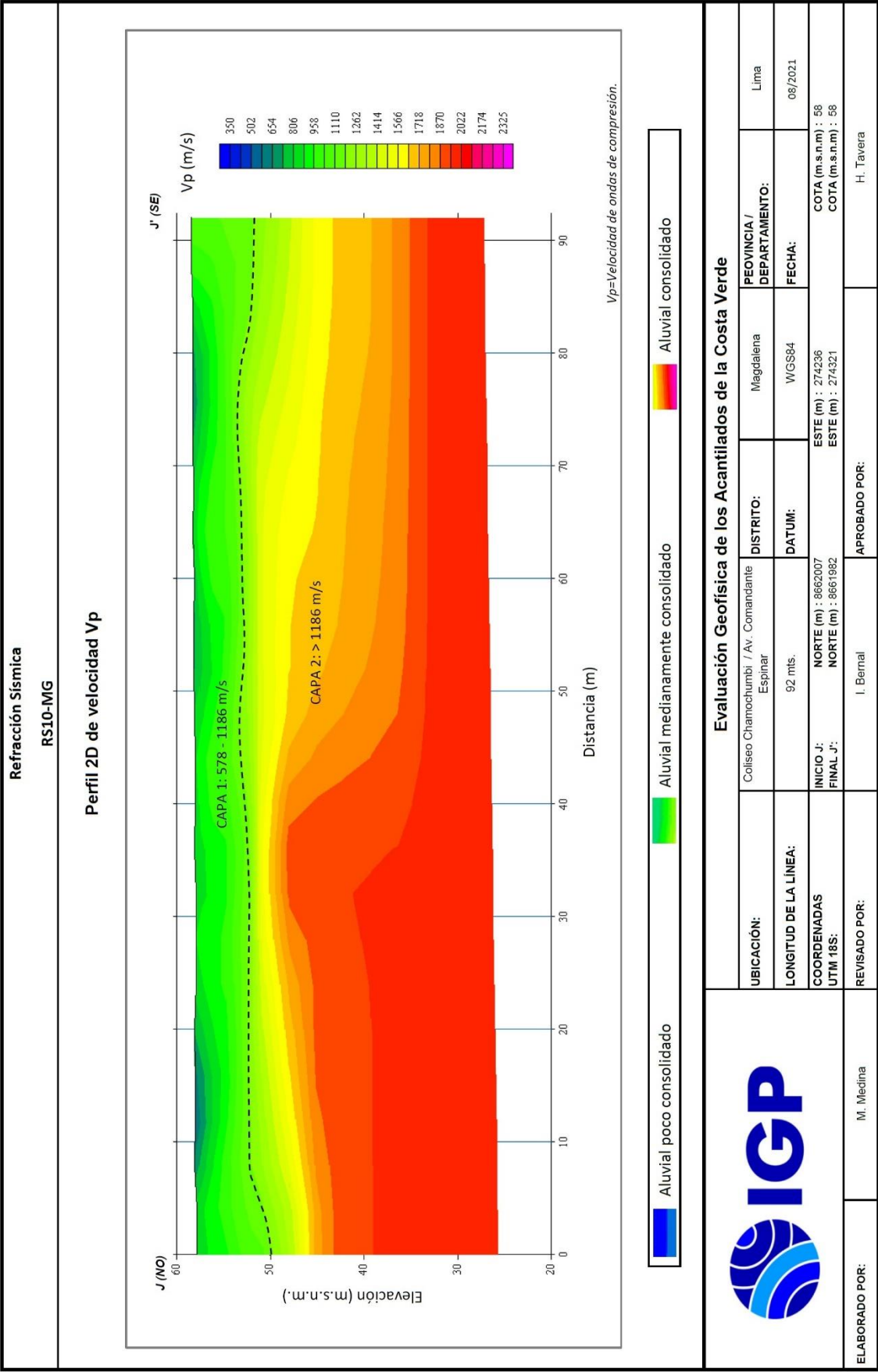


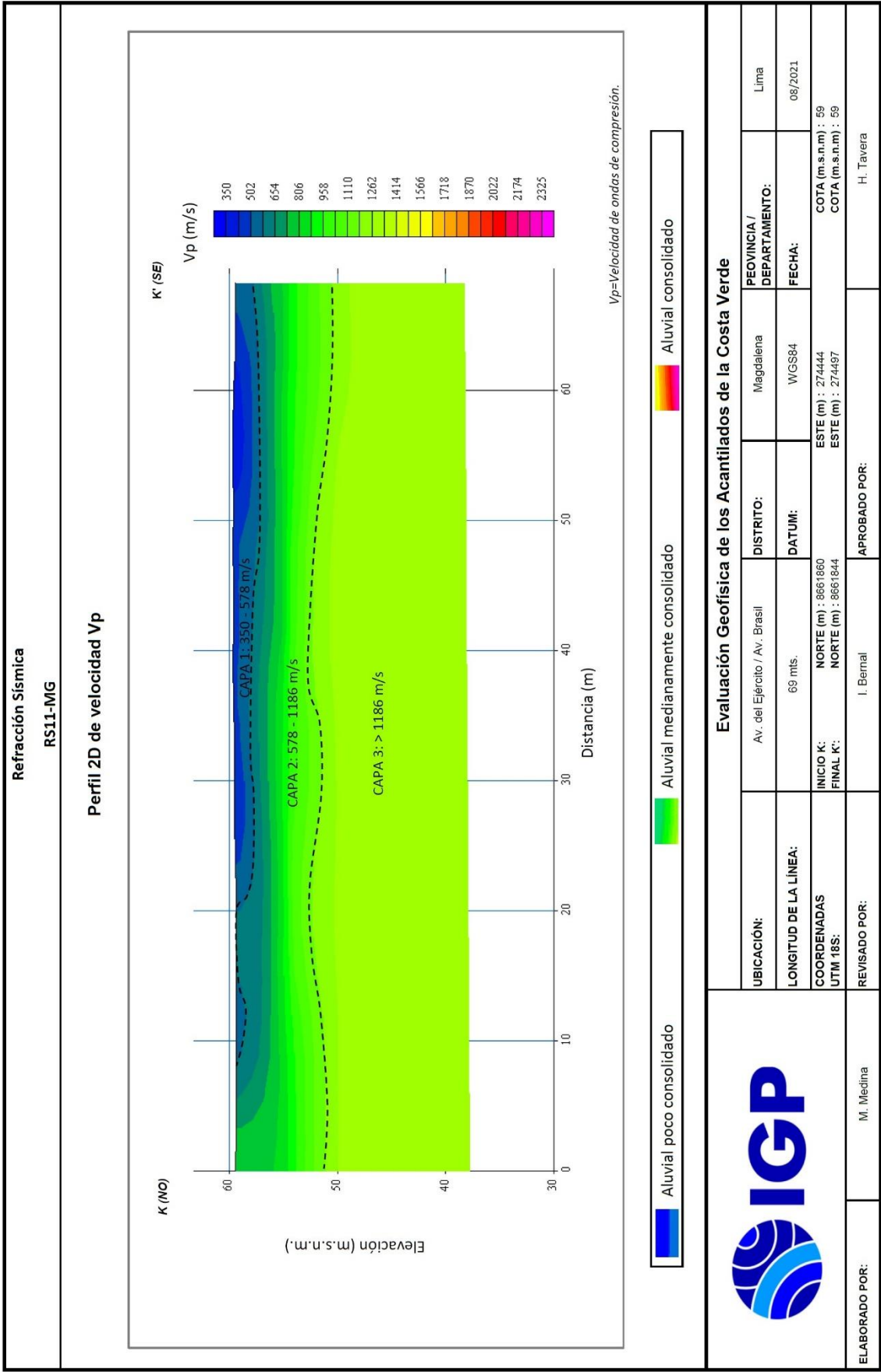


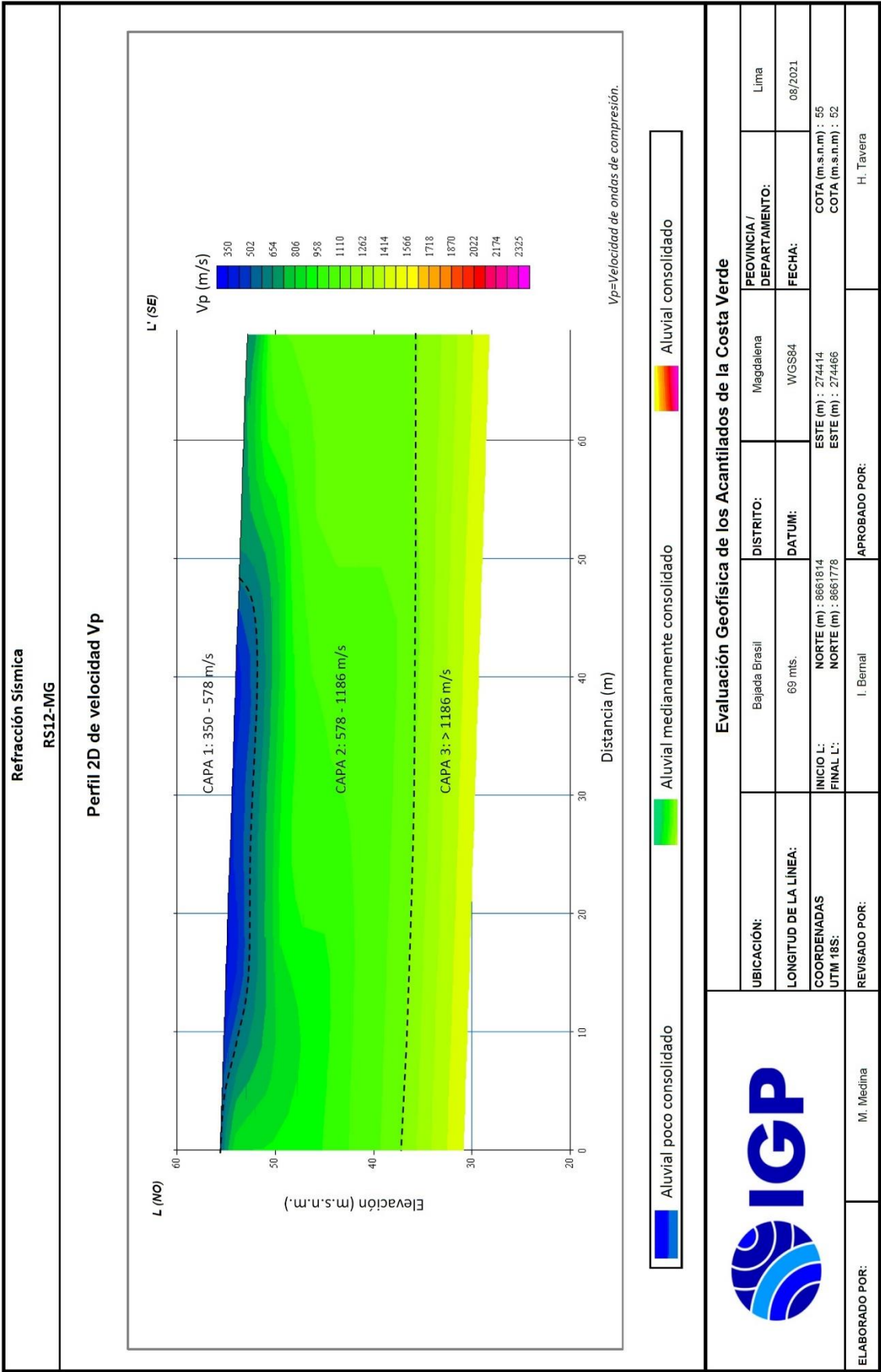


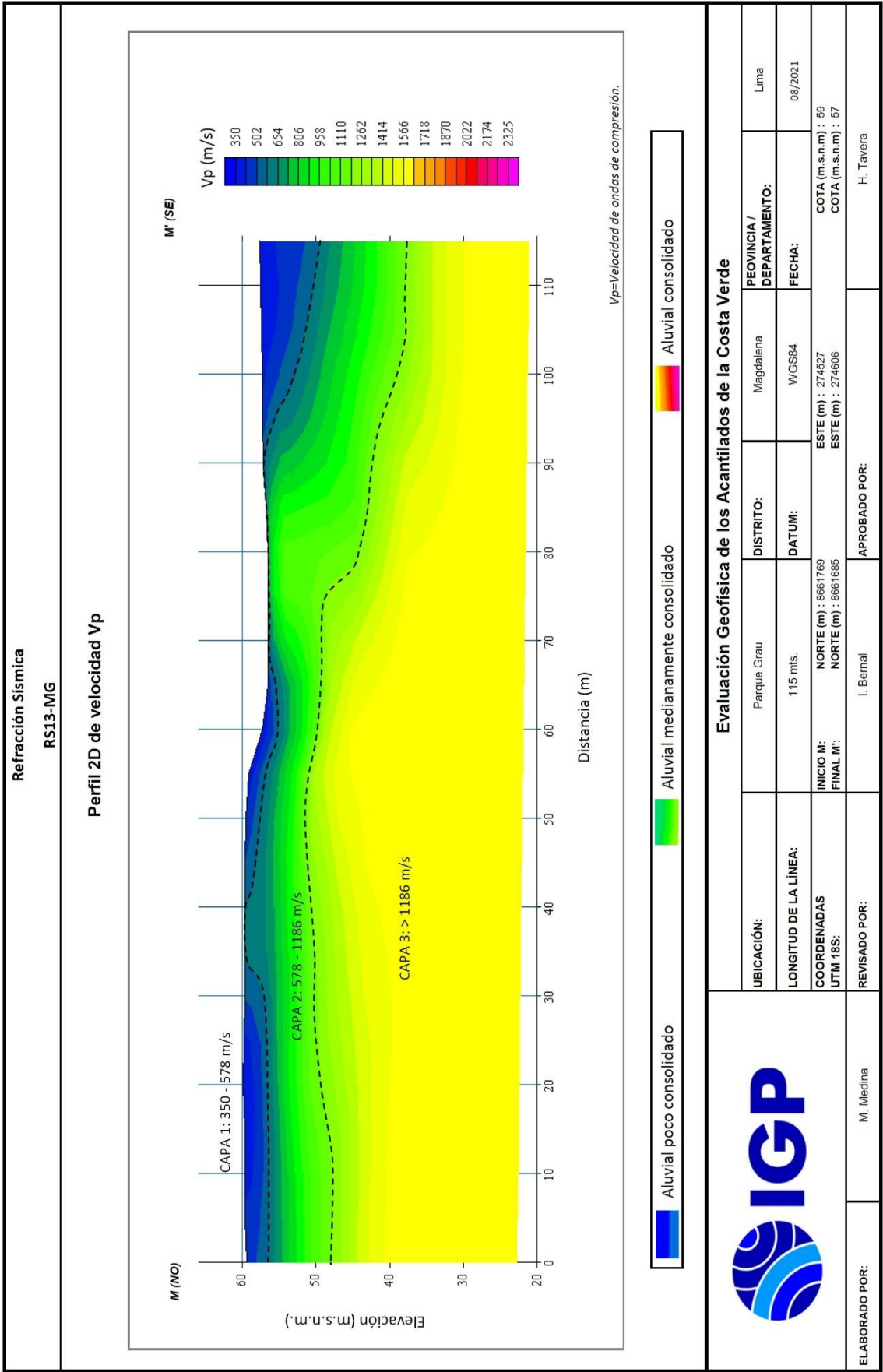


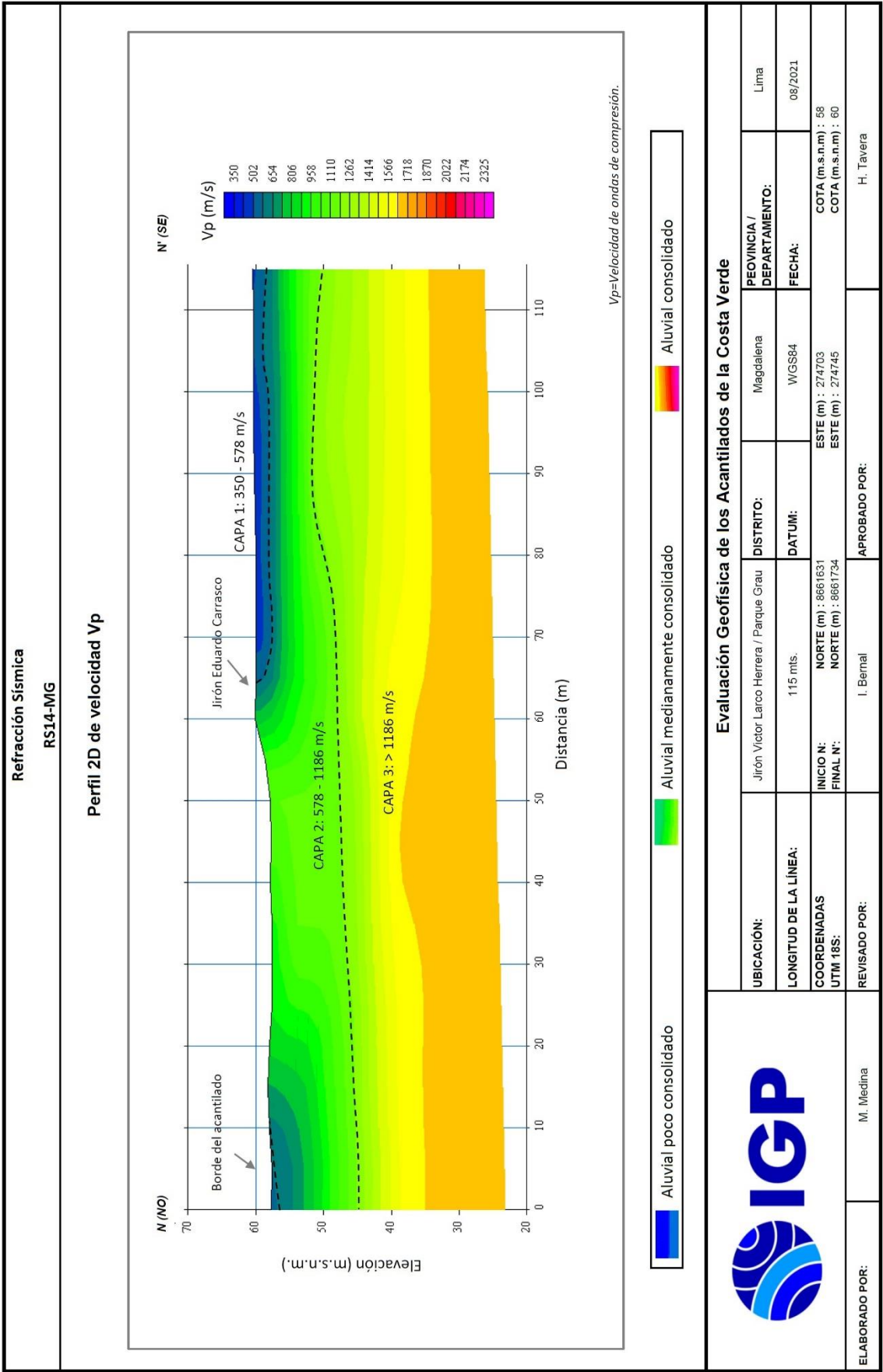


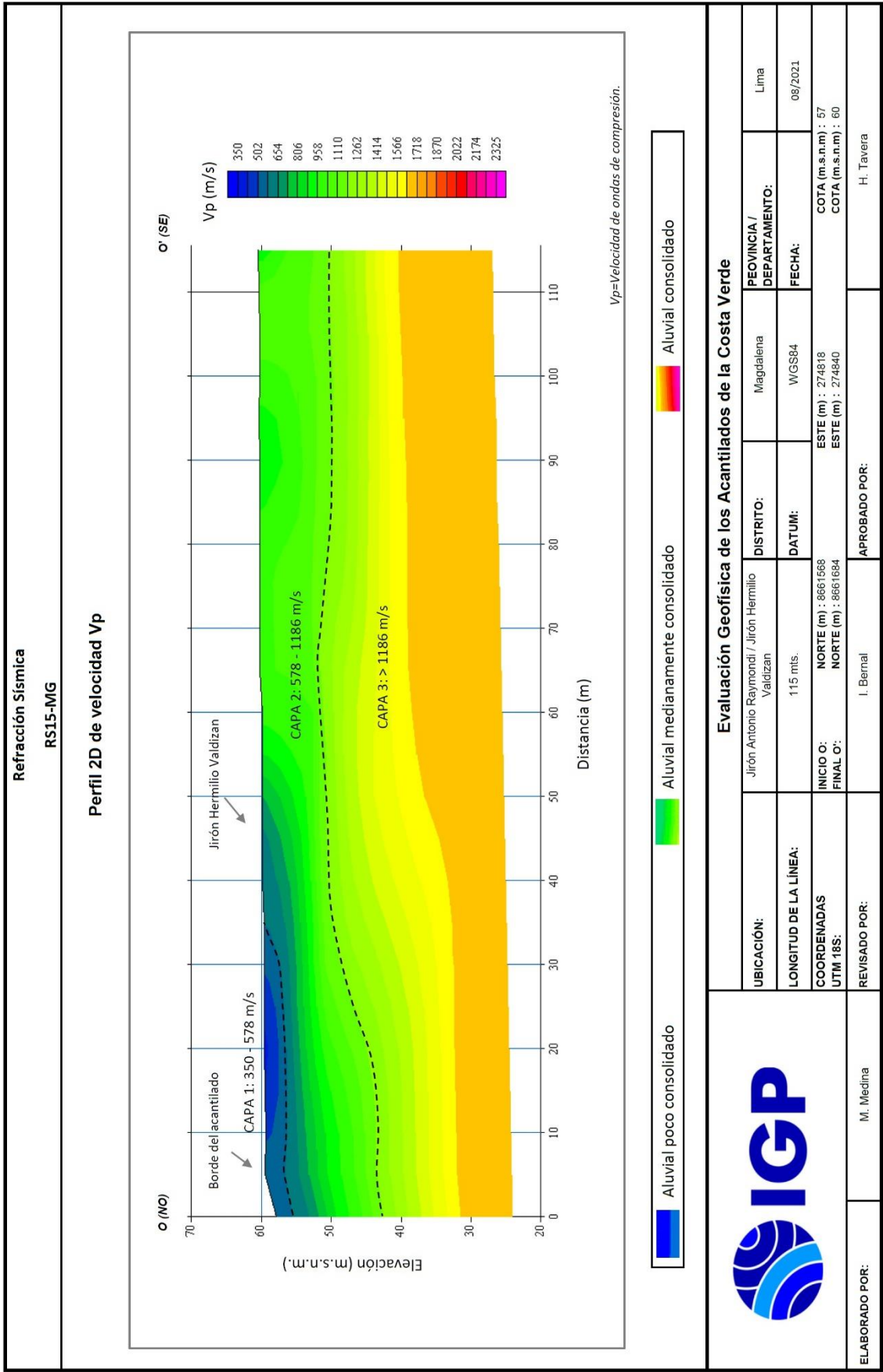


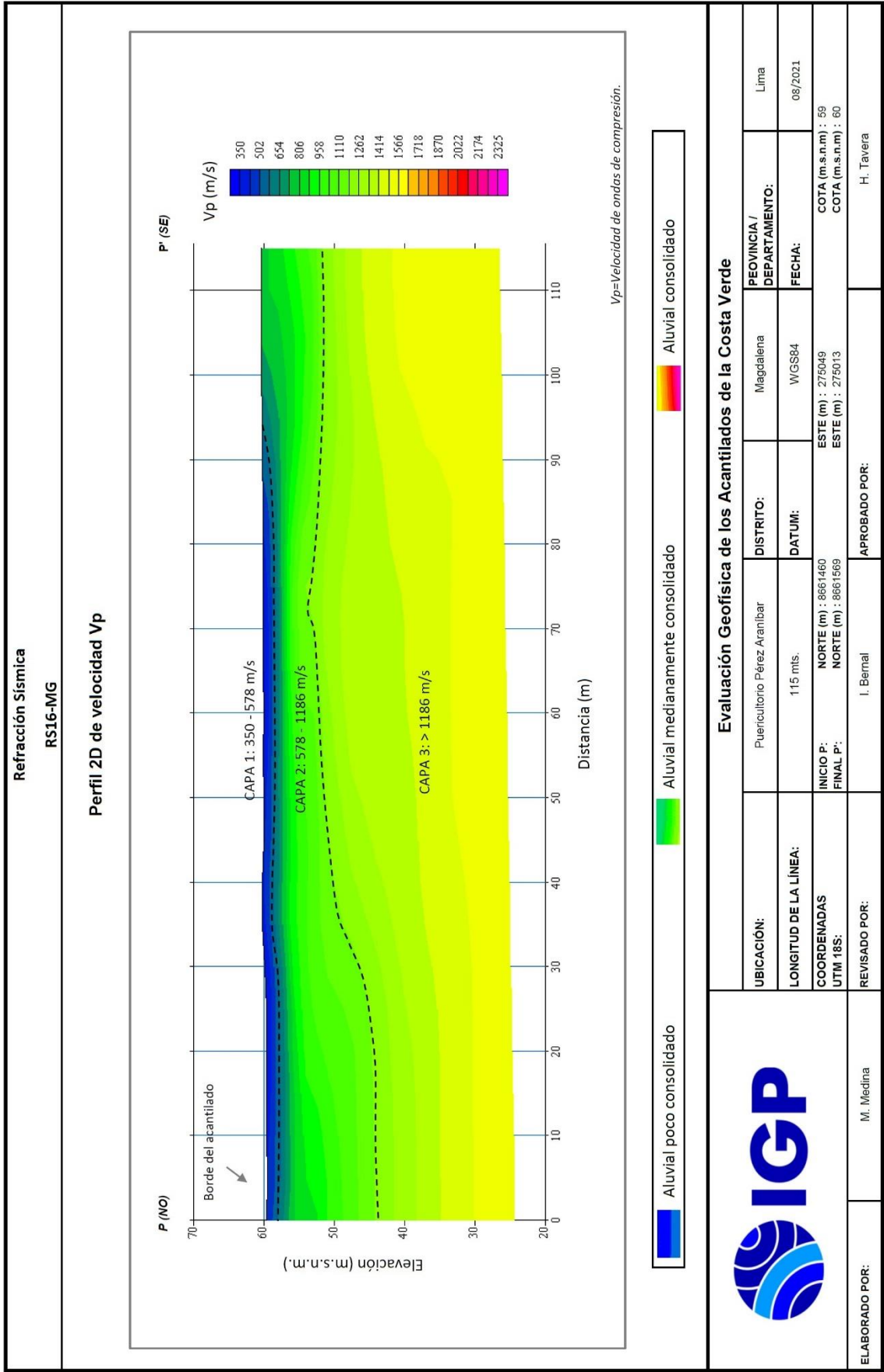


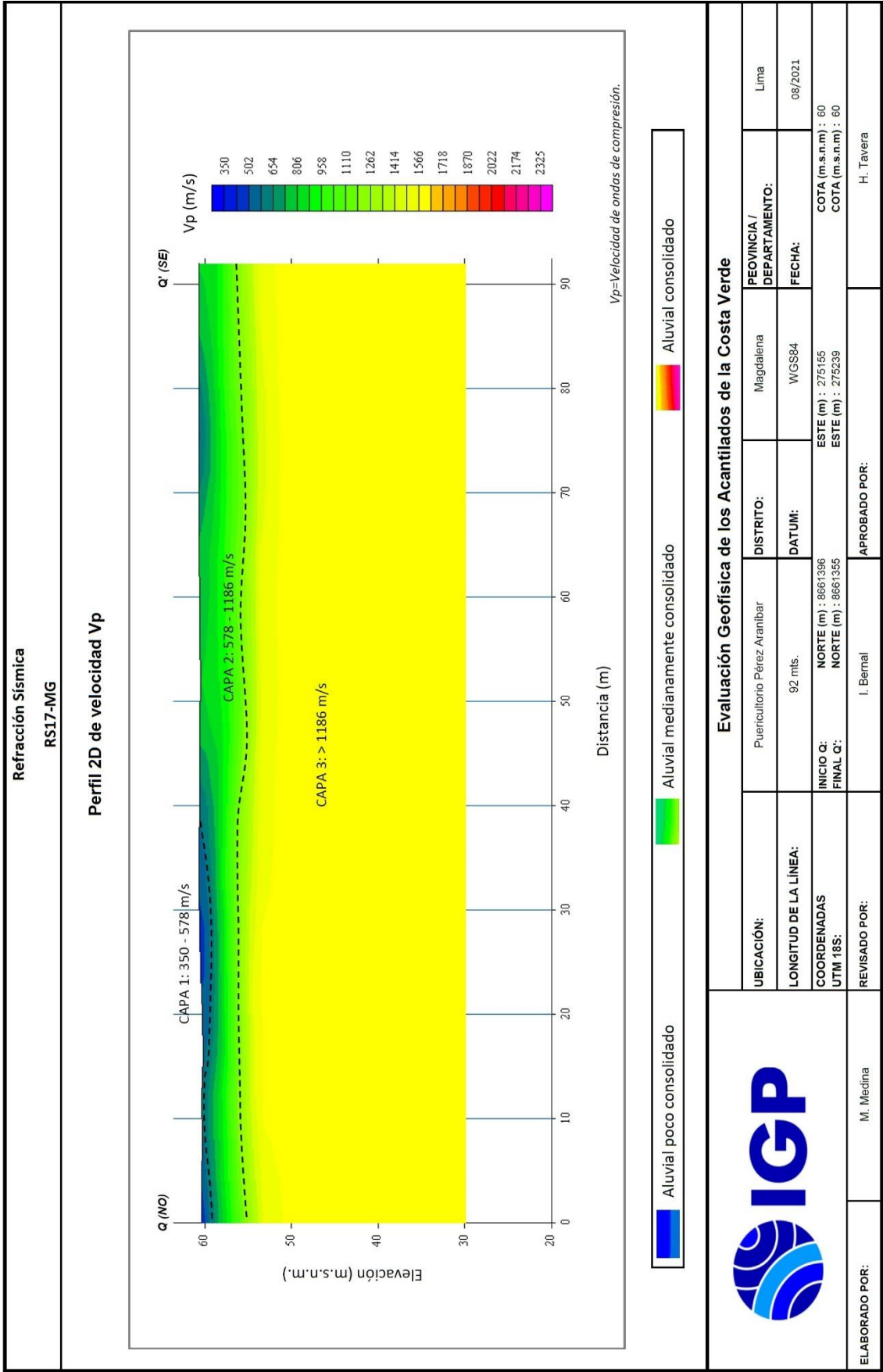


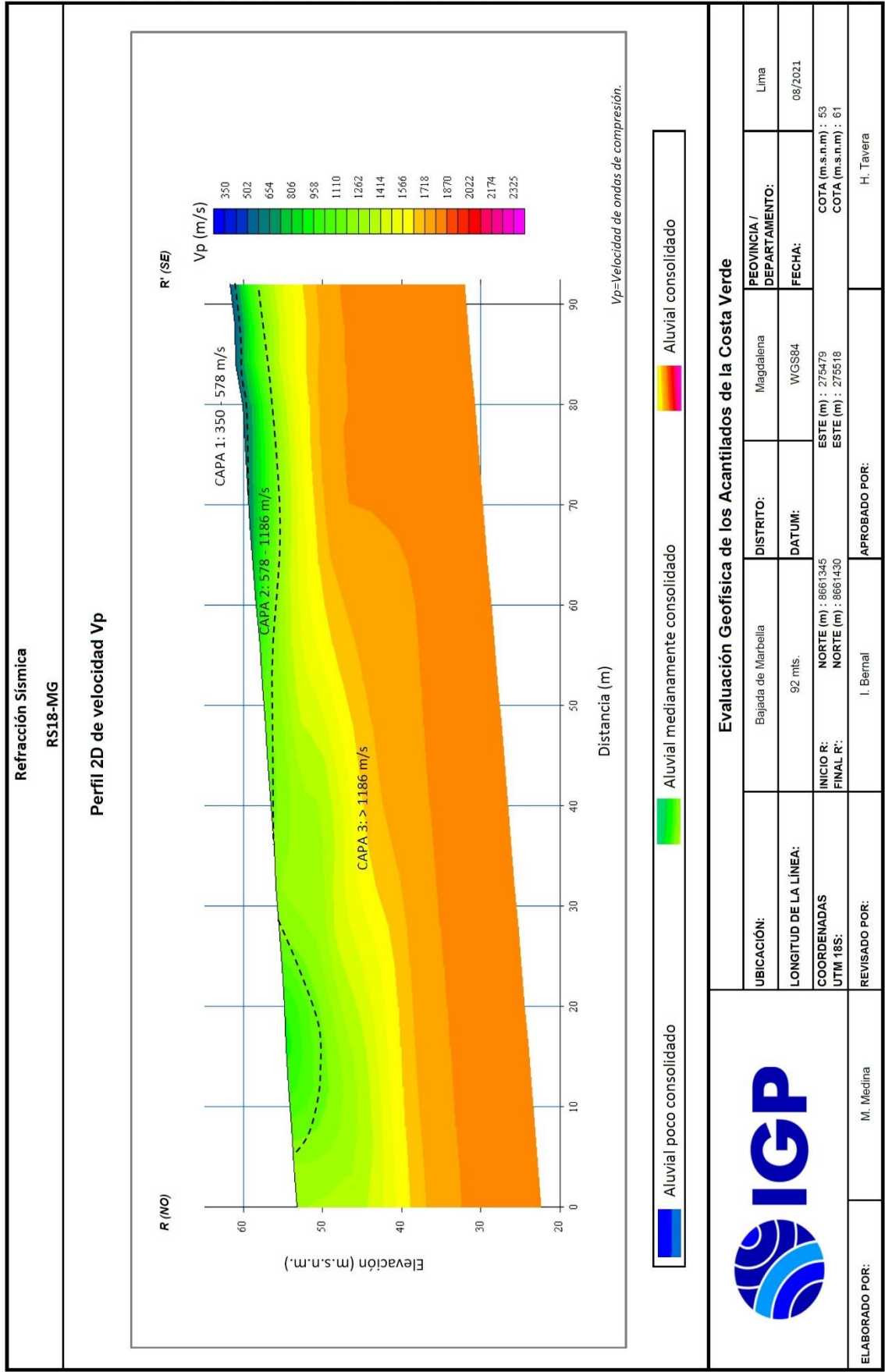


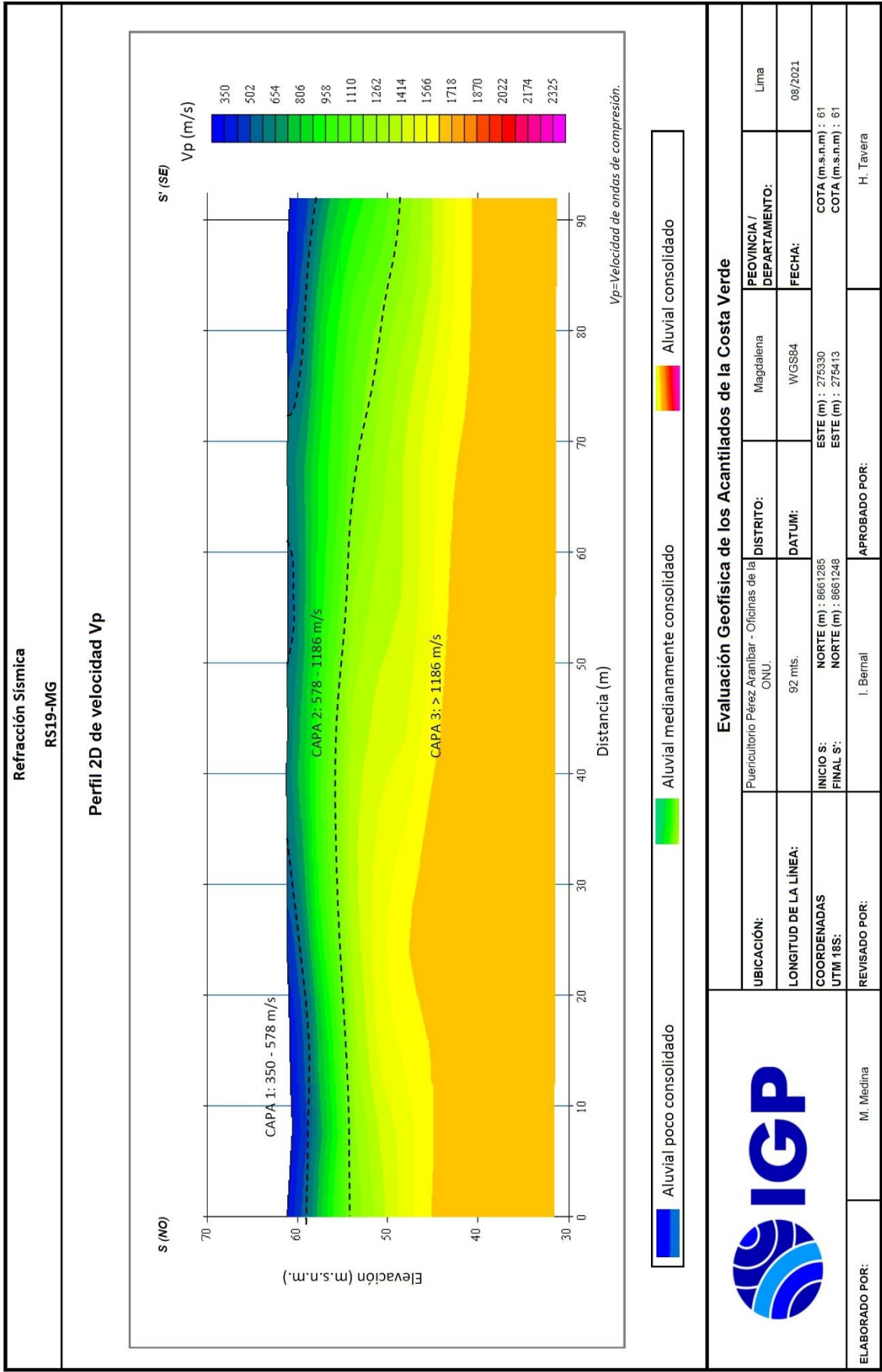


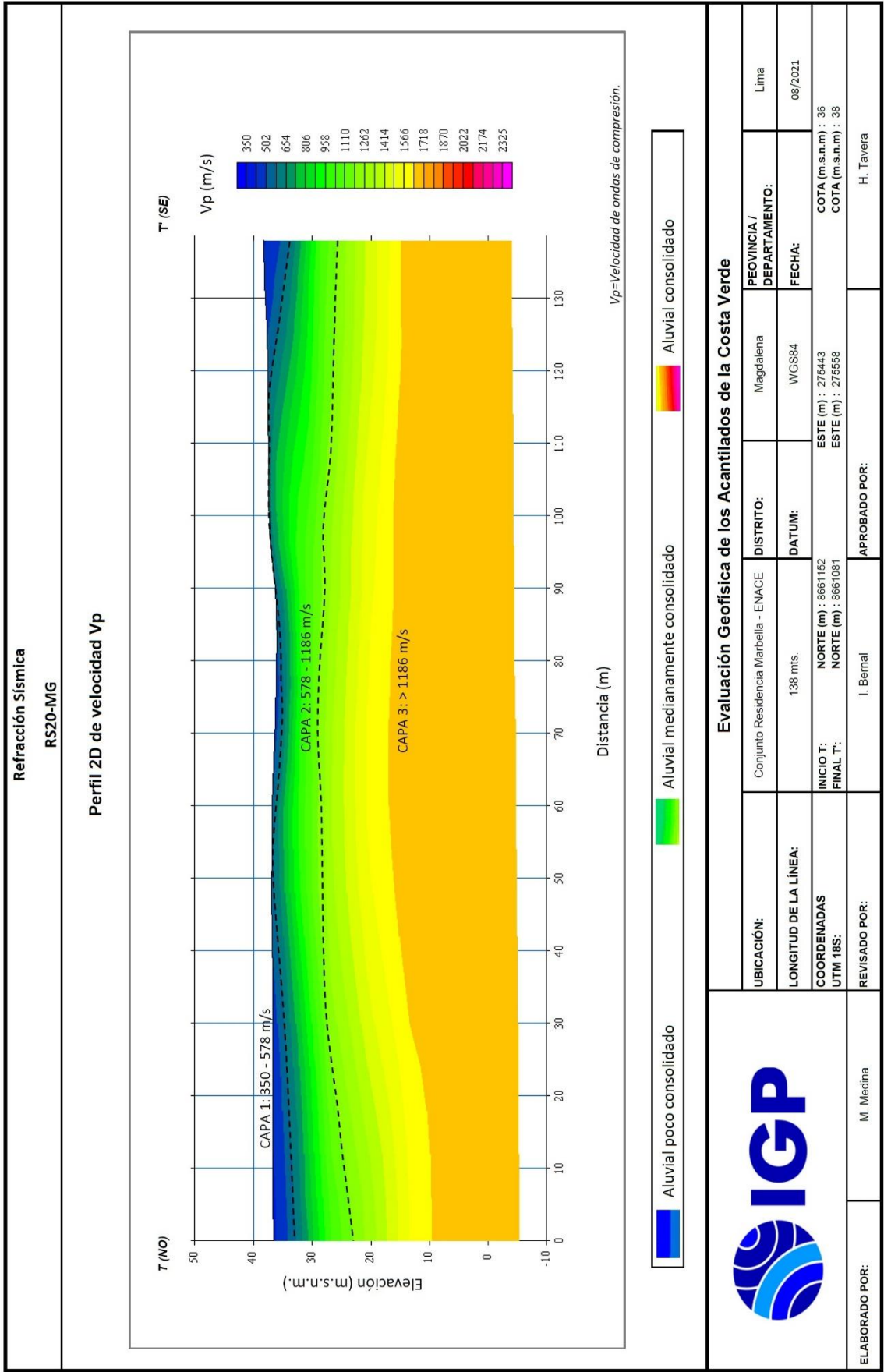


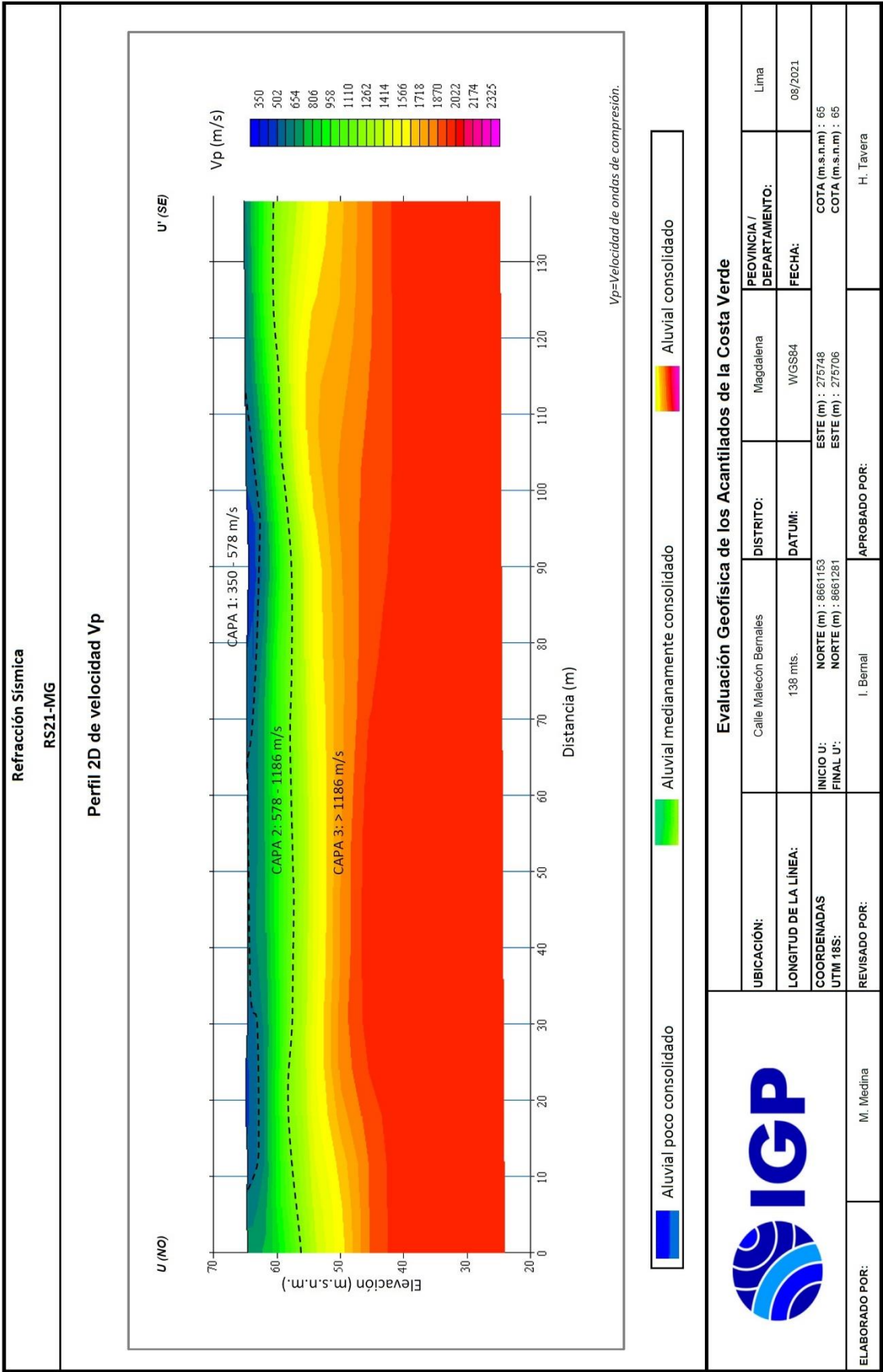


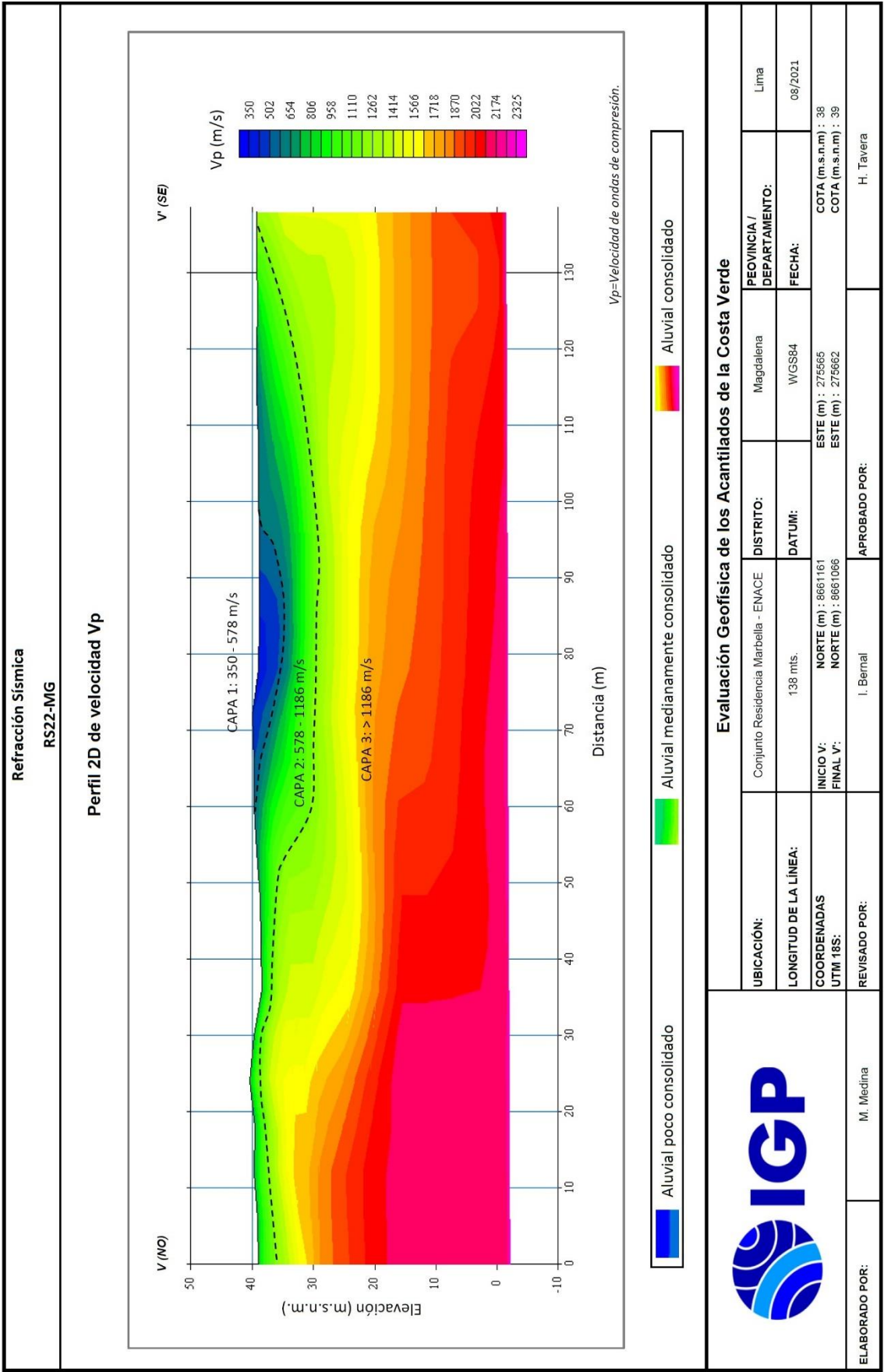


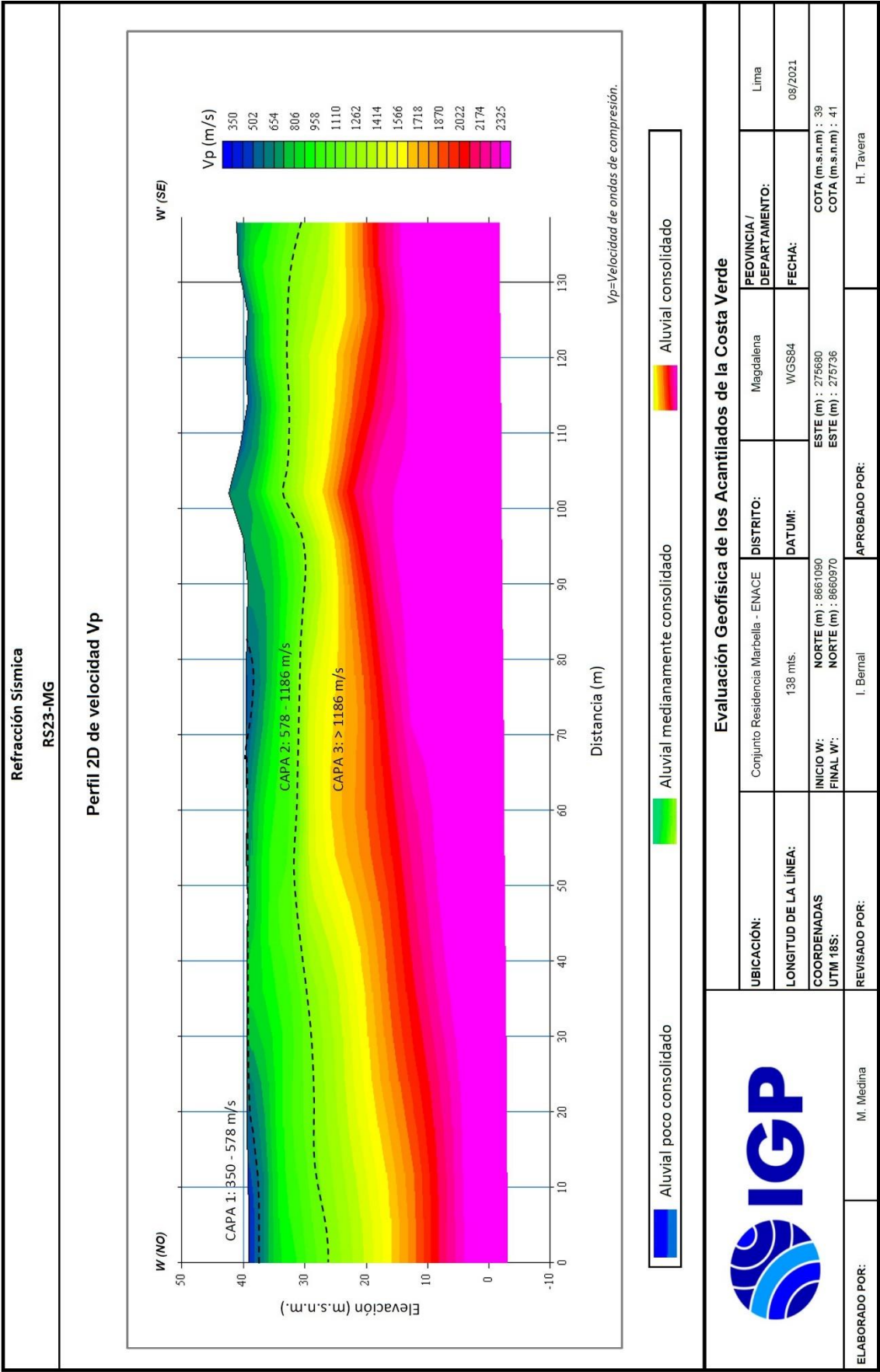












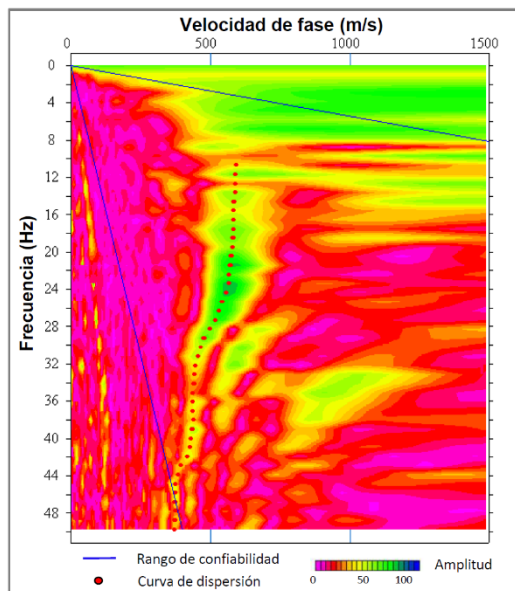
ANEXO II

Perfiles MASW y MAM.

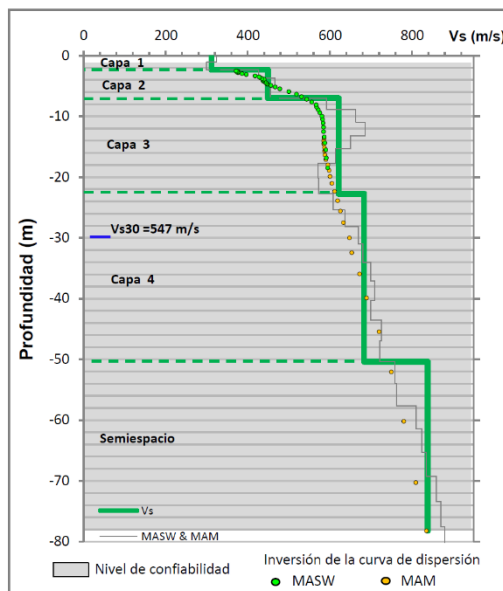
