



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 DISTRITO DE LA ARENA



Lima - Perú

2020

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN SISMO-GEOTÉCNICA DEL DISTRITO LA ARENA

**Provincia de Piura- 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 Cordova
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 de La Arena, 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 La Arena han permitido identificar la existencia de cuatro (4) tipos de suelos que corresponden a: arena pobremente graduada (SP) con capacidad portante muy baja ($< 1.00 \text{ kg/cm}^2$), arena limosa (SM) con capacidad portante muy baja a baja ($< 1.00 \text{ kg/cm}^2$ y de 1.00 kg/cm^2 a 2.00 kg/cm^2), Arena pobremente graduada con arena limosa (SP-SM) con capacidad portante muy baja ($< 1.00 \text{ kg/cm}^2$) y limo inorgánico (ML) con capacidad portante muy baja ($< 1.00 \text{ kg/cm}^2$).

Los resultados obtenidos para el área urbana del distrito de La Arena han permitido identificar, considerando lo indicado en la Norma sismorresistente E.030, la existencia de dos (2) zonas correspondientes a suelos Tipo S2 y S3, que comprenden a suelos medianamente rígidos y blandos. Aproximadamente el 90% del área de estudio presenta suelos que responden a periodos que varían entre 0.5 y 0.7 segundos con amplificaciones relativas mayores a 4 veces, en algunos lugares se identifica un segundo periodo que varía entre 0.2 y 0.3 segundos con mínimas amplificaciones. El suelo se encuentra constituido principalmente por arenas y limos, cuyo espesor supera los 25 metros. El nivel freático es superficial en los sectores Yapatera y Monte Grande, principalmente en las áreas próximas al canal de drenaje y por la I.E. Alejandro Sánchez Arteaga.

El Mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana de La Arena 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

RESUMEN EJECUTIVO.....	3
PRIMERA PARTE: ESTUDIO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO.....	8
1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. OBJETIVOS.....	9
2.1 Objetivo general.....	9
2.2 Objetivo específico.....	9
3. METODOLOGÍA.....	9
4. ANTECEDENTES.....	10
4.1 Recopilación de la información.....	10
5. ASPECTOS GENERALES.....	12
5.1 Ubicación y accesibilidad.....	12
5.2 Población.....	13
5.3 Clima.....	13
5.4 Hidrografía.....	14
6. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA, GEOLÓGICA Y GEODINÁMICA.....	15
6.1 Geomorfología.....	15
6.1.1 Modelo Digital de Elevación (MDE).....	15
6.1.2 Pendientes.....	16
6.1.2.1 Clasificación del grado de pendientes.....	16
6.1.3 Unidades Geomorfológicas.....	16
6.1.3.1 Dunas.....	17
6.1.3.2 Llanura.....	18
6.1.3.3 Cuencas ciegas.....	20
6.2 Geología.....	21
6.2.1 Geología local.....	21
6.2.1.1 Depósitos Cuaternarios.....	22
6.2.1.1.1 Depositos eólicos (Qh-e).....	22
6.2.1.1.2 Depósitos aluviales (Qh-al).....	23
6.3 Geodinámica Superficial.....	23
6.3.1 Inundación.....	24
6.3.2 Elementos expuestos.....	26
7. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	27
7.1. Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM 420).....	29
7.1.1. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556).....	29
7.2. Exploraciones con posteadora manual.....	30
7.3. Ensayo de penetración dinámica ligera-LDPT (norma DIN 4094).....	31
7.4 Resultados de los ensayos de laboratorio.....	32

7.4.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS en la ciudad de La Arena	33
7.5 Ensayo de corte directo (Norma ASTM D - 3080)	35
7.5.1 Capacidad de carga portante	35
7.5.1.1 Tipos de capacidad de carga portante	36
8. DISCUSIÓN	37
SEGUNDA PARTE: GEOFÍSICA Y ZONIFICACIÓN SISMOGEO TÉCNICA	38
1.- INTRODUCCIÓN	38
1.1.- Objetivo	39
1.2.- Área de estudio	40
1.2.1.- Antecedentes	42
1.3.- Condiciones locales de Sitio	43
1.4.- Zonificación, Norma Técnica E.030	44
2.- METODOLOGÍA Y DATOS	46
2.1.- Método de Razones Espectrales (H/V)	46
2.1.1.- Procesamiento y análisis	50
2.2.- Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)	Error! Marcador no definido.
2.2.1.- Procesamiento y análisis	53
2.3.- Método de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)	54
2.3.1.- Procesamiento y análisis	57
3.- RESULTADOS	58
3.1.- Razones espectrales (H/V)	58
3.1.1.- Frecuencias Predominantes	58
3.1.2.- Periodos dominantes	64
3.2.- Perfiles de MASW	66
3.3.- Perfiles de Tomografía Eléctrica	70
4. ZONIFICACIÓN SISMO-GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS	74
4.1. Integración de resultados	74
4.2. Mapa de Zonificación Geofísica	77
9. CONCLUSIONES	80
10. RECOMENDACIONES	82
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

RELACIÓN DE FIGURAS

- Figura 01: Mapa de geología regional del cuadrángulo de Piura, el área de estudio se ubica en el rectángulo en rojo, Fuente: INGEMMET, 1999 (versión digital).
- Figura 02: Ubicación de estación meteorológica Montegrande.
- Figura 03: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.
- Figura 04: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de inundaciones en la localidad de La Arena.



