



Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú



PROGRAMA PRESUPUESTAL 068: REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS POR DESASTRES

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN SISMO-GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA LAS LOMAS



Lima - Perú

2020

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN SISMO-GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA LAS LOMAS

Provincia de Talara - Departamento de Piura
(Características dinámicas del suelo)

Responsable del Proyecto

Dr. Hernando Tavera

Desarrollo del Proyecto

Dra. Isabel Bernal Esquía

MSc. Juan Carlos Gómez Avalos

Personal Participante

Segundo Ortiz Yovera	Kelly Pari Rondón
Pilar Vivanco López	Liliana Torres Velarde
Víctor Alarcón Cervantes	Fabiola Rosado Moscoso
Mariana Vivanco Manrique	Luz Arredondo García
Héctor Lavado Sánchez	Wilfredo Sulla Huilca
Giovana Gutiérrez Medina	Javier Oyola Coral
Belinia Baez Castro	Jorge Salas Coral

Apoyo Técnico

Marisol Enríquez Huamán
Esther Campos Córdova
Augusto Cárdenas Ausejo
Roberth Yupanqui Zelada



RESUMEN EJECUTIVO

En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica”, el mismo que tuvo como actividades la “Caracterización Geomorfológica, Geológica, Geodinámica y Geotécnica” y “Generación de Estudios Territoriales de Peligros Sísmicos” obteniéndose como resultado final, mapas temáticos (geomorfología, geología, geodinámica, tipos de suelos y capacidad portante y zonificación sísmica) del área urbana del distrito Las Lomas, Provincia y Departamento de Piura. El estudio permite conocer el Comportamiento Físico y Dinámico del Suelo a partir de la recolección de información y aplicación de métodos sísmicos, geofísicos, geológicos, geomorfológicos y geotécnicos.

Los resultados obtenidos para el área urbana de Las Lomas han permitido identificar la existencia de tres (3) tipos de suelos que corresponden a: arena limosa (SM) con capacidad portante baja (1.00 – 2.00 kg/cm²), así como, arena mal graduada con limos (SP-SM) con capacidad portante alta >3.0 kg/cm² y arcillas con limos inorgánicos (CL-ML) con capacidad portante muy baja (<1.00 kg/cm²).

Los resultados obtenidos para el área urbana Las Lomas han permitido identificar, considerando lo indicado en la Norma sismorresistente E.030, la existencia de dos (2) zonas correspondientes a suelos Tipos S1 y S4 que comprenden a suelos rígidos y excepcionales. Considerando el predominio de suelos S1, aproximadamente el 95 % del área de estudio presenta suelos que responden a periodos que varían entre 0.1 y 0.2 segundos, con amplificaciones relativas mayores a 3 veces, principalmente en sectores ubicados hacia el extremo Este del área de estudio (áreas de cultivo), próximos al río Chipillico y al canal que cruza el área urbana. El espesor de la capa superficial del suelo varía de entre 3 y 7 metros, a excepción del extremo noreste el cual presenta espesores de hasta 17 metros (próximo al canal). El suelo presenta bajo contenido de humedad.

El Mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana del distrito de Las Lomas se constituye como información primaria a ser utilizada por ingenieros civiles y arquitectos para el diseño y construcción de estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos identificados en este estudio. Asimismo, como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.



CONTENIDO

PRIMERA PARTE: ESTUDIO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO	9
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. OBJETIVOS.....	10
2.1 Objetivo general.....	10
2.2 Objetivo específico	10
3. METODOLOGÍA.....	10
4. ANTECEDENTES	11
4.1 Recopilación de la información	11
5. ASPECTOS GENERALES.....	14
5.1 Ubicación y accesibilidad	14
5.2 Población	15
5.3. Clima	15
5.4 Hidrografía	18
6. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA, GEOLÓGICA Y GEODINÁMICA	18
6.1 Geomorfología	18
6.1.1. Modelo Digital de Elevación (MDE)	19
6.1.2 Pendientes.....	19
6.1.2.1 Clasificación del grado de pendientes	19
6.1.3 Unidades Geomorfológicas	20
6.1.3.1 Colina.....	21
6.1.3.2. Lecho fluvial.....	22
6.1.3.3 Loma	23
6.1.3.4 Terraza aluvial	23
6.2 Geología	25
6.2.1 Geología local.....	26
6.2.1.1 Rocas Intrusivas	26
6.2.1.1.1 Diorita Malingas (D-m)	26
6.2.1.1.2 Granodiorita Las Lomas (Gd-l).....	26
6.2.1.1.3 Monzogranito Peña Blanca (Mg-pb)	27
6.2.1.2 Depósitos Cuaternarios.....	27
6.2.1.3 Depósitos aluviales (Qh-al)	27



6.2.1.4 Depósitos fluviales (Qh-fl)	28
6.3 Geodinámica Superficial.....	29
6.3.1 Inundación	30
6.3.1.1 Inundación fluvial.....	30
6.3.1.2 Inundación pluvial.....	30
6.3.2 Elementos expuestos	35
7. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	37
7.1. Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM 420).....	38
7.1.1. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556).....	39
7.2. Exploraciones con posteadora manual.....	40
7.3. Ensayo de penetración dinámica ligera-LDPT (norma DIN 4094)	41
7.4 Resultados de los ensayos de laboratorio	43
7.4.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) en la ciudad de Las Lomas	43
7.5 Ensayo de corte directo (Norma ASTM D - 3080)	46
7.5.1 Capacidad de carga portante	46
7.5.1.1 Tipos de capacidad de carga portante.....	48
8. DISCUSIONES	49
SEGUNDA PARTE: GEOFÍSICA Y ZONIFICACIÓN SISMOGEOGOTÉCNICA....	50
1.- INTRODUCCIÓN	50
1.1.- Objetivos.....	51
1.2.- Área de estudio	52
1.2.1.- Antecedentes.....	54
1.3.- Condiciones locales de Sitio	55
1.4.- Zonificación, Norma Técnica E.030	55
2.- METODOLOGÍA Y DATOS	58
2.1.- Método de Razones Espectrales (H/V)	58
2.1.1.- Procesamiento y análisis	62
2.2.- Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW).....	62
2.2.1.- Procesamiento y análisis	65
2.3.- Método de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)	66
2.3.1.- Procesamiento y análisis	69
3.- RESULTADOS	70



3.1.- Razones espectrales (H/V)	70
3.1.1.- Frecuencias Predominantes	70
3.1.2.- Periodos dominantes.....	76
3.2.- Perfiles de MASW	78
3.3.- Perfiles de Tomografía Eléctrica	82
4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA DE LOS SUELOS.....	87
4.1. Integración de resultados	87
4.2. Mapa de Zonificación Geofísica	89
9. CONCLUSIONES	92
10. RECOMENDACIONES	94
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95



RELACIÓN DE FIGURAS

- Figura 01: Mapa geomorfológico del cuadrángulo de Las Lomas (10-c). Fuente: INGEMMET
- Figura 02: Mapa de peligros por lluvias intensas en el centro poblado de Las Lomas
- Figura 03: La estación meteorológica Partidor se ubica a 9.13 km al suroeste del casco urbano de Las Lomas, Fuente: SENAMHI.
- Figura 04: Los meses de febrero y marzo del 2017 se registran las máximas precipitaciones (1220.4 mm), esto corresponde al evento “El Niño”, Fuente: SENAMHI
- Figura 05: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio
- Figura 06: Formación de los suelos (Adaptado de Gonzales de Vallejo, 2002)
- Figura 07: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de inundaciones en la localidad de Las Lomas.
- Figura 08: Formación de los suelos (Adaptado de Gonzales de Vallejo, 2002)

RELACIÓN DE CUADROS

- Cuadro 01: Temperaturas máximas (color amarillo) y mínimas (color verde) medias mensuales, período 2017-2019, recopilados de la estación meteorológica Partidor, para el área de estudio
- Cuadro 02: Precipitaciones mensuales, período 2017-2019, recopilados de la estación meteorológica Partidor, para el área de estudio
- Cuadro 03: Determinación de geoformas en la ciudad de Las Lomas en base a las características físicas y su origen
- Cuadro 04: Población estimada de la localidad expuesta a eventos de origen natural
- Cuadro 05: Viviendas de la localidad expuestas a eventos de origen natural (se consideró la delimitación del área de influencia de la inundación realizada en el capítulo de geodinámica)
- Cuadro 06: Ubicación de calicatas
- Cuadro 07: Resultado de densidades in - situ
- Cuadro 08: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS
- Cuadro 09: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetros obtenidos
- Cuadro 10: Clasificación SUCS de los suelos de las ocho (08) calicatas elaboradas en la ciudad de Las Lomas
- Cuadro 11: Capacidad de carga portante de ocho (08) muestras extraídas en la ciudad de Las Lomas
- Cuadro 12: Capacidad de carga portante (Criterio de falla general y local) en base al ángulo de fricción corregido del N del DPL vs SPT y cohesión obtenida del ensayo de corte directo

RELACIÓN DE TABLAS

- Tabla 01: Rangos de pendientes del terreno



RELACIÓN DE ANEXOS

ANEXO 01: Perfiles Sísmicos MASW

ANEXO 02: Perfiles de Tomografía Eléctrica ERT

ANEXO 03: LEVANTAMIENTO FOTOGRAFÍCO

ANEXO 04: ANÁLISIS DE ELEMENTOS EXPUESTOS

- Cuadros de aspectos socioeconómicos y condiciones de vulnerabilidad.

ANEXO 05: PLANOS

- P-01 Ubicación y accesibilidad
- P-02 Modelo digital de elevaciones
- P-03 Pendientes
- P-04 Geomorfología
- P-05 Geología
- P-06 Geodinámica
- P-07 Geotecnia
- P-08 Tipos de suelos
- P-09 Capacidad portante

ANEXO 06: MODELADO DE INUNDACIONES

ANEXOS 07: GEOTECNIA

- Correlación N° DPL – SPT / Capacidad portante
- Fichas geotécnicas
- Fichas de logueo de calicatas
- Fichas de densidad de campo
- Fichas de ensayos de penetración dinámica ligera-DPL
- Ficha de logueo de posteos
- Fichas de análisis granulométrico
- Fichas de correlación DPL-SPT
- Fichas de cálculo de carga portante



PRIMERA PARTE: ESTUDIO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

1. INTRODUCCIÓN

La Caracterización Geológica Geotécnica del distrito de Las Lomas se desarrolló como parte del informe de Zonificación Sísmica Geotécnica del distrito en mención (dinámica de los suelos de cimentación), para ello se realizó el cartografiado geológico, geomorfológico y geodinámico en el distrito de Las Lomas a escala 1:12 500 en un área de 1689 hectáreas (ha) apoyados en imágenes obtenidas mediante el uso del Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) del área de estudio, lo que permitió obtener curvas de nivel con equidistancia de 5 m. Así mismo, se realizó la zonificación de los suelos apoyados en ensayos geotécnicos con la finalidad de determinar las propiedades físico-mecánicas de los suelos, estos consistieron en exploraciones a cielo abierto (calicatas), ensayos de densidad de campo in situ, ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL) y auscultaciones con posteadora manual.

Los estudios en conjunto citados anteriormente permiten identificar zonas susceptibles ante la ocurrencia de eventos naturales tales como: movimientos en masa (huaycos, deslizamientos, caída de rocas, entre otros) e inundaciones generadas por fenómenos hidrometeorológicos (precipitaciones extremas “El Niño costero”) que puedan afectar la seguridad física del distrito en mención.

La información proporcionada en el presente informe servirá como material de apoyo a las instituciones de primera línea (gobiernos regionales, municipalidades, entre otros) para ejecutar las medidas correctivas en apoyo a la Gestión del Riesgo de Desastres.



2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Realizar la zonificación de suelos con sus respectivas capacidades portantes en base a sus características físico-mecánicas obtenidas de los ensayos de laboratorio y determinar las áreas expuestas a peligros por eventos geodinámicos presentes en la ciudad de Las Lomas, con el fin de contribuir al desarrollo y planificación urbana preventiva en la ejecución de proyectos futuros.

2.2 Objetivo específico

Realizar el cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico y ensayos geotécnicos en la ciudad de Las Lomas a escala 1:12 500.

Determinar las propiedades físico-mecánicas de los suelos de la ciudad de Las Lomas (centro urbano y área de expansión urbana), en laboratorio y calcular sus respectivas capacidades portantes para realizar los mapas de tipos de suelos y capacidad portante a escala 1:12 500.

3. METODOLOGÍA

Para realizar el informe geológico-geotécnico de Máncora, se dividió en 2 fases: gabinete y campo, que se describen a continuación

Gabinete:

Recopilación e interpretación de imagen satelital de la zona de Las Lomas, obtenidas del servidor Perú SAT-1, año 2017, con la finalidad de delimitar la zona de estudio, así como la recopilación de información geológica regional y local existente (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).

Campo:

Cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico a escala 1:12 500, para lo cual se utilizó la ortofoto del área de estudio obtenida a través del RPAS (Anexo 01).

Se realizaron exploraciones geotécnicas que incluyeron la ejecución de 8 calicatas, 8 densidades de campo, 10 ensayos de Penetración Dinámica Ligera-DLP y 9 auscultaciones manuales (posteos).



Asimismo, las muestras extraídas fueron analizadas en el laboratorio de mecánica de suelos para determinar la humedad natural, límites de Atterberg, granulometría y corte directo (para obtener parámetros de cohesión y ángulo de fricción de los suelos) que servirán para el cálculo de la capacidad portante.

Finalmente, la información recopilada en gabinete, así como, en campo y resultados de laboratorio se procesó y analizó para la elaboración del presente informe final.

4. ANTECEDENTES

En este capítulo se ha realizado la recopilación de informes técnicos en donde se describe la geología regional, ocurrencia de eventos naturales (inundaciones, deslizamientos, huaycos, sismos, entre otros) que afectaron la seguridad física del distrito en mención, así como, características físicas de los suelos, datos que serán discutidos en el Capítulo 8 junto con los resultados obtenidos en el presente informe.

4.1 Recopilación de la información

- **SALCEDO, J. ET AL (2012) “GEOLOGÍA - CUADRÁNGULO DE LAS PLAYAS (9C), LA TINA (9D), LAS LOMAS (10C), AYABACA (10D), SAN ANTONIO (10E), CHULUCANAS (11C), MORROPÓN (11D).” SERIE A: CARTA GEOLÓGICA NACIONAL. BOLETIN N°146.GEOLOGÍA-INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO – INGEMMET**

En este informe se describe:

Para acceder a las zonas fronterizas se tiene como acceso la ciudad de Sullana. La principal vía es la Carretera asfaltada, Sullana – Tambogrande, desde esta última localidad parte una vía afirmada a Las Lomas.

La evolución morfológica ha desarrollado las siguientes unidades: valles fluviales, depresión para andina, colinas sub andinas “Superficie Puna y Cordillera Occidental y Cordillera de Sallique”.

Las unidades lito estratigráficas expuestas incluyen, en primer término, un basamento metamórfico compuesto por gneis del Complejo Marañón del Pre Cambriano, seguidos por esquistos del Complejo Olmos, filitas con metavolcánicos del Grupo Salas y cuarcitas con filitas de la formación río Seco.



- **SALCEDO F, ET AL, (2012) - “GEOLOGÍA DEL CUADRÁNGULO DE LAS LOMAS (10 – C) BOLETÍN N° 146 SERIE A, CARTA GEOLÓGICA NACIONAL 1:50 000. BOLETIN N°146.GEOLOGÍA-INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO – INGEMMET**

En este informe se describe:

El cuadrángulo de Las Lomas (10-c) se localiza en el noroeste del Perú, en la zona de transición de los Andes Centrales a los Andes septentrionales conocida como deflexión de Huancabamba, toda el área del cuadrángulo abarca gran parte del sector oriental de la cuenca Lancones.

Se han reconocido cuatro unidades geomorfológicas o morfo estructurales: cordillera occidental, planicies, lomas y valles o depresiones (Fig. 1). Morfo estructuralmente el cuadrángulo de Las Lomas (10-c) se encuentra entre el borde oriental de la faja costanera y la Cordillera Occidental de los Andes denominadas por Fischer (1956) como depresiones parandinas.

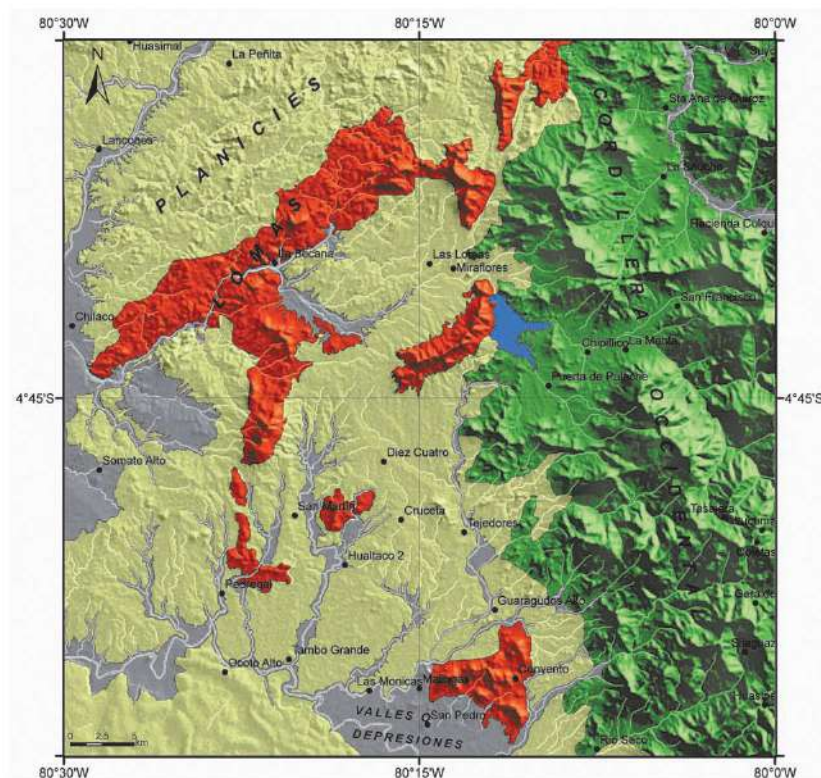


Figura 01: Mapa geomorfológico del cuadrángulo de Las Lomas (10-c). Fuente: INGEMMET

- **CENEPRED, (2017). INFORME DE EVALUACIÓN DEL RIESGO POR LLUVIAS INTENSAS EN EL CENTRO POBLADO DE LAS LOMAS - SANTA ISABEL - DISTRITO DE LAS LOMAS - PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE PIURA. CENTRO NACIONAL DE ESTIMACIÓN, PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES**

En este informe se describe

En los meses de febrero y marzo se registraron precipitaciones pluviales, que van de moderada a fuerte intensidad, las cuales generó deslizamientos, huaycos desbordes e inundaciones, afectando la integridad de personas, servicios básicos, vías de comunicación terrestre y terrenos de cultivo en las provincias del departamento de Piura.

Entre los meses de febrero a marzo del 2017, como consecuencia de las lluvias de moderada a fuerte intensidad, se generaron inundaciones, huaycos y deslizamientos ocasionando afectación en viviendas, áreas de cultivo y vías de comunicación en el distrito de Las Lomas, provincia de Piura, ocasionando daños a la población, viviendas, servicios básicos, carretera, infraestructura agropecuaria, áreas de cultivo y ganadería.

Según el informe de emergencia N° 000081790 – INDECI de fecha 8 de febrero del 2017, señala que, por presencia de lluvias intensas en el distrito de Las Lomas, se registraron 18 personas damnificadas, 147 personas afectadas, así mismo 31 viviendas afectadas, 3 viviendas colapsadas y 5 Instituciones educativas afectadas.

Según el informe de emergencia N° 000084401- INDECI de fecha 06 de marzo del 2017, se señala que, por presencia de lluvias intensas en el distrito de Las Lomas, se registraron 199 personas damnificadas, 488 personas afectadas, así mismo 102 viviendas afectadas, 23 viviendas colapsadas, 23 viviendas inhabitables, 9 instituciones educativas afectadas y 14 establecimientos de salud afectados.

Así mismo, en este informe se adjunta un mapa de peligros por lluvias intensas en el Centro Poblado de Las Lomas, el nivel de Peligro es de Muy alto. (Fuente: CENEPRED, 2017).



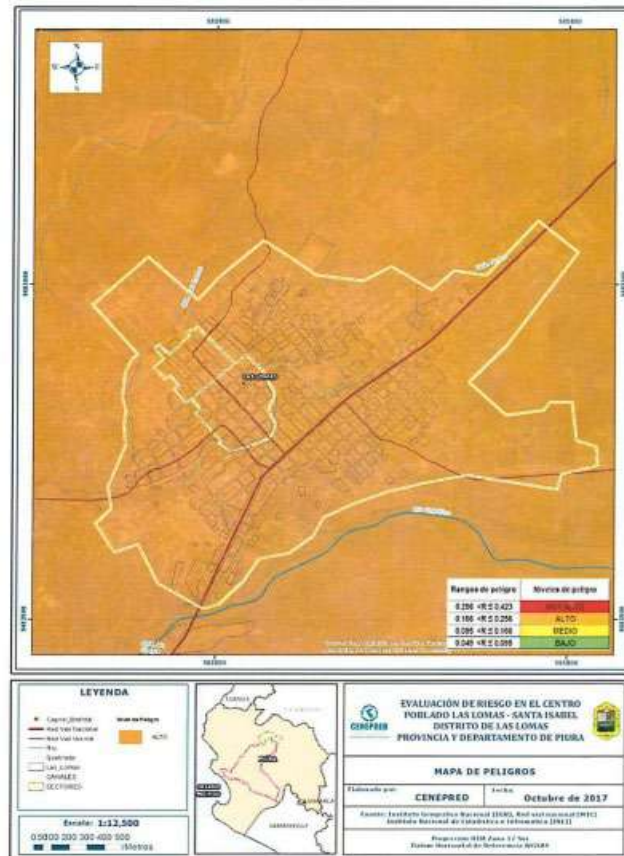


Figura 02: Mapa de peligros por lluvias intensas en el centro Poblado de las Lomas

5. ASPECTOS GENERALES

En este ítem se describe de manera sucinta aspectos generales de la ciudad de Las Lomas.

5.1 Ubicación y accesibilidad

El distrito de Las Lomas se encuentra ubicado en la costa norte del Perú, entre los márgenes del río Chipillico, a 85.80 km al noreste de Piura, provincia y departamento de Piura, en las coordenadas UTM: 583942 E, 9485107 N y cota promedio de 240 m.s.n.m.

Límites:

Norte: con los distritos de Suyo (provincia de Ayabaca) y Lancones (provincia de Sullana).

Sur: con el distrito de Tambogrande.

Este: con los distritos de Sapillica y Palmas de la provincia de Ayabaca.

Oeste: con los distritos de Sullana y Lancones.

El acceso a la ciudad de Las Lomas se realiza de la siguiente manera:

Vía aérea: Lima-Piura (1:30 horas), luego se continua por la carretera afirmada Piura – Tambogrande – Las Lomas (85.80 km).

Vía terrestre: Lima-Piura (988.70 km), a través de la carretera Panamericana Norte, luego se continua por la carretera afirmada Piura – Tambogrande – Las Lomas (85.80 km).

5.2 Población

Las Lomas cuenta con una población de 626 947 habitantes distribuidos en una superficie de 522.47 km² y un total de 10 270 viviendas (Fuente: INEI- 2017). Los aspectos socioeconómicos se describen en el Anexo 02.

5.3. Clima

Para determinar las condiciones climáticas en la ciudad de Las Lomas se ha tomado los datos referenciales de la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). La estación Partidor está ubicada en las coordenadas geográficas; Latitud: 4°43'55.09", Longitud: 80°16'47.36", cota 218 m.s.n.m. y, a 9.13 km al suroeste del centro urbano. Según la información registrada en esta estación (período 2017-2019), la ciudad presenta un clima cálido con temperatura media mensual, que durante los meses de verano llega hasta 35.2°C, mientras que en invierno desciende hasta 15.72 °C., Figuras 03 y 04, Cuadros 01 y 02.

Cabe mencionar que estos datos meteorológicos varían cuando se presenta el fenómeno El Niño.



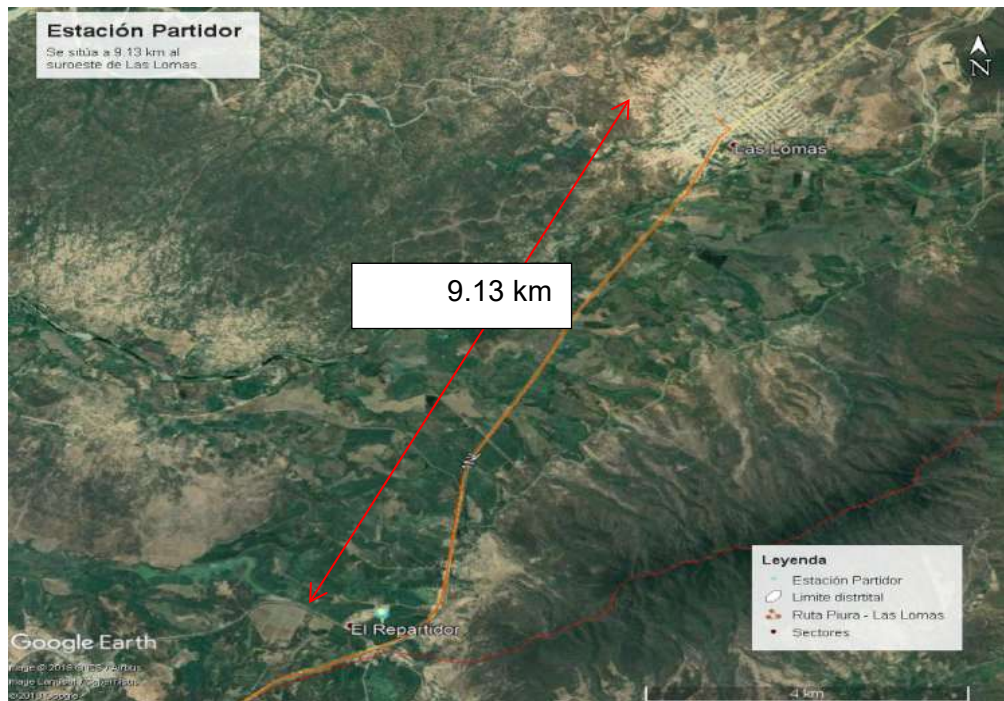


Figura 03: La estación meteorológica Partidor se ubica a 9.13 km al suroeste del casco urbano de Las Lomas, Fuente: SENAMHI.

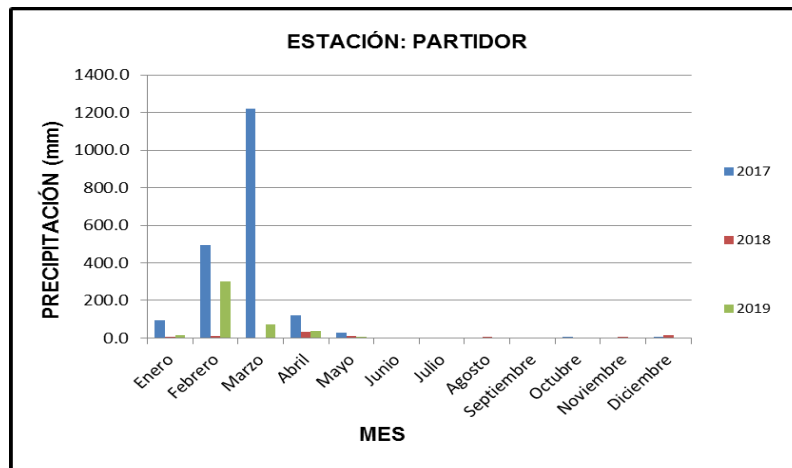


Figura 04: Los meses de febrero y marzo del 2017 se registran las máximas precipitaciones (1220.4 mm), esto corresponde al evento “NIÑO”, Fuente: SENAMHI



Cuadro 01: Temperaturas máximas (color amarillo) y mínimas (color verde) medias mensuales, período 2017-2019, recopilados de la estación meteorológica Partidor, para el área de estudio

Estación: PARTIDOR					
Tipo Convencional - Co - Meteorológica					
Departamento	Piura	Provincia	Piura	Distrito	Las Lomas
Latitud	4° 43' 55.09"	Longitud	80° 16' 47.36"	Altitud	218 msnm
Mes	Temperatura Promedio	2017	2018	2019	
Enero	T° Max. Media mensual (°)	33.69	34.35	34.15	
	T° Min. Media mensual (°)	22.67	20.93	22.36	
Febrero	T° Max. Media mensual (°)	32.23	34.28	32.50	
	T° Min. Media mensual (°)	22.81	22.54	22.98	
Marzo	T° Max. Media mensual (°)	31.90	35.20	32.54	
	T° Min. Media mensual (°)	23.05	22.23	22.43	
Abril	T° Max. Media mensual (°)	30.87	33.72	33.16	
	T° Min. Media mensual (°)	21.89	21.09	21.03	
Mayo	T° Max. Media mensual (°)	29.34	31.57	32.12	
	T° Min. Media mensual (°)	20.39	18.71	20.05	
Junio	T° Max. Media mensual (°)	27.63	30.23	31.48	
	T° Min. Media mensual (°)	19.00	17.19	17.98	
Julio	T° Max. Media mensual (°)	27.98	29.68	30.79	
	T° Min. Media mensual (°)	17.43	16.54	16.39	
Agosto	T° Max. Media mensual (°)	28.80	31.55	30.50	
	T° Min. Media mensual (°)	16.57	16.92	15.72	
Septiembre	T° Max. Media mensual (°)	30.84	33.07	31.36	
	T° Min. Media mensual (°)	16.43	16.71	15.94	
Octubre	T° Max. Media mensual (°)	31.61	32.20	31.46	
	T° Min. Media mensual (°)	16.65	17.69	16.61	
Noviembre	T° Max. Media mensual (°)	30.68	33.00	SD	
	T° Min. Media mensual (°)	16.75	19.20	SD	
Diciembre	T° Max. Media mensual (°)	32.89	33.30	SD	
	T° Min. Media mensual (°)	19.33	20.49	SD	

Fuente: SENAMHI, 2019. Donde: SD Sin datos

Cuadro 02: Precipitaciones mensuales, período 2017-2019, recopilados de la estación meteorológica Partidor, para el área de estudio

AÑO	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2017	93.8	495.3	1220.4	119.6	26.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	2.2
2018	6.5	13.1	0.0	32.6	10.1	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	2.9	14.4
2019	15.9	302.9	73.3	35.7	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Fuente: SENAMHI, 2019. Donde: SD Sin datos

5.4 Hidrografía

El río Chipillico, que origina la subcuenca del mismo nombre, tiene su nacimiento sobre los 3 200 m.s.n.m., en la parte alta del río San Pedro que posteriormente toma el nombre de río Yangas, que es alimentada a su vez por el río Sapillica. El Chipillico aporta significativamente al reservorio de San Lorenzo conjuntamente con la quebrada Cerezal que, a su vez, es alimentada por las quebradas Guayabo y Pariamarca.