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y Microtremores (MASW y MAM 1D)

LS01-MG

Curva de dispersión MASW



Perfil de velocidad Vs



Curva de dispersión MAM

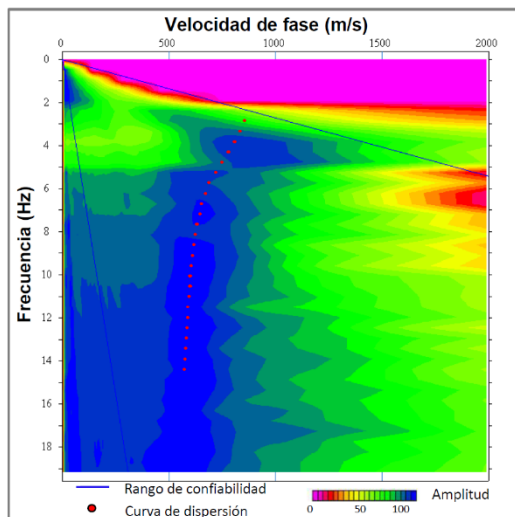


Tabla de resultados

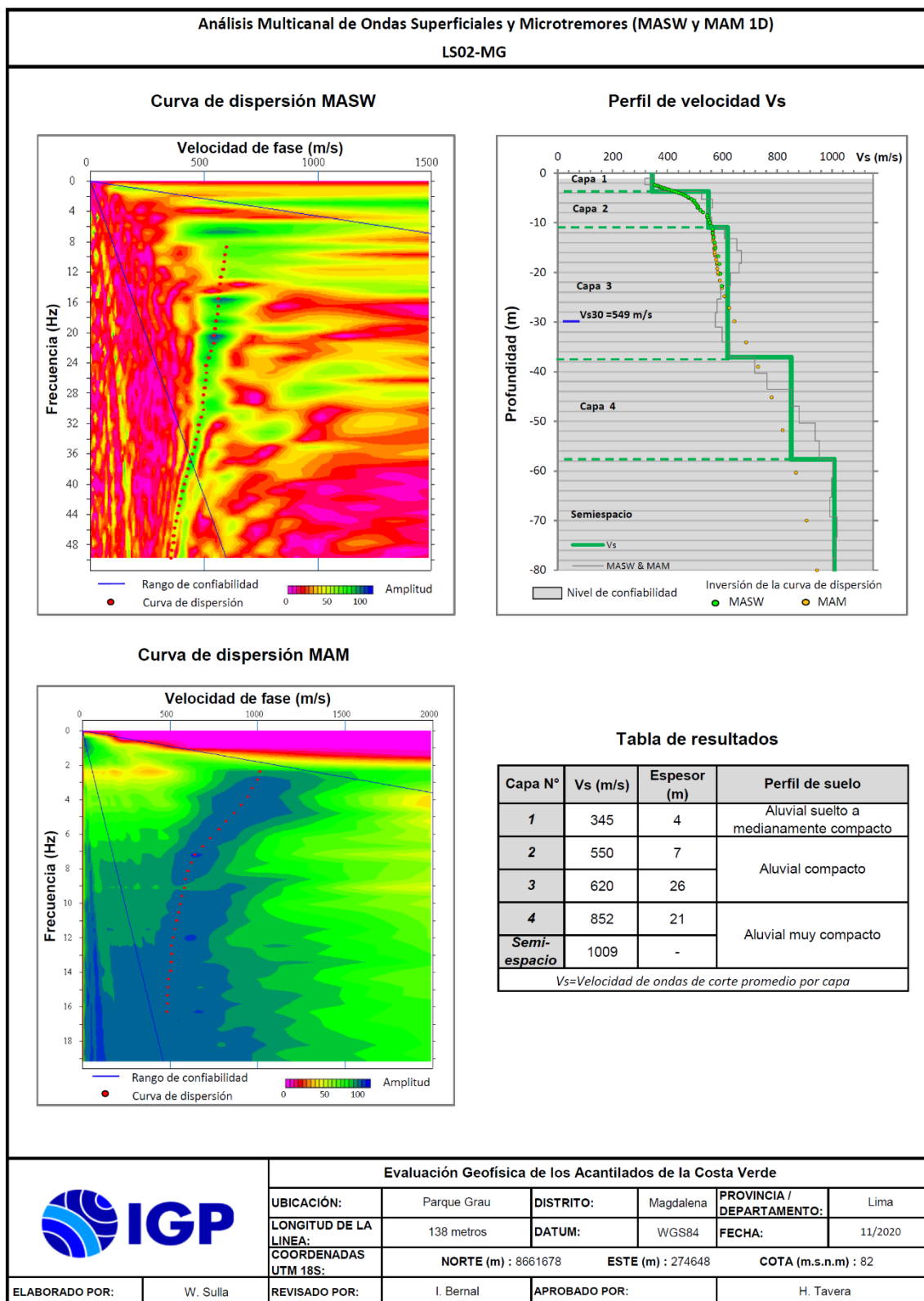
Capa N°	Vs (m/s)	Espesor (m)	Perfil de suelo
1	312	2	Aluvial suelto a medianamente compacto
2	449	5	Aluvial medianamente compacto
3	621	16	Aluvial compacto
4	683	28	
Semi-espacio	838	-	Aluvial muy compacto

Vs=Velocidad de ondas de corte promedio por capa



Evaluación Geofísica de los Acanilados de la Costa Verde

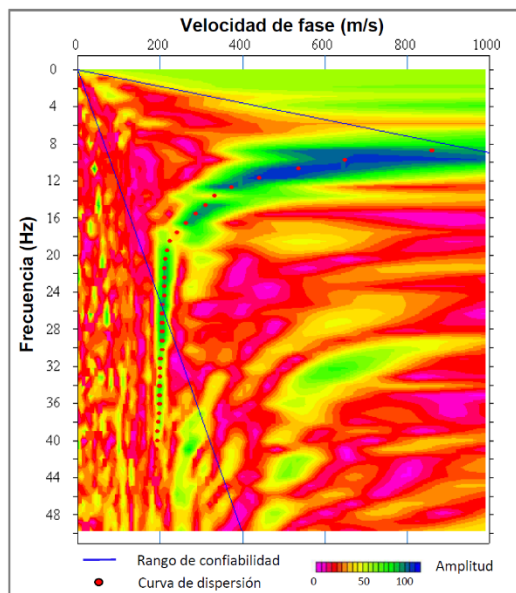
UBICACIÓN:	Jirón Saenz Peña / Jirón Arica	DISTRITO:	Magdalena	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LINEA:	92 metros	DATUM:	WGS84	FECHA:	11/2020
COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8661918 ESTE (m) : 274691 COTA (m.s.n.m) : 42				
ELABORADO POR:	W. Sullá	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera



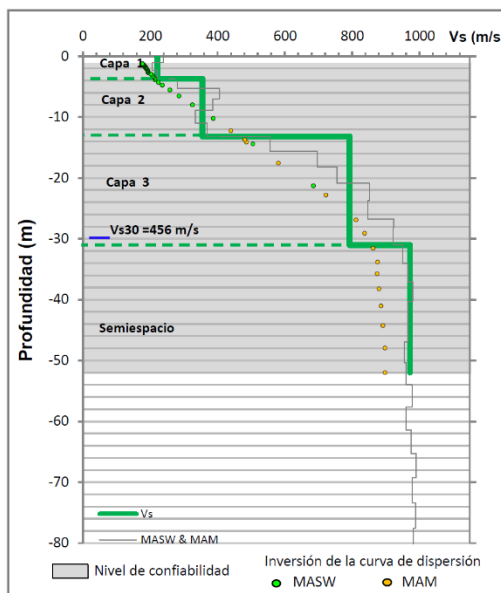
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y Microtremores (MASW y MAM 1D)

LS03-MG

Curva de dispersión MASW



Perfil de velocidad Vs



Curva de dispersión MAM

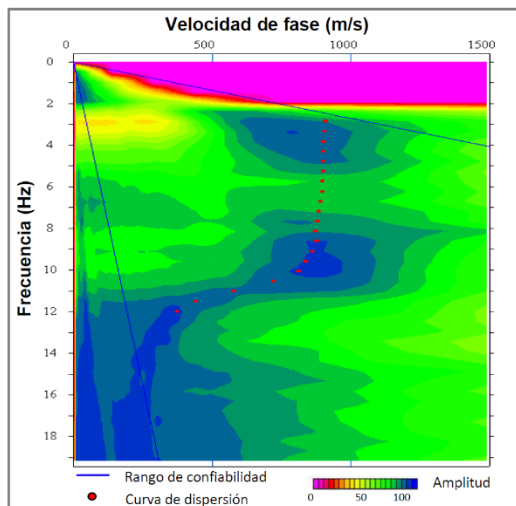


Tabla de resultados

Capa N°	Vs (m/s)	Espesor (m)	Perfil de suelo
1	222	4	Aluvial suelto a medianamente compacto
2	355	9	Aluvial medianamente compacto
3	793	18	Aluvial compacto
Semi-espacio	972	-	Aluvial muy compacto

Vs=Velocidad de ondas de corte promedio por capa



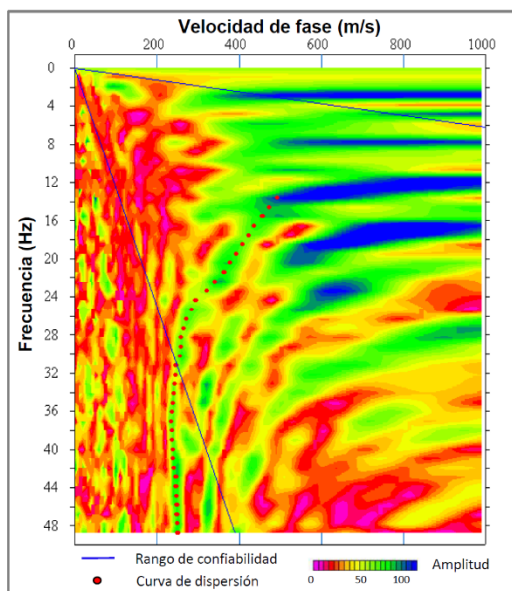
Evaluación Geofísica de los Acantilados de la Costa Verde

UBICACIÓN:	Circuito de playas / altura del parque Grau	DISTRITO:	Magdalena	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LINEA:	92 metros	DATUM:	WGS84	FECHA:	11/2020
COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8661539 ESTE (m) : 274545 COTA (m.s.n.m) : 14				
ELABORADO POR:	W. Sullá	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera

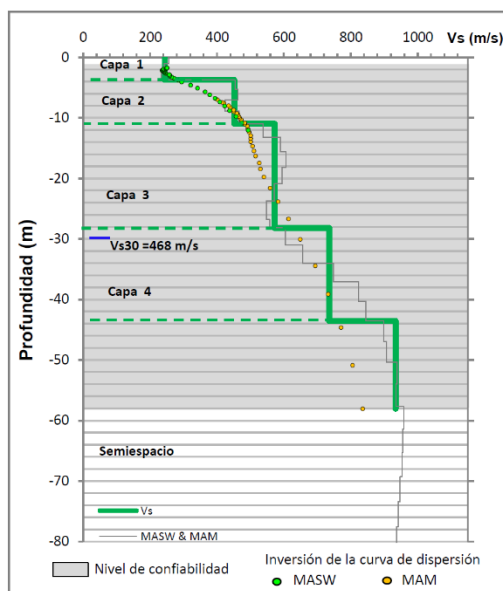
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y Microtremores (MASW y MAM 1D)

LS04-MG

Curva de dispersión MASW



Perfil de velocidad Vs



Curva de dispersión MAM

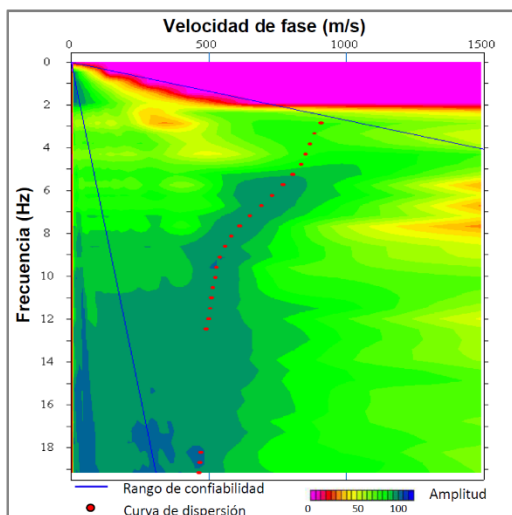


Tabla de resultados

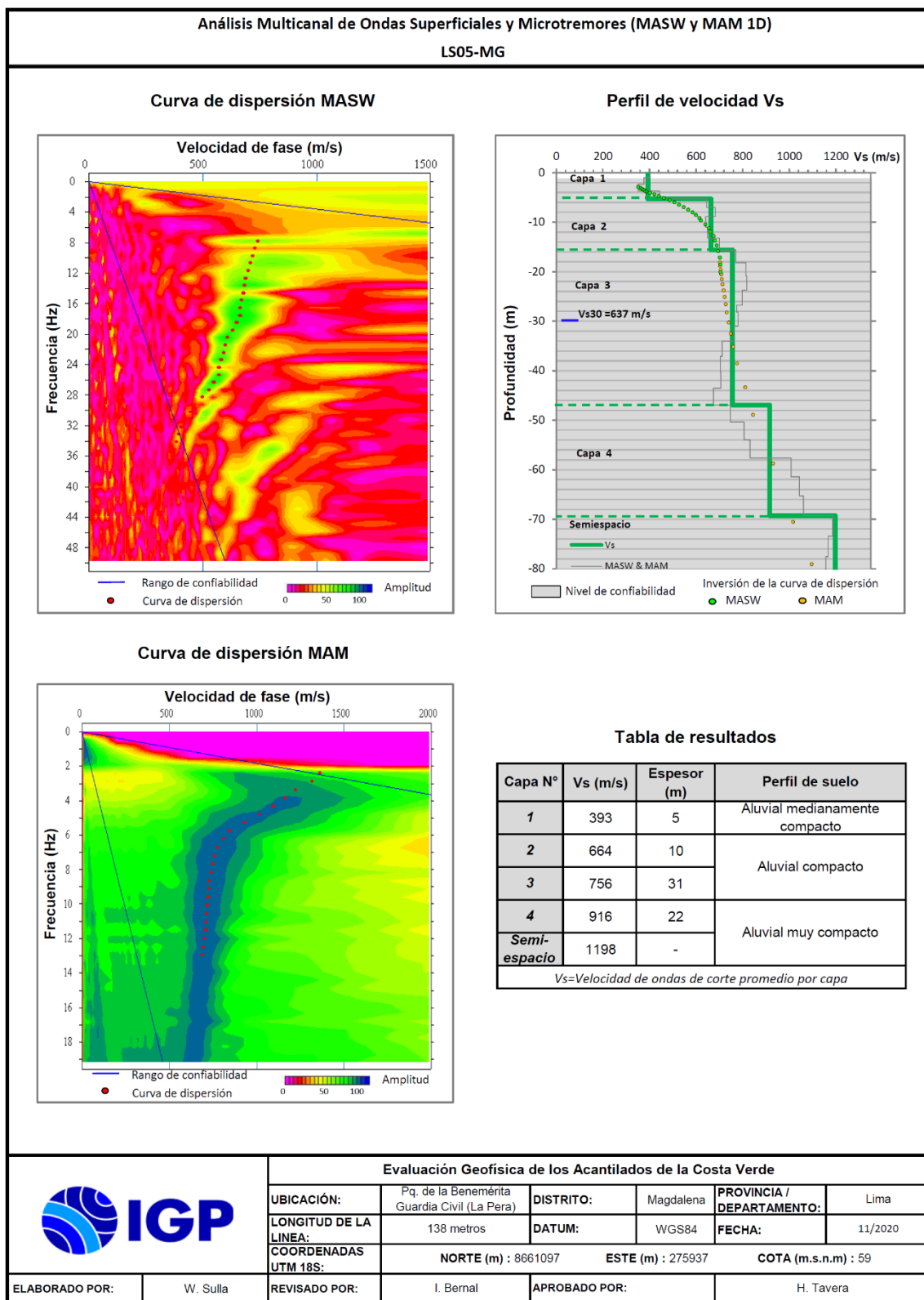
Capa N°	Vs (m/s)	Espesor (m)	Perfil de suelo
1	244	4	Aluvial suelto a medianamente compacto
2	452	7	Aluvial medianamente compacto
3	572	17	Aluvial compacto
4	736	15	
Semi-espacio	934	-	Aluvial muy compacto

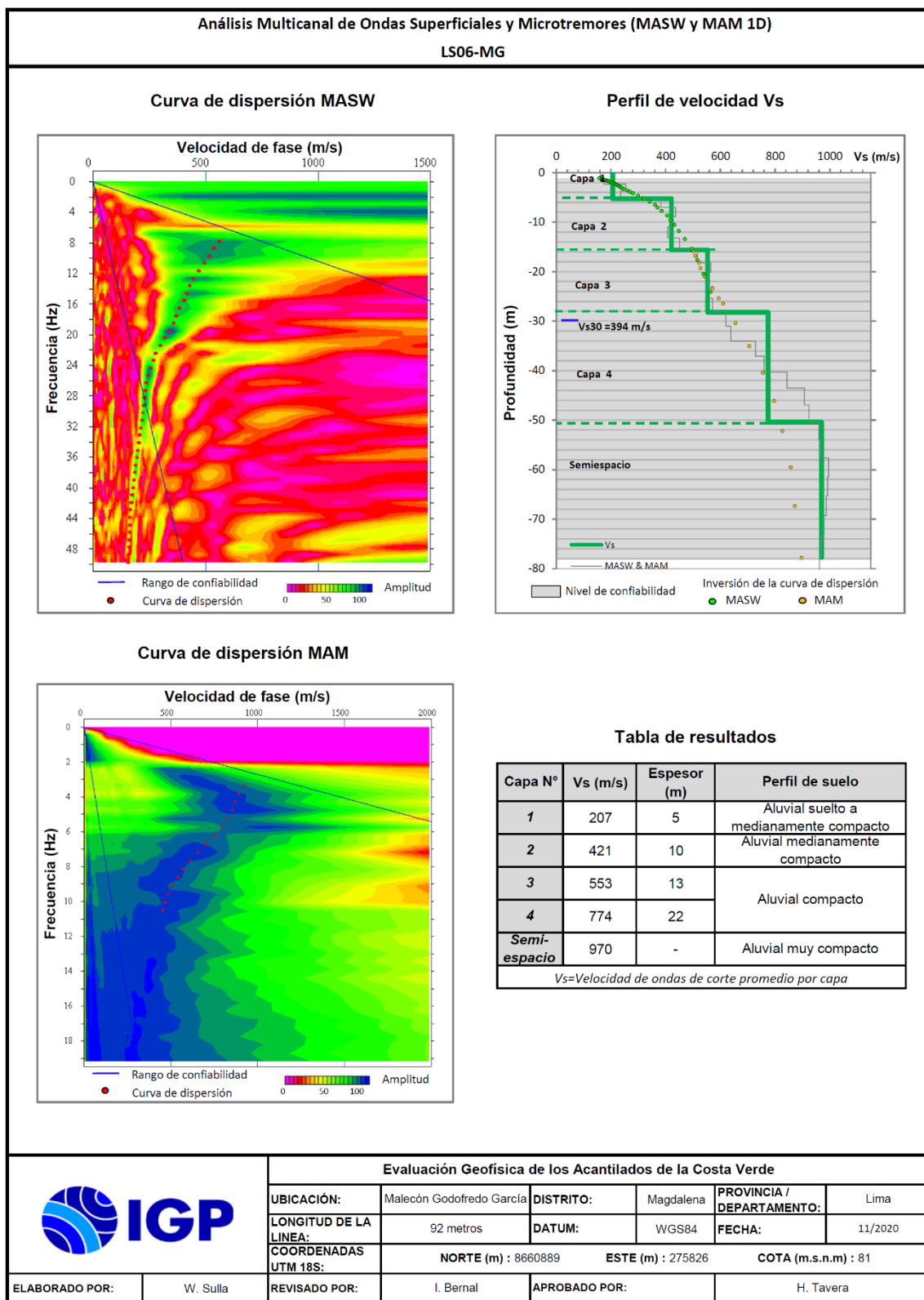
Vs=Velocidad de ondas de corte promedio por capa



Evaluación Geofísica de los Acanilados de la Costa Verde

UBICACIÓN:	Bajada a Marbella	DISTRITO:	Magdalena	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LINEA:	92 metros	DATUM:	WGS84	FECHA:	11/2020
COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8661289 ESTE (m) : 275471 COTA (m.s.n.m) : 66				
ELABORADO POR:	W. Sullá	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera

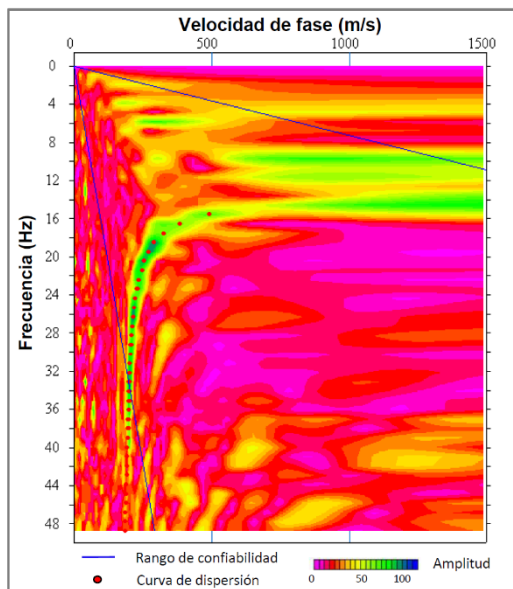




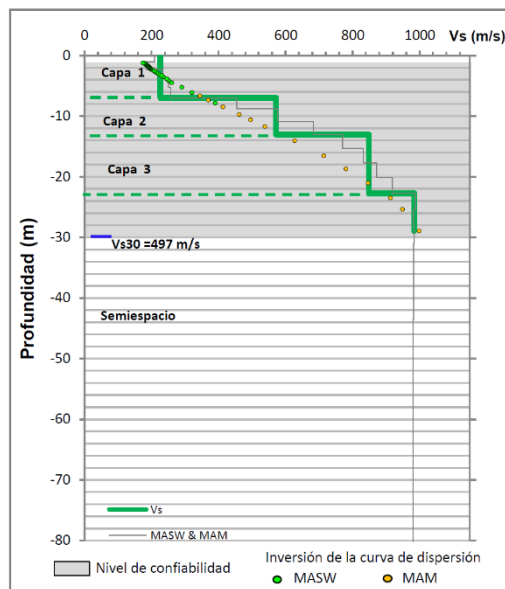
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y Microtremores (MASW y MAM 1D)

LS07-MG

Curva de dispersión MASW



Perfil de velocidad Vs



Curva de dispersión MAM

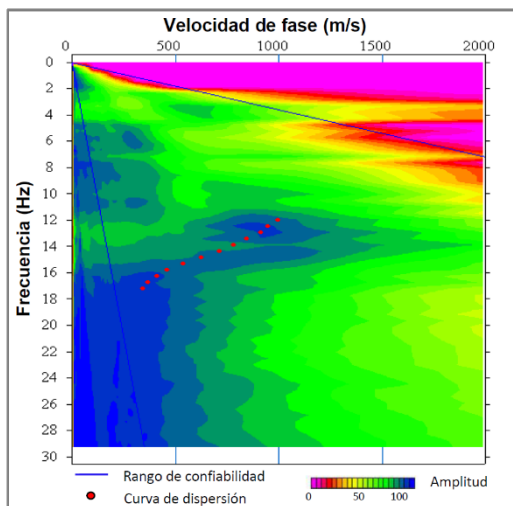


Tabla de resultados

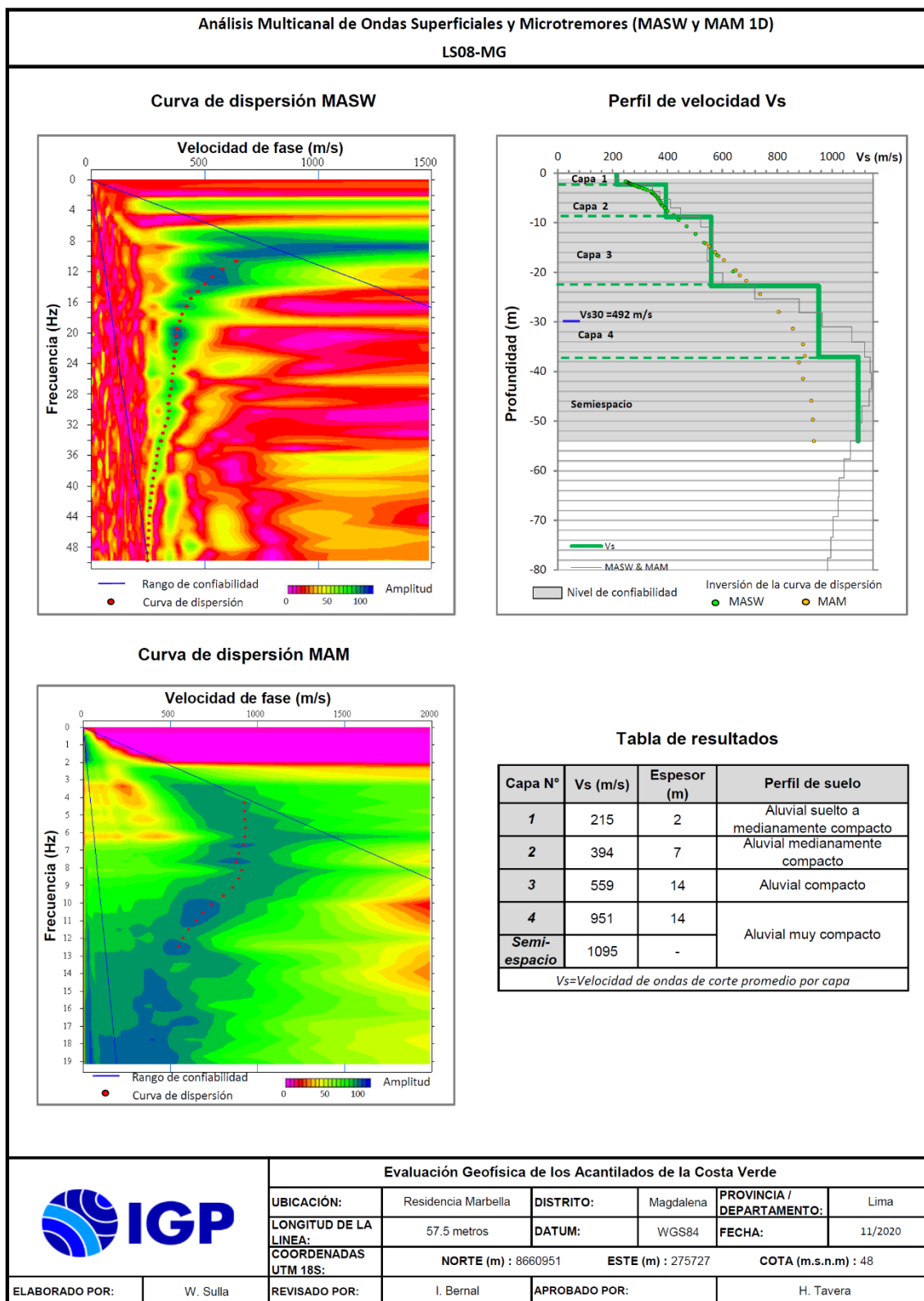
Capa N°	Vs (m/s)	Espesor (m)	Perfil de suelo
1	227	7	Aluvial suelto a medianamente compacto
2	572	6	Aluvial compacto
3	849	10	Aluvial muy compacto
Semi-espacio	984	-	

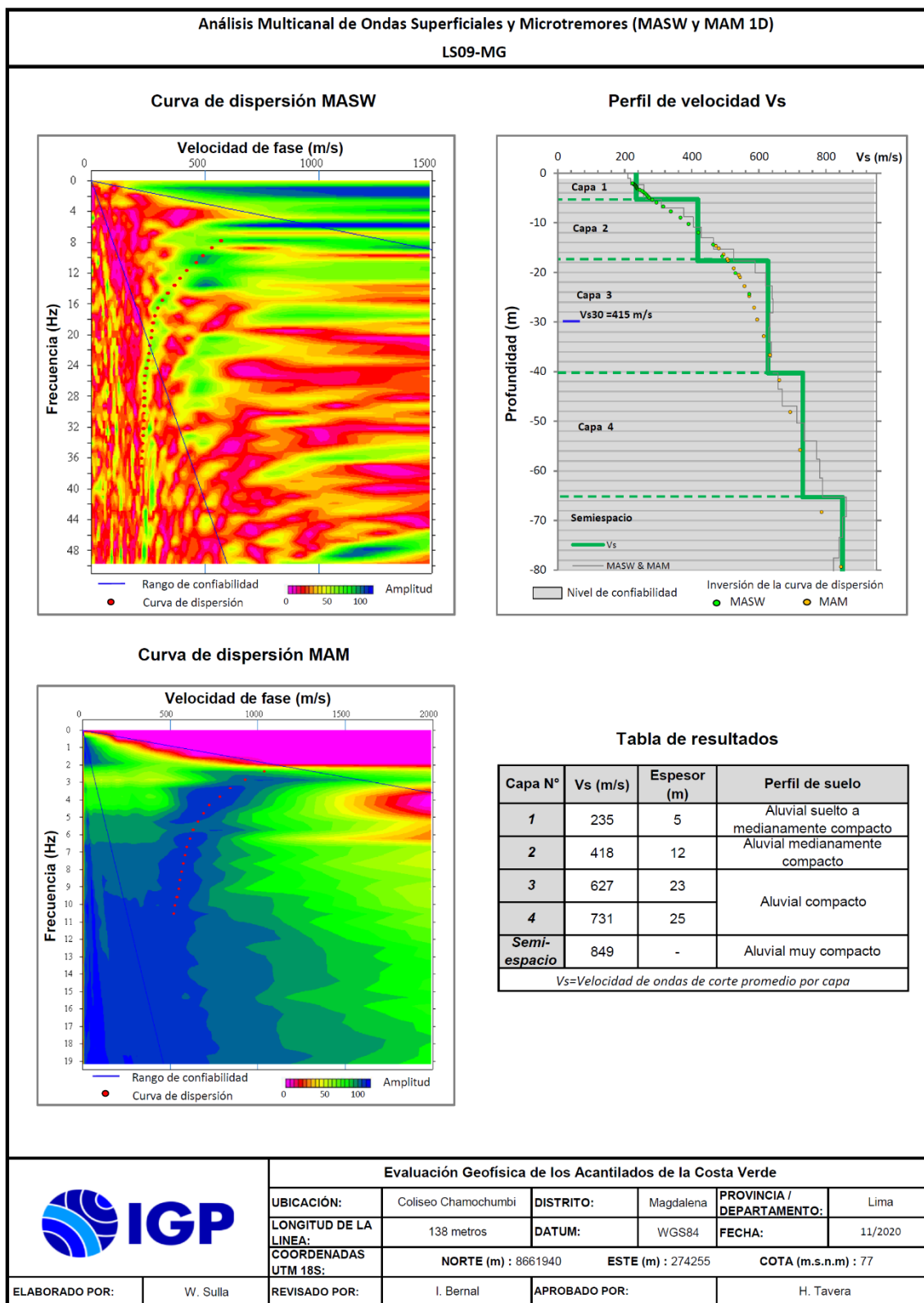
Vs=Velocidad de ondas de corte promedio por capa