Aguas abajo el río Chipillico es alimentada por las quebradas de Serranos, El Convento, Jaguar de Pavas, Galiones, Pichones, Tamarindo y Zapayal en la margen derecha, en tanto en la margen izquierda del reservorio hay aportes de las quebradas Buitrera, La Hamaca, Peña Viva, Carvajal y otras de importancia, llegando al río Chira en la sección de 88 m.s.n.m. Cubre una extensión de 117 092.09 Ha., que alcanzan el 6.81% del área de la Cuenca. (Proyecto Binacional Catamayo-Chira, 2005).

6. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA, GEOLÓGICA Y GEODINÁMICA

6.1 Geomorfología

La geomorfología estudia las diferentes formas de relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan, este relieve es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como creadoras de grandes elevaciones y depresiones producidas fundamentalmente por movimientos en masa de componente vertical, mientras que, las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado, estos últimos llamados procesos de geodinámica externa se agrupan en la cadena meteorización-erosión, transporte y sedimentación (Gutiérrez, 2008). El estudio de la geodinámica externa se efectúa en un sistema proceso respuesta, siendo el primero el agente creador (origen) y el segundo la geoforma resultante.

El término geoforma es un concepto genérico que designa todos los tipos de formas de relieve independientemente de su origen y dimensión (Zinck, 1988; Zinck & Valenzuela, 1990).

En este capítulo se describen las características físicas de las geoformas existentes en la ciudad de Las Lomas, en relación a su origen. Previamente para la digitalización del plano geomorfológico se han elaborado los planos de Modelo Digital de Elevación (MDE) y Pendientes (Planos P-02 y P-03), mediante herramientas computacionales



(SIG), que permiten caracterizar y delimitar las unidades geomorfológicas del terreno (geoformas), éstas fueron verificadas y validadas durante el trabajo de campo en Las Lomas, Plano P-04.

6.1.1. Modelo Digital de Elevación (MDE)

Los MDE son representaciones gráficas de la superficie del terreno, conformados por un número de puntos con información altimétrica y planimétrica. Por su naturaleza digital permiten ser utilizados para realizar mapas de pendientes, acumulación de horas de radiación, parámetros morfométricos, entre otros, (Felicísimo, 1994).

Para la elaboración del MDE de la ciudad de Las Lomas se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel diseñadas anteriormente, obteniendo como resultado la representación digital de la superficie del terreno de la localidad.

En base al MDE elaborado de la ciudad de Las Lomas se ha reconocido que la zona urbana se asienta sobre una lomada, la cual presenta un rango de cotas entre 237 y 259 m.s.n.m. En la margen izquierda del río Chipillico está conformado por un valle aluvial en cual se desarrolla la actividad agrícola de la zona.

6.1.2 Pendientes

Es el ángulo que se expresa en grados o porcentajes. Este parámetro influye en la formación de los suelos y condiciona el proceso erosivo, pues mientras más pronunciada sea la pendiente, la velocidad del agua de escorrentía será mayor, no permitiendo la infiltración del agua en el suelo (Belaústegui, 1999).

El diseño de mapa de pendientes de la ciudad de Las Lomas fue desarrollado a partir del MDE elaborado anteriormente, haciendo usos de herramientas de geoprocésamiento (área de influencia, construcción de modelos, análisis espacial, etc.) para diferenciar gráficamente los ángulos de inclinación del relieve en el área de estudio.

6.1.2.1 Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó como base el informe “Estudio de riesgos geológicos del Perú” – (Fidel, 2006), Tabla 01:



Tabla 01: Rangos de pendientes del terreno

PENDIENTE EN GRADOS (°)	CLASIFICACIÓN
<5	Muy baja
5 - 20	Baja
20 - 35	Media
35 - 50	Fuerte
>50	Muy fuerte

Fuente: Fidel et al., (2006)

El casco urbano de Las Lomas y anexos se encuentra asentada sobre una lomada que presenta pendientes que oscilan entre 5° y 15°.

6.1.3 Unidades Geomorfológicas

Estas geoformas están compuestas por materiales que presentan una génesis propia que explica la dinámica de cómo se formaron y características físicas que conforman un relieve (forma, altura, pendiente, drenaje, textura de vegetación, color, etc.) que las diferencian entre sí.

En conclusión, las geoformas son generadas por procesos geodinámicos de tipo endógeno (internos) y exógenos (externos) que dan lugar a relieves positivos y negativos.

A. Características físicas

Las características físicas de la forma, es decir, su relieve, expresa una combinación de parámetros como: pendiente, altura, geometría y drenaje (modificado de Pike et al, 2009). Estos parámetros son directamente accesibles a la percepción visual proximal o distal, sea humana o instrumental.

B. Procesos

Los agentes modeladores como el agua, el viento, temperatura, entre otros, desencadenan diversos procesos externos tales como el intemperismo, meteorización, erosión, transporte y depositación generando diferentes geoformas, clasificándose de acuerdo a su origen en depositacional, denudacional (erosional). Otros procesos internos como el magmatismo, tectonismo, entre otros, generan geoformas de origen estructural.



En base a las características físicas de las geoformas y su origen en la ciudad Las Lomas se cartografiaron cinco unidades: colina, lomas, terraza aluvial, valle aluvial y lecho fluvial, Cuadro 03 y Plano P-04.

Cuadro 03: Determinación de geoformas en la ciudad de Las Lomas en base a las características físicas y su origen

CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LAS LOMAS					
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		PROCESO	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ÁREA (HAS)	ÁREA (%)
Pendiente	20°-35°	Estructural Denudacional	Colinas	126.60	5.90
Altura	100-300 m				
Geometría	Redondeada				
Drenaje	Dendrítico				
Pendiente	20°-35°	Mixta Estructural Denudacional	Lomas	1240.50	57.40
Altura	100-300 m				
Geometría	Alargada				
Drenaje	Dendrítico				
Pendiente	5°-20°	Mixta Deposicional Denudacional	Terraza aluvial	335.20	15.50
Altura	<100 m				
Geometría	Alargada				
Drenaje	Radial				
Pendiente	<5°	Denudacional Deposicional	Valle aluvial	398.30	18.40
Altura	<100 m				
Geometría	Alargada				
Drenaje	Dendrítico				
Pendiente	<5°	Denudacional	Lecho fluvial	55.20	2.60
Altura	<100 m				
Geometría	Alargada				
Drenaje	Paralelo				

Fuente: IGP, 2019

6.1.3.1 Colina.

Elevaciones topográficas de altura menor a 100 m cuyo relieve presenta pendientes menores de 20°, se caracteriza por tener forma redondeada. Representa el 6% del área de estudio y se encuentra ubicada a 1.70 km al este del casco urbano de Las Lomas, Foto 01.





Foto 01: La colina se sitúa a 1.70 km al este del casco urbano, a metros de la quebrada Hawái de Pava

6.1.3.2. Lecho fluvial

Es el canal excavado por el flujo de agua de un río y los sedimentos que este transporta durante todo su desarrollo y evolución. La morfología del lecho depende del caudal, la pendiente, el tamaño del sedimento y de lo erosionable que sea el substrato rocoso, es decir, es producto de un equilibrio dinámico entre la carga de sedimentos y su capacidad de transporte.

El lecho fluvial del río Chipillico se desplaza con dirección este – oeste, en el trayecto que colinda con la ciudad de Las Lomas (margen derecha) presenta una pendiente de 0.7 % (menor a 1°), el ancho del cauce llega a medir entre 41 m y 114 m aproximadamente y se observan islotes en la parte central. Abarca un área de 55.20 ha, que representa el 2.60 % del total, Foto 02.





Foto 02: Lecho fluvial del río Chipillico, tiene un recorrido de este a oeste con un ancho que va desde 41 hasta los 144 m.

6.1.3.3 Loma

Esta geoforma presenta pendiente menor a 35° , altura menor a 300 m, geometría alargada, drenaje dendrítico y un origen denudacional. Recientemente han sido modificadas (redondeadas y/o cubiertas por mantos de arena) por la acción del viento (erosión eólica), escorrentía de las aguas superficiales y por la actividad antrópica. Sobre esta unidad se asienta el casco urbano de Las Lomas y anexos. Abarca un área de 1240.50 ha, que involucra un 57.40 % del total, Foto 03.

6.1.3.4 Terraza aluvial

Las terrazas aluviales son plataformas planas, más o menos extensas y continuas que tiene un desnivel constante en relación con el lecho fluvial. Esta unidad geomorfológica de origen depositacional presenta una pendiente $< 10^\circ$, así como una geometría irregular y drenaje variable. Cabe destacar que esta terraza aluvial tiene una altura de 5 m con respecto al nivel del río Chipillico. Y se sitúan en ambas márgenes del río Chipillico y la quebrada Salao. Esta unidad abarca un área de 335.20 ha, que representa el 15.50 % del total, Foto 04.





Foto 03: Sobre estas lomas se encuentra asentada el área urbana de Las Lomas y anexos



Foto 04: Las terrazas se sitúan en ambas márgenes del río Chipillico y la quebrada Salao



6.2 Geología

La geología es la ciencia que estudia la Tierra, los materiales que la componen, las estructuras y los procesos que actúan sobre y debajo de la superficie a lo largo de millones de años desde su origen hasta la actualidad. La litología, como parte de la geología, estudia las características físicas de las rocas y depósitos que constituyen una formación geológica, es decir, una unidad litoestratigráficas. Los tipos de rocas han sido originados por procesos internos (tectónica de placas, ascenso de magma, etc.) como también por la erosión, transporte y depositación de rocas preexistentes (proceso de meteorización).

El intemperismo asociado a los procesos de meteorización, es básicamente un proceso químico, el agua actúa como disolvente, la remoción de los elementos más pequeños del cuerpo de roca deja espacios por ende el agua sigue penetrando y acelerando el proceso de desintegración. La roca se vuelve porosa, después, se descompone en fragmentos cada vez más pequeños, hasta que al ser transportada y depositada, se convierte en suelo. Los procesos químicos son complejos y dependen de los diversos minerales que constituyen las rocas, lo que determina también su naturaleza y fragilidad. Por ejemplo: la sílice (SiO_2) en forma de cuarzo es estable en climas templados, pero en climas ecuatoriales, las altas temperaturas y las precipitaciones pluviales contribuyen a su descomposición; por ello es importante conocer los tipos de rocas y sus características físicas (Harvey, 1987). Estos procesos de meteorización modelan tanto la roca, como el suelo, dando como resultado las geformas que componen el relieve, los factores condicionantes como la litología, pendiente, hidrología, etc; así como, los detonantes: sismos y precipitaciones pluviales ocasionan movimientos en masa (deslizamientos, flujos, caídas de rocas).

Para entender el comportamiento del terreno, es necesario conocer los procesos geológicos externos (meteorización, erosión, transporte y sedimentación). Se estudian las rocas y los suelos que provienen de las mismas, analizando las propiedades asociadas al comportamiento mecánico.

La geología comprende varias disciplinas tales como la geología regional, histórica y estructural que permiten explicar el cómo, cuándo y qué procesos actuaron en el desplazamiento de las rocas y materiales que constituyen los suelos sobre los que se asienta la zona estudiada.



6.2.1 Geología local

Consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de Las Lomas a escala 1:12,500, que abarcó un área de 21.60 km² aproximadamente, Plano P-05. A continuación se describen estas unidades, Figura 05.

CRONOESTRATIGRAFIA			LITOESTRATIGRAFIA		
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD ESTRATIGRAFICA	SÍMBOLO	LITOLÓGÍA
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos fluviales	Qh-fl	Gravas sub-redondeadas y sub-ángulosas en matriz areno limosa.
			Depósitos aluviales	Qh-al	Fragmentos angulosos heterogéneos, envueltos en matriz limo-arenosa.
	TERCIARIO	INFERIOR	Monzogranito Peña Blanca	Mg-pb	Monzogranito Peña Blanca
			Granodiorita Las Lomas	Gd-l	Granodiorita Las Lomas
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Diorita Malingas	D-m	Diorita Malingas

Figura 05: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio

6.2.1.1 Rocas Intrusivas

Los cuerpos rocosos intrusivos de la región forman parte del segmento norte del Batolito de la Costa, el mismo que fue denominado “Segmento Piura” por Pitcher (1978).

6.2.1.1.1 Diorita Malingas (D-m)

Están ubicadas en la parte más distal del complejo, en forma de stock.

Abarca el 12 % del área de estudio y sobre estos intrusivos se encuentra asentada el 50 % del casco urbano de Las Lomas y anexos.

6.2.1.1.2 Granodiorita Las Lomas (Gd-l)

Es uno de los plutones de mayor extensión, está emplazada en la parte central del complejo, diametralmente intruido por el Monzogranito Peña Blanca.

Es una roca de grano grueso y de color gris.

Abarca el 17 % del área de estudio y sobre esta unidad se asienta el AA.HH. Santa Rosa, Miraflores y Lomas sector Norte



6.2.1.1.3 Monzogranito Peña Blanca (Mg-pb)

Está emplazado en la parte central del complejo Plutónico Las Lomas donde se produce una intrusión de gabros y dioritas marginales (Fuente: INGEMMET, 2009). Es de grano grueso y de color rosáceo.

Abarca el 24 % del área de estudio y sobre este se asienta el sector La Cruz, AA.HH Juan Velazco, Zona rural Bellavista y Ampliación Santa Isabel. También aflora en el extremo noroeste del casco urbano de Las Lomas.

6.2.1.2 Depósitos Cuaternarios

Suprayaciendo al sustrato rocoso conformado por rocas intrusivas, se encuentran los depósitos Cuaternarios de edad Holocena. Entre los que mayor predomina en la zona de estudio son los depósitos aluviales y fluviales.

6.2.1.3 Depósitos aluviales (Qh-al)

Están constituidos por gravas y arenas de grano grueso a fino de color beige a blanquecina, intercalado con limos de color marrón claro y pequeños lentes de arcillas de color marrón oscuro, Foto 05.

Abarca el 28 % del área de estudio y sobre estos depósitos se encuentra asentada el AA.HH. Las Palmeras. También, afloran en el extremo sur y sureste del casco urbano de Las Lomas.





Foto 05: Depósitos aluviales constituidos por clastos redondeados en matriz arenosa de grano grueso a fino con algunos lentes de limos

6.2.1.4 Depósitos fluviales (Qh-fl)

Están conformados mayormente por suelos gravosos, con elementos de diferentes diámetros y origen envueltos en matriz arenosa o areno-limosa.

Estos materiales son transportados por la dinámica y evolución del curso y cauce del río Chipillico y quebradas activas.

Abarca el 19 % del área de estudio y afloran en el río Chipillico y en las quebradas Salao y Hawái de Pava. Foto 06.





Foto 06: Nótese en la quebrada Salao los depósitos fluviales conformados por clastos de origen ígneo en matriz arenosa de grano grueso a medio con bajo porcentaje de limos

6.3 Geodinámica Superficial

Comprende todos aquellos eventos geodinámicos producto de la interacción de procesos geológicos (internos y externos) que originan cambios físicos, químicos y/o morfológicos que dan como producto eventos que modifican el actual relieve.

Es importante recalcar que analizar factores como la litología permite explicar el origen de los materiales que constituyen las geoformas (colinas, lomas, entre otras) y en las cuales se generan procesos como meteorización y erosión que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

Los procesos de erosión (cárcavas, incisión y desgaste laminar) son originados por las precipitaciones que se presentan en la cuenca fluvial, la cual genera la escorrentía superficial, esto provoca el arrastre progresivamente de los materiales a posiciones de menor energía potencial (menor pendiente). La carga de sedimentos transportados por la quebrada o río incrementan la acción erosiva y son capaces de producir remoción de los materiales, (Brusi, 2013), como los flujos de detritos e inundación.



En la ciudad de Las Lomas se han identificado dos tipos de eventos geodinámicos como son:

6.3.1 Inundación

Se producen por el desborde del río y/o quebrada en épocas de incremento de las precipitaciones como ocurre durante el fenómeno “El Niño” frecuentemente en los meses de enero a marzo. El evento extraordinario se relaciona con el “Fenómeno El Niño” de los años 1925, 1972, 1982-1983, 1997-1998 y 2017, estos afectaron la seguridad física de la ciudad de La Lomas. En la ciudad en mención se han identificado dos tipos de inundaciones como:

6.3.1.1 Inundación fluvial

Se producen por el desborde, sobre la margen derecha del río Chipillico. Esto afectó infraestructuras, transporte y actividad agrícola (producción del mango y el limón), principal fuente económica de la ciudad. Además de dejar incomunicada la ciudad con varios anexos o centros poblados.

Este tipo de evento, también, ocurrió en la quebrada Salao, Fotos del 07 al 10.

6.3.1.2 Inundación pluvial

Es la acumulación en forma de laguna del agua proveniente de las precipitaciones o por el desborde de los drenes; se genera en las zonas que presentan depresiones o desborde del canal vía que atraviesa la ciudad de Las Lomas, afectando a los asentamientos humanos de Miraflores, Buenos Aires, Santa Rosa, Juan Velazco, Bellavista y el casco urbano de la ciudad, Fotos del 11 al 15.





Foto 07: Al desbordarse el río Chipillico afecta a áreas agrícolas. La flecha amarilla indica la dirección del río



Foto. 08: Al activarse la quebrada Hawái de Pava, interrumpe el paso dejando incomunicada a Pampa Elera Alta y Potrerillo





Foto: 09: La quebrada Hawái de Pava es una de las que se activa en época de precipitaciones, trayendo consigo materiales granulares. El resto del año se mantiene inactivo y con el agua empozada, siendo foco infeccioso en la ciudad. Esta quebrada desemboca en el río Chipillico



Foto. 10: En la quebrada Salao se extrae material de cantera, alterando la topografía de la zona y dejando material en forma de “barreras” que impiden el fácil flujo del agua





Foto 11: Canal Vía, en épocas de precipitaciones se desborda afectando a los AA.HH. de Buenos Aires, Miraflores, Santa Rosa, Juan Velazco y casco urbano de la ciudad de Las Lomas



Foto 12: Hasta el límite del AA.HH. Bellavista con Juan Velazco esta canalizada la quebrada, luego se encuentra estrecho y obstruido que, en épocas de lluvias se desborda e impide el paso de vehículos a otros anexos. La flecha amarilla indica la dirección del flujo





Foto 13: En las intersecciones de jirón Loreto con Pasco, empieza la canalización del Canal Vía, el mismo que se encuentra sin mantenimiento y con agua empozada, foco de infecciones y enfermedades. La flecha amarilla indica la dirección del flujo



Foto 14: Sedimentación en el Canal Vía, esto impide el fácil flujo de las aguas hasta su desembocadura (río Chipillico). La flecha amarilla indica la dirección del flujo





Foto 15: Falta de mantenimiento en las cunetas, genera las inundaciones pluviales

6.3.2 Elementos expuestos

En el área de estudio del distrito de Las Lomas, se encuentran los elementos expuestos a nivel social susceptibles ante el impacto del peligro por ocurrencia de inundaciones, delimitado en el capítulo de geodinámica, los cuales son la población y vivienda. Las cantidades de estos elementos son estimaciones resultantes de la relación entre el área de influencia del peligro en mención y la ocupación del sector urbano, Cuadros 04 y 05.

Cuadro 04: Población estimada de la localidad expuesta a eventos de origen natural

Evento geodinámico	Población expuesta
Inundaciones	870

Cuadro 05: Viviendas de la localidad expuestas a eventos de origen natural (se consideró la delimitación del área de influencia de la inundación realizada en el capítulo de geodinámica)

Evento geodinámico	Viviendas expuestas
Inundaciones	270

Haciendo uso de la superposición del área de influencia de los eventos geodinámicos, delimitados anteriormente, con el área urbana de la localidad (en formato shapefile), se reconocieron las infraestructuras de interés social (viviendas), expuestas al evento citado, Figura 07.

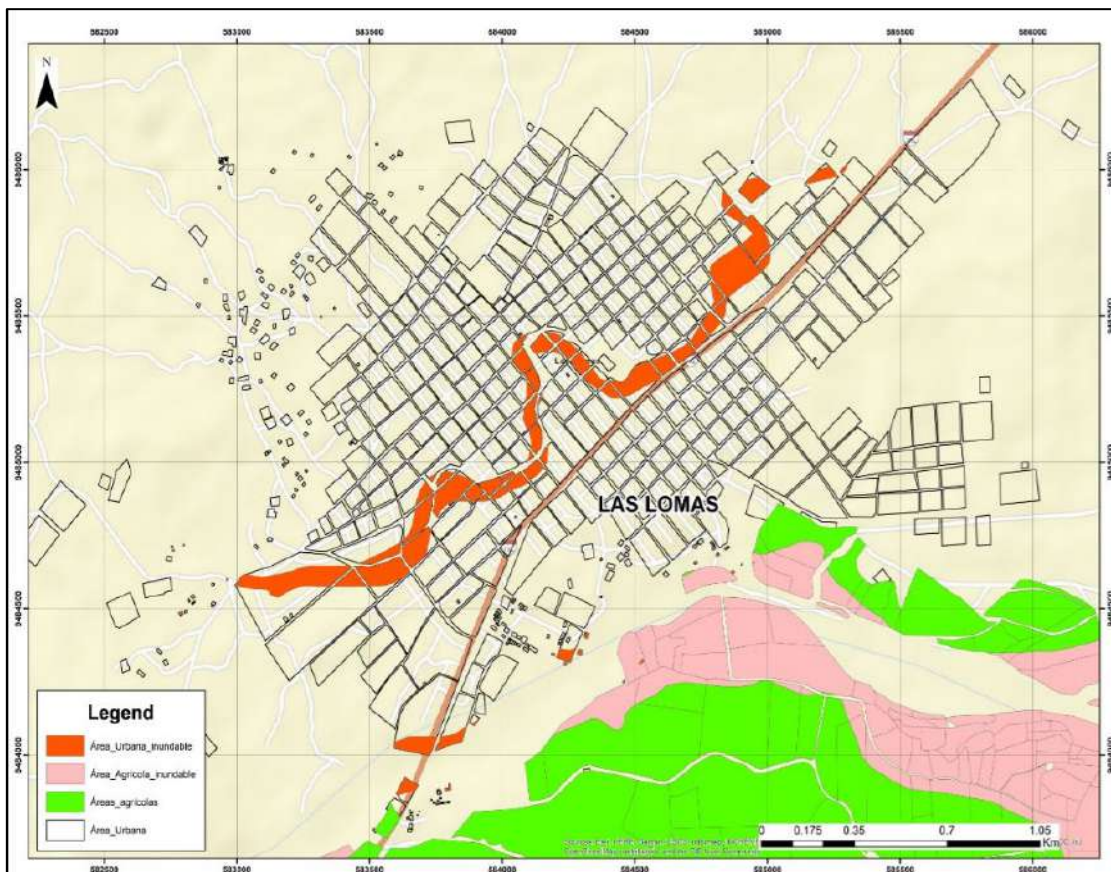


Figura 07: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de inundaciones en la localidad de Las Lomas.



7. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Los suelos son materiales inconsolidados conformados por minerales, materia orgánica, agua y aire entre sus poros, generados a partir de la alteración de la roca madre por agentes atmosféricos mediante procesos de meteorización y erosión hasta formar una cobertura de variado espesor de sedimentos, que posteriormente han sido transportados y redepositados en las partes bajas de las cuencas hidrográficas, sobre los cuales se asientan las áreas urbanas.

En el diagrama líneas abajo se indica el origen de los suelos, Figura 08.

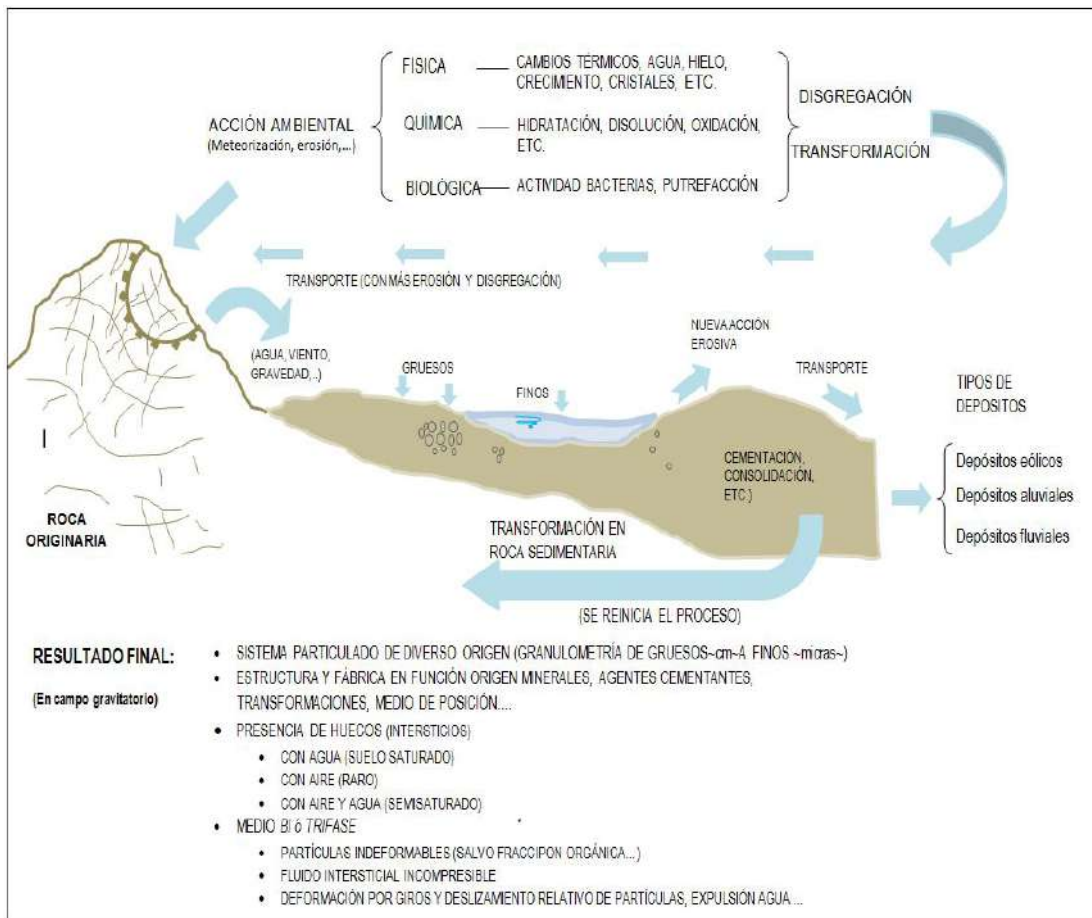


Figura 08: Formación de los suelos (Adaptado de Gonzales de Vallejo, 2002)

La geotecnia es la rama de la geología aplicada a la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de cimentación antes mencionados, en condiciones estáticas mediante la aplicación de técnicas de exploración (calicatas, auscultaciones, perforaciones, ensayos de DPL, SPT, etc.), por



ello la clasificación del suelo es de suma importancia para la elaboración de modelos geotécnicos y el diseño de cimentaciones en un terreno específico.

Para la zonificación geotécnica en suelos, se hizo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) a partir de las características granulométricas, la carta de plasticidad de Casagrande, tipo de depósito, Consistencia o Densidad Relativa, permeabilidad y parámetros de resistencia (capacidad de carga portante de los materiales).