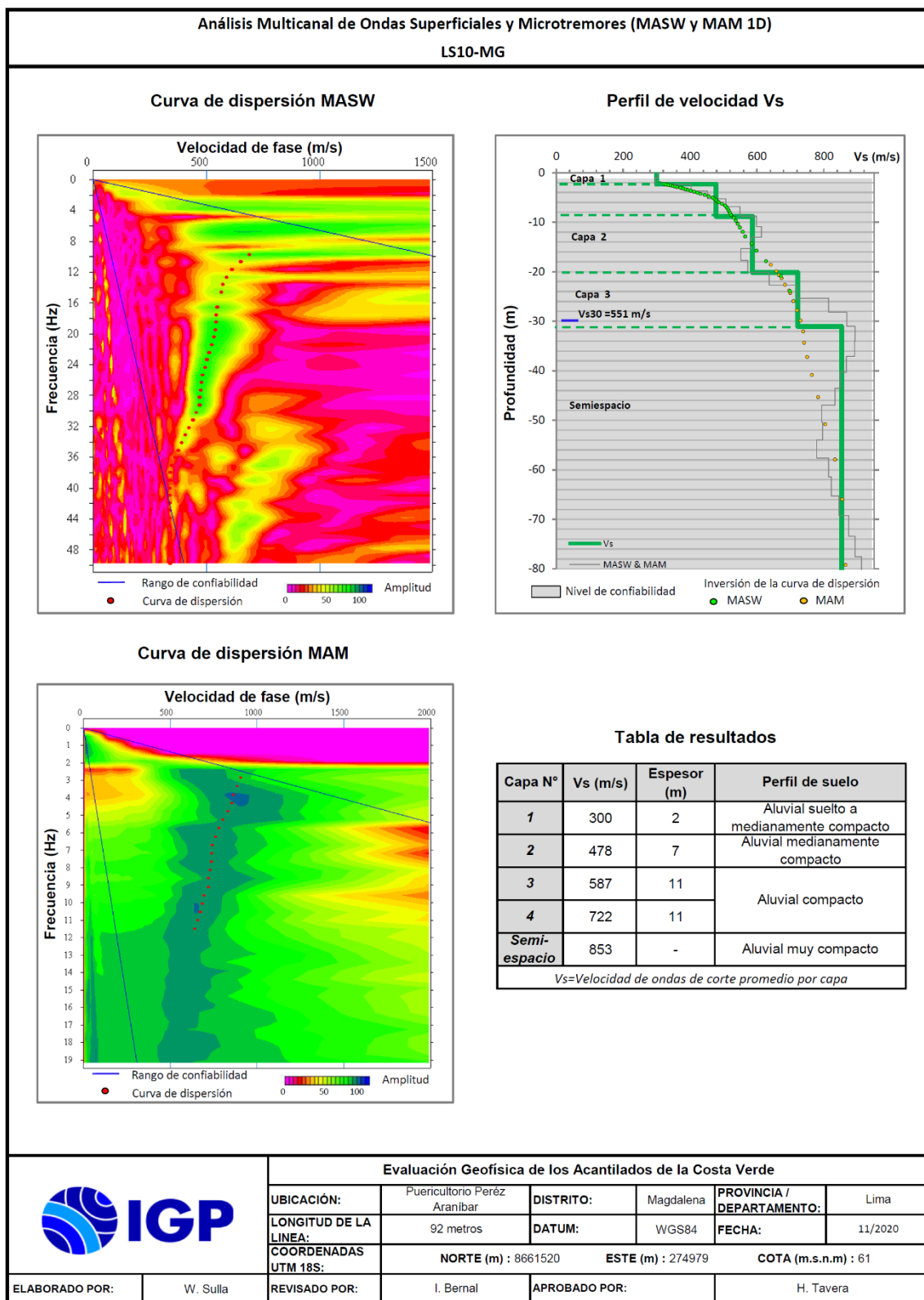


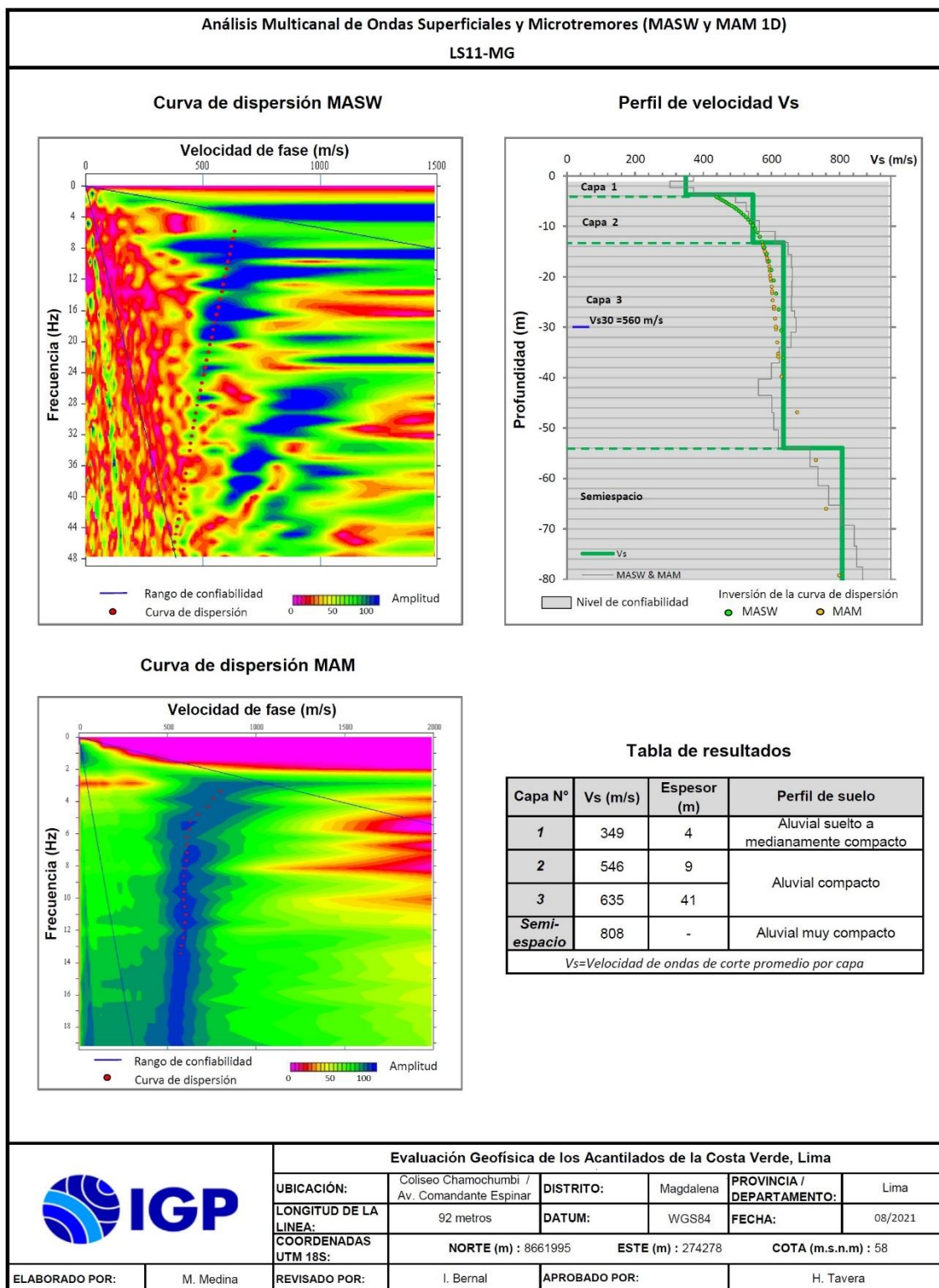
Evaluación Geofísica de los Acanilados de la Costa Verde

UBICACIÓN:	Circuito de playas / Mini autódromo	DISTRITO:	Magdalena	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LINEA:	69 metros	DATUM:	WGS84	FECHA:	11/2020
COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8660820 ESTE (m) : 275681 COTA (m.s.n.m) : 18				
ELABORADO POR:	W. Sullá	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera





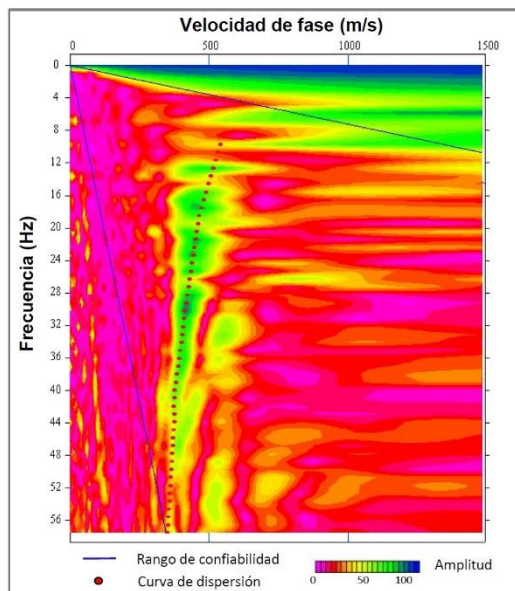




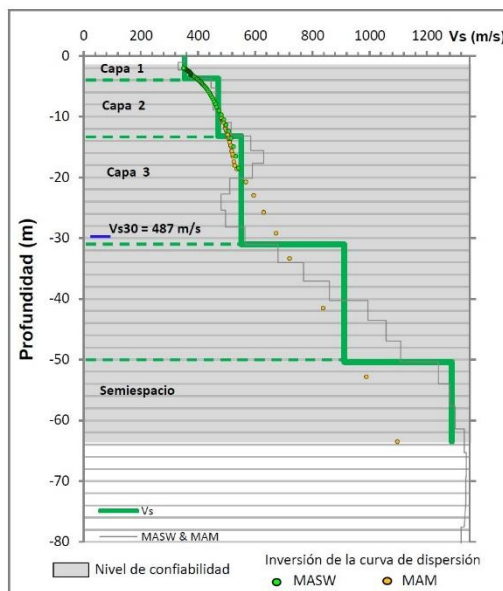
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y Microtremores (MASW y MAM 1D)

LS12-MG

Curva de dispersión MASW



Perfil de velocidad Vs



Curva de dispersión MAM

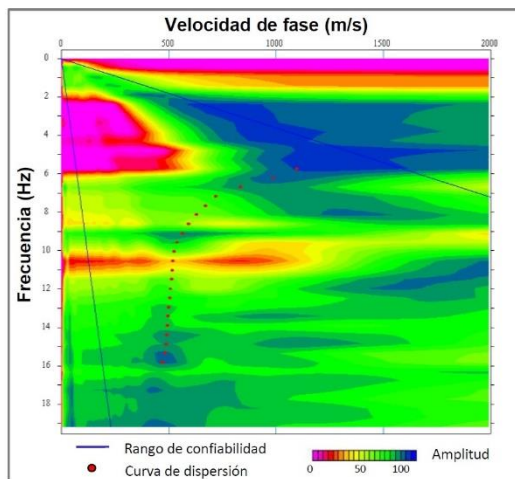


Tabla de resultados

Capa N°	Vs (m/s)	Espesor (m)	Perfil de suelo
1	353	4	Aluvial medianamente compacto
2	470	9	
3	551	18	Aluvial compacto
Semi-espacio	911	-	Aluvial muy compacto

Vs=Velocidad de ondas de corte promedio por capa



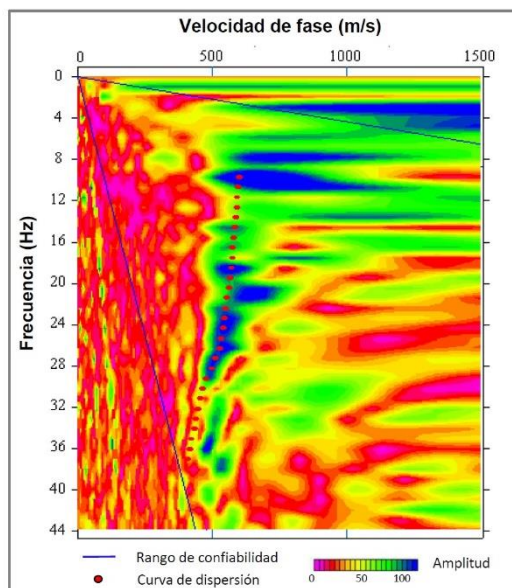
Evaluación Geofísica de los Acatilados de la Costa Verde, Lima

ELABORADO POR: M. Medina	UBICACIÓN: Bajada Brasil	DISTRITO: Magdalena	PROVINCIA / DEPARTAMENTO: Lima
	LONGITUD DE LA LINEA: 69 metros	DATUM: WGS84	FECHA: 08/2021
	COORDENADAS UTM 18S: NORTE (m) : 8661798 ESTE (m) : 274443 COTA (m.s.n.m) : 54		
	REVISADO POR: I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera

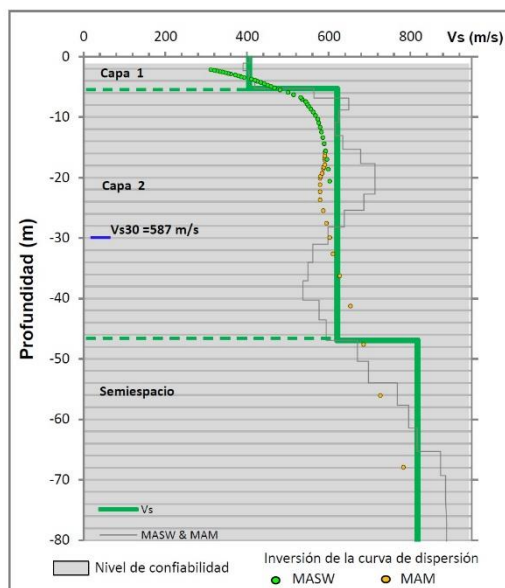
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y Microtremores (MASW y MAM 1D)

LS13-MG

Curva de dispersión MASW



Perfil de velocidad Vs



Curva de dispersión MAM

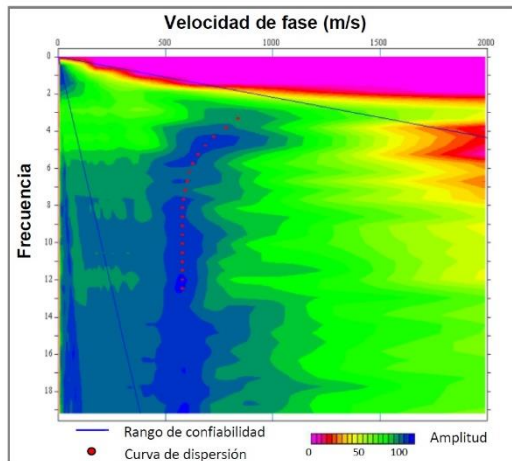


Tabla de resultados

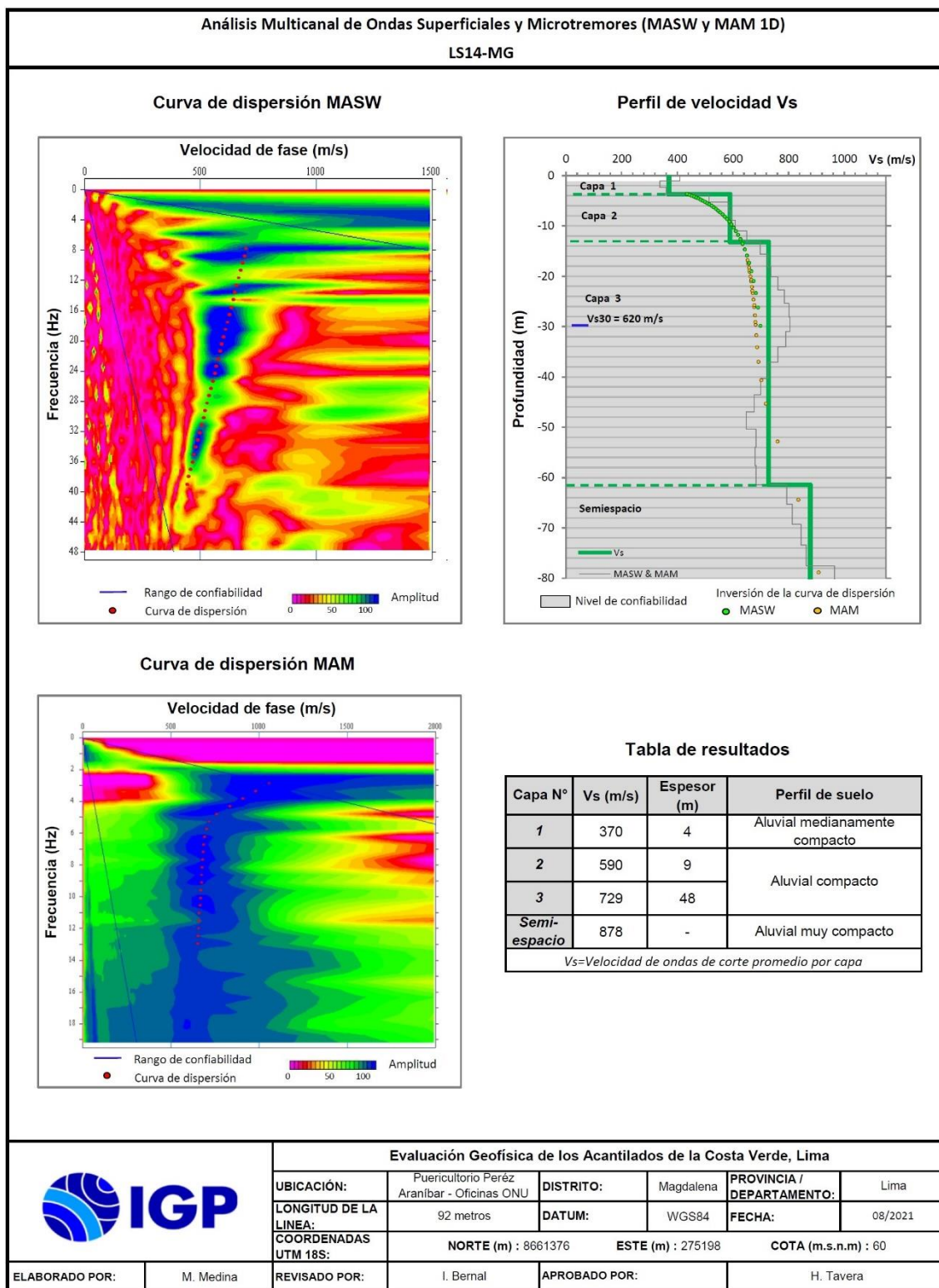
Capa N°	Vs (m/s)	Espesor (m)	Perfil de suelo
1	405	5	Aluvial medianamente compacto
2	621	42	Aluvial compacto
Semi-espacio	817	-	Aluvial muy compacto

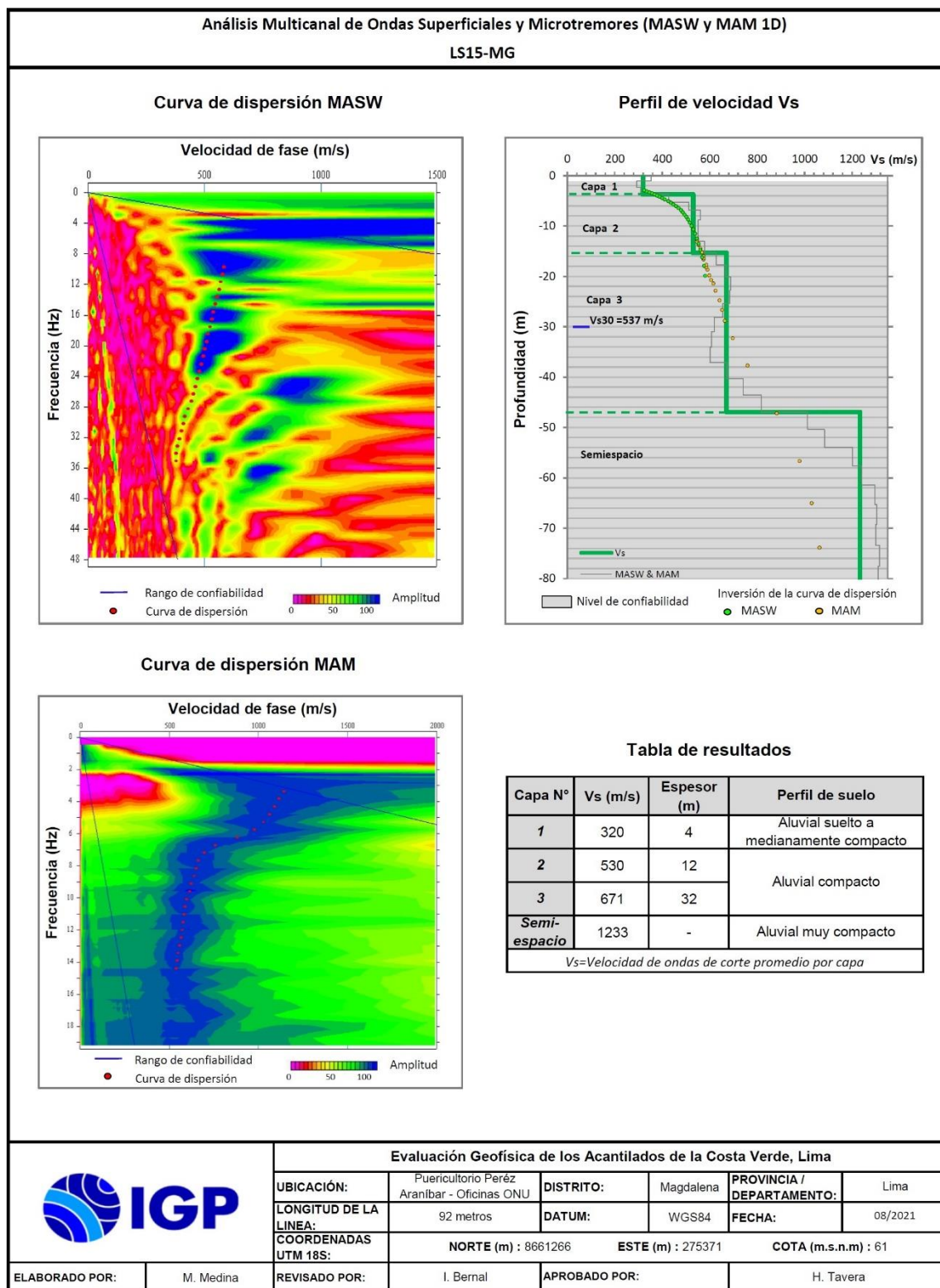
Vs=Velocidad de ondas de corte promedio por capa

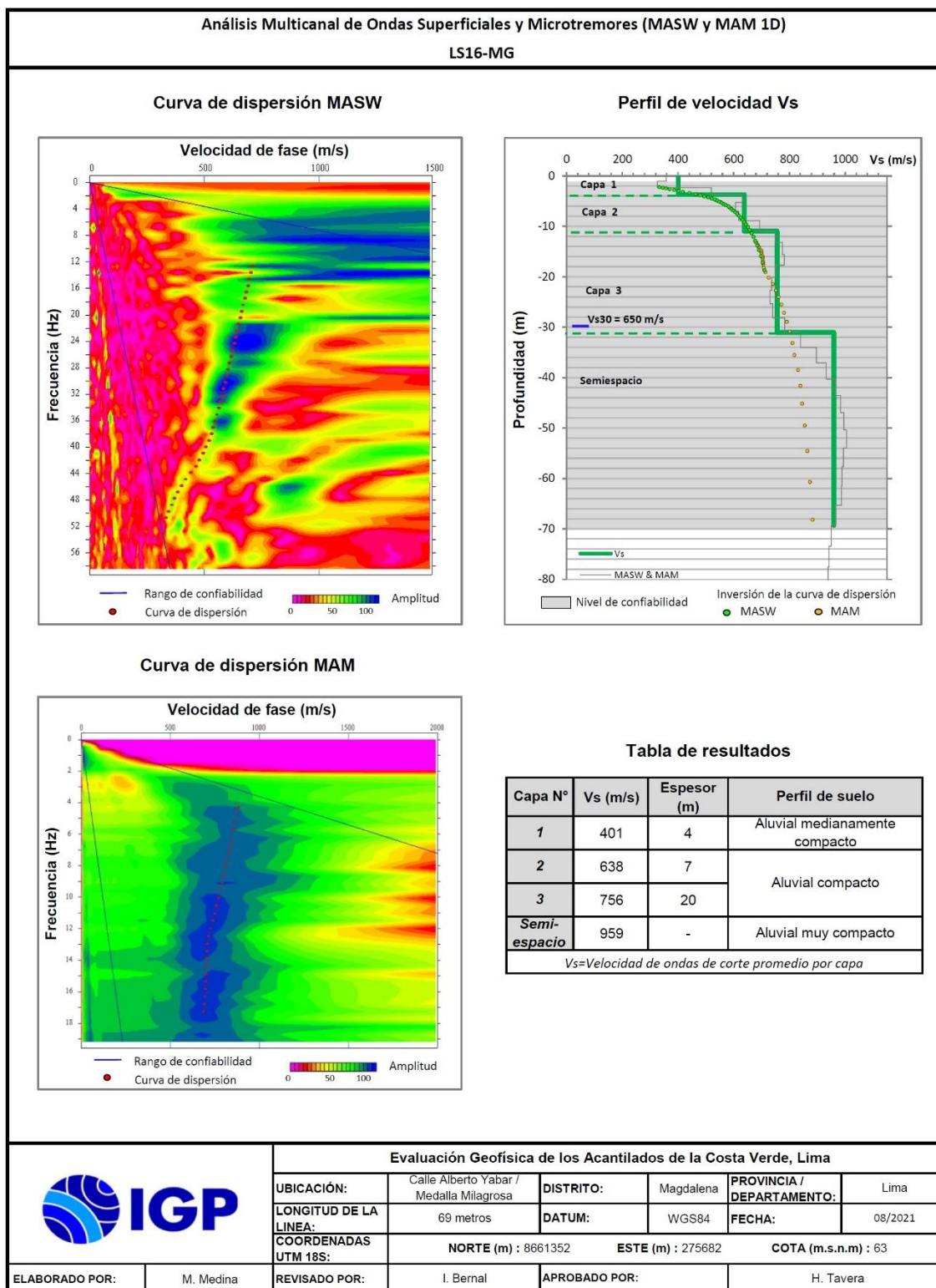


Evaluación Geofísica de los Acanilados de la Costa Verde, Lima

UBICACIÓN:	Jirón Antonio Raymondi / Jirón Hermilio Valdizan	DISTRITO:	Magdalena	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LINEA:	115 metros	DATUM:	WGS84	FECHA:	08/2021
COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8661624 ESTE (m) : 274816 COTA (m.s.n.m) : 60				
ELABORADO POR:	M. Medina	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera



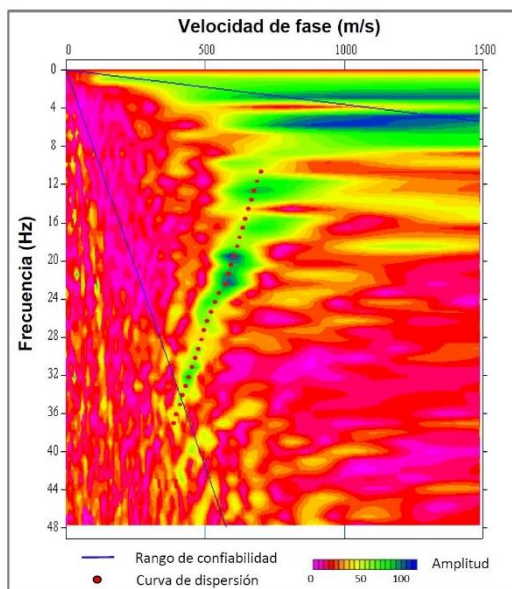




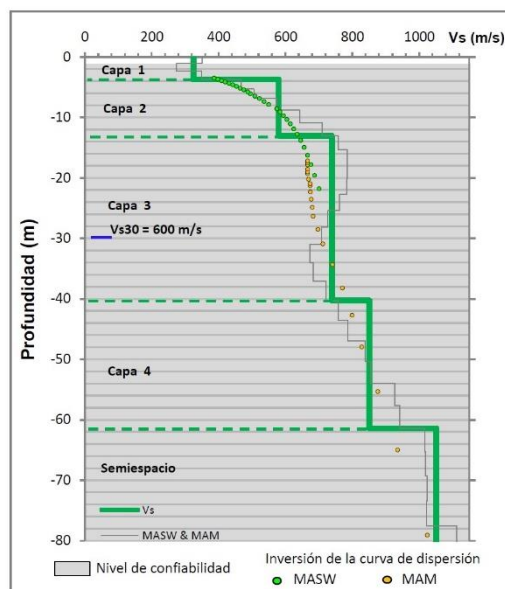
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y Microtremores (MASW y MAM 1D)

LS17-MG

Curva de dispersión MASW



Perfil de velocidad Vs



Curva de dispersión MAM

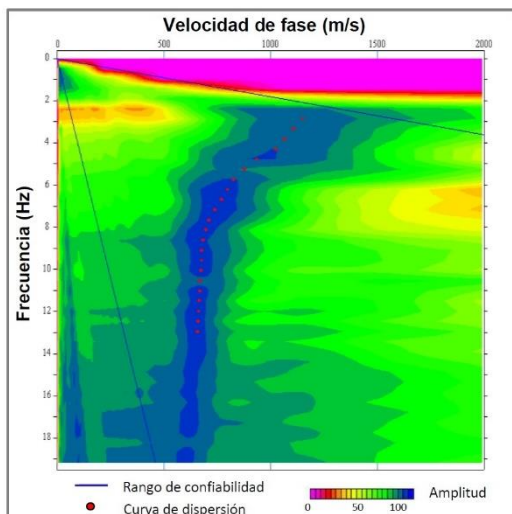


Tabla de resultados

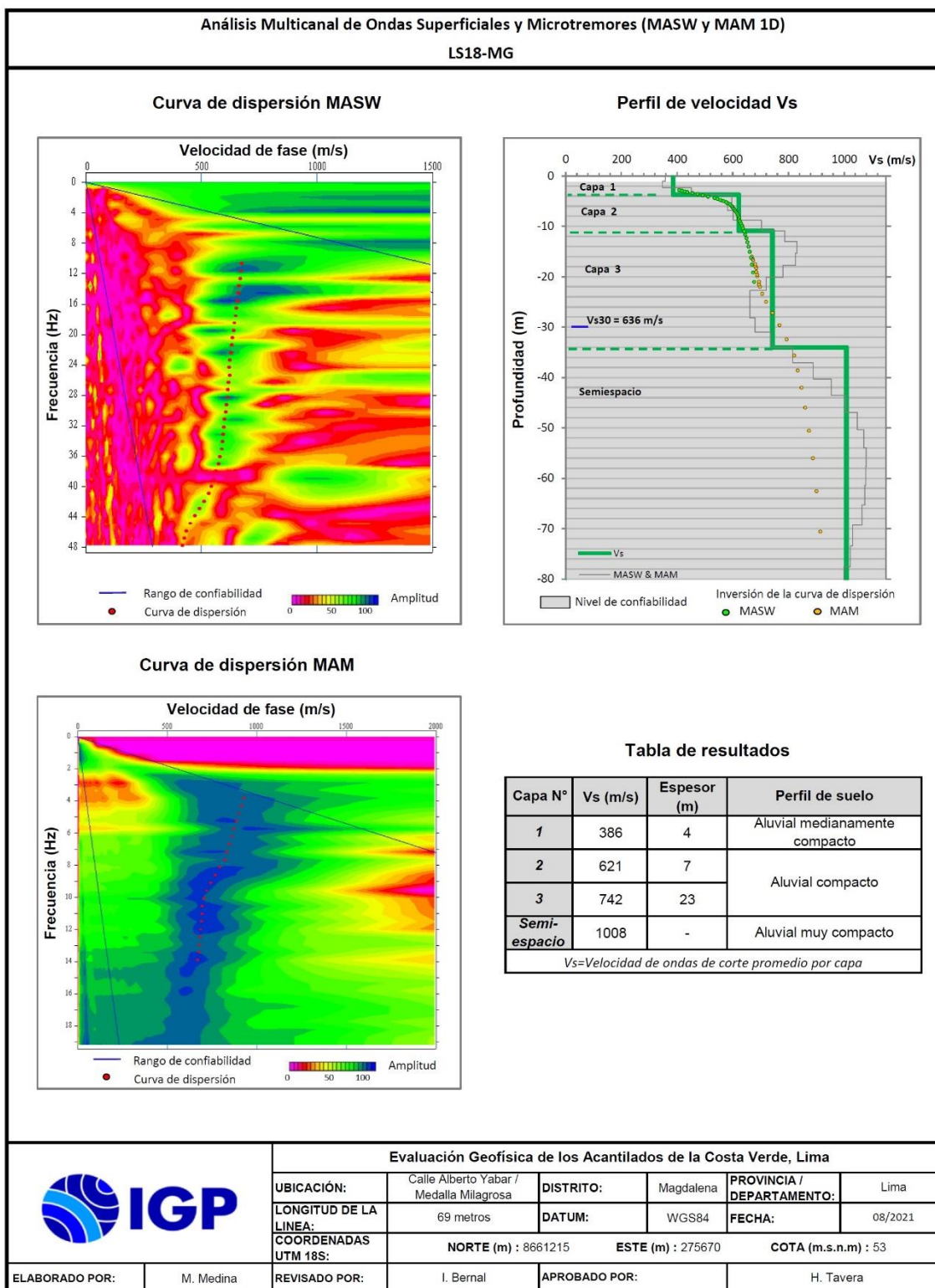
Capa N°	Vs (m/s)	Espesor (m)	Perfil de suelo
1	325	4	Aluvial suelto a medianamente compacto
2	580	9	Aluvial compacto
3	739	27	
4	851	21	Aluvial muy compacto
Semi-espacio	1052	-	

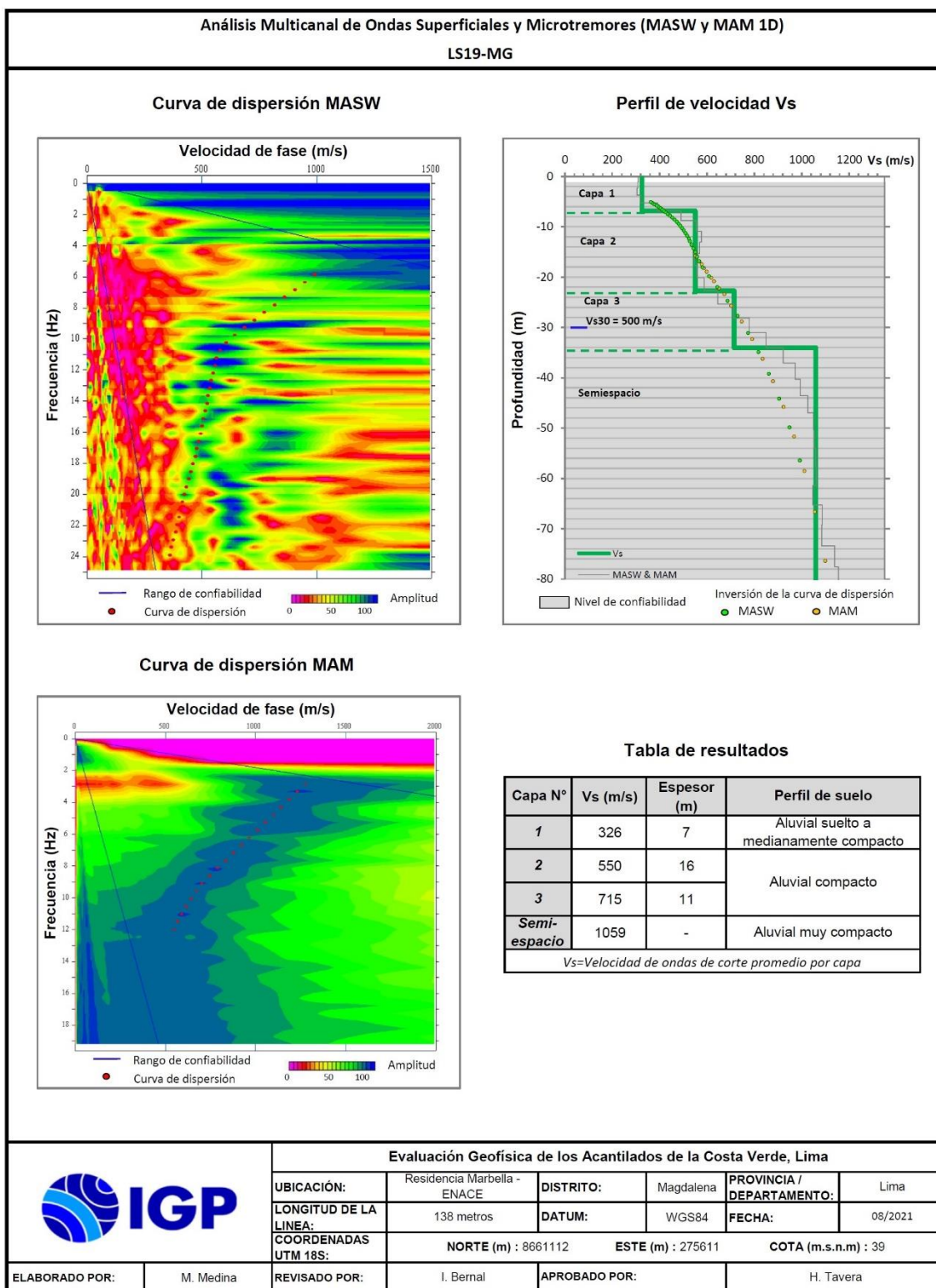
Vs=Velocidad de ondas de corte promedio por capa

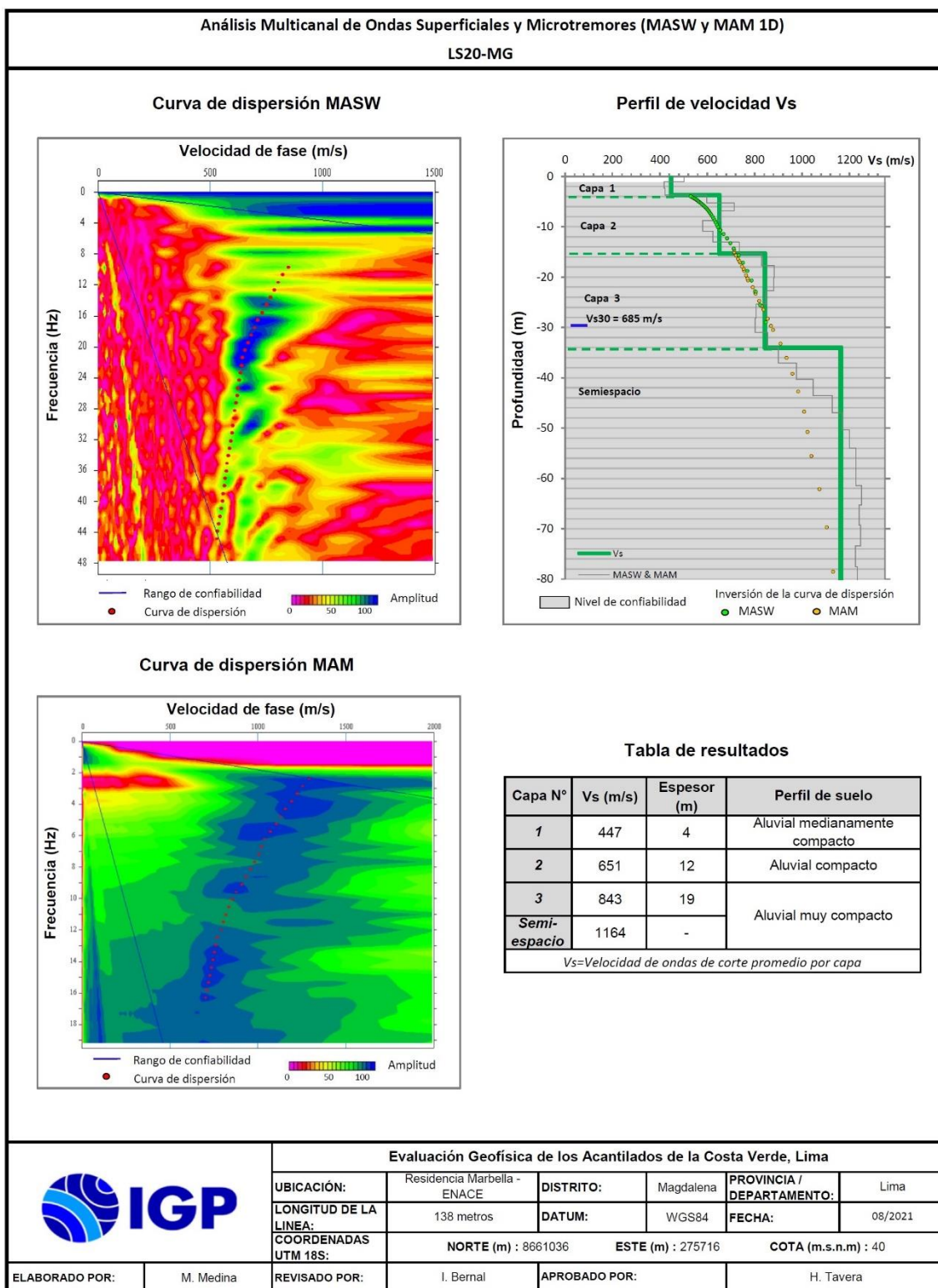


Evaluación Geofísica de los Acanilados de la Costa Verde, Lima

UBICACIÓN:	Calle Malecón Bernales	DISTRITO:	Magdalena	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Lima
LONGITUD DE LA LINEA:	138 metros	DATUM:	WGS84	FECHA:	08/2021
COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 8661214 ESTE (m) : 275725 COTA (m.s.n.m) : 65				
ELABORADO POR:	M. Medina	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera







ANEXO III.