En la ciudad de Las Lomas se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de 8 calicatas, 7 ensayos de densidad de campo, 9 posteos y 10 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), indicadas en el Plano P-07. De las muestras extraídas, 5 se analizaron en el laboratorio de mecánica de suelos del IGP y 3 muestras representativas se enviaron a un laboratorio certificado para validar los resultados, con la finalidad de determinar la composición granulométrica, plasticidad, corte directo y realizar el cálculo de la capacidad portante de los suelos de cimentación.

A continuación se detallan las técnicas de exploración geotécnica.

7.1. Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM 420)

Es un método de exploración directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo. Estas exploraciones se realizaron a aproximadamente 3 m de profundidad a fin de describir los estratos que lo conforman (Anexo de geotecnia - fichas de descripción), así como, extraer muestras en bolsas herméticas con capacidad de 5 kg. aproximadamente, para la realización de ensayos y análisis de laboratorio.

Las excavaciones realizadas se localizan en las siguientes coordenadas UTM, Cuadro 06 y Plano P-07.

Cuadro 06: Ubicación de calicatas

CÓDIGO DE CALICATA	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)			
CLL-01	584235	9486028	261	2.70	N.P
CLL-02	584706	9485649	261	2.90	N.P
CLL-03	585014	9485316	252	3.00	N.P
CLL-04	584612	9484897	260	2.80	N.P

CLL-05	584417	9485368	252	2.50	2.30
CLL-06	583293	9485796	249	2.70	N.P
CLL-07	584100	9484455	243	3.00	N.P
CLL-08	583864	9484809	222	2.90	N.P

Donde: N.P. = No presenta

Cabe mencionar que, la profundidad de investigación promedio fue de 2.80 m., debido a que se encontraron arenas y arenas limosas con nivel freático superficial como es el caso de la calicata CLL-05, este último fue una limitante para no continuar la excavación.

7.1.1. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556)

Este método permite conocer la densidad o peso unitario de los suelos in situ con cierto grado de compactación natural. Consiste en extraer material del suelo, a través de un orificio de 10 cm de profundidad realizado en el interior de la calicata, a fin de obtener una relación entre la masa de éste y el volumen conocido que ocupa la arena calibrada del cono de densidad. Este ensayo se realiza en el estrato muestreado mediante el método del cono de arena, a fin de obtener el grado de compactación o consistencia y el contenido de humedad del mismo en condiciones naturales, en otros casos para obtener el grado de compactación. Esta información es necesaria para desarrollar los ensayos de corte directo, sin embargo, este ensayo no es aplicable en suelos que contengan clastos o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm).

En el Cuadro 07 se presentan los resultados de las densidades in situ de las siete (7) calicatas y la ficha de densidad se adjunta en el Anexo 05.

Cuadro 07: Resultado de densidades in – situ

CÓDIGO DE CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
CLL – 01	DC-CLL - 01	2.70	1.94	1.89	2.40
CC – 02	DC-CLL - 02	2.90	1.87	1.86	0.43
CLL– 03	DC-CLL - 03	2.80	2.03	2.01	1.13
CLL – 04	DC-CLL - 04	3.00	2.21	2.21	0.38

CLL – 05	DC-CLL - 05	NO SE REALIZÓ POR PRESENCIA DE NIVEL FREÁTICO			
CLL – 06	DC-CLL - 06	2.70	2.07	2.04	1.83
CLL – 07	DC-CLL – 07	3.00	1.96	1.94	0.96
CLL – 08	DC-CLL - 08	2.90	2.04	1.99	2.20

A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de densidad de campo y laboratorio, los suelos de cimentación de la ciudad de Las Lomas presentan rangos de densidad entre 1.87 - 2.21 gr/cm³, es decir, los materiales identificados en las calicatas corresponden a arenas pobremente graduadas sueltas a media densa, para lo cual se toma como referencia la Tabla A del Anexo 03. El contenido de humedad es muy baja, en condiciones naturales, es de rango 0.38 % hasta 2.40 %.

7.2. Exploraciones con posteadora manual

Se define posteadora como un barredor manual en forma de “T” que permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta una profundidad de 5 a 6 m, a fin de obtener muestras del suelo. En cada una de las perforaciones se llevó a cabo una detallada descripción de los tipos de suelos encontrados, si bien es cierto, las muestras extraídas se obtienen trituradas y completamente alteradas, sin embargo, sirven para conocer el tipo de suelo y contenido de humedad que presenta. Una de las restricciones para la ejecución de este ensayo es la presencia de gravas y gravillas (la cuchara saca muestra se entrapa con este tipo de suelos).

La distribución de las exploraciones se efectuó entre los puntos de las calicatas, con la finalidad de abarcar toda el área de estudio, para obtener una mejor zonificación de los suelos de la ciudad de Las Lomas. La ubicación y resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 08, mientras que el registro de perforaciones se describe en el Anexo de Geotecnia.



Cuadro 08: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS

CÓDIGO DE POSTEO	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO (SUCS)	NIVEL FREÁTICO A (m)
	E STE (m)	NO RTE (m)				
Post - 01	583831	9485706	253	2.50	SM	N.P
Post - 02	584203	9485523	253	2.70	SM	N.P
Post - 03	584768	9485188	255	1.50	SM	N.P
Post - 04	583648	9485510	250	0.50	SM	N.P
Post - 05	583383	9485222	255	1.20	SM	N.P
Post - 06	584260	9484691	241	1.30	SM	N.P
Post - 07	583558	9484728	245	2.10	SM	N.P
Post - 08	583784	9484345	243	0.80	SM	N.P
Post - 09	585193	9485570	257	1.80	SM	N.P

Donde: N.P =No Presenta

En los posteos Post-04 y Post-08 se llegó a profundidades de 0.50 m y 0.80 m, respectivamente, debido a que a mayor profundidad hay rocas intrusivas.

7.3. Ensayo de penetración dinámica ligera-LDPT (norma DIN 4094)

El DPL es un equipo de campo de registro continuo donde se contabiliza y registra el "N", que es el número de golpes dados por un martillo de 10 Kg., el cual se deja caer por gravedad desde una altura de 0.50 m (medida desde la parte superior del tambor de acero), para hincar una varilla de acero de 1 m de longitud en cuyo extremo inferior se encuentra una punta cónica de 60°. Este proceso se repite para profundizar tramos de 10 cm, con la finalidad de estimar el ángulo de fricción de suelos específicos, que ayudarán a calcular mediante fórmulas empíricas la capacidad portante (resistencia al corte) de los suelos de cimentación en Kg/cm², además, se puede tener las propiedades de compacidad de los suelos.

La ventaja del instrumento es que es un equipo muy práctico y se puede transportar fácilmente, sin embargo, se restringe su aplicación a terrenos arenosos, areno-arcillosos y limo-arenosos, no recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos,



conglomerados y terrenos rocosos. Por otro lado, los ensayos de DPL deben ubicarse a inmediaciones de una o dos calicatas donde se tienen suelos conocidos con la finalidad de conocer la resistencia al corte de los distintos estratos. La ficha del ensayo se adjunta en el Anexo 05.

En el Cuadro 09, se indica la ubicación de los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizados en las inmediaciones de la ciudad de Las Lomas, el número de golpes y el ángulo de fricción interna calculado en base a los parámetros de compacidad (correlación del valor de N) establecida por Terzaghi y Peck 1973 y densidad relativa según la fórmula de Meyerhof (1956).

$$\Phi = 25^\circ + 0.15 * Dr$$

Donde:

Φ = Ángulo de fricción interna

Dr=Densidad relativa

Cuadro 09: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetros obtenidos

DPL	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROF. (m)	NÚMERO DE GOLPES	Φ
	ESTE (m)	NORTE (m)				
DPL-01	583856	9485666	253	0.35	45	39.70
DPL-02	584213	9485533	253	0.46	50	41.00
DPL-03	584758	9485181	250	0.46	45	39.70
DPL-04	583644	9485529	250	0.68	45	39.70
DPL-05	583378	9485219	255	0.56	48	40.50
DPL-06	584245	9484673	241	1.28	50	41.00
DPL-07	583515	9844715	245	0.77	50	41.00
DPL-08	583819	9484361	243	0.35	45	39.70
DPL-09	585184	9485588	255	0.45	45	39.70
DPL-10	584411	9485370	248	1.95	45	39.70

Donde: Φ = ángulo de fricción interna



Los DPL-06 y DPL-10 alcanzaron una profundidad mayor a 1 m, mientras que en los DPL-01 - DPL-05 y DPL-07 - DPL-09 las profundidades son menores a 0.77 m, esto debido a la presencia de arenas gruesas semi-compactas de origen ígneo. Cabe destacar que a mayor profundidad hay rocas meteorizadas de origen ígneo.

Asimismo, la profundidad alcanzada, a través de la elaboración de estos ensayos, permitió inferir que los suelos ubicados en la ciudad de Las Lomas y anexos presentan consistencia media a compacta.

7.4 Resultados de los ensayos de laboratorio

Los ensayos realizados a las muestras se realizaron en base a las normas establecidas por la *American Society For Testing Materials* (ASTM), cuyos resultados se describen a continuación:

7.4.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) en la ciudad de Las Lomas

El Sistema SUCS abarca suelos granulares y finos, diferenciados por la cantidad de material que pasa la malla N° 200 (Juárez & Rico, 2005), además, entre los granulares se encuentran dos grupos tales como gravas y arenas, separadas con la malla N° 4, mientras que los finos se diferencian entre (limos y arcillas) según el Límite Líquido e Índice de Plasticidad.

En base a la información geotécnica recopilada de estudios anteriores, así como, de los resultados de las exploraciones (calicatas, posteos y DPL), realizados en la ciudad de Las Lomas, y de los ensayos de laboratorio Mecánica de Suelos (granulometría y límites Atterberg) efectuados a las muestras extraídas descritos en el Anexo de Geotecnia - Resultados de Laboratorio, se ha identificado 05 tipos de suelos, Cuadro 10 y Plano P-08, los cuales se describen a continuación:

- Suelo tipo SM

Están conformados por arenas limosas mal graduadas de color beige claro a oscuro, el contenido de humedad varía de 0.38 % a 6.91%, por lo cual se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es baja, constituyen suelos de compacidad suelta a media, presentan un ángulo de fricción de rango 20.85°-30.34°, densidad natural de 1.87-2.21 gr/cm² y no presentan plasticidad.

Abarca el 92 % de la zona de estudio y de identificaron en los asentamientos humanos de: Nueva Esperanza, Santa Isabel, Juan Velazco, Samuel More Ludeña, Miraflores, Junta Vecinal Buenos Aires, Suipirá, así como, Ampliación



Santa Isabel, Sector Campo Santo, Sector La Torta y casco urbano de Las Lomas.

- **Suelo tipo CL - ML**

Están conformados por arcillas y limos inorgánicas de baja plasticidad con contenido de arenas finas mal graduadas, el contenido de humedad es de 17.45 % por lo cual se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es moderada, constituyen suelos con grado de consistencia media. Presenta ángulo de fricción de 20.85° y densidad natural de 1.65 gr/cm².

Abarca el 4 % de la zona de estudio y se identificó en el AA.HH Santa Rosa.

- **Suelo tipo SP - SM**

Arena mal graduada con limos de color beige claro a oscuro con contenido de humedad de 3.78 %, por lo cual se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es muy baja, constituyen suelos de compacidad suelta a media. Presenta ángulo de fricción de 35.08° y densidad natural de 1.99 gr/cm².

Abarcan el 4 % de la zona de estudio y se identificaron en el AA.HH. Bellavista.



Cuadro 10: Clasificación SUCS de los suelos de las ocho (08) calicatas elaboradas en la ciudad de Las Lomas

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)	GRAVAS % (>4.76 mm)	ARENAS % (>0.074 mm, <4.76 mm)	FINOS % (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
CLL - 01	2.70	N.P	0.20	83.40	16.35	15.60	12.70	2.90	4.15	SM	Arena Limosa
CLL - 02	2.80	N.P	0.00	78.94	21.06	24.72	---	NP	6.91	SM	Arena Limosa
CLL - 03	3.00	N.P	0.30	86.20	13.51	37.60	28.10	9.50	0.38	SM	Arena Limosa
CLL - 04	2.30	N.P	0.00	37.98	62.02	25.34	18.41	6.93	17.45	CL - ML	Arcilla y Limos inorgánico
CLL - 05	2.80	2.30	0.30	78.50	21.24	15.90	12.90	3.00	1.13	SM	Arena Limosa
CLL - 06	2.70	N.P	1.50	77.20	21.30	35.40	31.40	4.00	1.83	SM	Arena Limosa
CLL - 07	3.00	N.P	0.20	86.80	12.99	41.70	35.60	6.10	0.96	SM	Arena Limosa
CLL - 08	2.90	NP	0.00	89.43	10.57	22.07	---	NP	3.78	SP - SM	Arena mal graduada con limo

Donde: N.P. =No presenta



7.5 Ensayo de corte directo (Norma ASTM D - 3080)

Este ensayo permite determinar la resistencia al esfuerzo cortante de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones (esfuerzos verticales y horizontales) que simulen la que existe o existiría en el terreno producto de la aplicación de una carga. Esta resistencia al corte en los suelos se debe a dos componentes: la cohesión (comportamiento plástico que presentan las partículas finas de una muestra) y el ángulo de fricción interna.

Los valores finales de la capacidad portante de los suelos en la ciudad de Las Lomas están basados en datos de laboratorio de Mecánica de Suelos (Anexo de Geotecnia – Resultados de Laboratorio), corroborados con datos teóricos de los parámetros de ángulo de fricción y cohesión de Terzaghi e información de DPL realizados en campo, haciendo uso de las fórmulas de falla general o local, según el tipo de suelo.

7.5.1 Capacidad de carga portante ($q_{ad} = \frac{q_u}{F_s}$)

Es la máxima presión ejercida por una cimentación transmitida a un suelo sin que se produzcan asentamientos excesivos, es decir, que la presión de la cimentación no sea mayor a la admisible, manteniendo el mismo factor de seguridad especificado en la Norma E 0.50 de diseño de cimentación.

Los resultados de capacidad portante de las 8 muestras de suelos extraídas en la ciudad de Las Lomas se presentan en el Cuadro 11.



**Cuadro 11: Capacidad de carga portante de ocho (08) muestras
extraídas en la ciudad de Las Lomas**

MUESTRA	Capacidad de carga última (Kg/cm ²)	Capacidad portante (Kg/cm ²)	Falla de corte
CLL - 01	4.65	1.55	Falla Local
CLL - 02	7.03	2.34	Falla Local
CLL - 03	5.28	1.76	Falla Local
CLL - 04	2.41	0.80	Falla Local
CLL - 05	3.74	1.25	Falla Local
CLL - 06	5.44	1.81	Falla Local
CLL - 07	3.84	1.28	Falla Local
CLL - 08	16.31	5.44	Falla Local
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho: 1.00 m		

Fuente: Anexo de Geotecnia. Datos del ensayo de DPL y SPT corregidos y datos de Terzaghi

Según los valores del ángulo de fricción corregido a partir del “N” de la correlación del “N” del DPL, en función al del SPT y los datos de cohesión de los suelos obtenidos mediante el corte directo realizado en el laboratorio de Mecánica de Suelos, se determinó las capacidades portantes de los suelos investigados para los DPL que alcanzaron una profundidad de cimentación de 1 m, Cuadro 12.

Cuadro 12: Capacidad de carga portante (Criterio de falla general y local) en base al ángulo de fricción corregido del N del DPL vs SPT y cohesión obtenida del ensayo de corte directo

ENSAYO	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad portante (Kg/cm ²)	Falla de corte
DPL-06	3.74	1.25	Falla Local
DPL-10	6.99	2.33	Falla Local
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho: 1.00 m		

De los resultados citados anteriormente y tomando en cuenta la Tabla 03, se ha determinado que la zona urbana de la ciudad de Las Lomas en su mayoría ha sido construida con cimentaciones de 1 m de profundidad. Ante ello, se ha clasificado los suelos con la siguiente capacidad portante.

7.5.1.1 Tipos de capacidad de carga portante

En la localidad de Las Lomas se han identificado el siguiente tipo de capacidad portante.

A) Capacidad de carga portante muy baja



Comprende rangos de capacidad portante menores a 1 kg/cm², se consideran suelos granulares con contenido de finos de compacidad muy suelta a suelta. Abarca el 4 % de la zona de estudio y se delimitó en los suelos del AA.HH. Santa Rosa.

B) Capacidad portante baja

Comprende rangos de capacidad portante entre 1 – 2 kg/cm², se consideran suelos granulares con un mínimo porcentaje de finos de compacidad suelta a media. Abarca el 85 % del área estudiada. Sobre este tipo de suelos se asientan los sectores Camposanto, La Torta, ampliación Santa Isabel y el casco urbano de Las Lomas, así como, los AA.HH. Nueva Esperanza, Santa Isabel, Juan Velazco, Samuel More Ludeña, Miraflores y Suipirá.

C) Capacidad portante media

Comprende rangos de capacidad portante entre 2 – 3 kg/cm², se consideran suelos granulares con un mínimo porcentaje de finos de compacidad media. Abarca el 7 % del área de estudio y se ha delimitado en los suelos del AA.HH. Junta Vecinal Buenos Aires.

D) Capacidad portante alta

Comprende rangos de capacidad portante mayores a 3 kg/cm², se consideran suelos granulares con un mínimo porcentaje de finos de compacidad alta. Abarca el 4 % del área de estudio y se ha delimitado en los de suelos del AA.HH. Bellavista.

8. DISCUSIONES

El mapa geología del cuadrángulo de Las Lomas (hoja 10C) a escala 1: 100000 se empleó como base para la etapa del cartografiado, sin embargo, en la zona de estudio se ha cartografiado a escala 1:12500, delimitando a mayor resolución los depósitos aluviales y fluviales.



SEGUNDA PARTE: GEOFÍSICA Y ZONIFICACIÓN SISMO-GEOTÉCNICA

1.- INTRODUCCIÓN

Dentro del Programa Presupuestal por Resultados N°068 “**Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres**”, el Instituto Geofísico del Perú ejecutó durante el año 2019 el Proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**” y como parte del mismo, las Unidades de Ingeniería Sísmica y Geodinámica Superficial de la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrollan la Actividad “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para las áreas urbanas de los siguientes distritos:

La Arena, distrito La Arena, provincia y departamento de Piura.

La Unión, distrito La Unión, provincia y departamento de Piura.

Morropón, capital del distrito y provincia de Morropón, departamento de Piura.

Máncora, distrito de Máncora, provincia de Talara, departamento de Piura.

Talara, distrito de Pariñas, provincia de Talara, departamento de Piura.

Querecotillo, distrito de Querecotillo, provincia de Sullana, departamento de Piura.

Las Lomas, distrito Las Lomas, provincia y departamento de Piura.

Tambo Grande, distrito de Tambo Grande, provincia y departamento de Piura.

De acuerdo con la historia sísmica del Perú, la región norte ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de sacudimiento del suelo, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en el departamento de Piura (Silgado, 1978; 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 con la misma o mayor intensidad. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones.

Los estudios de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del suelo sobre el cual se levantan las ciudades y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran información sísmica, tsunamis, geofísica, geológica, geodinámica, geomorfológica y geotécnica. Los resultados que se obtienen permiten comprender



que no hay suelo malo y que solamente se debe considerar el diseño y la construcción de viviendas y estructuras adecuadas para cada tipo de suelo.

Finalmente, remarcar que los Mapas de Zonificación Geofísica – Geotécnica permiten conocer las características dinámicas del suelo y se constituyen como información primaria a ser utilizada por los ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de las estructuras apropiadas para cada tipo de suelos identificados en cada zona de estudio. Asimismo, debe considerarse como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.

1.1.- Objetivos

El principal objetivo del presente estudio es obtener el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana del distrito Las Lomas, provincia y departamento de Piura, ver Figura 1. Asimismo, es de interés que las autoridades locales y regionales dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión del riesgo de desastres ante la ocurrencia de sismos, lo cual conlleva a mejorar la calidad de vida de sus pobladores, así como proyectar hacia el futuro una adecuada expansión urbana.



Figura 1. Vista panorámica de la Plaza de Armas y de la Catedral del área urbana Las Lomas.

1.2.- Área de estudio

El ámbito de estudio corresponde al área urbana del distrito Las Lomas, se encuentra al norte de la zona occidental del Perú y forma parte de los 10 distritos de la provincia de Piura, departamento de Piura, ver Figura 2. Situado en la margen derecha del río Chipillico, a una altitud promedio de 255 m.s.n.m., con una superficie ligeramente ondulada y cuya pendiente es baja a moderada, tal como se muestra en la Figura 2. Limita por el norte, con los distritos de Suyo (provincia de Ayabaca) y Lancones (provincia de Sullana), al Sur con el distrito de Tambogrande, al Este con los distritos de Sapillica y Palmas (provincia de Ayabaca) y al Oeste con los distritos de Sullana y Lacones.

El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:12 500, tiene un área total de 6.5 km² y la población beneficiada con el presente estudio es igual a 26,947 habitantes (INEI, 2017).

Según la historia sísmica en Piura, en los años 1814, 1912, 1953, 1963 y 2014 (documentado por Silgado, 1978, Sieberg, 1930 y Tavera, 2016), estos distritos fueron afectados por sismos de gran magnitud que sacudieron los suelos con gran intensidad y como consecuencia causó daños materiales y personales en diversas localidades de esta región.



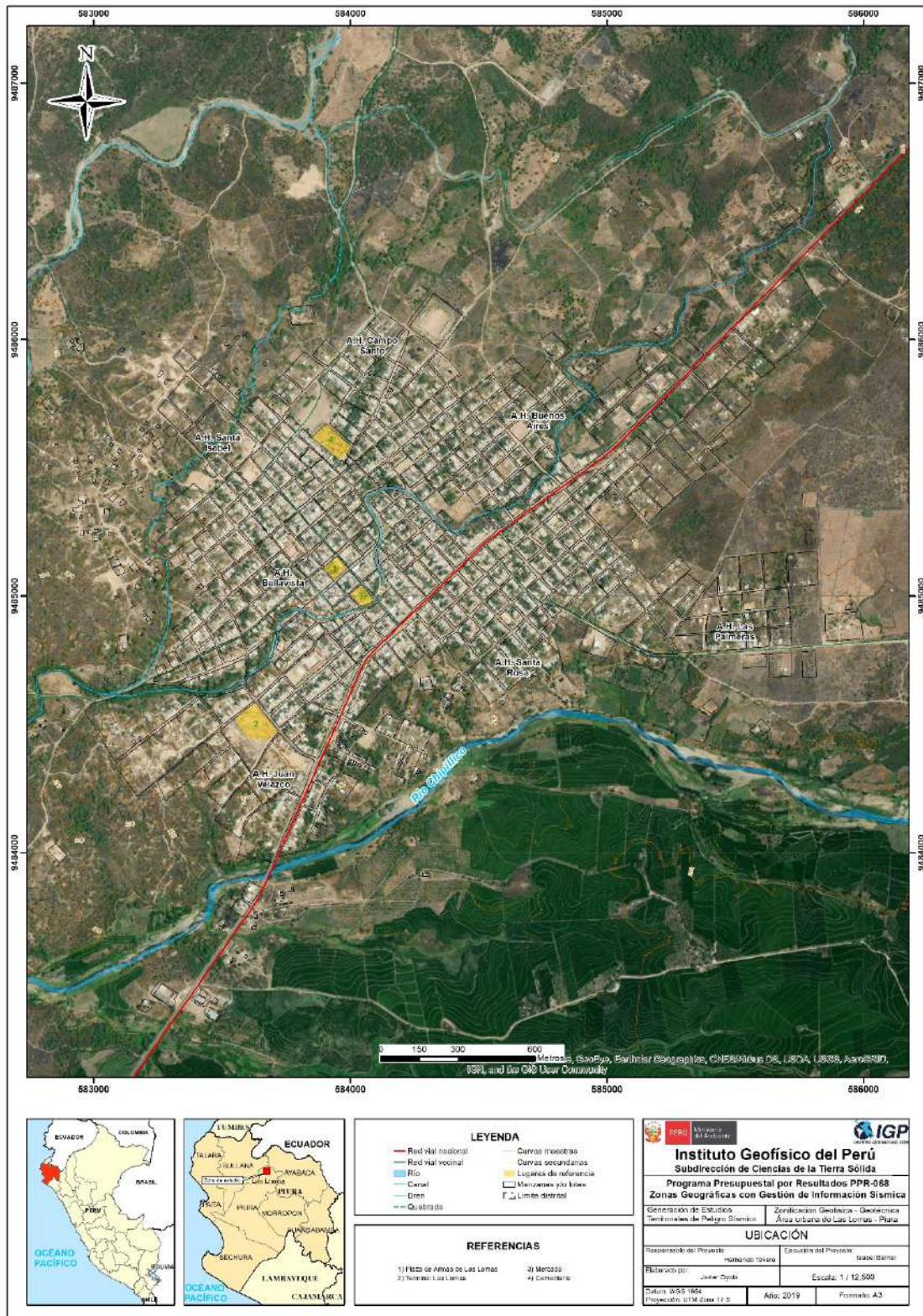


Figura 2. Ubicación del área de estudio.

1.2.1.- Antecedentes

La historia sísmica del Perú ha mostrado que su borde occidental presenta un alto índice de ocurrencia de eventos sísmicos y de acuerdo a su magnitud, muchos de ellos han producido daños importantes en ciudades y localidades distribuidas cerca de la zona costera. La ocurrencia de efectos secundarios como asentamientos, licuación de suelos, derrumbes, caídas de roca y tsunamis propiciaron el incremento de pérdidas humanas y materiales en el área epicentral (Silgado, 1978; Dorbath et al., 1990; Tavera y Buforn, 2001).

Por otro lado, a partir de los años 80, muchas de las ciudades costeras han soportado procesos continuos de migración por la población proveniente de las provincias del interior del país y, debido a la falta de un adecuado ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de ciudades, la población inmigrante ha ocupado áreas de alto riesgo ante la ocurrencia de peligros como los sismos, tsunamis, deslizamientos y otros efectos secundarios. A estas condiciones se suma el hecho de que las viviendas fueron construidas de manera inadecuada, sin tener en cuenta lo establecido en la norma E.030 de Diseño Sismorresistente. Asimismo, en algunas ciudades las viviendas se asientan en laderas de cerros, riveras de ríos, cauces de quebradas secas y zonas de terrazas inundables, incrementando su riesgo sísmico.

A partir del año 2012 y dentro del Programa Presupuestal por Resultados N°068 “Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres”, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) viene realizando estudios de Zonificación Geofísica-Geotécnica para las diferentes áreas urbanas que se encuentran ubicadas en su mayoría a lo largo de la costa del Perú.

Para el área urbana Las Lomas, se ha recopilado estudios anteriores referentes a la geología, geotécnica, sísmica y geofísica realizados por diversos investigadores e instituciones. Entre los principales documentos técnicos consultados, se tiene:

En el 2017, CENEPRED realiza el estudio “**Informe de evaluación de riesgo por lluvias intensas en el CC.PP. Las Lomas – Santa Isabel, distrito Las Lomas, provincia y departamento de Piura**”, en Las Lomas se presenta depósitos aluviales recientes compuestos de arenas, limos y arcillas y por rocas intrusivas. Se encuentra caracterizada por tener una pendiente suave de 0° a 5°. Las lluvias intensas durante el “Niño Costero 2017”, categorizó a Las Lomas en riesgo alto ante lluvias intensas.

En el 2014, el IGP mediante el proyecto de cooperación con el Banco Mundial presenta el estudio “**Re-evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú**”, considerando que el Perú se encuentra en una región altamente sísmica se realiza el estudio de peligro sísmico con bases sísmicas actualizadas. Se definen nuevas fuentes sismogénicas y se genera los mapas de aceleración horizontal (PGA), los resultados muestran que Las Lomas presentarían aceleraciones de hasta 370 gals para un periodo de retorno de 500 años.



1.3.- Condiciones locales de Sitio

En la actualidad, es ampliamente conocido que las condiciones locales de sitio son uno de los principales factores responsables de los daños que se producen en cualquier tipo de edificación durante la ocurrencia de sismos severos. Este factor es fuertemente dependiente de las características físicas y dinámicas del suelo. Estos controlan la amplificación de las ondas sísmicas causantes de los daños a observarse en superficie después de ocurrido un evento sísmico.

Las condiciones locales de sitio son evaluadas en los estudios de zonificación sísmica-geotécnica y el resultado es considerado como una de las herramientas más importantes para minimizar los daños producidos por los sismos. Diversos estudios muestran, que los suelos ante la incidencia de ondas sísmicas asociadas a movimientos débiles y/o fuertes, responden de acuerdo a sus condiciones locales, pudiendo estos modificar el contenido frecuencial de las ondas y/o generar amplificaciones de las ondas sísmicas (Hartzell, 1992; Beresnev et al., 1995; Bard 1995; Lermo y Chávez-García, 1993, 1994 a, b; Bard y Sesame, 2004; Bernal, 2006; 2018).

La metodología por seguir para lograr el mayor conocimiento sobre el comportamiento dinámico del suelo o efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad considera estudios geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos. Cada uno de estos campos de investigación proveen de información básica de observaciones de campo y la toma de data in situ, para lo cual es necesario disponer de mapas catastrales actualizados de las zonas en estudio, así como los correspondientes a las zonas de futura expansión urbana.

En conclusión, los efectos que produce cada tipo de suelo sobre la propagación y amplitud de las ondas sísmicas permiten tipificar los suelos y estimar su comportamiento dinámico. El resultado final es el Mapa de Zonificación Geofísica que debe constituirse como el documento más importante en las tareas y programas de gestión del riesgo ante la ocurrencia de sismos.

1.4.- Zonificación, Norma Técnica E.030

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar lo establecido por la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones, modificada según Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda. Básicamente, esta norma considera los perfiles de suelos en función de sus propiedades físicas, tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, o alternativamente, para suelos granulares, considera el promedio ponderado de los N_{60} obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada S_u para suelos cohesivos. Se establece 5 perfiles:



- **Perfil Tipo S₀: Roca Dura**, corresponde a las rocas sanas con velocidades de propagación de ondas de corte (V_s) mayor a 1500 m/s.
- **Perfil Tipo S₁: Roca o Suelos Muy Rígidos**, a este tipo corresponden rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte V_s , entre 500 y 1500 m/s.
- **Perfil Tipo S₂: Suelos Intermedios**, son suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte V_s entre 180 y 500 m/s.
- **Perfil Tipo S₃: Suelos Blandos**, corresponden suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte V_s menor o igual a 180 m/s.
- **Perfil Tipo S₄: Condiciones Excepcionales**, corresponde a suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Será determinado con un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).

Tabla 1: Clasificación de los perfiles de suelo según la norma E.030

Perfil	V_{s30} (m/s)	Descripción
S₀	> 1500	Roca dura
S₁	500 a 1500	Roca o suelo muy rígido
S₂	180 a 500	Suelo medianamente rígido
S₃	< 180	Suelo blando
S₄	Clasificación basada en el EMS	Condiciones Excepcionales

La velocidad de propagación de ondas de corte para los primeros 30 metros (V_{s30}) se determina con la siguiente fórmula:

$$V_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{V_{si}} \right)}$$

Dónde:

d_i = espesor de cada uno de los estratos n.

V_{si} = velocidad de ondas de corte (m/s)

Para este estudio, la Zonificación Geofísica - Geotécnica de las áreas urbanas se realiza en función de las características mecánicas, físicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas por la Norma E.030. En tal sentido y de acuerdo a los estudios realizados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), se establece la existencia de 4 zonas cuyas características son:



ZONA I: Comprende a suelos Tipo S1, cuyo periodo predominante varía entre 0.1 y 0.3 segundos.

ZONA II: Comprende a suelos Tipo S2 y el predominio de periodos entre 0.3 y 0.5 segundos.

ZONA III: Comprende a suelos Tipo S3, cuyos periodos predominantes son de 0.5 y 0.7 segundos.

ZONA IV: Comprende a suelos Tipo S4 (condiciones excepcionales) y está conformada por:

-Zona IVa: Depósitos eólicos, fluviales, marinos y/o suelos pantanosos.

-Zona IVb: Zonas de topografía irregular, susceptibles a generar derrumbe, flujos detríticos.

-Zona IVc: Depósitos de relleno sueltos, desmontes heterogéneos, rellenos sanitarios.

Esta zonificación condiciona el tipo de estructura que se debe construir; es decir, el tipo de material, geometría y el número de pisos en las viviendas o de grandes obras de ingeniería. Se debe buscar que el periodo fundamental de respuesta de la estructura no coincida con la del suelo a fin de evitar el fenómeno de resonancia y/o una doble amplificación sísmica.



2.- METODOLOGÍA Y DATOS

El estudio de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana Las Lomas se ha realizado con información recolectada en campo y con la aplicación de las metodologías que a continuación se describen:

2.1.- Método de Razones Espectrales (H/V)

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

La adquisición de datos en campo se realizó durante 2 días del mes de abril del 2019. Durante este periodo se recolectaron 141 registros de vibración ambiental utilizando sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 3). Los puntos de adquisición de datos se distribuyen espacialmente formando una grilla de puntos en el área urbana y zonas de expansión, con intervalos de 200 metros en promedio. Cada registro de vibración ambiental tiene una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de datos para su posterior análisis.

En la Figura 4, se muestra la disposición del equipo sísmico durante el registro de información, además de ejemplos de registros de vibración ambiental para sus tres componentes (vertical, E-O y N-S).

Para aplicar la técnica de razones espectrales H/V, se calcula la Transformada Rápida de Fourier para cada componente de registro a fin de obtener los cocientes espectrales y relacionar ambas componentes horizontales con la vertical (E-O/V; N-S/V). Finalmente, en cada espectro se procede a identificar la frecuencia predominante, para ello se considera picos y/o rangos con amplificaciones relativas de al menos 2 veces y que fluctúe en el rango de interés entre 0.5 a 20 Hz (Figura 5).



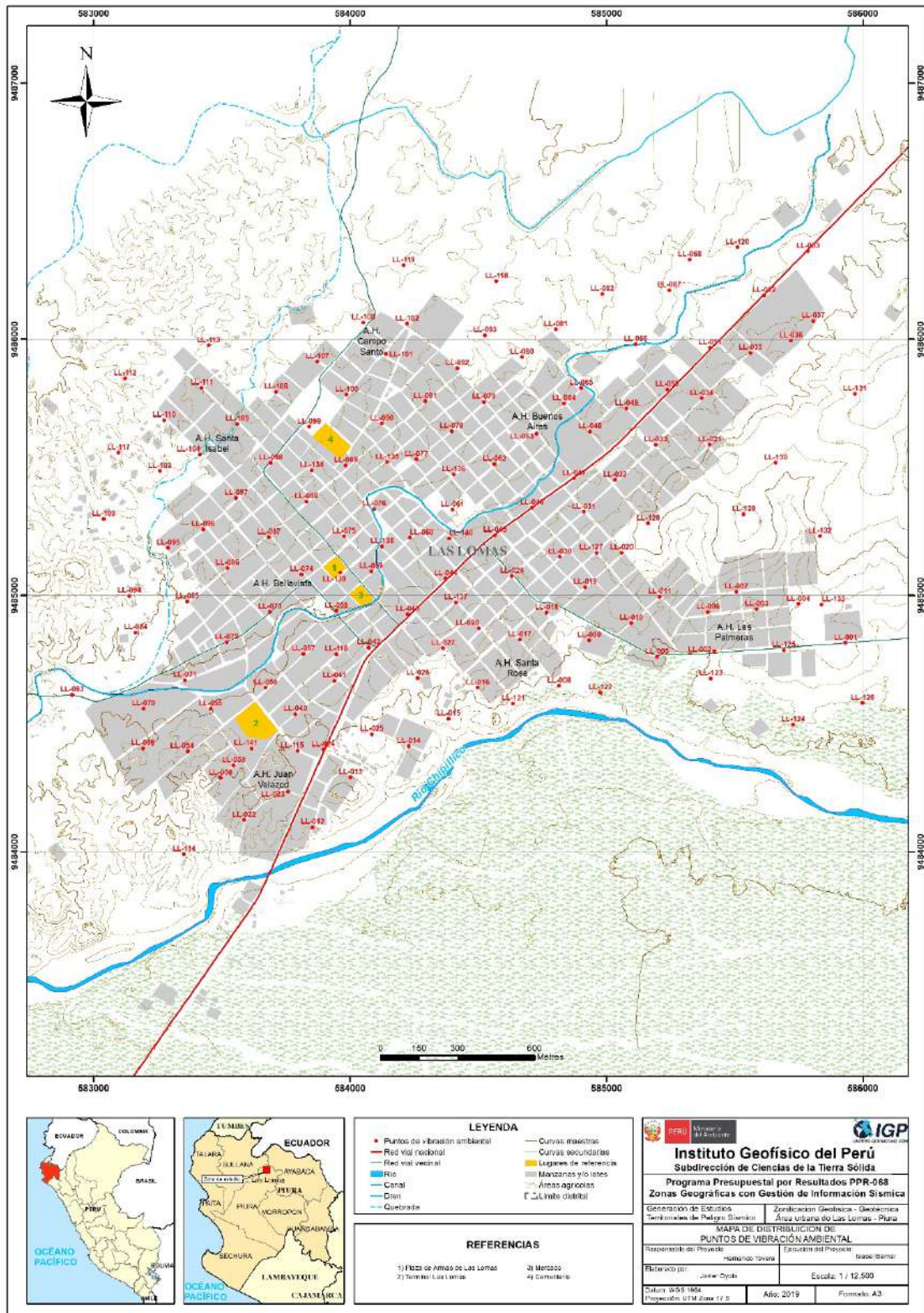


Figura 3. Distribución espacial de los puntos de registros de vibración ambiental del área urbana Las Lomas.

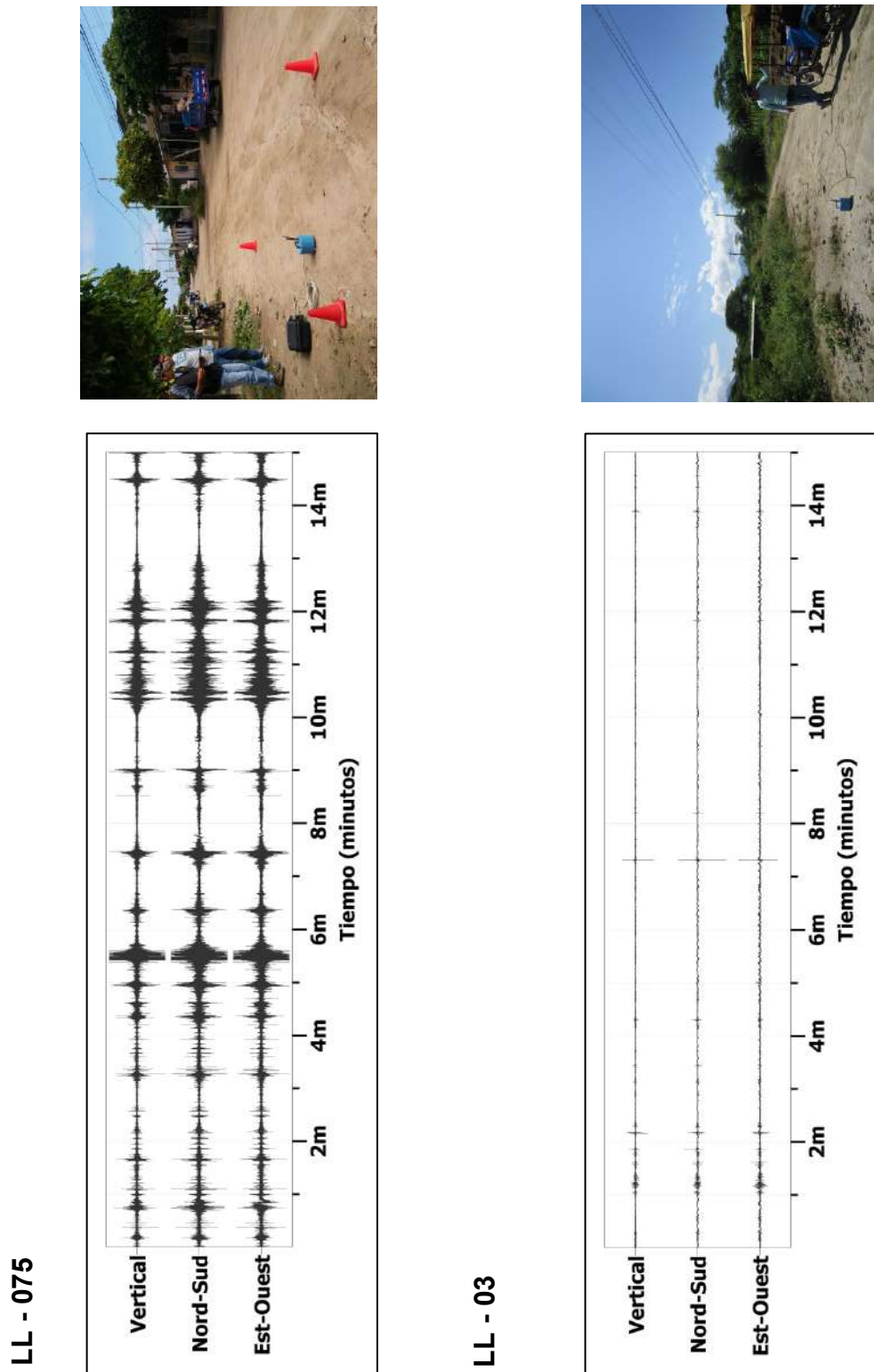
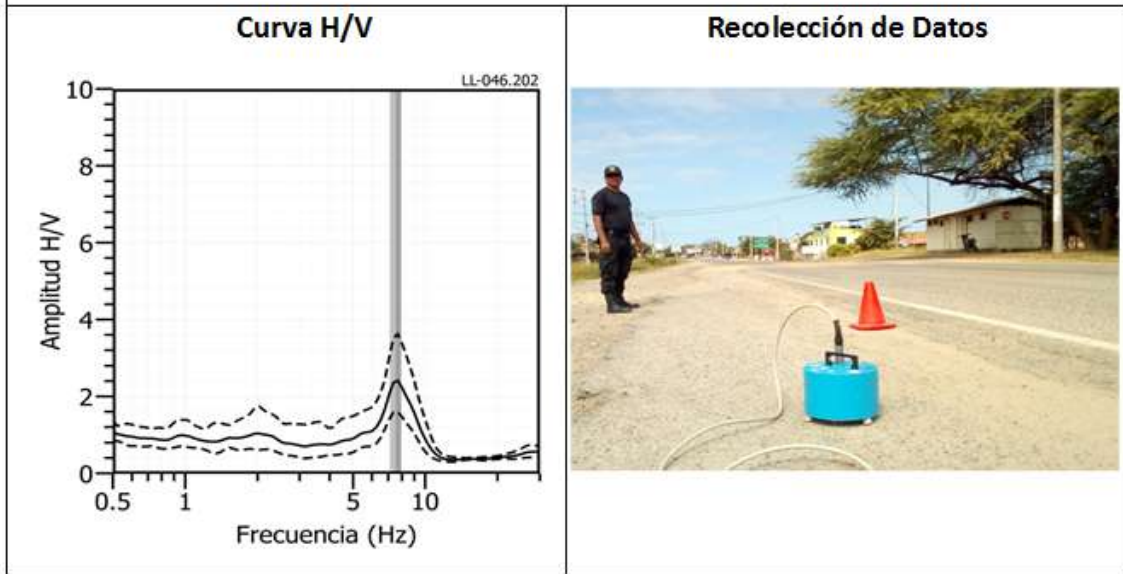
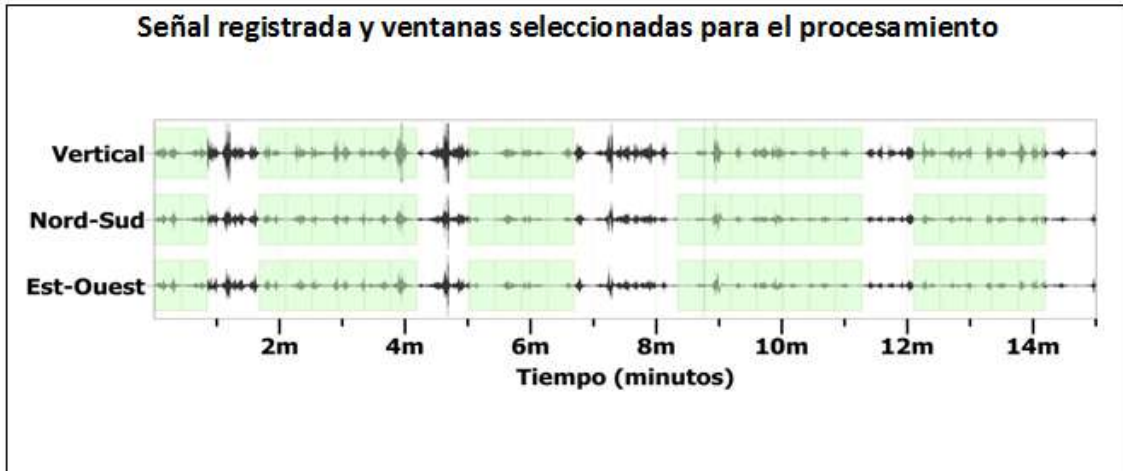


Figura 4. Disposición del equipo sísmico para la adquisición de los registros de vibración ambiental. Ejemplos de registros obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (LL-075) y otro con ruido de fondo constante (LL-003). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.



Zonificación Sísmica - Geotécnica
ÁREA URBANA DE LAS LOMAS
Frecuencias predominantes del Suelo

LL-46



Interpretación de resultados					
Dudoso	Pico(s) H/V (Hz)	<input checked="" type="checkbox"/>	f0	f1	f2
Ningún pico			7.54	-	-
Observaciones					
Var. azimuthal	Homogénea		Amplitud max. Entre y°		

Figura 5. Ejemplo de la ficha H/V para el punto LL-046 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas y Abajo resultados.



2.1.1.- Procesamiento y análisis

Para el análisis de la información sísmica se debe considerar los siguientes criterios: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1.0 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos); 2) Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos; y 3) Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2006; Bernal, 2006).

En la Figura 5, se muestra un ejemplo del análisis, procesamiento y resultados obtenidos para el punto LL-046. El registro es sectorizado en ventanas de 20 segundos y analizado individualmente, para luego obtener el promedio espectral para las curvas, y así identificar el rango de las frecuencias y/o periodos predominantes, que caracterizan al suelo bajo el punto de observación. También es visible el factor de amplificación del suelo ante la incidencia de las ondas sísmicas.

2.2.- Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)

El método sísmico de MASW permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto, conocer los espesores de las capas y la velocidad de propagación de las ondas de corte (Vs) en el subsuelo. Este método permite analizar la dispersión de ondas superficiales (ondas Rayleigh) generadas por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de estaciones sísmicas.

Para el registro de datos, según la técnica MASW se sigue el procedimiento y se utiliza un equipo sísmico modelo GEODE de Geometrics con 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas se utiliza un martillo de 20 lb. Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido y el espaciamiento entre geófonos, fueron variables ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio y de la accesibilidad a los puntos seleccionados.

En el área urbana Las Lomas se realizaron 08 arreglos lineales MASW codificadas como LS01-LL, ...y LS08-LL (ver Tabla 2). La distribución espacial de estas líneas se muestra en la Figura 6. Durante los trabajos de campo, los datos y/o sismogramas eran visualizados a fin de verificar su calidad de registro y los niveles de ruido de fondo. En la Figura 7, se muestra como ejemplo el registro obtenido considerando un golpe con martillo a 3 metros al final del arreglo lineal.



Tabla 2. Coordenadas y características de los arreglos lineales MASW realizados en el distrito Las Lomas.

Arreglo lineal MASW	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-LL	583732	9484383	245	4	92
	583806	9484329	244		
LS02-LL	584509	9484751	249	4	92
	584572	9484801	254		
LS03-LL	585389	9484828	244	4	92
	585389	9484918	251		
LS04-LL	585080	9485792	256	4	92
	585150	9485850	256		
LS05-LL	584446	9485393	245	3	69
	584392	9485347	243		
LS06-LL	583552	9485688	249	4	92
	583619	9485624	254		
LS07-LL	583485	9485084	251	4	92
	583431	9485156	253		
LS08-LL	584191	9485934	256	4	92
	584226	9486020	257		



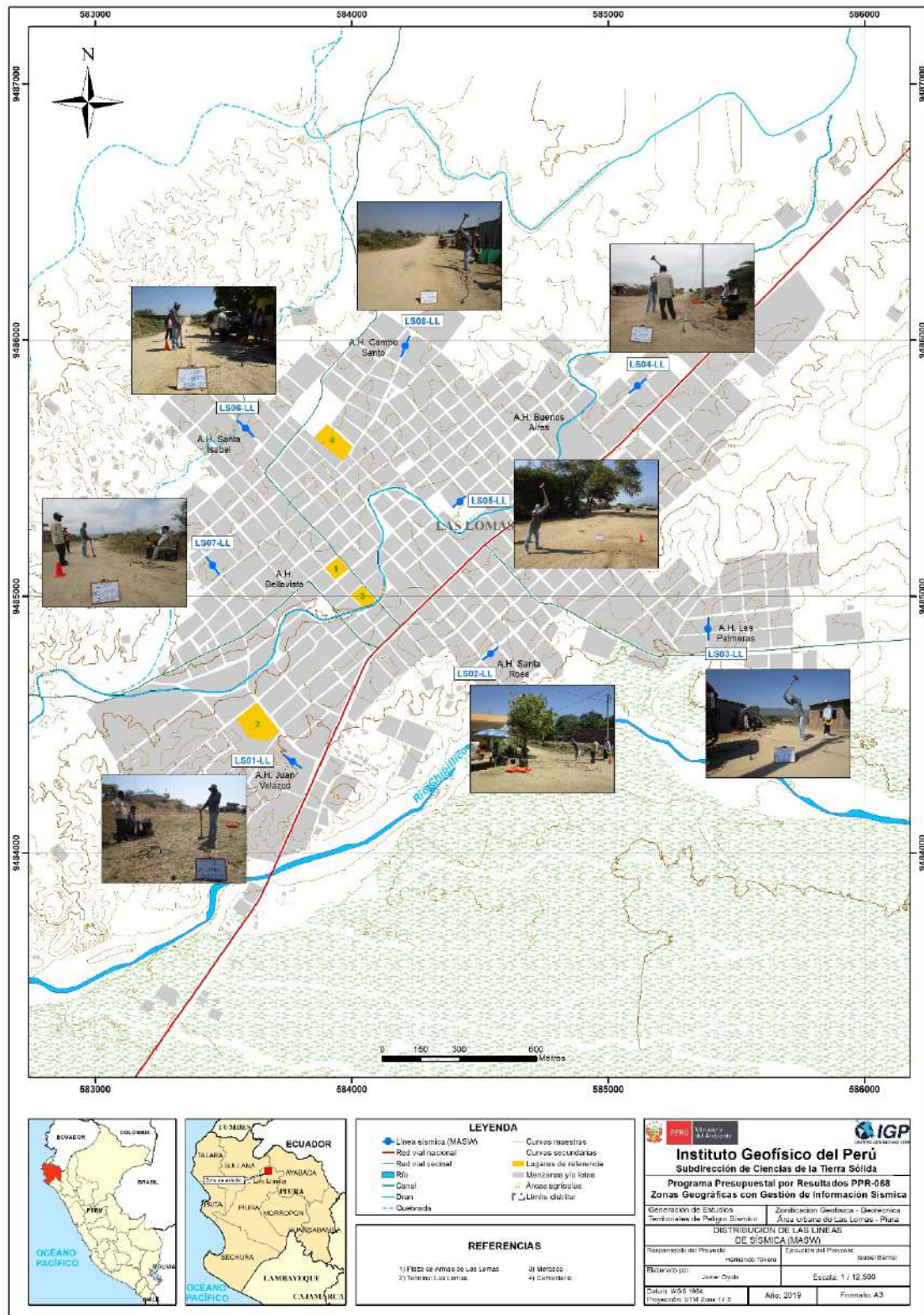


Figura 6. Distribución espacial de los ensayos MASW codificadas como LS01-LL, ...LS08-LL en el área urbana Las Lomas.





Figura 7. Disposición del equipo para la adquisición del registro sísmico.

2.2.1.- Procesamiento y análisis

Se procedió a aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT) a los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011), para luego tener como resultado, la imagen de dispersión de ondas que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia. Una vez obtenidas las curvas de dispersión, son sometidas de forma individual a un proceso de inversión, a fin de obtener los perfiles de velocidad Vs en una dimensión (1D), tal como se muestra en la Figura 8.

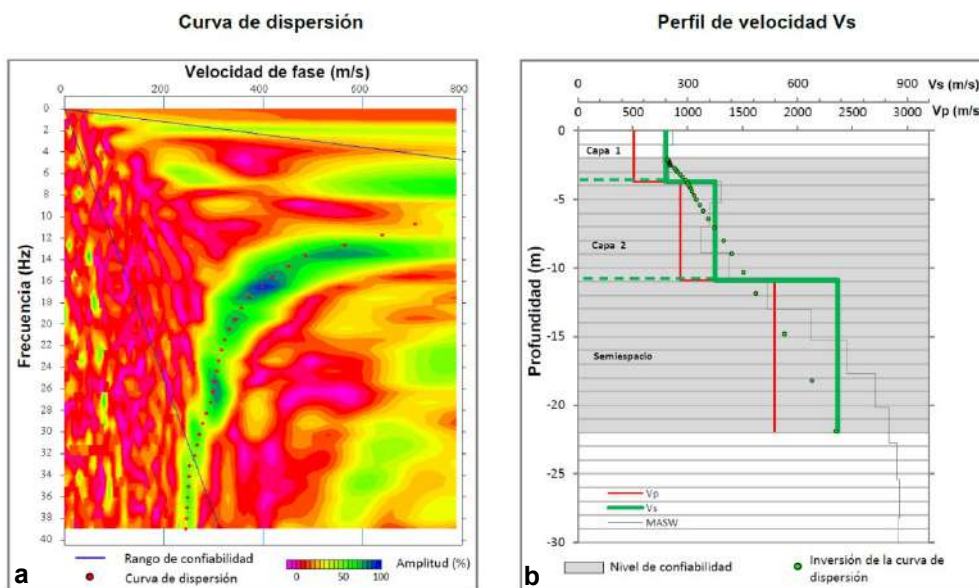


Figura 8. a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo MASW.



Para su análisis, se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030 (2018). En este caso, el rango de velocidades para los perfiles de suelo S1 y S2, se subdividen a fin de considerar dos clasificaciones adicionales, ver Tabla 3. Asimismo, los valores obtenidos son representados con colores a fin de facilitar su interpretación.

Tabla 3. Clasificación de perfiles de suelo, según la norma E.030.

Clasificación de los perfiles de Suelo				
N°	Vs		Norma E.030	Descripción
1	< 180 m/s	S ₃	Suelo blando	Suelo blando
2	180 m/s a 350 m/s	S ₂	Suelo medianamente rígido	Suelo moderadamente rígido
3	350 m/s a 500 m/s			Suelo rígido
4	500 m/s a 800 m/s	S ₁	Roca o suelo muy rígido	Suelo muy rígido o roca blanda
5	800 m/s a 1500 m/s			Roca moderadamente dura
6	> 1500 m/s	S ₀	Roca dura	Roca dura

2.3.- Método de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

El ensayo de ERT permite determinar las variaciones de resistividad y conductividad eléctrica en las rocas y suelos para conocer su grado de saturación. En general, los materiales que conforman el subsuelo muestran ciertos rangos de resistividad (ρ) al paso de la corriente eléctrica, y que pone en evidencia el contenido de agua, de sales disueltas en las fracturas de las rocas o en la porosidad del suelo.

Los datos recolectados en campo corresponden al registro de valores de resistividad obtenidos en 06 líneas de ERT distribuidas en la zona de estudio, tal como se observa en la Figura 9. El instrumental utilizado en campo corresponde a un Equipo de Resistividad / IP Syscal Pro de marca Iris Instruments. En la Tabla 4, se detalla las características de las líneas de ERT realizadas en la localidad Las Lomas. Para la instalación de los equipos y los tendidos de los cables para la adquisición de los datos, en algunos sectores se tuvieron limitaciones de acceso y de espacio.



Tabla 4: Coordenadas y características del ensayo ERT realizados en Las Lomas.