Tablas con parámetros sísmicos

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	312	541	2
2	449	1156	5
3	621	1589	16
4	683	1893	28
Semi-espacio	838	2405	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	345	774	4
2	550	1205	7
3	620	1539	26
4	852	1979	21
Semi-espacio	1009	2405	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	222	472	4
2	355	768	9
3	793	1886	18
Semi-espacio	972	2238	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	244	668	4
2	452	953	7
3	572	1825	17
4	736	1957	15
Semi-espacio	934	2315	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	393	662	5
2	664	1442	10
3	756	1874	31
4	916	2133	22
Semi-espacio	1198	2537	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	207	454	5
2	421	815	10
3	553	1247	13
4	774	2237	22
Semi-espacio	970	2551	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	227	444	7
2	572	804	6
3	849	1366	10
Semi-espacio	984	1709	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	215	622	2
2	394	672	7
3	559	1136	14
4	951	1703	14
Semi-espacio	1095	1921	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	235	456	5
2	418	915	12
3	627	1593	23
4	731	2153	25
Semi-espacio	849	2436	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	300	505	2
2	478	1012	7
3	587	1357	11
4	722	1495	11
Semi-espacio	853	2064	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	349	902	4
2	546	1395	9
3	635	1866	41
Semi espacio	808	2361	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	353	427	4
2	470	868	9
3	551	1266	18
Semi espacio	911	2606	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	405	1004	5
2	621	1458	42
Semi espacio	817	1865	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	370	817	4
2	590	1372	9
3	729	1600	48
Semi espacio	878	1958	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	320	698	4
2	530	1283	12
3	671	1697	32
Semi espacio	1233	3224	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	401	745	4
2	638	1392	7
3	756	1676	20
Semi espacio	959	2224	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	325	577	4
2	580	1160	9
3	739	1933	27
4	851	2187	21
Semi espacio	1052	2823	-

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

Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	386	705	4
2	621	1100	7
3	742	1640	23
Semi espacio	1008	2204	-

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

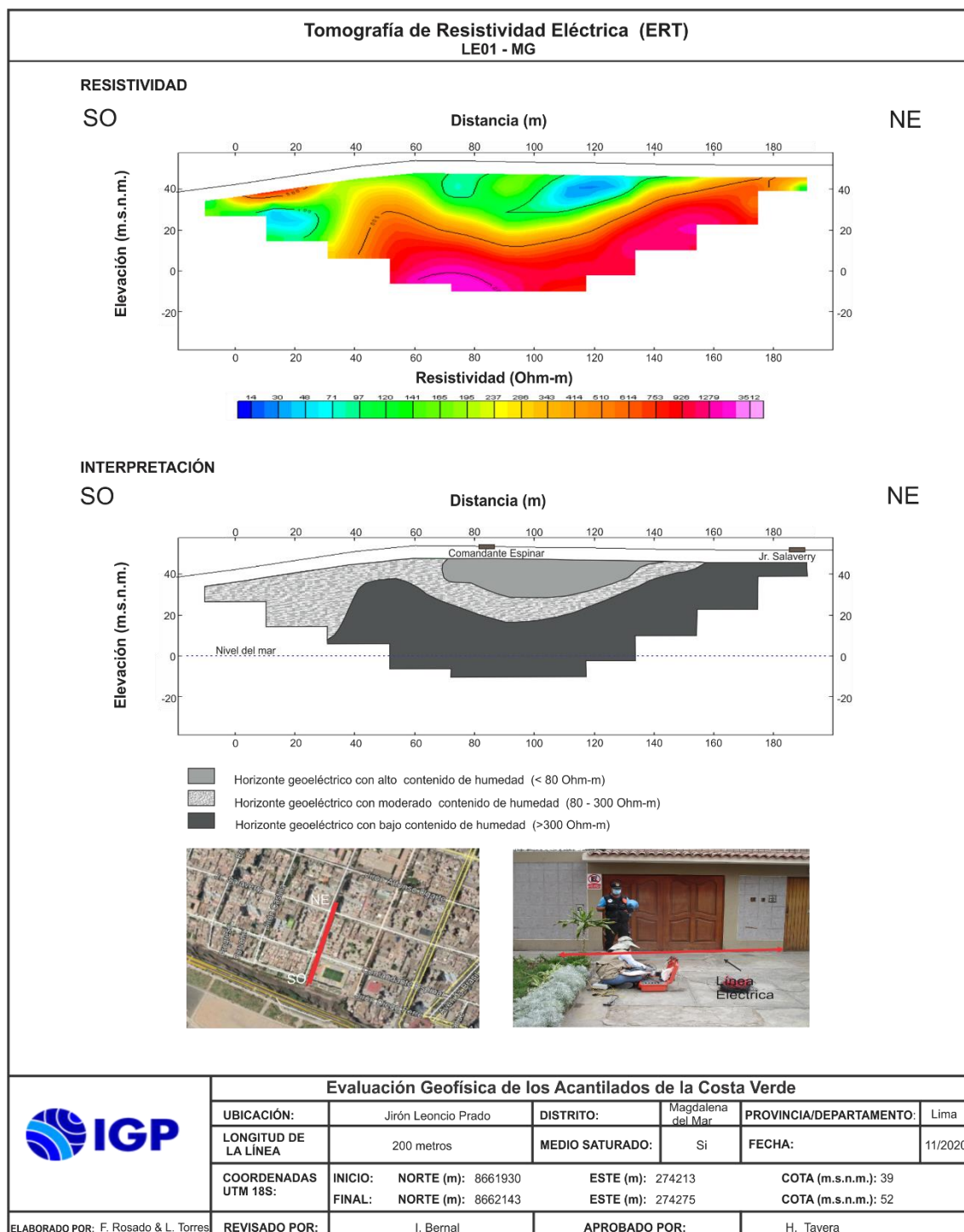
Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	326	600	7
2	550	1328	16
3	715	1897	11
Semi espacio	1059	3027	-

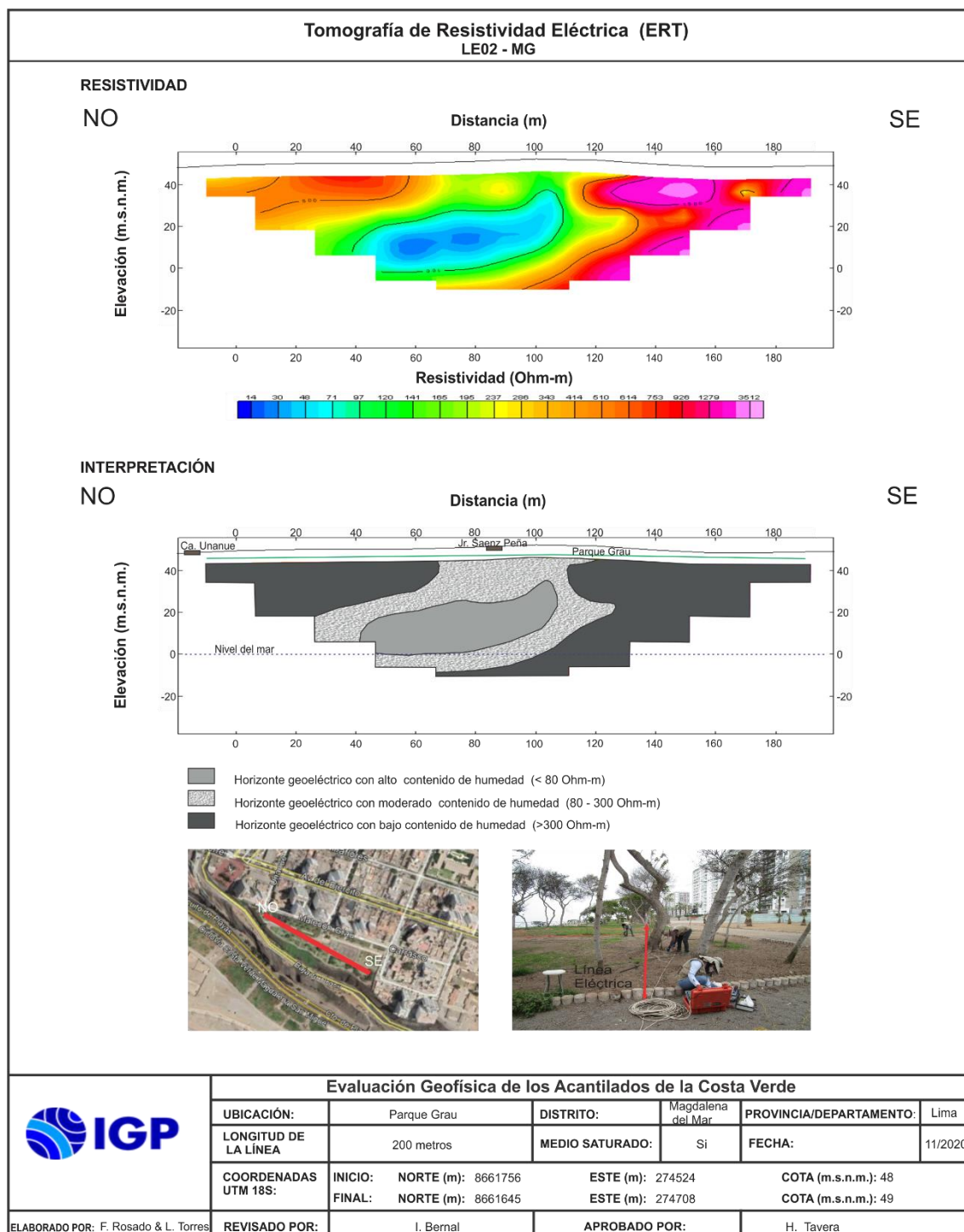
Valores de Vs, Vp y espesor para la línea sísmica LS20-MG.

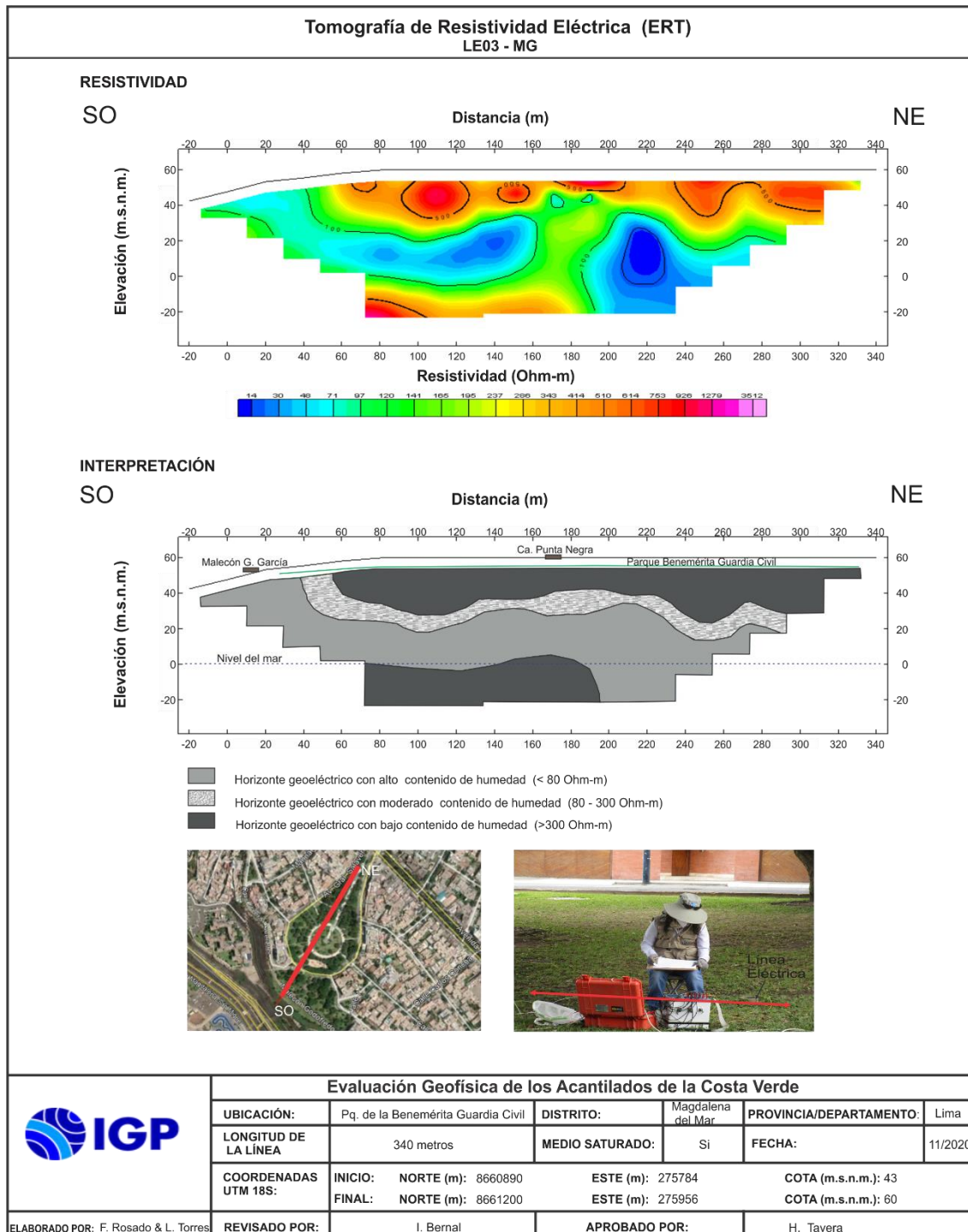
Capa N°	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor (m)
1	447	572	4
2	651	1152	12
3	843	2134	19
Semi espacio	1164	3317	-

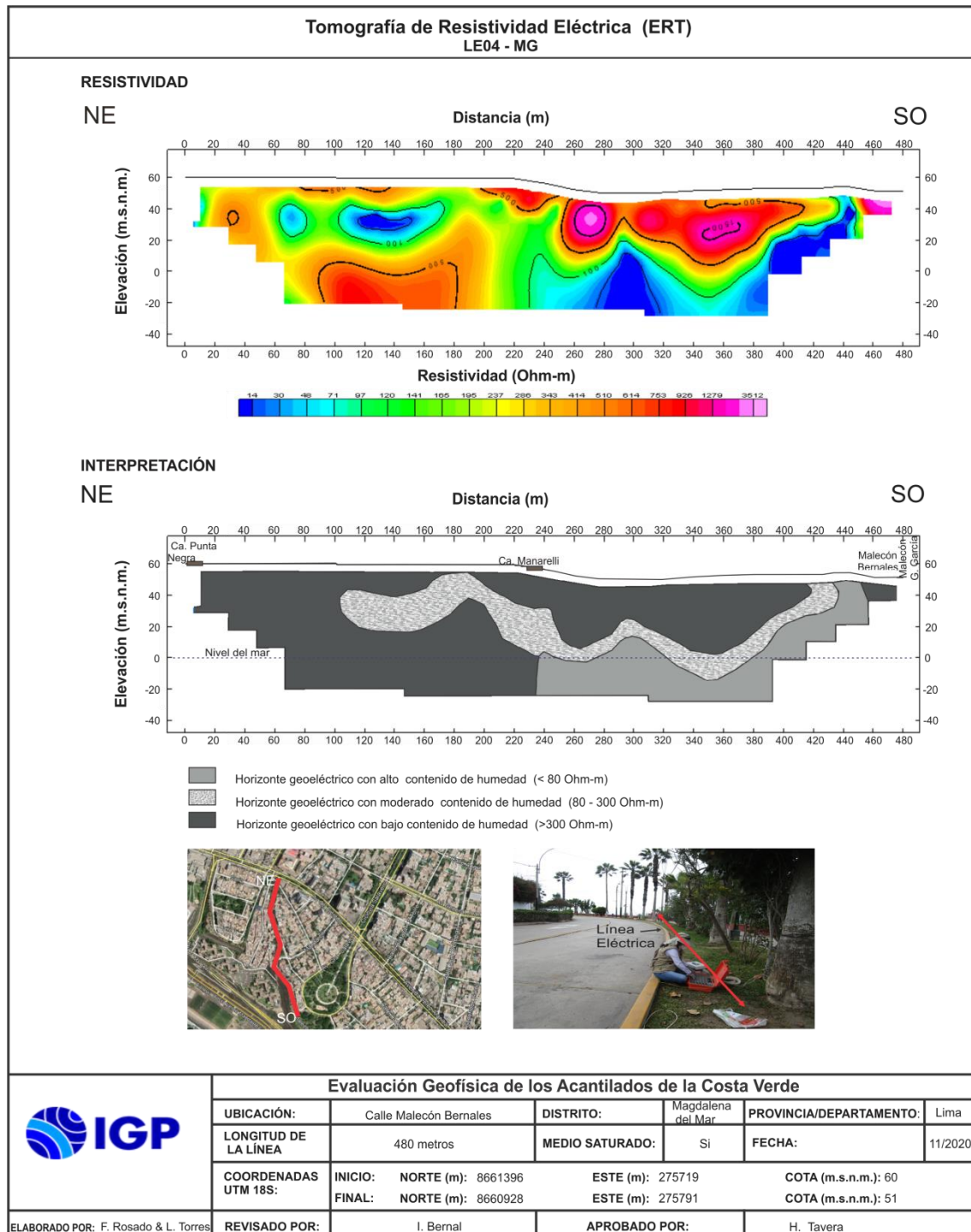
ANEXO IV.