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-LL	583683	9484425	254	10	170
	583821	9484321	249		
LE02- LL	584461	9484803	264	10	290
	584652	9484582	247		
LE03- LL	585541	9484943	258	10	230
	585298	9484912	255		
LE04- LL	585228	9485925	266	10	290
	585008	9485722	264		
LE05- LL	584512	9485468	258	10	230
	584333	9485310	257		
LE06- LL	583689	9485549	262	10	290
	583481	9485762	259		



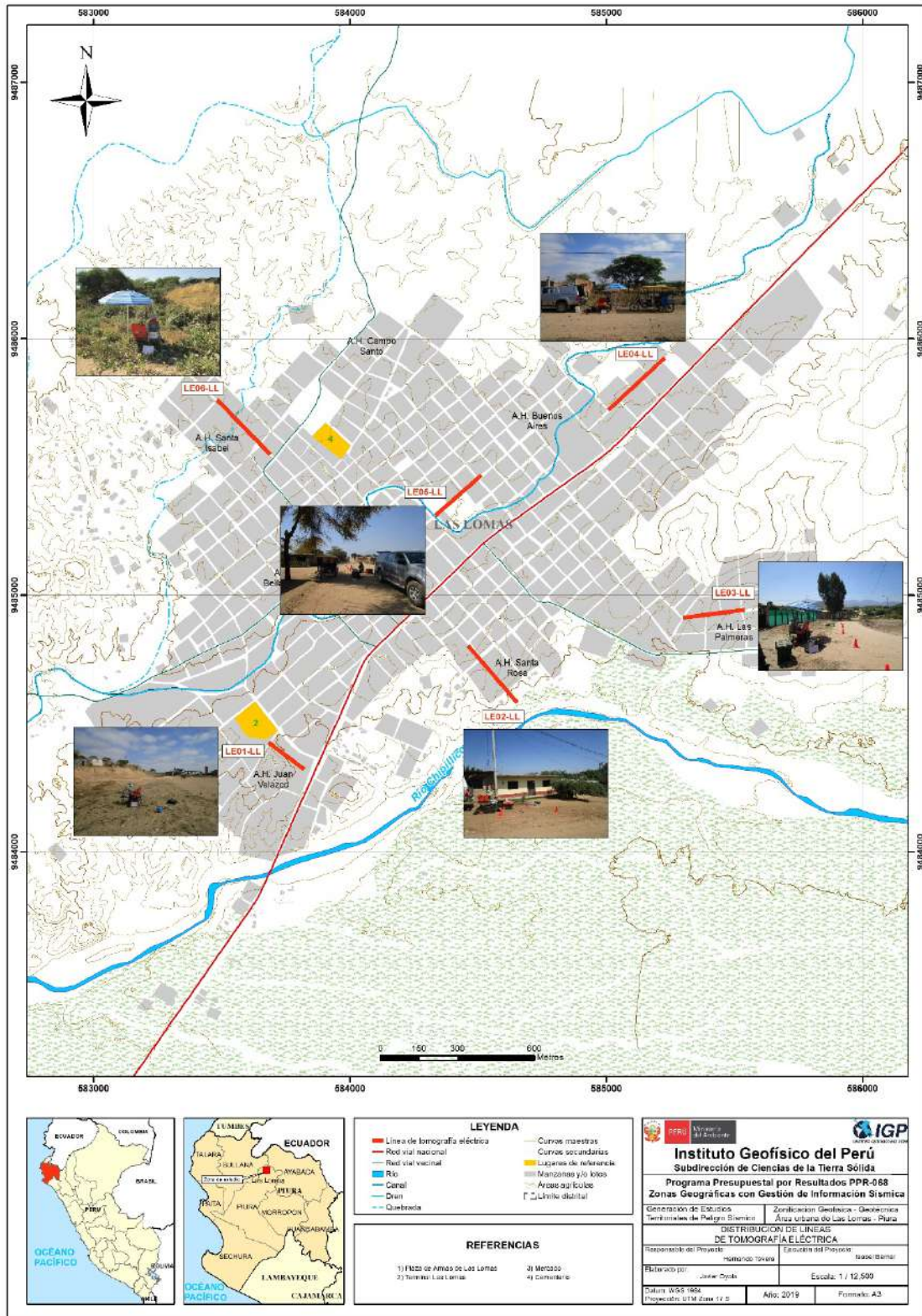


Figura 9. Distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como LE01-LL, ... LE06-LL en el área urbana Las Lomas.

2.3.1.- Procesamiento y análisis

Para realizar el procesamiento de los datos recolectados en campo, se selecciona aquellos con ausencia de ruidos que puedan alterar los resultados a obtenerse. Seguidamente, son corregidos por efectos de topografía usando algoritmos de inversión de datos geoelectricos y de procesamiento de imágenes.

Para el análisis de los resultados se debe tener en cuenta que son varios los factores que influyen en las características de los suelos (grado de saturación, porosidad y forma del poro, salinidad del fluido, tipo y composición de la roca, temperatura y 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 5, se presentan algunos valores de Resistividad relacionados a los distintos tipos de suelos y rocas.

Tabla 5. Valores de resistividad de suelos y rocas presentes en la naturaleza (UNC, 2000).

Basamento. Roca sana con diaclasas espaciadas	>10000 Ωm
Basamento. Roca fracturada	1500-5000 Ωm
Basamento. Roca fracturada saturada con agua corriente	100-2000 Ωm
Basamento. Roca fracturada saturada con agua salada	50-100 Ωm
Gravas parcialmente saturadas	500-2000 Ωm
Gravas saturadas	300-500 Ωm
Arenas parcialmente saturadas	400-700 Ωm
Arenas saturadas	100-200 Ωm
Limos parcialmente saturados	100-200 Ωm
Limos saturados	20-100 Ωm
Limos saturados con agua salada	5-15 Ωm
Arcillas parcialmente saturadas	20-40 Ωm
Arcillas saturadas	5-20 Ωm
Arcillas saturadas con agua salada	1-10 Ωm
Ceniza volcánica seca	1000-2000 Ωm
Ceniza volcánica húmeda	300-1000 Ωm
Ceniza volcánica saturada	100-300 Ωm



3.- RESULTADOS

La correlación de los resultados obtenidos con el procesamiento y análisis de los datos recolectados en campo y la aplicación de diversos métodos geofísicos, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

3.1.- Razones espectrales (H/V)

En el área urbana Las Lomas, los suelos responden a frecuencias predominantes (F_0) mayores a 6.0 Hz con diferentes amplificaciones. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en el área urbana Las Lomas.

3.1.1.- Frecuencias Predominantes

- **La frecuencia predominante F_0** , según la Figura 10, fluctúa principalmente entre 6.0 a 17.0 Hz, distribuyéndose de manera uniforme en toda el área de estudio. Asimismo, se identifica áreas en las cuales los suelos no responden a ninguna frecuencia.

En la Figura 11, se muestra ejemplos de razones espectrales obtenidos para la zona céntrica del área de estudio, donde los suelos responden en un mismo rango de frecuencia, pero con una gran diferencia en el factor de amplificación relativa, tal como se observa en los siguientes ejemplos:

- a) Los razones (H/V), obtenida para los puntos LL-58 (E), LL-76(F) y LL-115(I) ubicados en la zona céntrica y sur del área urbana, próximos a la Plaza de Armas, al Mercado y al Terminal Las Lomas, evidencian que los suelos responde a frecuencias de 9.9, 12.7 y 12.4 Hz con amplificaciones de 3.0, 6.3 y 3.5 veces respectivamente.
- b) Las razones (H/V), obtenidas para los puntos LL-43(B), LL-45(C) y LL-50(D) ubicados en dirección Este y NE de la Plaza de Armas, sobre la Panamericana Norte, evidencian que los suelos responden a frecuencias de 10.2, 10.4 y 12.8 Hz con mínimas amplificaciones (menores a 1.5 veces).

Finalmente, los puntos LL-11(A), LL-81(G) y LL-84(H), realizados a los extremos este, norte y oeste del área de estudio, próximo al A.H. Las Palmeras, por el A.H. Buenos Aires y al noroeste del Terminal Las Lomas, evidencian que los suelos no responden a ninguna frecuencia ya que la curva es plana.



Los valores altos de frecuencia se asocian a estratos del suelo de poco espesor y los factores de amplificación mayores a 3 veces, sugieren que estos suelos presentan baja consistencia a niveles superficiales.



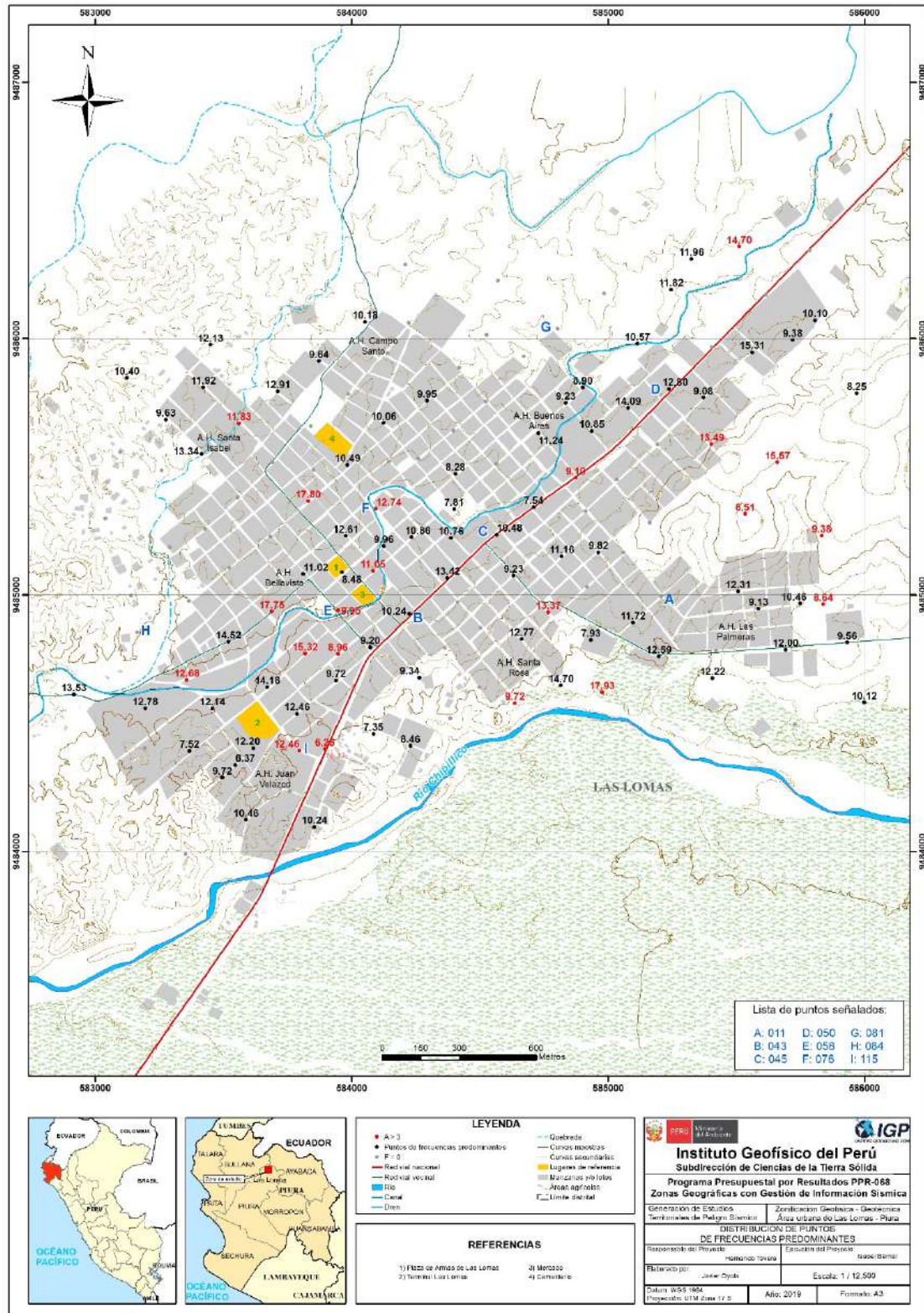
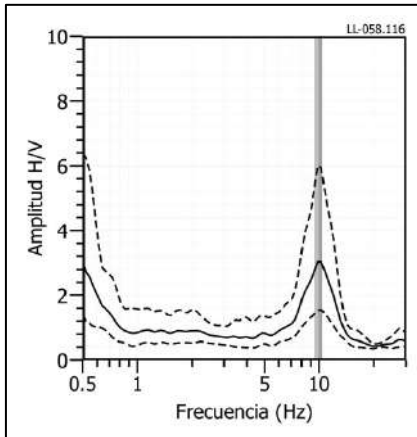
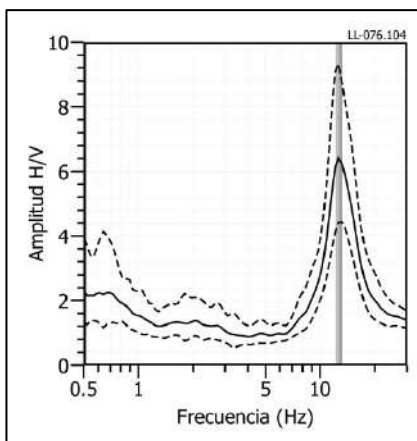


Figura 10. Distribución espacial de las frecuencias predominantes F_0 ($F > 6.0$ y < 17.0 Hz). Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 3 veces. Las letras corresponden a los puntos cuyas razones espectrales son analizadas en el informe.

LL - 58



LL - 76



LL - 115

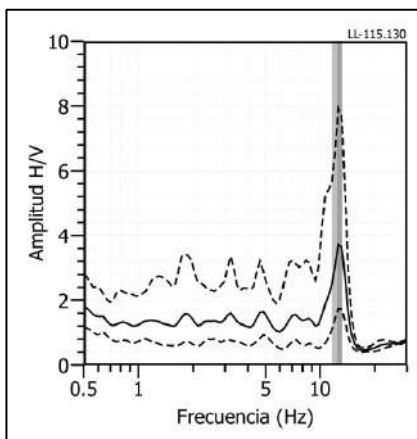
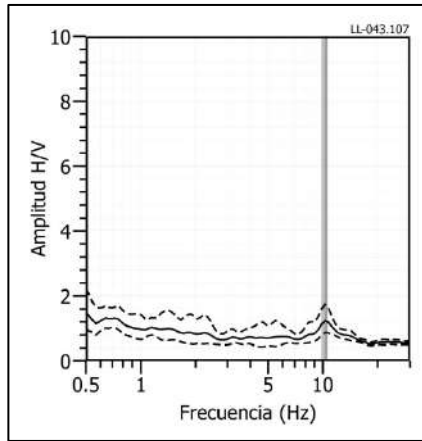


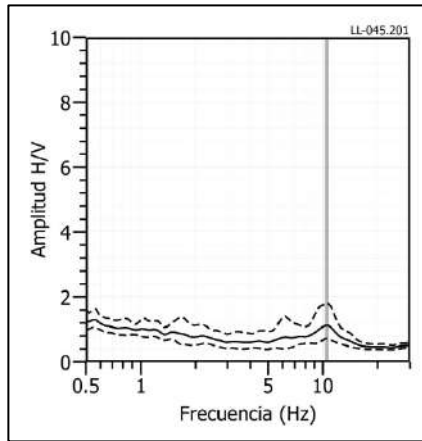
Figura 11. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 : Para los puntos LL-58 (E), LL-76(F) y LL-115(I), realizados a la Plaza de Armas, al Mercado y al Terminal Las Lomas, respectivamente. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.



LL - 43



LL - 45



LL - 50

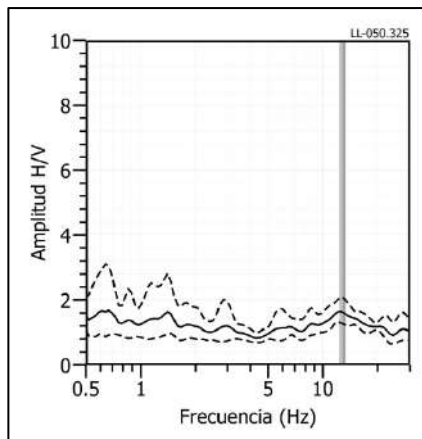
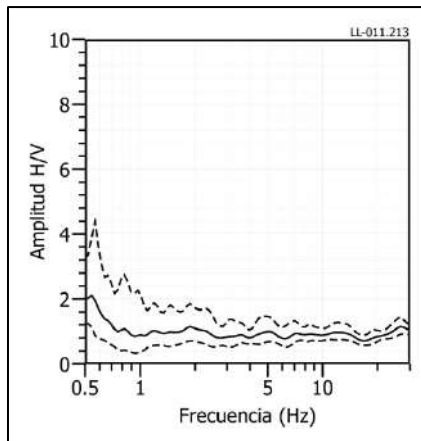


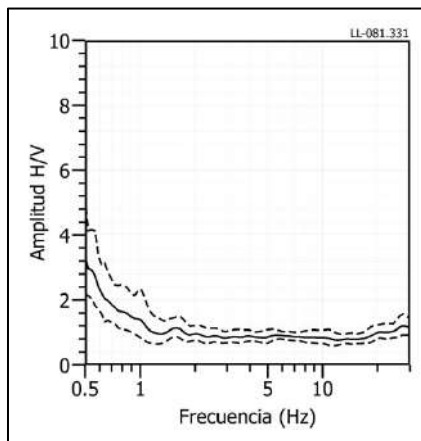
Figura 11. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 : Para los puntos LL-43(B), LL-45(C) y LL-50(D), realizados sobre la Panamericana Norte. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.



LL - 11



LL - 81



LL - 84

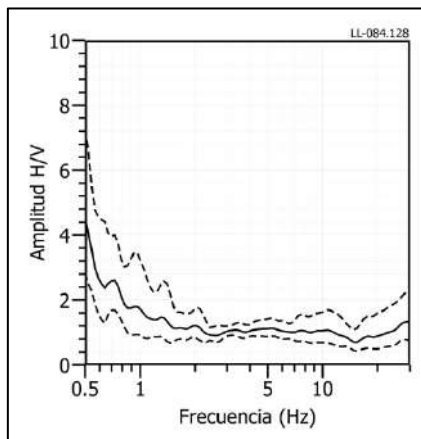


Figura 11. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 : Para los puntos LL-11(A), LL-81(G) y LL-84(H), ubicados próximo al A.H. Las Palmeras, por el A.H. Buenos Aires y al noroeste del Terminal Las Lomas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.



3.1.2.- Periodos dominantes

Los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes a fin de construir el mapa de isoperiodos. En la Figura 12, se muestra la distribución espacial de los periodos (T_0) de respuesta del suelo que varían entre 0.1 y 0.2 segundos, los cuales para un mejor análisis han sido separados en dos grupos, según su factor de amplificación, los valores en rojo corresponden a aquellos cuya amplificación supera las 3 veces. Los puntos en gris, corresponde a aquellos que no presentan periodos. El periodo de respuesta predominante del suelo de este distrito es de 0.1 segundos, distribuyéndose de manera uniforme sobre toda el área de urbana, y de manera puntual, los periodos de 0.2 segundo se presentan hacia el extremo sur del área de estudio (A.H. Juan Velazco). Aquellos que no presenta sensibilidad a ningún periodo, se identifican principalmente hacia el extremo noroeste (entre el A.H. Santa Isabel y el A.H. Bellavista, por el cementerio y A.H. Campo Santo), al sureste (A.H. Santa Rosa) y al este del área urbana (A.H. Las Palmeras), ver Figura 12.

Los periodos dominantes se encuentran relacionados con las condiciones físicas del suelo, a través de la relación $T_0=4H/V_s$, donde T_0 es el periodo dominante, H el espesor del estrato y V_s es la velocidad de onda de corte. Asumiendo velocidades de 400 m/s y 500 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.1 segundos, se estima una capa superficial con espesores de entre 10 y 20 metros. Los resultados de este análisis sugieren que en toda el área urbana la capa superficial del suelo es menor espesor.



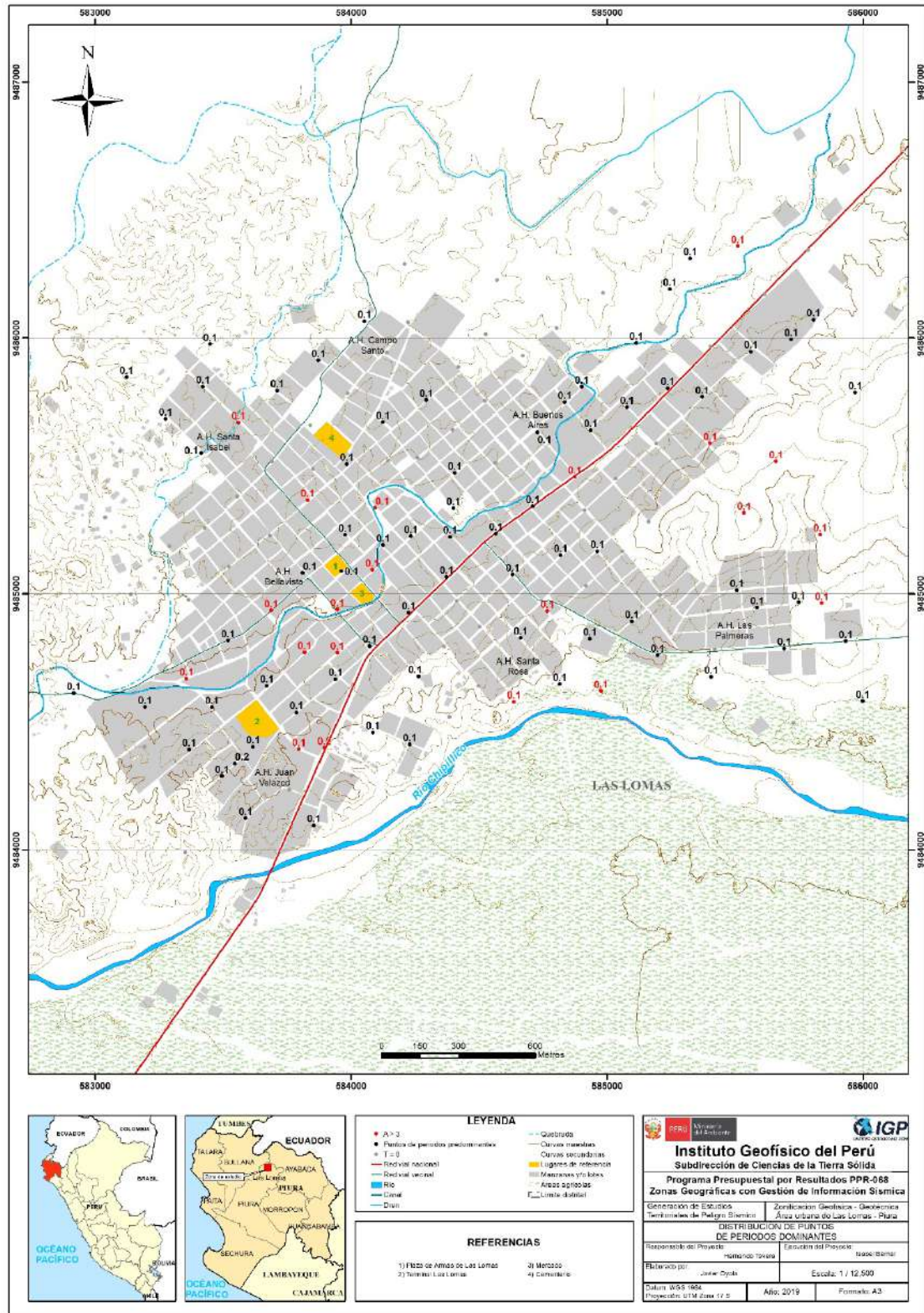


Figura 12. Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

3.2.- Perfiles de MASW

En el área de estudio se realizaron 08 líneas sísmicas aplicando la técnica MASW a fin de identificar velocidades de ondas de corte V_s confiables hasta los 30 metros de profundidad. En la Figura 6, se presenta el mapa con la ubicación de las líneas y en la Figura 13, los resultados obtenidos para la línea LS01-LL. Para el resto de los perfiles, ver Anexo I.

Línea sísmica LS01-LL: Ubicada al suroeste del área urbana; en el A.H. Juan Velazco. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 9 metros de espesor, con velocidades V_s de entre 250 y 396 m/s correspondiendo a suelos moderadamente rígidos, la segunda de 20 metros de espesor y velocidades $V_s > 844$ m/s. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 1130$ m/s, el cual considera roca moderadamente dura.

Línea sísmica LS02-LL: Ubicada al este del área urbana; en el A.H. Santa Rosa. Se identifica una capa sísmica de 7 metros de espesor con velocidades V_s de 236 m/s, corresponde a suelo moderadamente rígidos. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 558$ m/s, considera a suelos rígidos.

Línea sísmica LS3-LL: Ubicada al este del área de estudio, en el A.H. Las Palmeras. Se identifica una capa sísmica de 9 metros de espesor con velocidades V_s de 426 m/s, que corresponde a suelos de moderadamente rígidos a rígidos. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 974$ m/s, el cual considera roca moderadamente dura.

Línea sísmica LS4-LL: Ubicada al noreste del área urbana, en el A.H. Buenos Aires. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 4 metros de espesor con velocidades V_s de 168 m/s, corresponde a suelo blando. La segunda, con velocidad V_s de 308 m/s y espesor de 13 metros, considera suelo moderadamente rígido. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 796$ m/s, considera a suelo muy rígido o roca blanda.

Líneas sísmicas LS05-LL y LS06-LL: Ubicados en la parte central y en el extremo noroeste del área urbana, por el A.H. Buenos Aires y A.H. Santa Isabel, respectivamente. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 3 a 5 metros de espesor, con velocidades V_s entre 173 a 177 m/s considera suelo blando. La segunda capa, con velocidades V_s de 366 m/s y espesor de 10 metros, corresponde a suelo moderadamente rígido. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 638$ m/s.

Línea sísmica LS07-LL: Ubicada al oeste del área urbana, en el A.H. Bellavista. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 4 metros de espesor con velocidad V_s de 241 m/s y la segunda capa, con velocidad V_s de 374 m/s y con espesor de 7 metros, ambas corresponden a suelos moderadamente rígidos. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 711$ m/s, correspondiendo a suelo muy rígido o roca blanda.



Línea sísmica LS08-LL: Ubicada al norte del área urbana, A.H. Campo Santo. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 7 metros de espesor con velocidades Vs de 236 m/s considera suelos moderadamente rígidos. La segunda, con velocidad Vs de 454 m/s y 11 metros de espesor, corresponde a suelo rígido. El semi-espacio presenta velocidades Vs > 839 m/s correspondiendo a roca moderadamente dura.

En la Tabla 6, se muestra el resumen de la información obtenida, la velocidad de ondas de corte Vs, su espesor y la velocidad Vs30.

Tabla 6. Valores de espesor y Vs de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

		Superficie ➔ Profundidad					
Línea Sísmica	N° DE CAPA						
	1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
LS01-LL	396	9	844	20	1130	-	647
LS02-LL	236	7	558	-	-	-	445
LS03-LL	426	9	974	-	-	-	699
LS04-LL	168	4	308	13	796	-	426
LS05-LL	177	5	366	10	703	-	383
LS06-LL	173	3	366	10	638	-	420
LS07-LL	241	4	374	7	711	-	502
LS08-LL	236	7	454	11	839	-	433

	Suelo blando (Vs < 180 m/s)
	Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s)
	Suelo rígido (350 – 500 m/s)
	Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s)
	Roca moderadamente dura (800 – 1500 m/s)
	Roca dura (Vs > 1500 m/s)



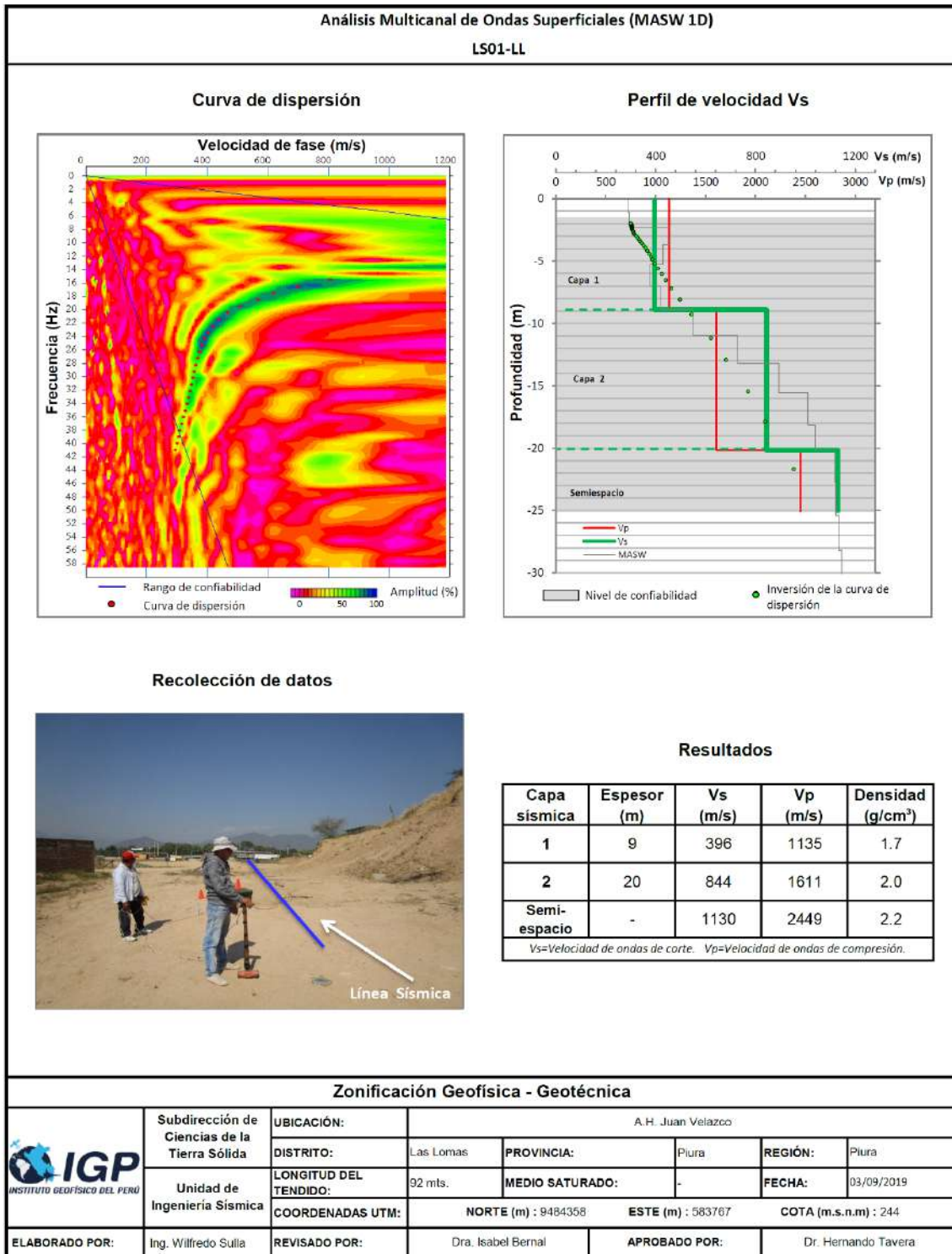


Figura 13. Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo lineal LS01-LL.

Según los resultados obtenidos con el método sísmico (Figura 14) se define principalmente 2 y 3 capas sísmicas y un semiespacio (Tabla 6) hasta una profundidad confiable de 30 metros, identificándose dos tipos de suelo; el primero caracterizado por una capa delgada de **suelos blandos** con velocidades de corte (V_s) que varían entre 170 a 180 m/s con espesores de 3 a 5 metros que se distribuyen próximos al canal de regadío que cruza el área urbana y a la quebrada ubicada al noroeste del área de estudio. Estos suelos se encuentran caracterizados por depósitos recientes poco consolidados con contenido de humedad. Y el segundo caracterizado por suelos **moderadamente rígidos** con velocidades de corte (V_s) que varían entre 200 a 500 m/s con espesores de 10 a 20 metros que se distribuyen en el resto del área de estudio. En los sectores ubicados principalmente al oeste y este de área de estudio, muestran suelos rígidos en superficie, que sugiere la presencia de roca muy intemperizada y fracturada, tal como muestra la Figura 14. Conforme incrementa la profundidad, la capa de suelo superficial se encuentran sobre suelos rígidos y este, sobre roca blanda o roca moderadamente dura.

En general, el área urbana muestra la presencia de suelos cuyo espesor varía entre 3 a 20 metros, los mayores espesores se presentan hacia el extremo NE del área urbana, próximo al canal de agua y cuyo sector muestra abundante vegetación (A.H. Buenos Aires), ver Figura 14. En el resto del área muestra suelos muy consistentes desde la superficie. Los valores de velocidad V_s obtenidos en superficie se asocian a suelos areno-limosos de poco espesor que cubren a rocas fracturadas de origen intrusivo, razón por la cual existe el predominio de mayor rigidez en profundidad.



Figura 14. Sectores en los cuales se muestra un cambio en las características del tipo de suelo.

3.3.- Perfiles de Tomografía Eléctrica

Se realizaron 06 líneas de tomografía eléctrica en el área urbana Las Lomas a fin de conocer el grado de saturación del suelo mediante los valores de resistividad. En la Figura 9, se presenta el mapa con la ubicación de las líneas, en las Figuras 15 y 16, imágenes con la disposición de las diferentes líneas y en la Figura 17, los resultados obtenidos para la línea LE02-LL. Para el resto de los perfiles, ver Anexo II.

Las líneas **LE02-LL**, **LE03-LL** y **LE04-LL** ubicadas en la zona este y norte del área urbana, en los A.A.H.H. Santa Rosa, Las Palmeras y Buenos Aires. Se identifica el predominio de valores medianamente resistivos a resistivos (100 a 1500 Ω .m), indica que el suelo presenta poca humedad asociándose a la presencia de afloramientos de intrusivos y rocas plutónicas. De manera puntual, en superficie aparecen valores bajo resistivos (<100 Ω .m) lo que sugiere la presencia de humedad en el subsuelo característico de conglomerados, arenas y arcillas que son observados en superficie, además, de la presencia de vegetación, tal como se muestra la Figura 15. La línea **LE02-LL**, presenta valores resistivos a muy resistivos (>500 Ω .m) por la influencia de material conglomerado y los afloramientos rocosos (Figura 15).

La **LE05-LL**, ubicada en la zona céntrica al noreste de la Plaza de Armas, en el A.H. Buenos Aires. Se identifica el predominio de valores bajo resistivos a muy bajo resistivos (<100 Ω .m), se asocia a suelos con alto contenido de humedad puesto que en superficie el suelo esta caracterizados por gravas, arenas y arcillas (depósitos aluviales), depositados próximos al canal que cruza el área urbana y a terrenos de cultivo (Figura 15).

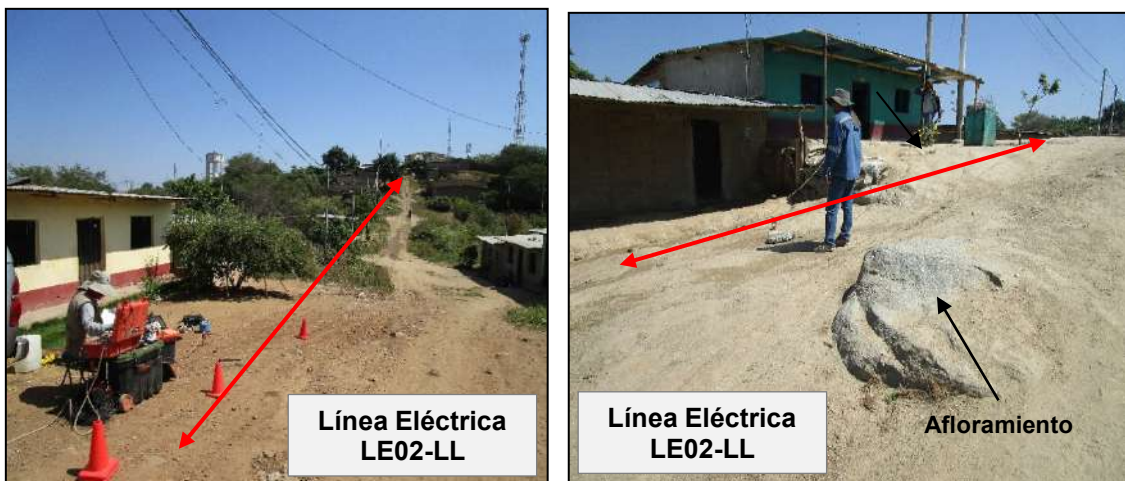




Figura15. Vista de la línea eléctrica LE02-LL, LE03-LL, LE04-LL y LE05-LL.

La línea **LE01-LL** ubicada en la zona suroeste del área urbana, en el A.H. Juan Velazco (según la Figura 9). se identifican valores medianamente resistivos (100 a 500 Ω .m) a niveles superficiales, asociado a la presencia de material con poca humedad en el subsuelo, y en profundidad predominan valores resistivos a muy resistivos (>500 Ω .m) sugiriendo afloramientos del complejo plutónico Las Lomas, ver Figura 16.



La línea **LE06-LL** ubicada en la zona noroeste del área urbana, en el A.H. Santa Isabel (según la Figura 9). Se identifica el predominio de valores bajo resistivos ($<100 \Omega.m$) en superficie, sugiriendo la presencia de suelos húmedos asociados a depósitos aluviales, en profundidad se observan valores medianamente resistivos a resistivos (100 a 1500 $\Omega.m$) y correspondería a rocas plutónicas, ver Figura 16.



Figura16. Vista de la línea eléctrica LE01-LL y LE06-LL.



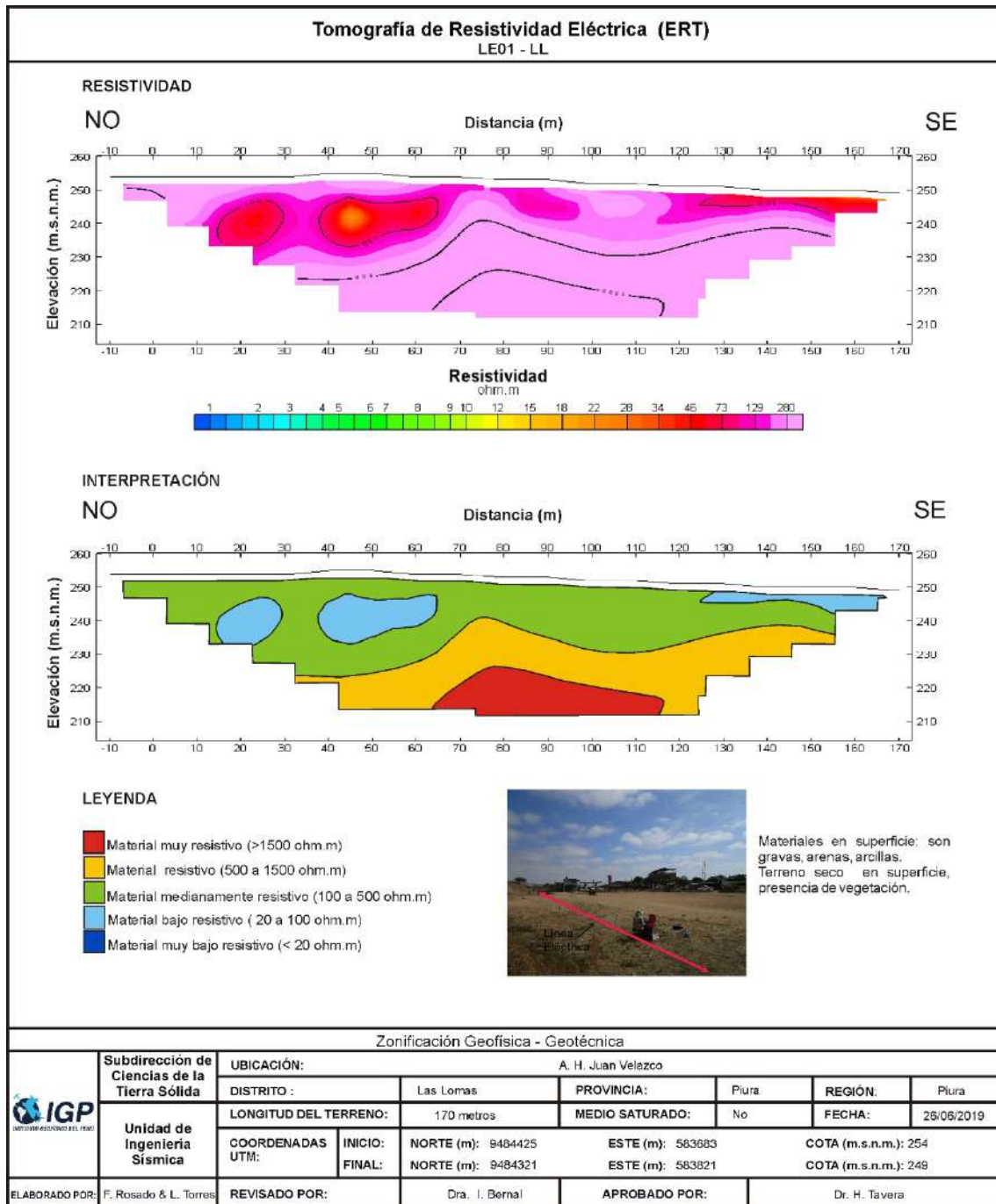


Figura 17. Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-LL.

En el distrito Las Lomas, los cortes geoelectricos evidencian la presencia de suelos no saturados, excepto en el A.H. Buenos Aires, donde los niveles de saturación se presentan desde la superficie, donde los depósitos aluviales constituyen un medio poroso que favorece la presencia de suelos saturados, a partir de los 5 metros de profundidad debido a la presencia de un canal de agua que cruza este sector. Por otro lado, hacia el noroeste de la Plaza de Armas en el A.H. Santa Isabel, presenta un medio parcialmente saturado cuyo suelo se encuentra caracterizado mayormente por conglomerado, arenas y finos. La presencia de vegetación y la quebrada que existe en este sector contribuyen al contenido de humedad, además de la ligera depresión que existe en este sector permite la acumulación del agua en temporadas de lluvias y/o el Fenómeno de El Niño.



4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA DE LOS SUELOS

El mapa de zonificación Geofísica se realiza considerando la correlación de la información generada con la aplicación de las técnicas geofísicas y geotécnicas; así como, con los aspectos geológicos, geomorfológicos y geodinámicos que presenta la zona en estudio. Finalmente, con base en estos resultados y la información contenida en la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente, se delimita zonas cuyos suelos presenten similares características físicas y dinámicas.

4.1. Integración de resultados

El área urbana Las Lomas se encuentra a una altura promedio de 255 m.s.n.m., presenta una superficie ligeramente ondulada cuya pendiente es baja a moderada, hacia su extremo noreste se identifica colinas que son parte de las estribaciones andinas, condiciones geomorfológicas que influyen en los resultados.

En general el suelo responde a periodos de entre 0.1 y 0.2 segundos (Figura 18), predominando los valores de 0.2 segundos hacia el extremo suroeste del área de estudio (A.H. Juan Velazco). Por otro lado, existen en diversos sectores, suelos que no responden a ningún periodo. Esto evidencia el alto grado de compactación del suelo, siendo conformado por arenas y conglomerados. De acuerdo con el análisis sísmico, en superficie predomina una capa delgada de suelos blandos y moderadamente rígidos ($V_s = 168$ a 308 m/s) con espesores de entre 4 y 7 metros que se distribuye en toda el área urbana, solo hacia el noreste (A.H. Buenos Aires) se identifica espesores de hasta 17 metros. Estos resultados son coherentes con la distribución de los periodos identificados en el área de estudio. En la Figura 18, se observa la correlación geofísica, hacia el noreste (punto "a") y hacia el sureste (punto "b"), evidenciando claramente que hay un cambio en el espesor de la capa superficial hacia ambos extremos.

Asimismo, se identifica el predominio de suelos no saturados en el área de estudio, excepto en el sector donde se ubica el A.H. Buenos Aires que presenta suelos saturados desde pocos niveles de la superficie, debido a la influencia de los canales de regadío y de encontrarse próximo a terrenos de cultivo. El suelo al estar caracterizado por sustratos permeables, favorecen a que el medio saturado se encuentre a partir de los 5 metros de profundidad. Y los suelos moderadamente saturados se identificaron de manera puntual, en los A.A.H.H. Santa Rosa, Las Palmeras (dirección norte) y al sur de la Plaza de Armas. Asimismo, estudios anteriores sugieren que estos sectores se encuentran en alto riesgo a lluvias intensas y/ o el fenómeno de El Niño (CENEPRED, 2017).



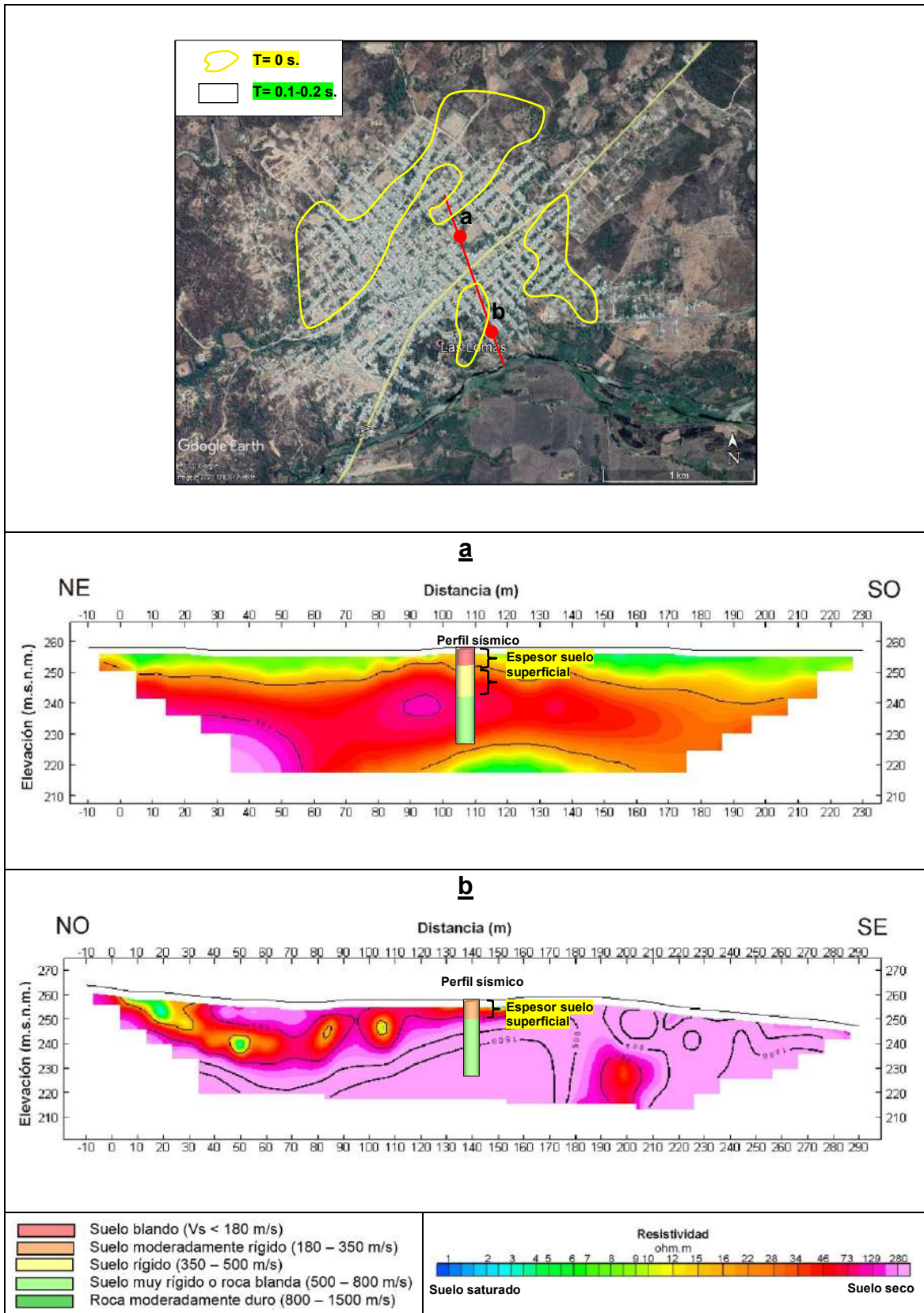


Figura 18. Correlación de los ensayos geofísicos, periodos dominantes, tipo de suelo y grado de saturación.



4.2. Mapa de Zonificación Geofísica

El mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana Las Lomas, se elabora en función de la integración de los resultados de los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos. Las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas, han permitido identificar en el área de estudio, considerando lo indicado en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S1 y S4. Estos tipos de suelo corresponden a las Zonas I y IV respectivamente, donde el 95 % del área de estudio responde a periodos que varían entre 0.1 y 0.2 segundos, con amplificaciones relativas mayores a 3 veces, principalmente en sectores ubicados hacia el extremo Este del área de estudio (áreas de cultivo), próximos al río Chipillico y al canal que cruza el área urbana de Las Lomas.

Para el área urbana Las Lomas, se propone la siguiente zonificación Geofísica - Geotécnica (Figura 19).

- **ZONA I:** *Considera suelos constituidos por una capa delgada de arenas (depósitos recientes) distribuidos a nivel superficial. Esta zona presenta, suelos con velocidades de ondas de corte Vs de 260 m/s en promedio para la capa superficial y de hasta 1100 m/s a la profundidad investigada de 30 metros, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.2 segundos, ambos definen la existencia de suelos Tipo S1, con un comportamiento muy rígido (NTE.030). Los suelos presentan baja saturación y una capacidad de carga admisible de entre 1.0 a 2.0 Kg/cm² hasta un metro de profundidad. Esta zona comprende el 95 % del área de estudio y se ubica en toda el área urbana de Las Lomas.*

Las líneas inclinadas en rojo delimitan áreas con amplificaciones relativas mayores a 3 veces, sugiriendo que el mayor sacudimiento del suelo a la ocurrencia de un sismo se presentará en los sectores próximos al río Chipillico y de manera local, por el A.H. Santa Rosa, al noreste del A.H. Las Palmeras, A.H. Bellavista, A.H. Juan Velazco, A.H. Santa Isabel, entre otros.

Las líneas inclinadas en negro delimitan áreas de muy baja amplificación. Se presentan principalmente por el A.H. Las Palmeras, A.H. Santa Rosa, el cementerio, A.H. Bellavista y A.H. Campo Santo.

- **ZONAS II y III:** *A estas zonas les corresponde los suelos Tipo S2 y S3, los cuales no fueron identificados en el área de estudio.*

- **ZONA IV:** *Esta zona corresponde a suelos cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales, por lo que su comportamiento dinámico comprende a suelos Tipo S4 (**Zona Iva**). Dichos suelos están constituidos por depósitos fluviales con alto contenido de humedad, corresponde a las quebradas de la margen derecha del río Chipillico. Estos*



*sectores son susceptibles a sufrir grandes amplificaciones (mayores sacudimientos).
Presenta baja capacidad de carga admisible ($< 1.0 \text{ Kg/cm}^2$).*

Asimismo, en la Figura 19 se delimita con una línea discontinua, los sectores con niveles de inundación pluvial y fluvial originada por el fenómeno El Niño en el año 2017. Estos sectores corresponden a áreas inundables corresponden a ambas márgenes del canal de regadío que cruza el área urbana.

Esta zonificación condiciona el tipo de estructura que se debiera construir, a fin evitar que esta experimente el fenómeno de resonancia suelo-estructura y/o una doble amplificación sísmica.



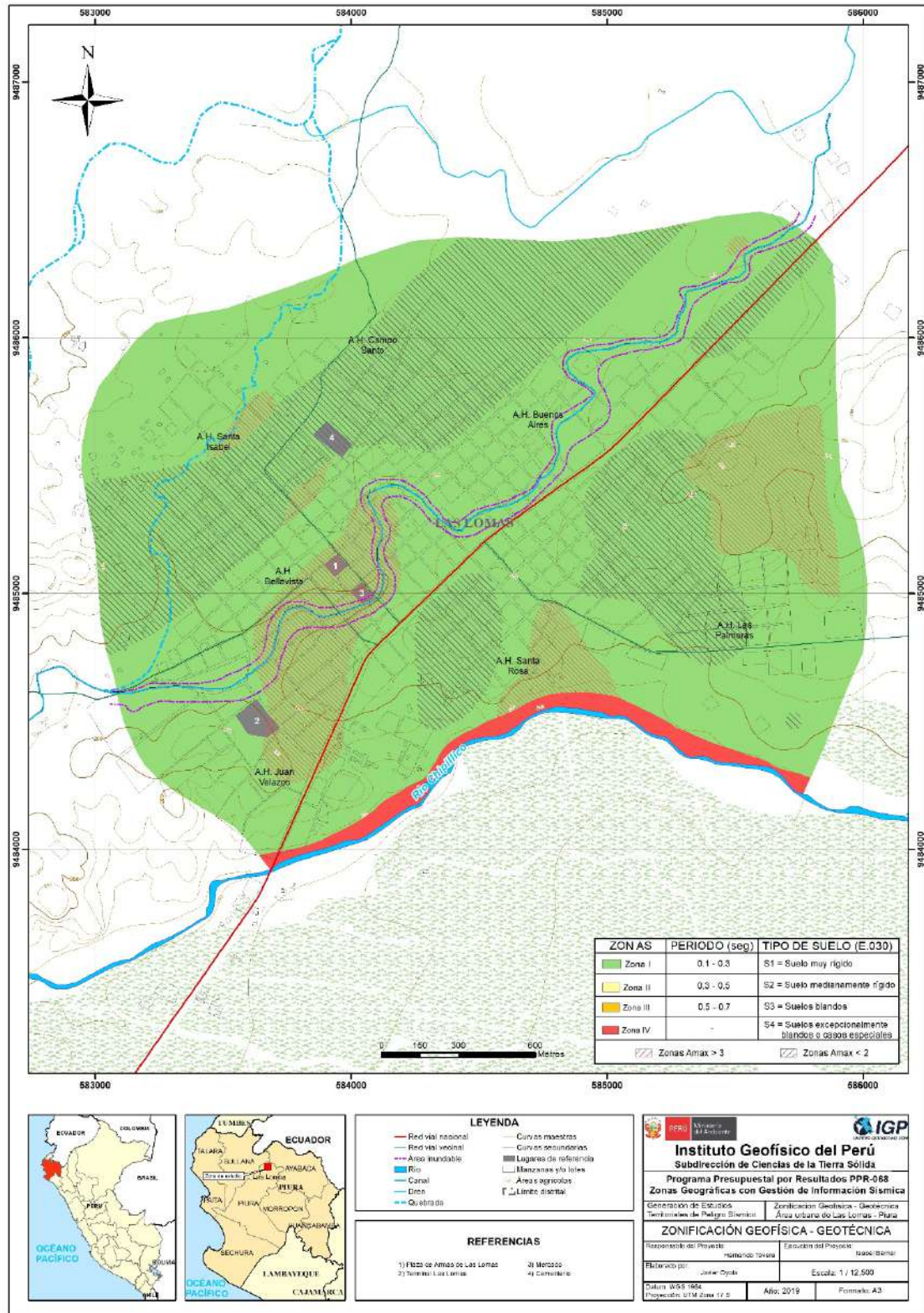


Figura 19. Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica del área urbana Las Lomas.

9. CONCLUSIONES

- Existen cinco unidades geomorfológicas en la ciudad de Las Lomas como son: Colina, Lomadas, Terraza aluvial, Valle Aluvial y Lecho Fluvial.
- El sustrato rocoso consta de rocas de origen ígneo, como son las Dioritas, Granodioritas y Monzogranito. Suprayaciendo a las rocas ígneas se encuentran los depósitos del Cuaternario que están conformados por materiales aluviales y fluviales. Cabe destacar que el casco urbano de Las Lomas se asienta sobre rocas ígneas de tipo Dioritas.
- La geodinámica en la ciudad de Las Lomas está representada por inundaciones fluviales que se producen en la margen derecha del río Chipillico, afectando áreas agrícolas y algunas viviendas del sector Juan Velazco y La Torta, así como, pluviales debido a las depresiones existentes y falta de mantenimiento de los drenes, afectando los sectores de: La Cruz, AA.HH. Bellavista, Casco Urbano de Las Lomas, AA.HH. Junta Vecinal Buenos Aires, AA.HH. Miraflores y Suipirá.
- En base a los resultados de los ensayos geotécnicos y del laboratorio se ha determinado que los tipos de suelos presentes en la ciudad de Las Lomas son tres (3), entre los que se tienen: Arenas limosas (SM) con capacidad portante baja (1.0 – 2.0 kg/cm²), arcillas y limos inorgánicos de baja plasticidad (CL - ML) con capacidad portante muy baja (<1kg/cm²) y arenas mal graduadas con limos (SP - SM) que presentan capacidad portante alta (>3.0 kg/cm²).
- Los suelos del área urbana de Las Lomas responden principalmente a frecuencias de entre 6.0 y 17.0 Hz con amplificaciones de hasta 3 veces, principalmente en la zona céntrica y al noreste del A.H. Las Palmeras.
- El predominio de bajas amplificaciones, en el área de estudio, sugiere que los suelos presentan buena consistencia. Sin embargo, también se identifica de manera local en los AA.HH. Bella Vista, Juan Velazco, Santa Rosa, Santa Isabel, y hacia el extremo NE del A.H. Las Palmeras, donde los suelos presentan baja consistencia a nivel superficial, evidenciado por las altas amplificaciones del suelo.
- El periodo dominante del suelo (To) varían entre 0.1 y 0.2 segundos, distribuyéndose este último de manera local hacia el extremo sur del área de estudio (A.H. Juan Velazco). Mediante la relación $To=4H/Vs$, y asumiendo velocidades de 400 m/s y 500 m/s para las ondas de corte (Vs) y periodo de 0.1 segundo, se estima una capa superficial con espesores de entre 10 y 20 metros. Los resultados de este análisis sugieren que el espesor de la capa superficial del suelo es variable en el área de estudio.



- De los resultados obtenidos con el método sísmico, se identifica tres capas del suelo, el primero caracterizado por **suelos blandos** (V_s 168 a 173 m/s) con espesores entre 3 a 5 metros y los **moderadamente rígidos** (V_s 236 a 241 m/s) con espesores entre 4 a 7 metros, ambos corresponden a depósitos recientes y se distribuyen sobre suelos rígidos (intrusivo). Asimismo, de manera sectorizada se presenta **suelos rígidos** ($V_s > 400$ m/s) con espesores de 7 a 11 metros, todas asentadas sobre roca.
- Los valores de velocidad promedio calculados para los primeros 30 metros de profundidad (V_{s30}), según la norma E030-2018, clasifica el área de estudio en dos tipos de suelo; el primero con rangos de velocidad V_{s30} entre 383 a 445 m/s corresponde a suelos medianamente rígidos (S2) y el segundo, con rangos de velocidad V_s entre 502 a 699 m/s corresponde a suelo muy rígido o roca (S1). El mayor espesor de la capa superficial (hasta 17 metros) se identifica en el sector ubicado al noroeste del área urbana (A.H. Buenos Aires).
- En el área urbana de Las Lomas, se identifican suelos no saturados, excepto en el A.H. Buenos Aires, donde los niveles de saturación se presentan desde la superficie, por la posible influencia del canal de regadío y el material que se encuentra en este sector ha favorecido para que el medio saturado se encuentre a partir de 5 metros de profundidad.
- Los resultados obtenidos para el área urbana Las Lomas a partir de sus características físicas y dinámicas del suelo, han permitido identificar, de acuerdo con las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S1 y S4.
-



10. RECOMENDACIONES

- Debido a la ocurrencia de las inundaciones fluviales y pluviales se deben realizar adecuadas medidas estructurales como diseño y mantenimiento de drenajes pluviales en calles o avenidas, vías de acceso, así como, reforzar las defensas ribereñas en la margen derecha del río Chipillico (sector La Torta).
- Realizar un adecuado mantenimiento del Canal Vía, puesto que, este “atraviesa” el casco urbano y en épocas de precipitaciones es el que más afecta al área urbana.
- Continuar con la canalización del “Canal Vía” desde la intersección de la Av. Bellavista con Prolongación Cuzco hasta la desembocadura, con la finalidad de tener un mejor drenaje de las aguas en épocas de precipitaciones.
- Realizar mantenimiento de las cunetas o drenes que evacuan las aguas del casco urbano, pues se ha evidenciado que éstos se encuentran colmatados por materiales antrópicos y material orgánico.
- Se debe tener en cuenta que los suelos en la ciudad de Las Lomas presentan dos características importantes, la primera es que están conformados por arenas limosas sueltas a media, y arcillas con limos de baja plasticidad, la segunda la presencia de nivel freático superficial en el AA.HH. Junta Vecinal Buenos Aires, factor que produce fallas en suelos y las estructuras que se encuentran sobre éstos.
- Para suelos de cimentación con capacidad portante muy baja, es decir, menor a 1 kg/cm² (A.H Santa Rosa) se debe zonificar y sobrecargar los suelos, a través de la construcción de viviendas de más de 3 niveles sin tener las medidas de ingenierías adecuadas.
- En las zonas de expansión urbana se están ejecutando rellenos de material antrópico sin ninguna supervisión técnica, se debe tener mayor control sobre éstos y zonificar dichas zonas, puesto que, éstos presentan capacidad portante muy baja y podrían ocasionar fallas en las estructuras que se encuentran sobre éstos.