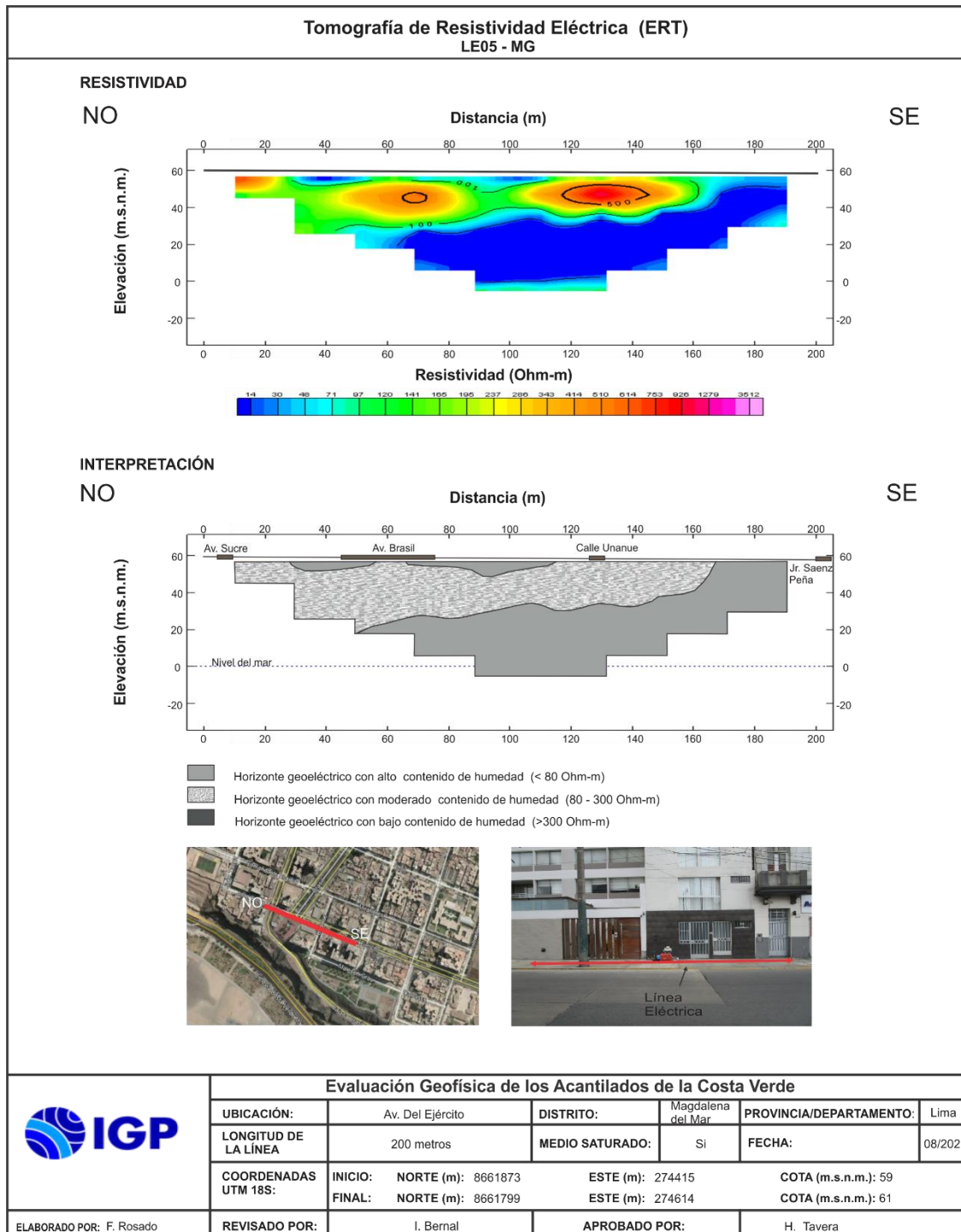
Secciones geoeléctricas

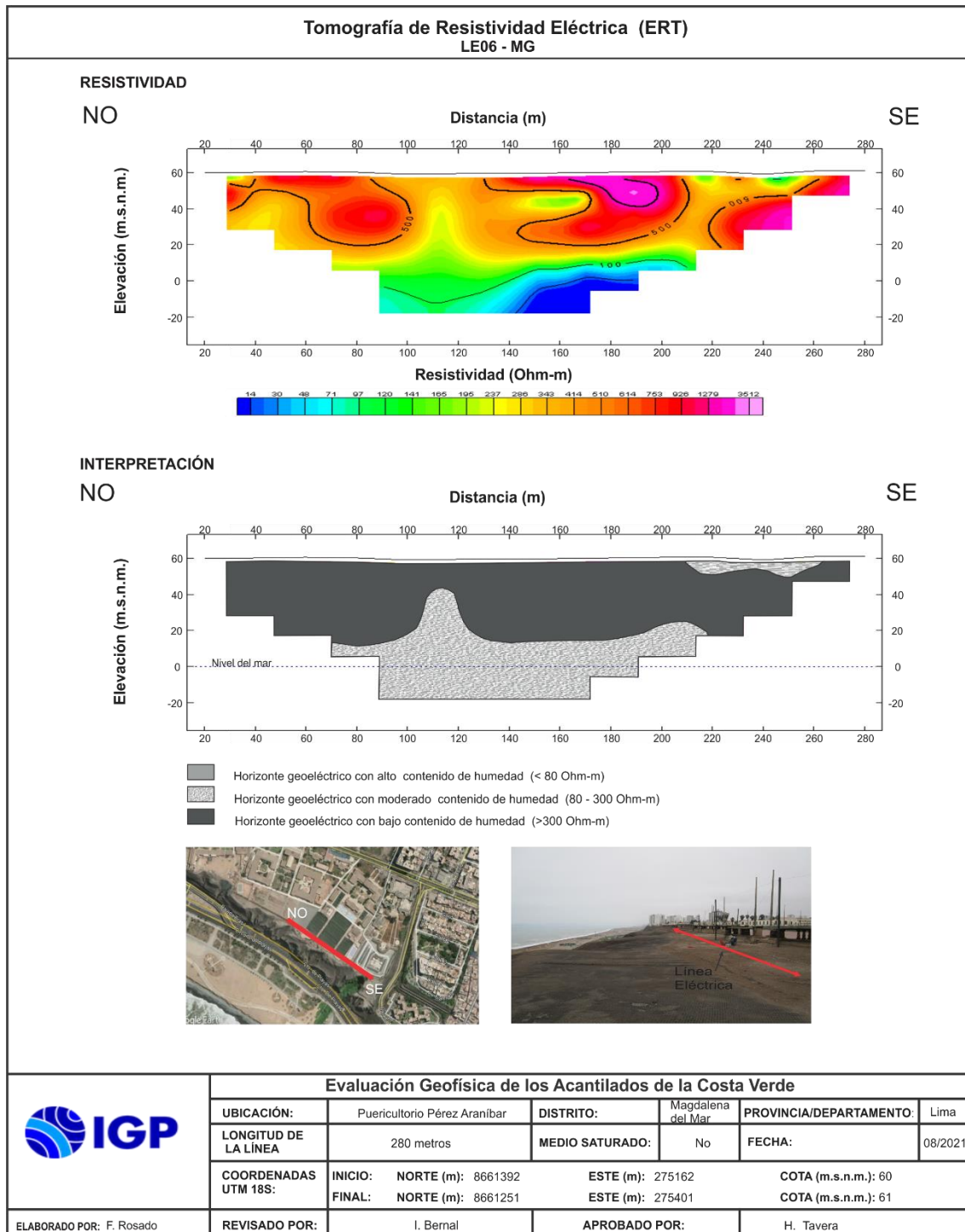


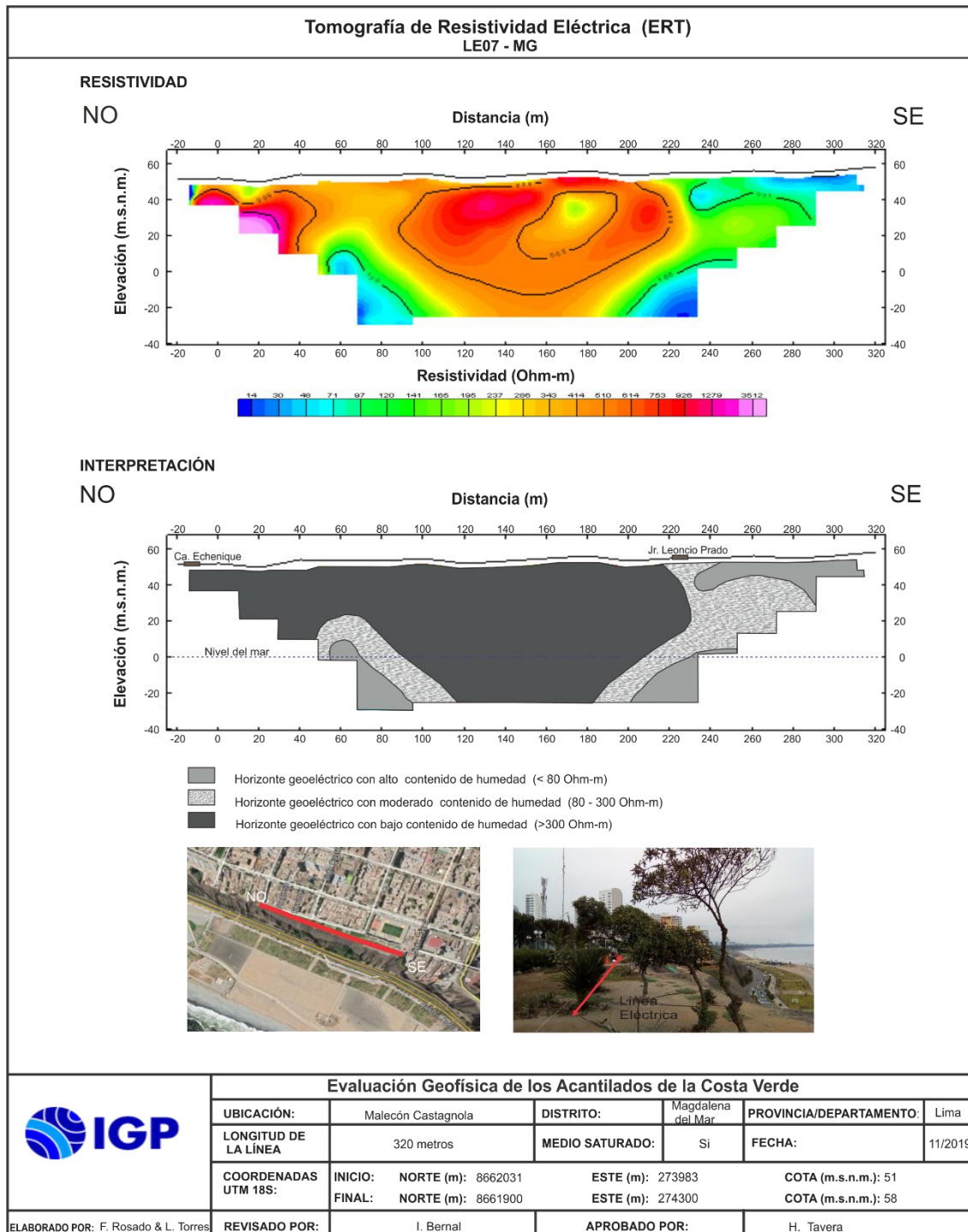


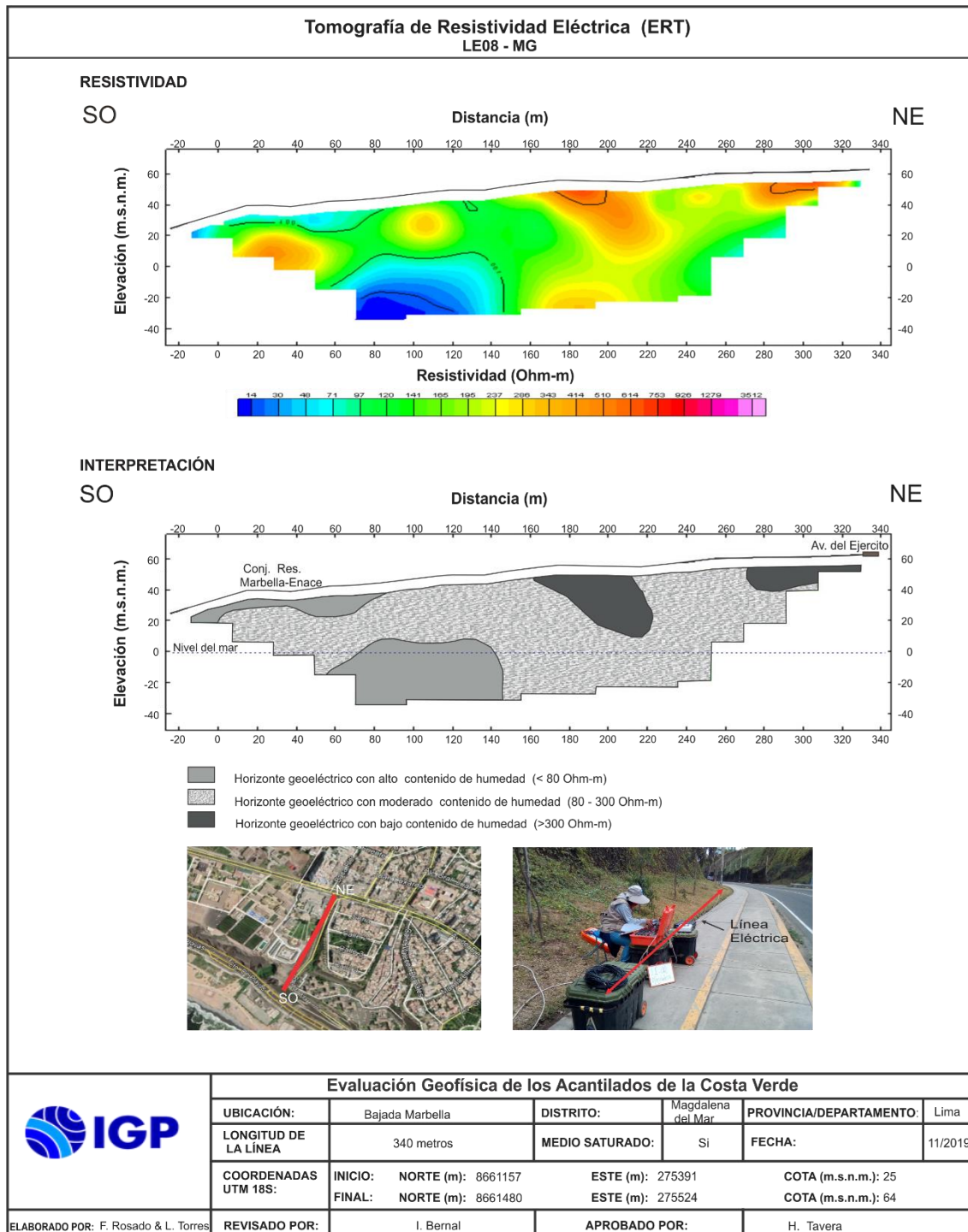


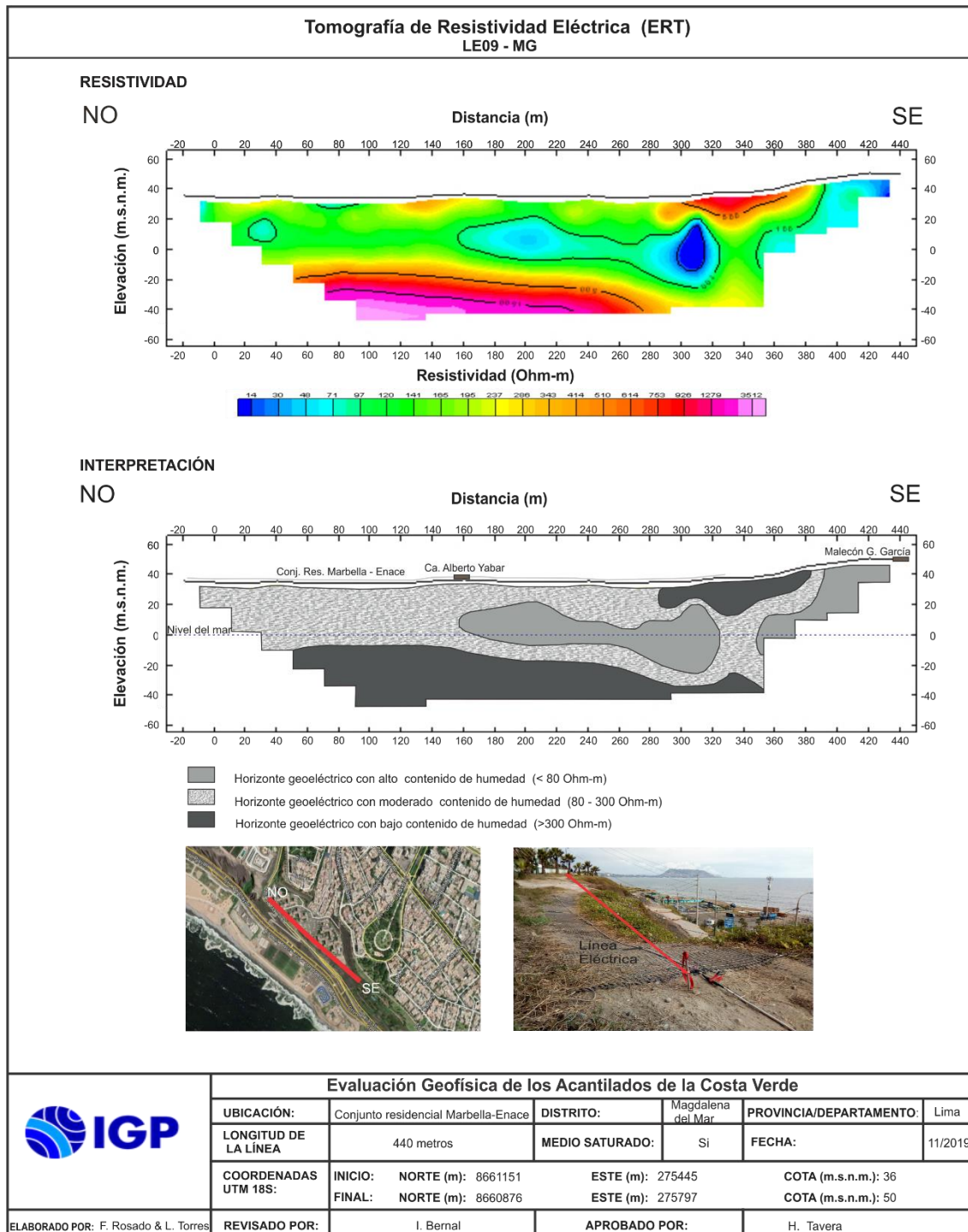


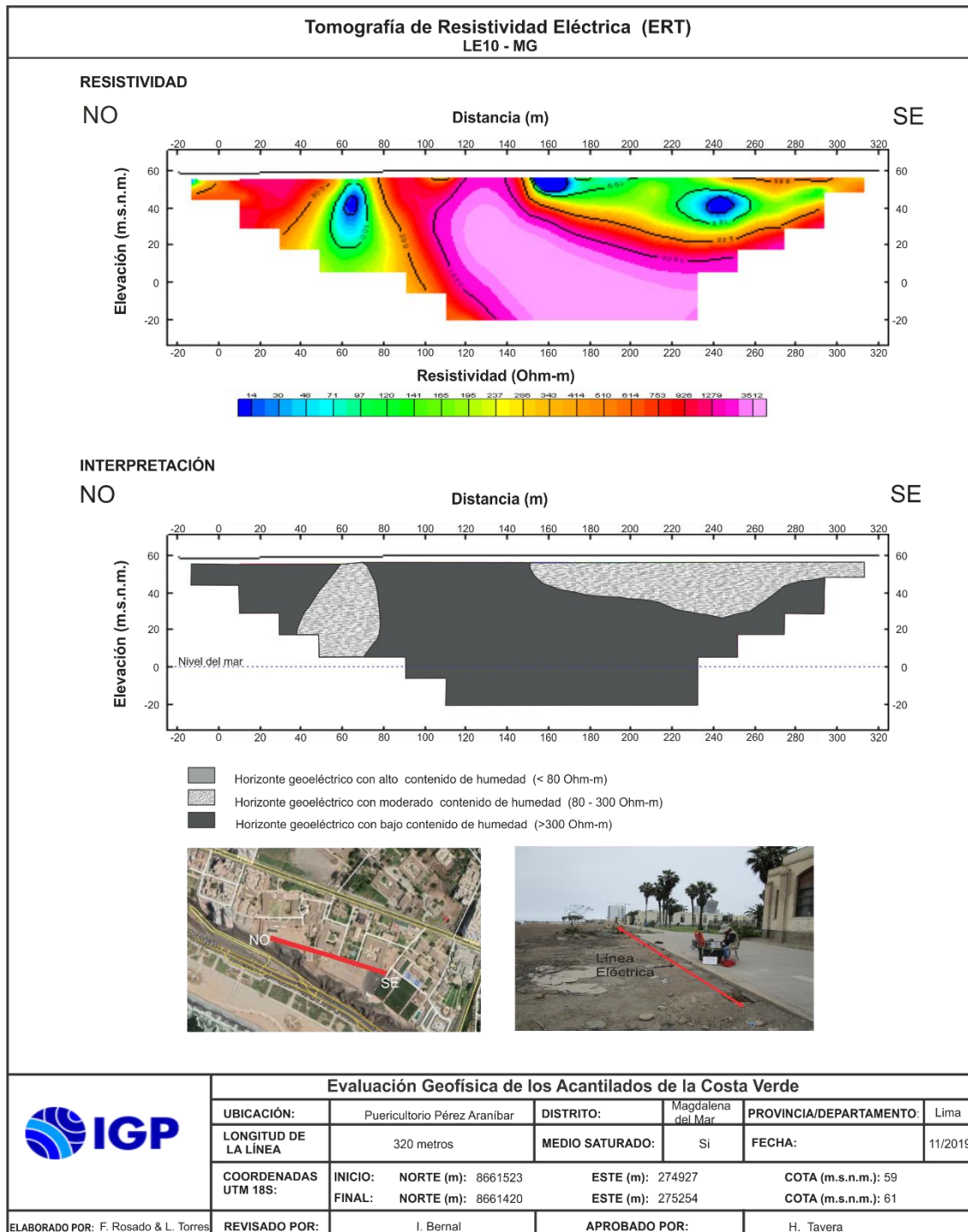


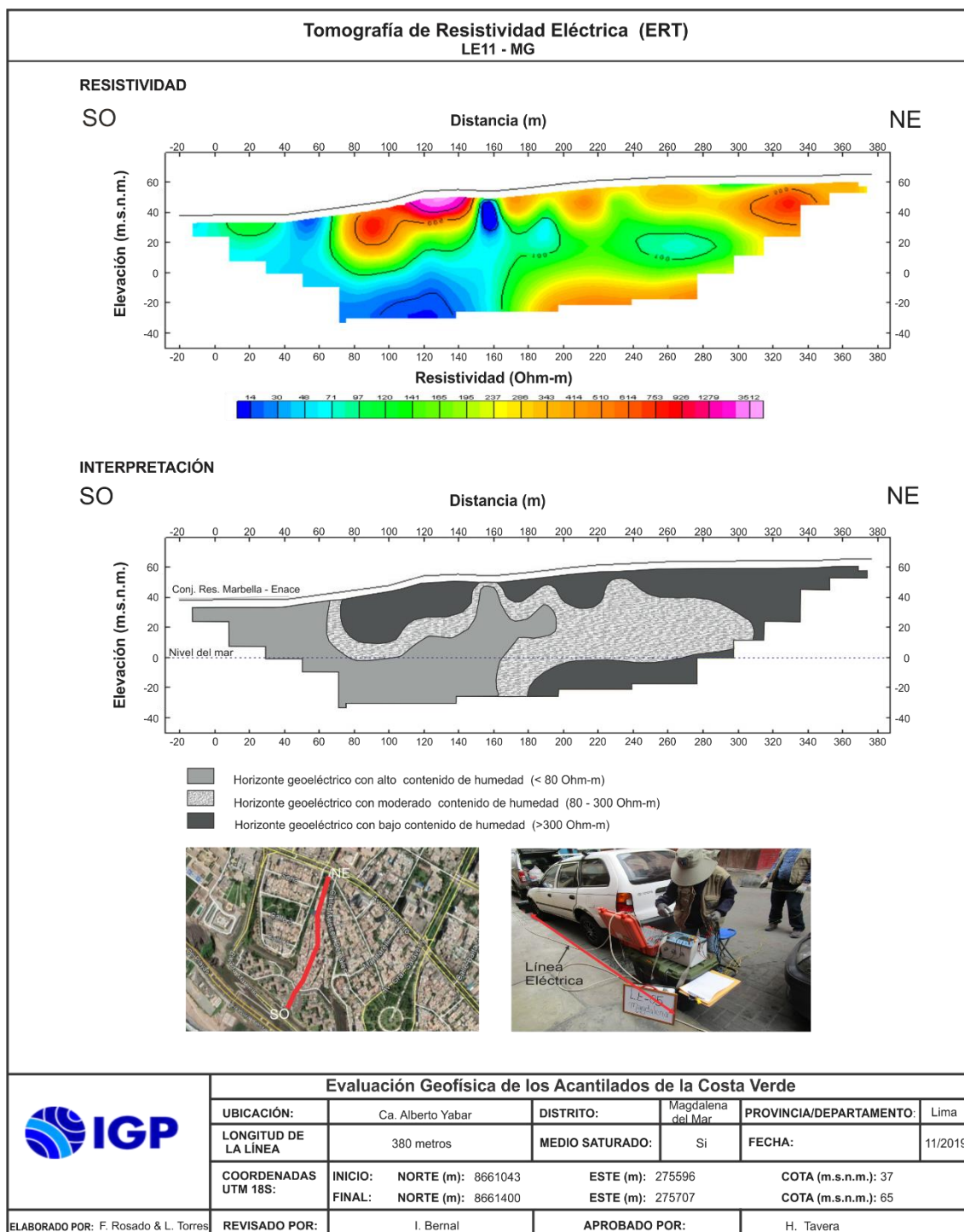












ANEXO V.

Secciones de Radargramas