11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. (1980). Inventario y evaluación nacional de aguas subterráneas Cuenca del río Chira. Pag. 79.
- Bard, P-Y. (1995) Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323
- Bard, P-Y y SESAME (2004) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 16, 2004 Paper No. 2207
- Beresnev, I.A., K.L. Wen, and Y.T. Yeh 1995a, "Nonlinear Soil Amplification: It's Corroboration in Taiwan. Bull, Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 496-515
- Bernal, I. (2006) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, México. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pág. 130.
- Bernal, I., Tavera, H., Sulla, W., Arredondo, L., & Oyola, J. (2018). Geomorphology characterization of Ica basin and its influence on the dynamic response of soils for urban seismic hazards in Ica, Peru. International Journal of Geophysics, 2018, article ID 9434251, 12. <https://doi.org/10.1155/2018/9434251>
- Braja Das, (2011) - Principles of Foundation Engineering, Seven Edition, pág. 139-140.
- Brusi, D., et al (2013) - Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. ISSN: 1132-9157. Pág. 181-194.
- Cahill & Isacks (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- CENAPRED (2004) – Inundaciones, Secretaría de gobernación, 1ra Edición. Delegación de Coyoacan. CP.04360. México, D.F
- CENEPRED. (2017). Informe de evaluación de riesgo por lluvias intensas en el CC.PP. Las Lomas – Santa Isabel, distrito Las Lomas, provincia y departamento de Piura. Pag. 84.
- CISMID, (2016) - Densidad de campo. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Laboratorio Geotécnico.



- Comité Interinstitucional, (2007) - Plan de Defensa Ribereñas y Encauzamiento de Ríos. Resumen del Diagnóstico Situacional. Autoridad Autónoma Cuenca Hidrográfica Chira – Piura.
- Cruden (1991): A Simple definition of a landslide: Bulletin of the International Association of Engineering Geology.
- Dorbath, L., Cisternas, A., Dorbath, C. (1990). Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Peru. Bull. Seismol. Soc. Am., 80 (30), 551-576.
- ENFEN, (2017) - Comisión Multisectorial Encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño”.
- Enríquez-Beck, Juan (2016) – Estado Hidrológico, Hidráulico y Sedimentológico de los Embalses en la región Piura. Universidad de Piura.
- Flores-Estrella, H., Lomnitz, C. y Yussim S. (2004). “Estimación de velocidades de fase a partir del análisis de microtemores con el método SPAC”, Geophysics, Vol. 24, Nº 3, 438-445
- Gasulla, M.; Jordana, J.; Pallás, R.; Torrents, J.M. (1998). Subsurface resistivity measurements using square waveforms. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 47(1): 74-77.
- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. Bull. Seism. Soc. Am. 82, 2308-2327
- Harvey, A., M., 1987. Patterns of Quaternary aggradational and dissectional landform development in the Almeria region, southeast Spain: a dry-region tectonically-active landscape. Die Erde 118, 193-215
- Howie D. & Sy (2003) – A Method for correlating large penetration test (LPT) to standard penetration test (SPT) blow counts.
- Hutchinson, J., N., (1988) - General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides, (Ed: Bonnard, C.). 1, 3-35 p. Rotterdam: Balkema.
- INDECI, (2017) – Instituto Nacional de Defensa Civil. Estado Situacional de la Emergencia.
- INDECI (2018); Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas – Tomo 4.
- Juaréz, E., y Rico, A., (2005) – Fundamentos de la Dinámica de Suelos. Segunda edición. Limusa S.A. México D.F.



- Lermo, J. and Chavez-Garcia, F.J. (1993). Site Effect Evaluation Using Spectral Ratios with Only One Station. Bulletin of the Seismological Society of America, 83, 1574-1594.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a). Are microtremors useful in site response evaluation?, Bull. Seism. Soc. Am. 84, 1350-1364 pp.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994b). Site effect evaluation at Mexico City. Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremors records, Soil. Dyn. & Earthq. Eng. 13, 413-423 pp.
- Loke, M.H. (2004). Tutorial 2D and 3D electrical imaging surveys.
- Meyerhof, G., G., (1956) – Penetración Test and Bearing Capacity of Cohesionless Soils. Journal of the Soils Mechanics and Foundations División, ASCE, Vol 82 N°SM1, Proc. Paper 886, Jan. 1956, pp-19.
- Ministerio de Economía y Finanzas, (2017) - Informe de seguimiento y Gestión a la Inversión Pública.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) - <http://renac.mtc.gob.pe/inventariovial/default2.aspx>.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30.
- Norma Técnica de edificaciones E.030. 2018. Aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada por Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA.
- Orellana, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Pachon et al. (2000) - Implicaciones de la Red de Acelerógrafos de Bogotá en el estudio de Microzonificación Sísmica. INGEOMINAS
- Park, C.B. (2015). Data acquisition. Retrieved 23 June, 2015, from <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>
- Park, C.B. (2014). MASW for geotechnical site investigation. The Leading Edge, 32(6):656-662.
- Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW)—active and passive methods. The Leading Edge, 26 (1), 60–64.
- Park, C. B., Miller, R. D. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves Geophysics 64 800-8.



- Perrone, A., Iannuzzi, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Rizzo, E., and Sdao, F. (2004). Highresolution electrical imaging of the Varco d'Izzo earthflow (southern Italy), J. Appl. Geophys., 5 56, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004
- Pike, R. J., I. S. Evans, and T. Hengl. 2009. Geomorphometry: A brief Guide. Dev. Soil Sci. 33: 3-30.
- Proyecto SEDI/AICD/AE/306/07 Programa de Reducción de Desastres para el Desarrollo Sostenible en las ciudades de Piura (Perú) y Machala (Ecuador). Estudio mapa de peligros de la ciudad de Piura (2008-2009).
- Reynolds, J.M. (2011). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Salcedo, J., F., (2012) - Geología del cuadrángulo de Laas Lomas. Serie A: Carta Geológica Nacional. Boletín N° 146. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico-INGEMMET.
- Samouëlian, A., I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand y G. Richard, (2006). Electrical resistivity survey in soil science: a review. Soil Till Res 83, 173-193
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12: (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), (2018). <http://www.senamhi.gob.pe/>
- Serrano G., Marco V., (2003) – Estudio Geológico – minero de la hoja 10 C-II, escala 1:50 000. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Sieberg, A. (1930). Los Terremotos en el Perú. Capítulo VI, Geología del Perú de G. Steinmann,
- Heidelberg Carl Winster Universitat-Shuchhan-Lunc, p. 406.
- Silgado, E. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513 -1974). INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 3, 130 p.
- Suárez, D., J., (1998) – Estabilidad de Taludes en Tropicales. Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos. Colombia. Ed. Ingeniería de Suelos Ltda. 550 p.
- Tarbuck, E., D. Lutgens, F., K., (2005) - Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física Pretince Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.



- Tavera, H., Bernal, I., Condori, C., Ordaz, M., Zeballos, A. y Ishizawa, O. (2014) Re-evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú. Instituto Geofísico del Perú. P. 91.
- Tavera, H. y Buforn, E. (2001). Source Mechanism of Earthquakes in Perú, Journal of Seismology, 5, 519-539.
- Tavera, H., Agüero, C y Fernández, E. (2016). Catálogo general de isosistas para sismos peruano. Instituto Geofísico del Perú. Pag. 196
- Terzaghi, K. Peck, B., G. & Mesri, G., (1948) – Soil mechanics in engineering practice, New York: Wiley.
- Varnes, D.J., (1958) - Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Washington, D.C. 20-47 p.
- Varnes, D. J., (1978) - Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster R. L. y Krizek, R. J., ed. Landslides analysis and control: Washington, D. C. National Academy Press, Transportation Research Board Special report 176. 9-33 p.
- Vilchez, et al, (2013) - Riesgo Geológico En La Región Piura. Ingemmet.
- Wyllie, D., C. & Norrish, N., I., (1996). “Stabilization of rock slopes”. Landslides investigation and mitigation. Special report 247. Transportation Research Board. National research council, pp. 474-504.
- Xia, J., Miller, R.D., and Park, C.B., 1999, Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh wave: Geophysics, 64, 691–700.
- Zinck, J. & Valenzuela, C., (1990) – Soil geographic database: structure and application examples. ITC Journal, 1990(3), 270-294



ANEXO I

Perfiles Sísmicos MASW



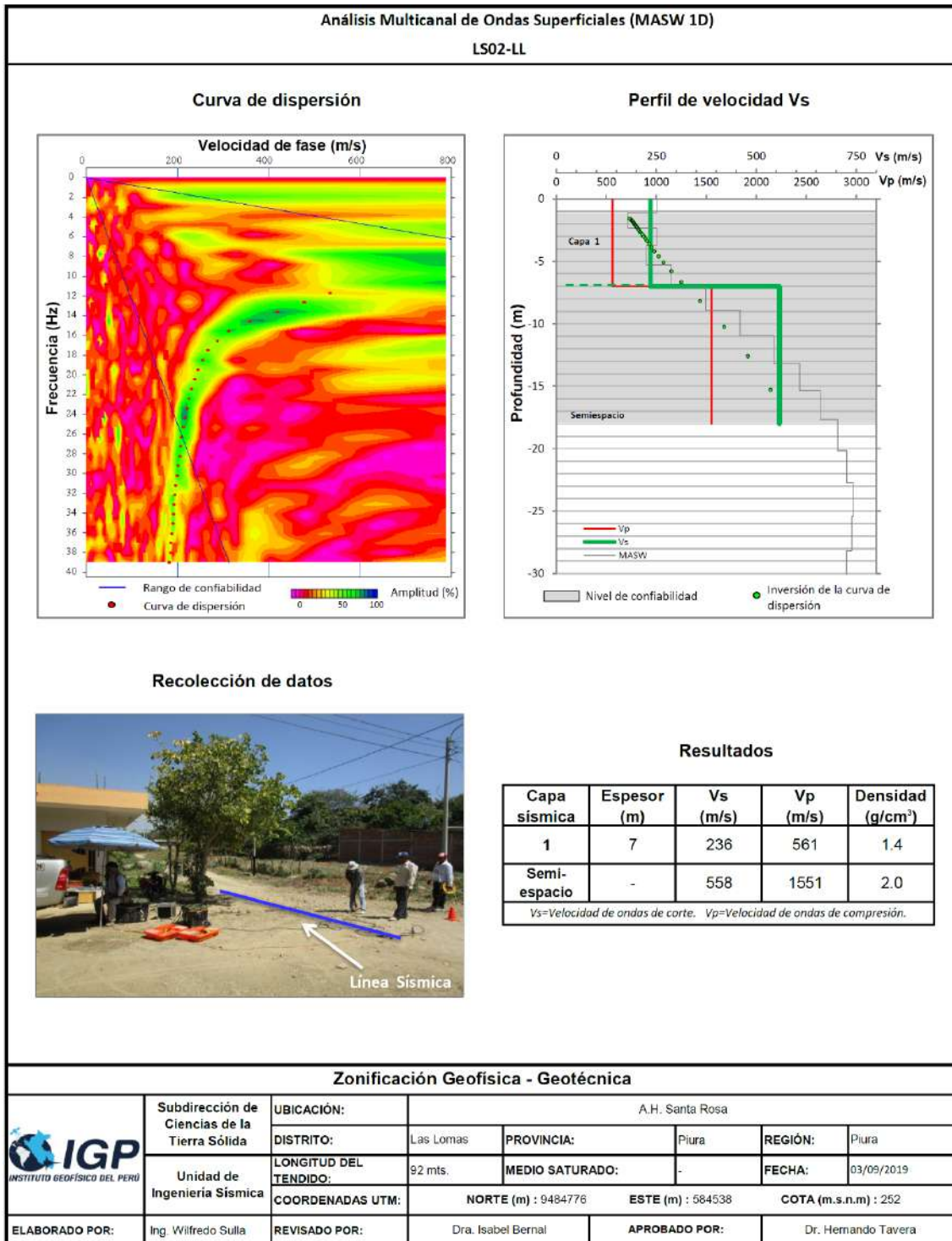


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS02-LL.



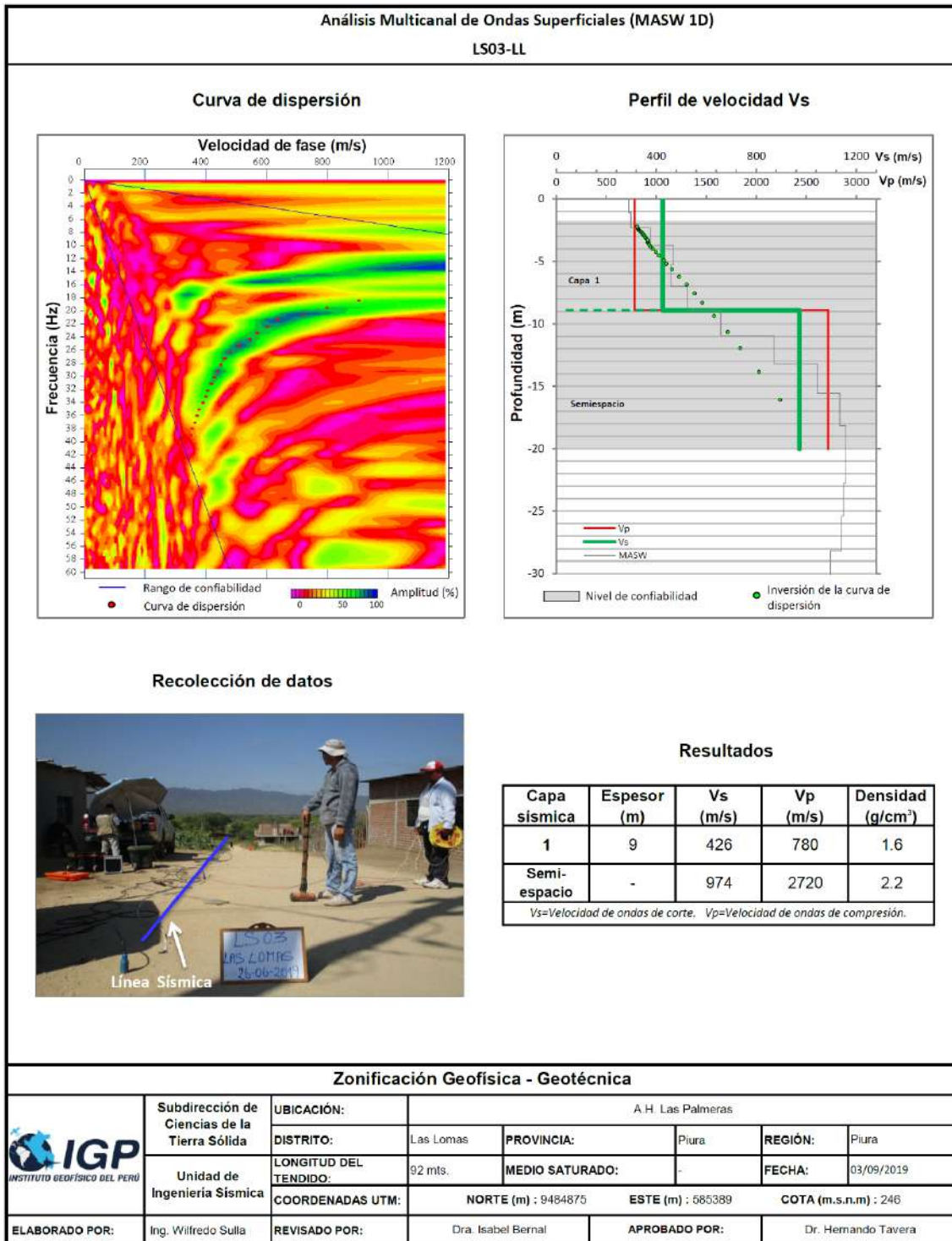


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS03-LL.



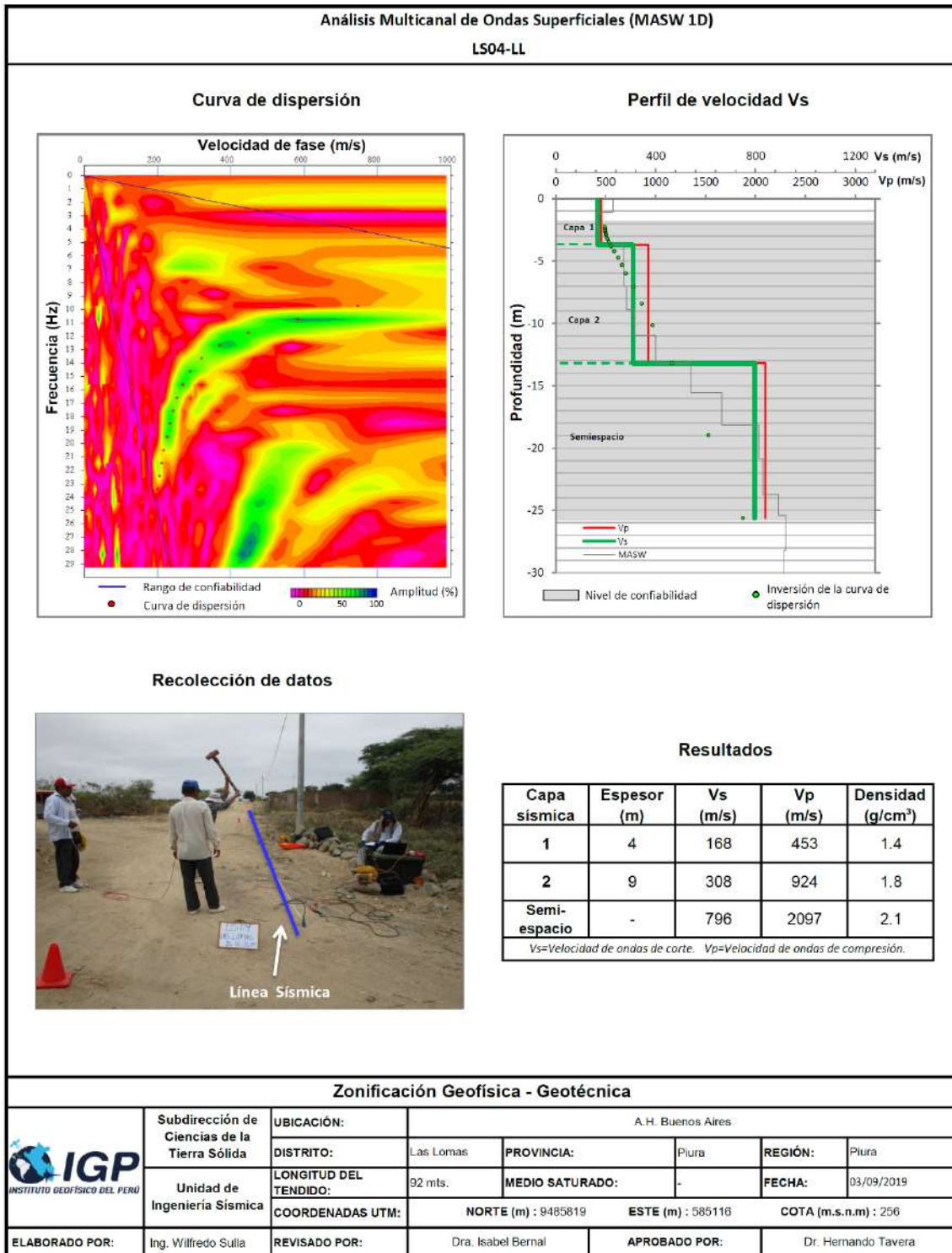


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS04-LL.



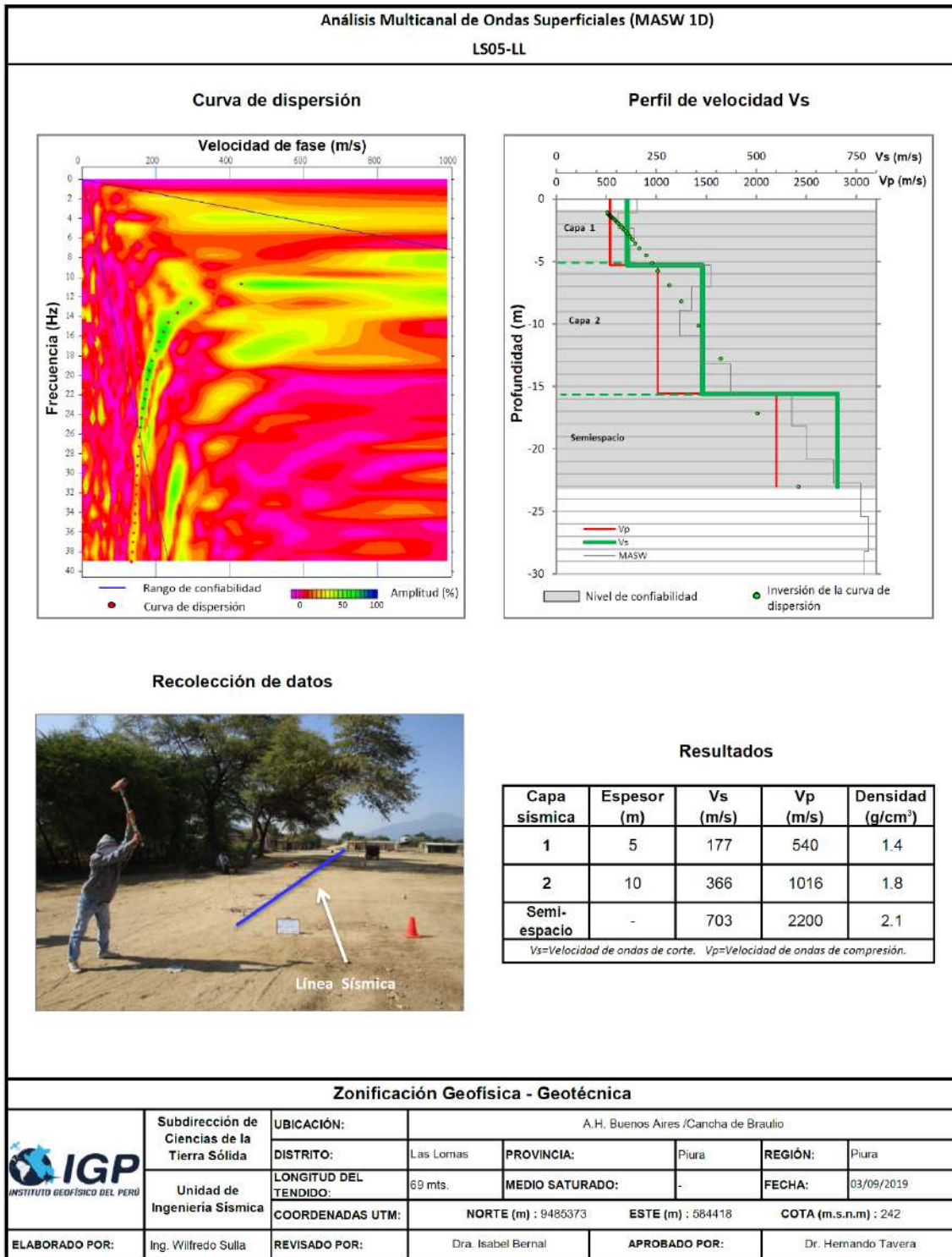


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS05-LL.



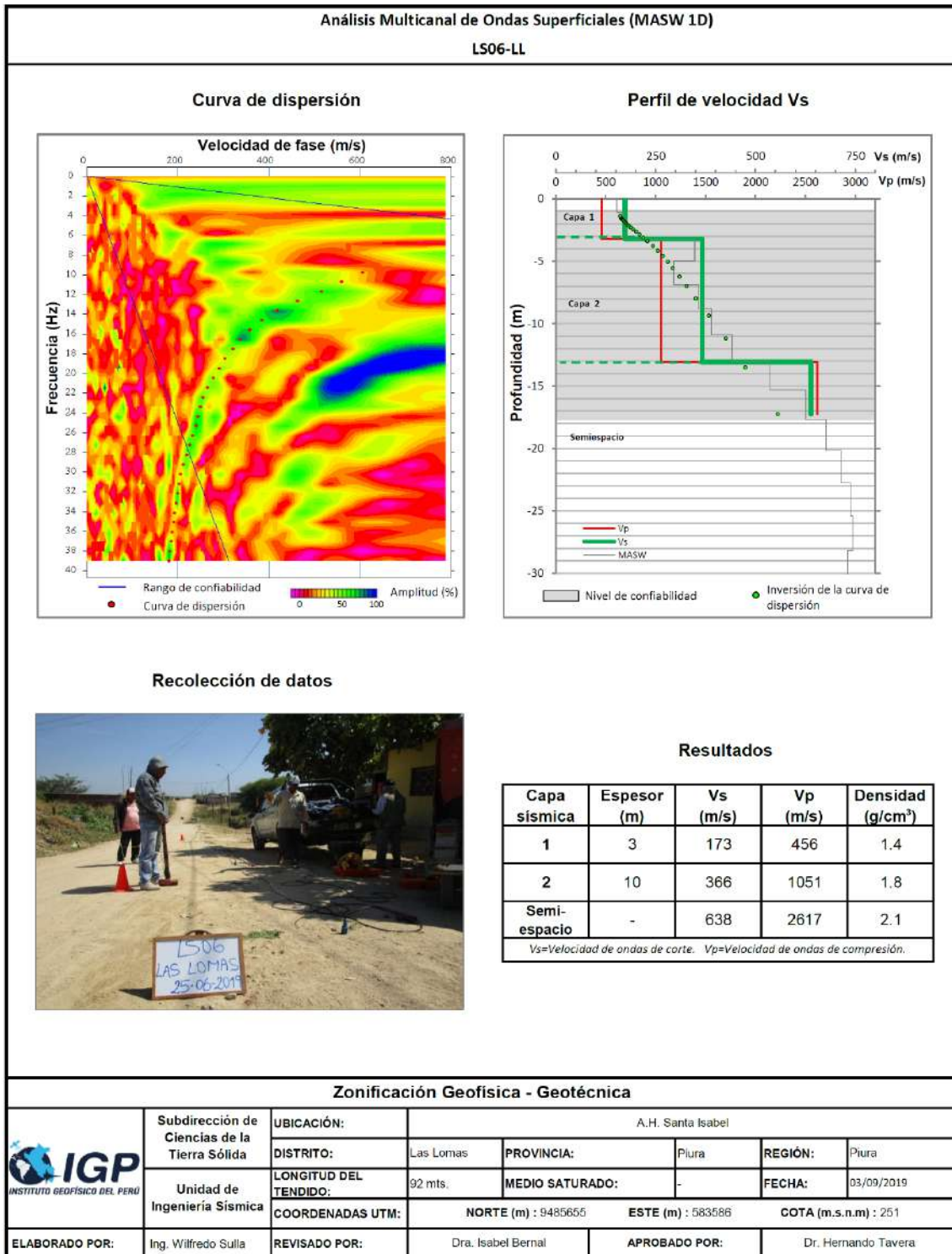


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS06-LL.



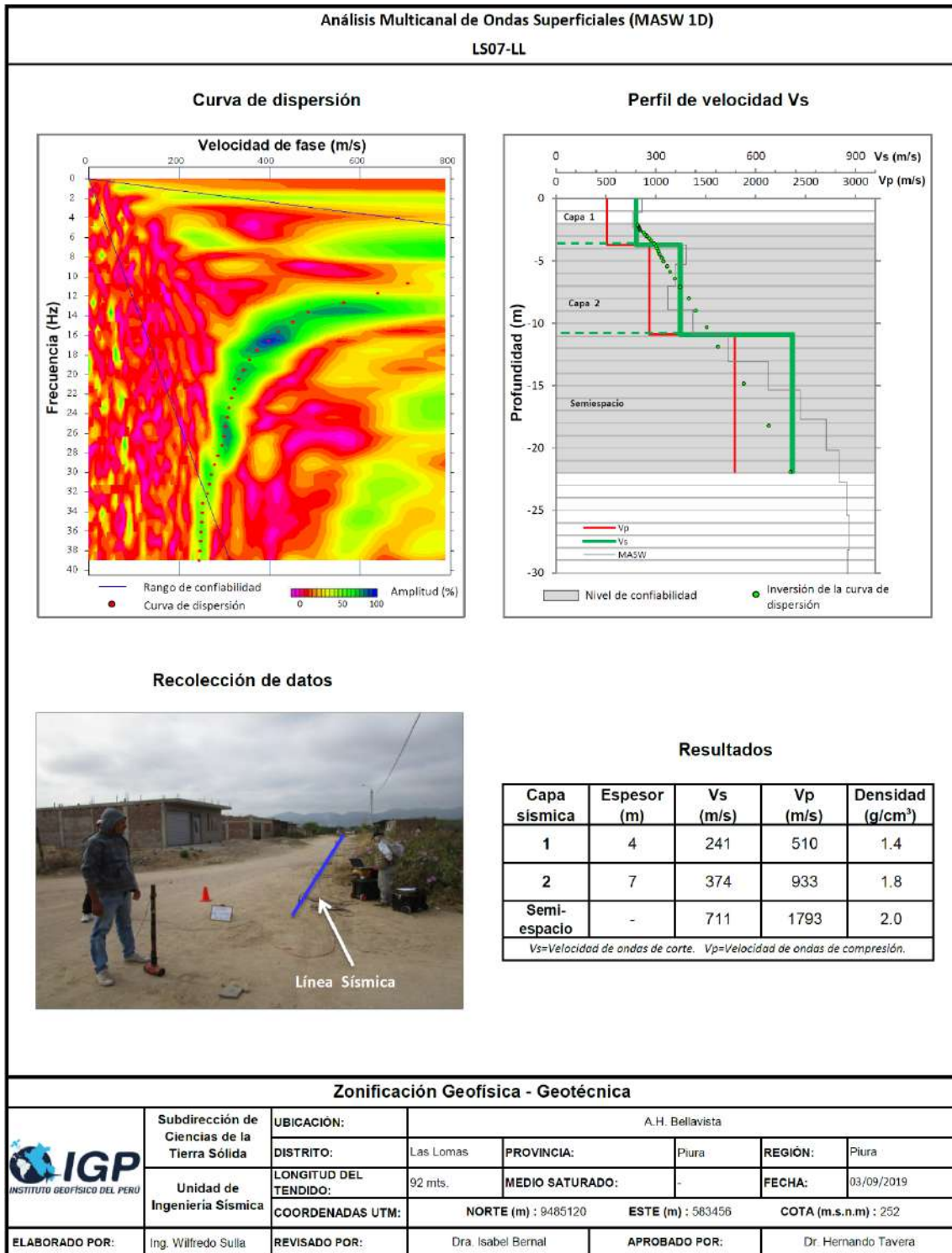


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS07-LL.



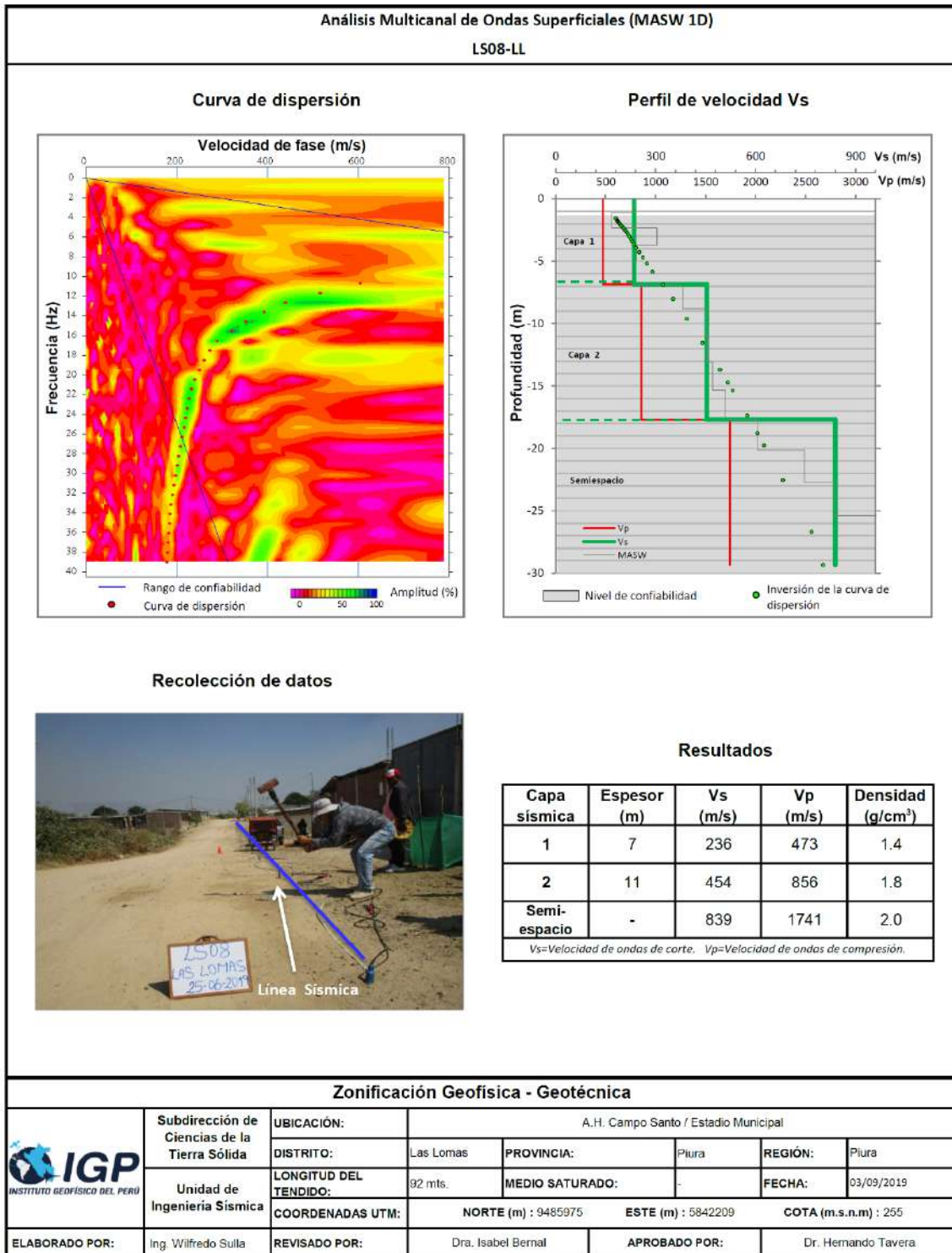


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS08-LL.



ANEXO II

Perfiles de Tomografía Eléctrica ERT



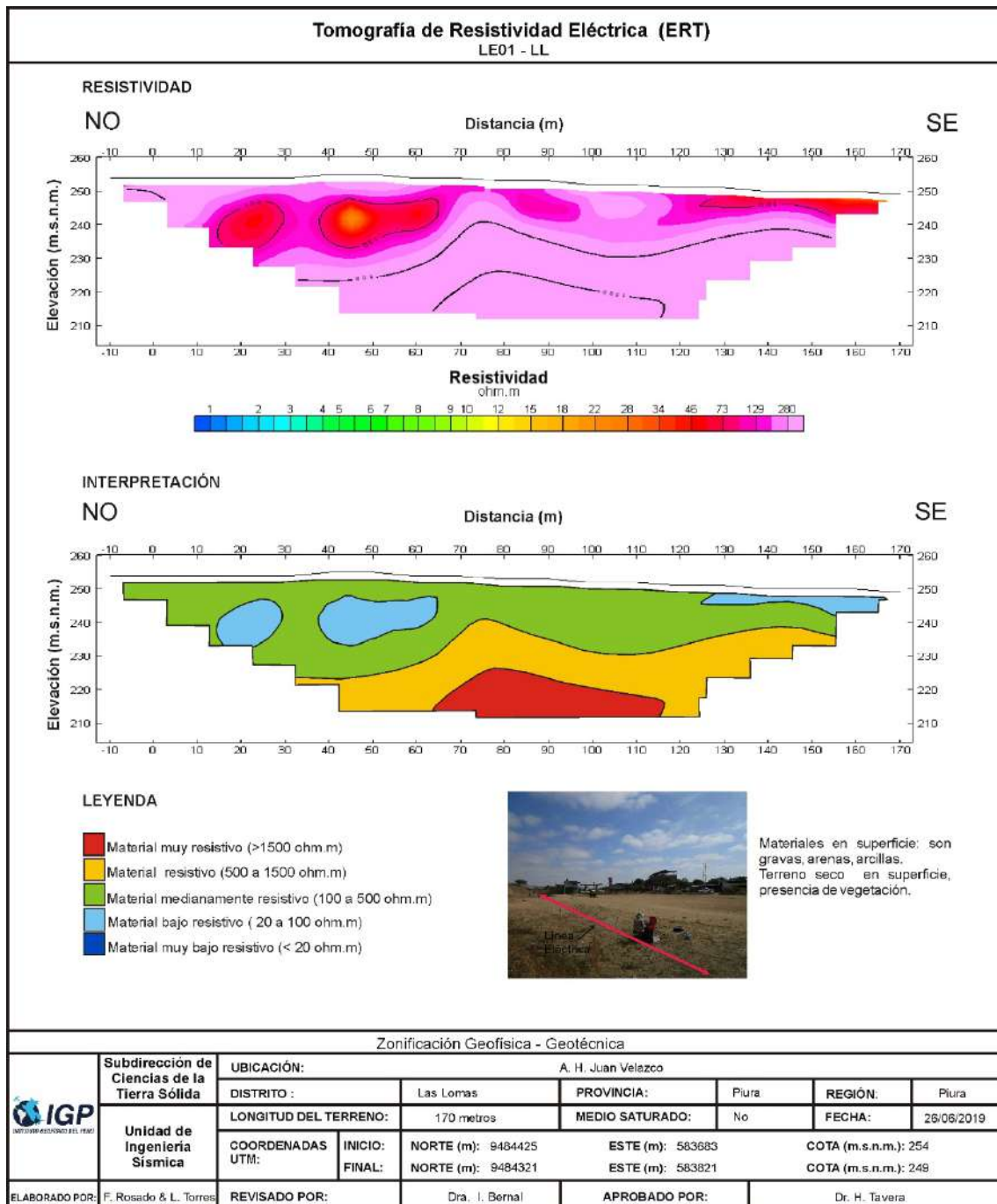


Figura 18. Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-LL.

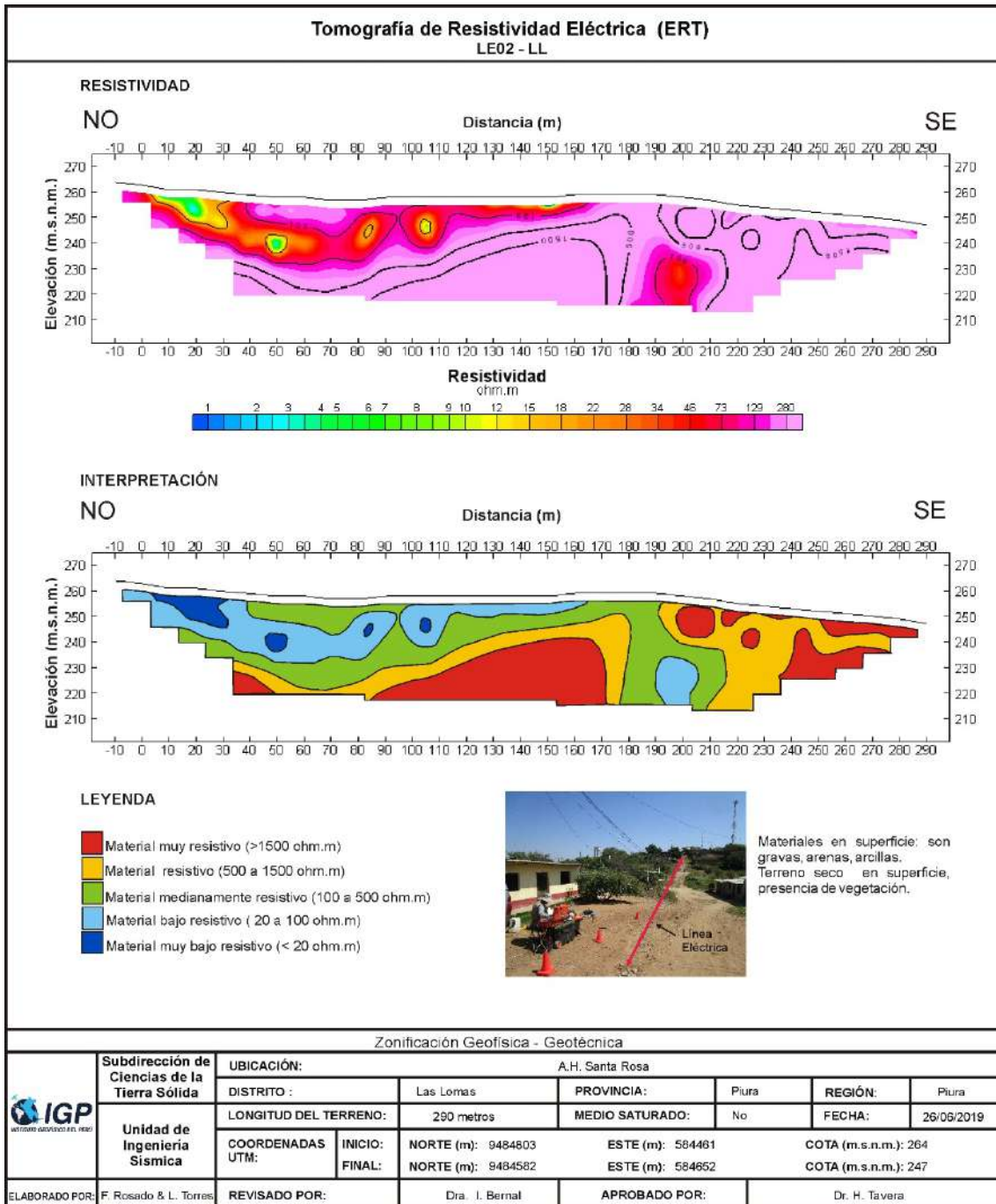


Figura 18. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE02-LL.



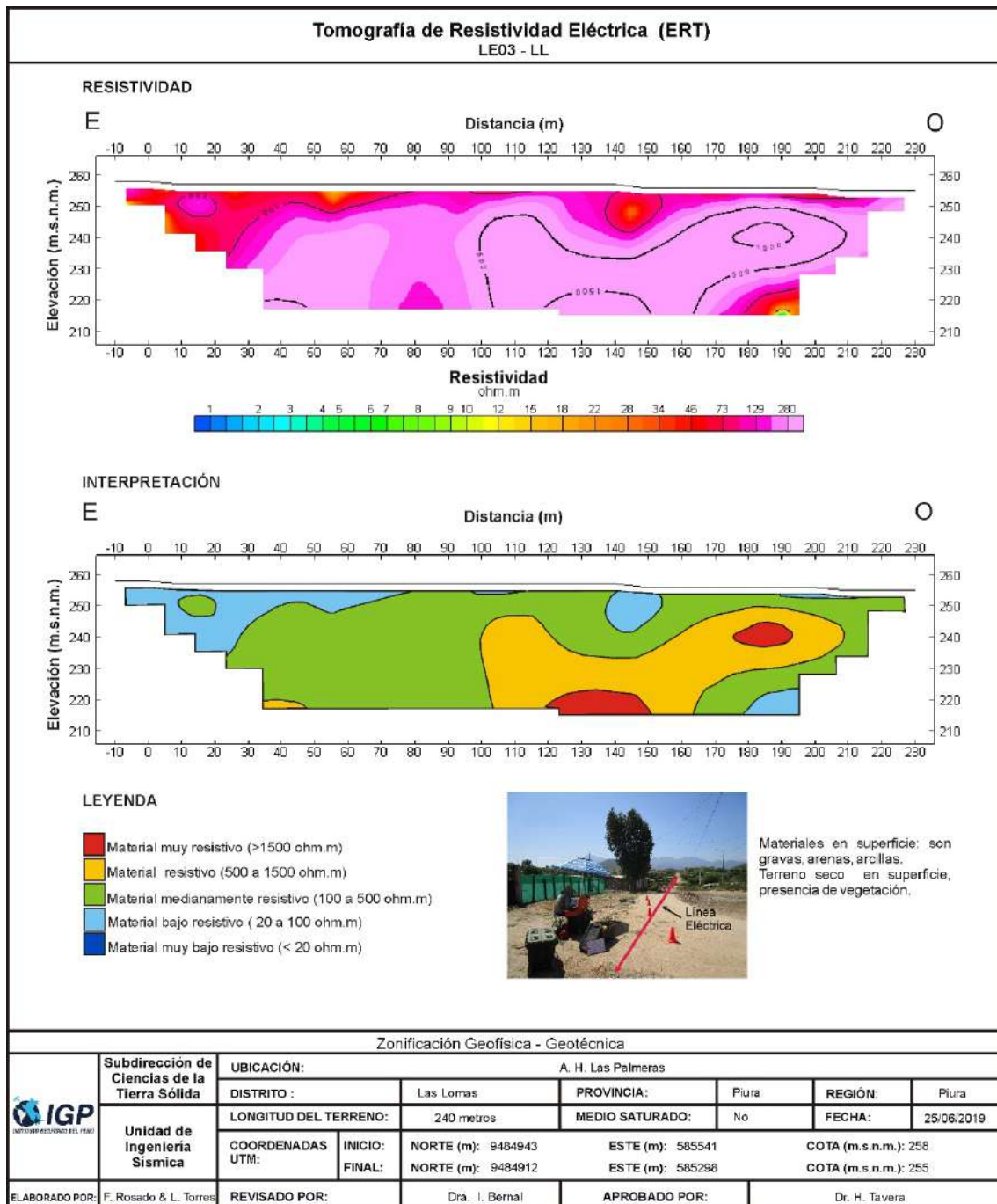


Figura 18. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE03-LL.



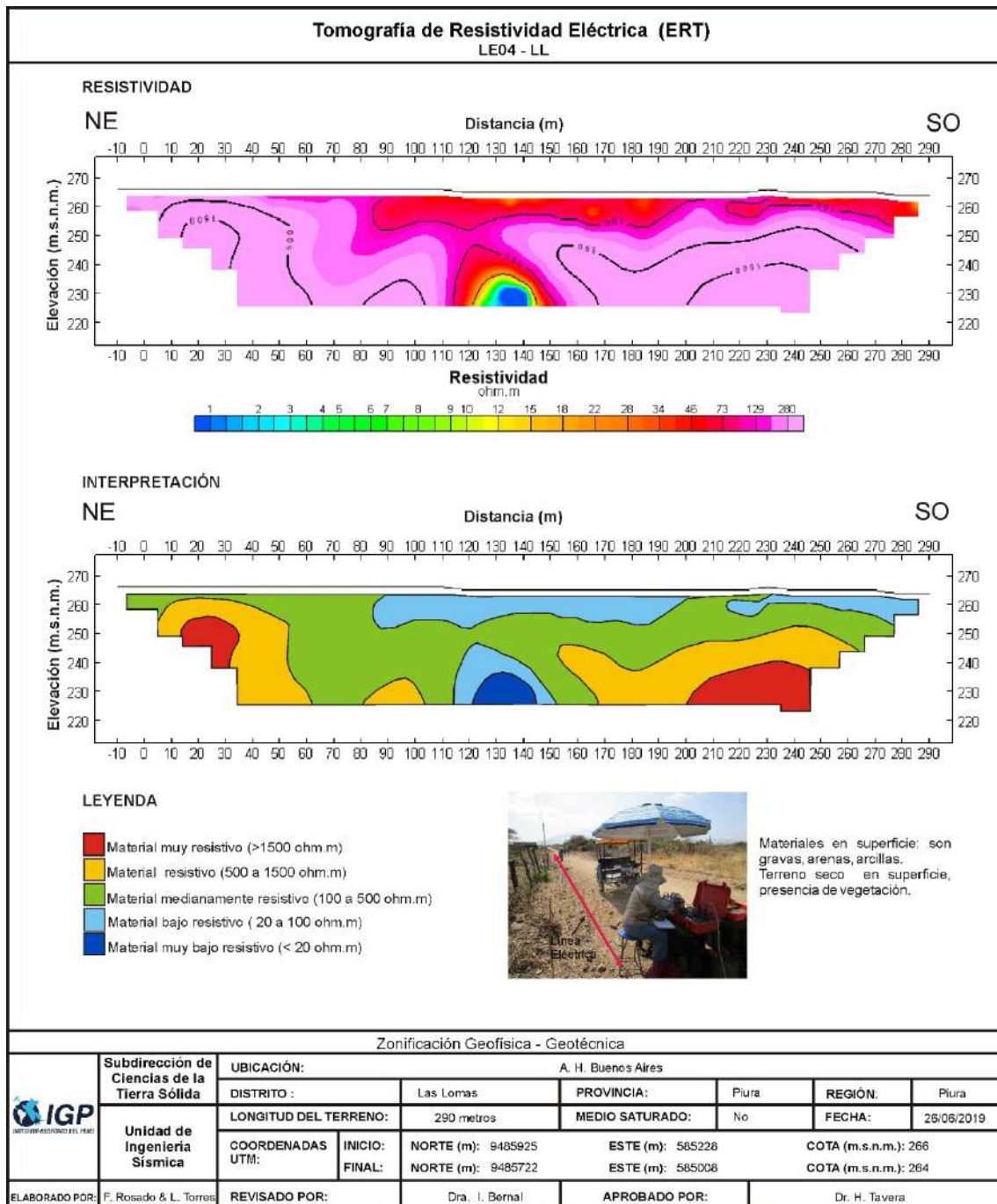


Figura 18. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE04-LL.



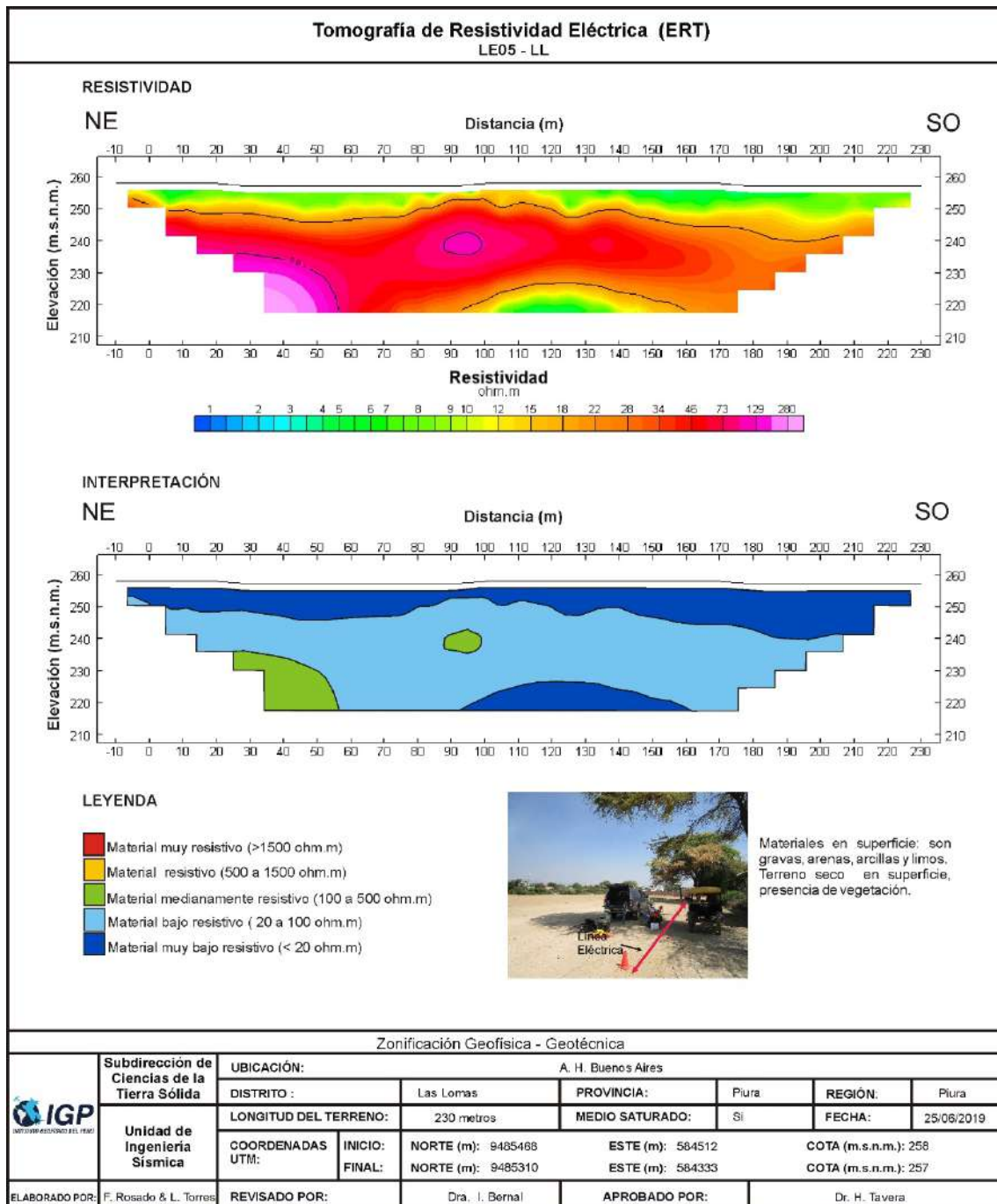


Figura 18. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE05-LL.



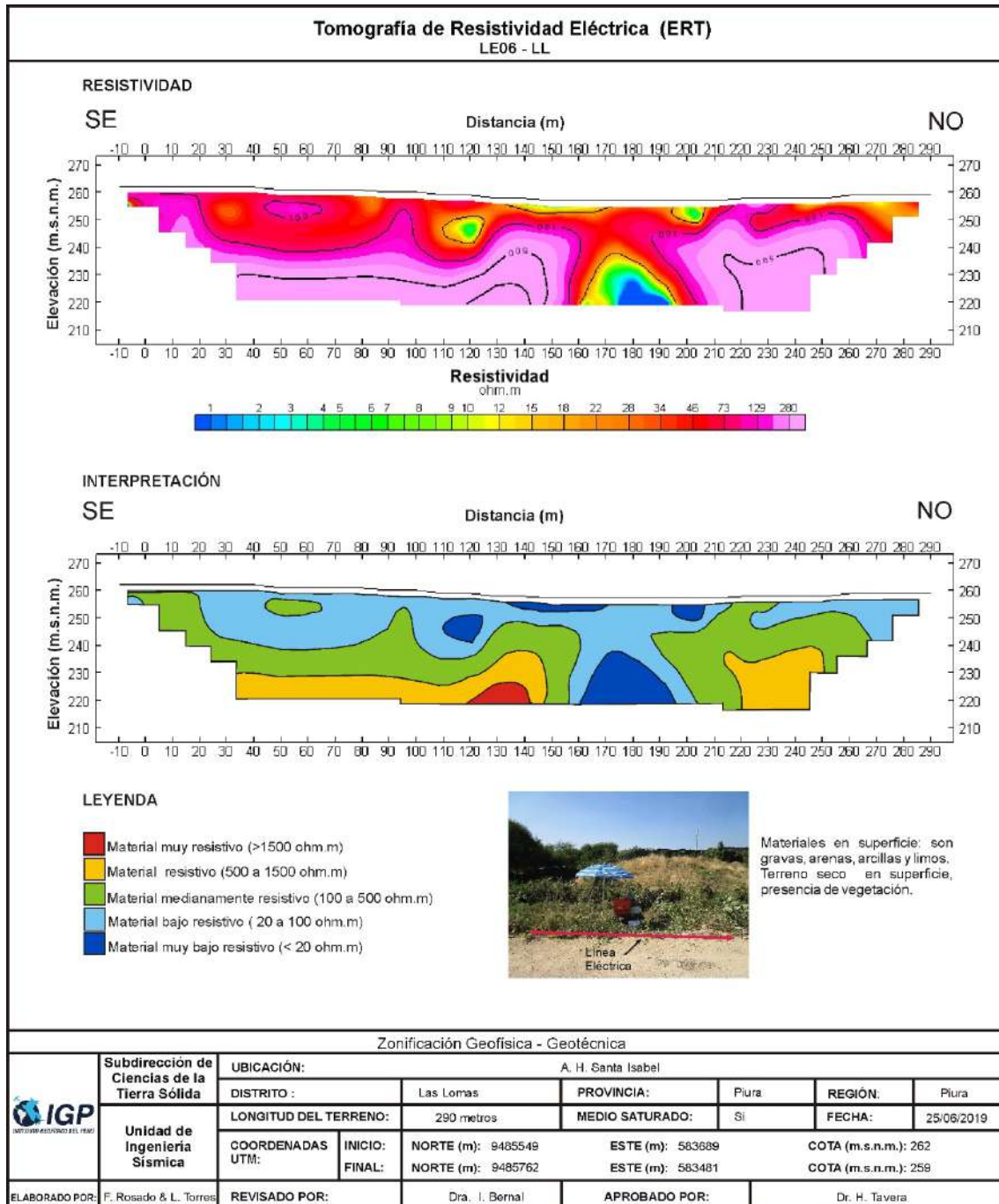


Figura 18. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE06-LL.