- Figura 05: Formación de suelos, (Adaptado de Gonzáles de Vallejo, 2002).

RELACIÓN DE CUADROS

- Cuadro 01: Registro de temperaturas en la ciudad de La Arena
- Cuadro 02: Determinación de geformas en la ciudad de La Arena en base a sus características físicas y su origen
- Cuadro 03: Población estimada de la localidad expuesta a eventos de origen natural
- Cuadro 04: 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 05: Ubicación de calicatas
- Cuadro 06: Resultado de densidades in - situ
- Cuadro 07: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS
- Cuadro 08: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetros obtenidos
- Cuadro 09: Clasificación SUCS de los suelos de las siete (07) calicatas elaboradas en la ciudad de La Arena
- Cuadro 10: Capacidad de carga portante de las muestras extraídas en la ciudad de La Arena
- Cuadro 11: 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 FOTOGRAFÉMICO

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



ANEXO 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 La Arena 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 La Arena escala 1:25 000 en un área de 3585 hectáreas (ha), área urbana y agrícola, 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-mecánica 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 (escala 1: 25 000).

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 La Arena, 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 La Arena a escala 1:25 000.

Determinar las propiedades físico-mecánicas de los suelos de la ciudad de La Arena (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 1:25 000.

3. METODOLOGÍA

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

Gabinete:

Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales WorView-2 con resolución 0.5 m del servidor *Digital Globe* (año 2010) 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 1:25000, para lo cual se utilizó la ortofoto del área de estudio obtenida, a través del RPAS (Anexo 01).

Se realizaron exploraciones geotécnicas que incluye la ejecución de 7 calicatas, 7 densidades de campo, 12 DPL y 10 auscultaciones manuales (posteos). Así mismo, las muestras extraídas fueron analizadas en el laboratorio de mecánica de suelos para determinar humedad natural, límites de Atterberg, granulometría y corte directo para obtener parámetros de cohesión y ángulo de fricción de los suelos que sirven para el cálculo de la capacidad portante.



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

4. ANTECEDENTES

En este capítulo se ha realizado la recopilación de informes técnicos en donde se describe la ocurrencia de eventos naturales (inundaciones, deslizamientos, huaycos, sismos, entre otros) que afectaron la seguridad física del distrito en mención, del mismo modo se ha realizado la recopilación técnica de informes de suelos e información geológica regional del área de estudio, datos que serán discutidos en el Capítulo 8 junto con los resultados del obtenidos en el presente informe.

4.1 Recopilación de la información

- GUZMÁN, A. (1994) – ESTUDIO GEODINÁMICO DE LA CUENCA DEL RÍO PÍURA

La ciudad de La Arena se asienta sobre gruesos mantos de arena eólica pobremente diagenizada, estabilizados por la vegetación; morfológicamente constituye colinas disectadas por una red fluvial dendrítica.

Las arenas son de grano fino anguloso, cuarzoso con alto contenido de ferromagnesianos y calcitas.

Los principales problemas que afectan a La Arena están relacionados con las fuertes precipitaciones, donde las áreas depresionadas se colman formando grandes aguajales que afectan a las casas y campos de cultivos emplazados en su lecho.

- CENEPRED, (2018) – INFORME DE EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN PLUVIAL EN LOS CENTROS POBLADOS CHATITO-CANIZAL CHICO, DISTRITO DE LA ARENA, PROVINCIA DE PIURA, DEPARTAMENTO DE PIURA

En este informe de evaluación de riesgo se describen las unidades geomorfológicas reconocidas en el centro poblado de Chatito – La Arena, asentado sobre un manto de arena, formado por la acumulación de arenas eólicas.

La temperatura máxima presenta ligeras fluctuaciones a lo largo del año, con valores oscilantes entre valores de 27,2 °C a 33,9 °C, con mayores valores en los meses de verano.

La precipitación diaria máxima durante El Niño Costero 2017 fue de 126,1 mm el 21 de marzo.



- **PALACIOS, O, (1994) GEOLOGÍA DE LOS CUADRÁNGULOS PAITA 11-A, PIURA 11-B, TALARA 10-A, SULLANA 10-B, LOBITOS 9-A, QUEBRADA SECA 9-B, ZORRITOS 8-B, TUMBES 8-C Y ZARUMILLA 7-C. SERIE A: CARTA GEOLÓGICA NACIONAL. BOLETÍN N° 54. GEOLOGÍA – INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO-INGEMMET**

En el boletín se describen las unidades litológicas aflorantes a escala 100, 000 en el área de estudio, cuyas edades son Cuaternario Reciente, donde describe que están conformados por rocas arenas eólicas (acarreadas por el viento) formando dunas y depósitos aluviales conformados por conglomerados, arenas y arcillas, formando terrazas que se ubican alejadas del curso actual de un régimen fluvial (río Piura). Figura 01.



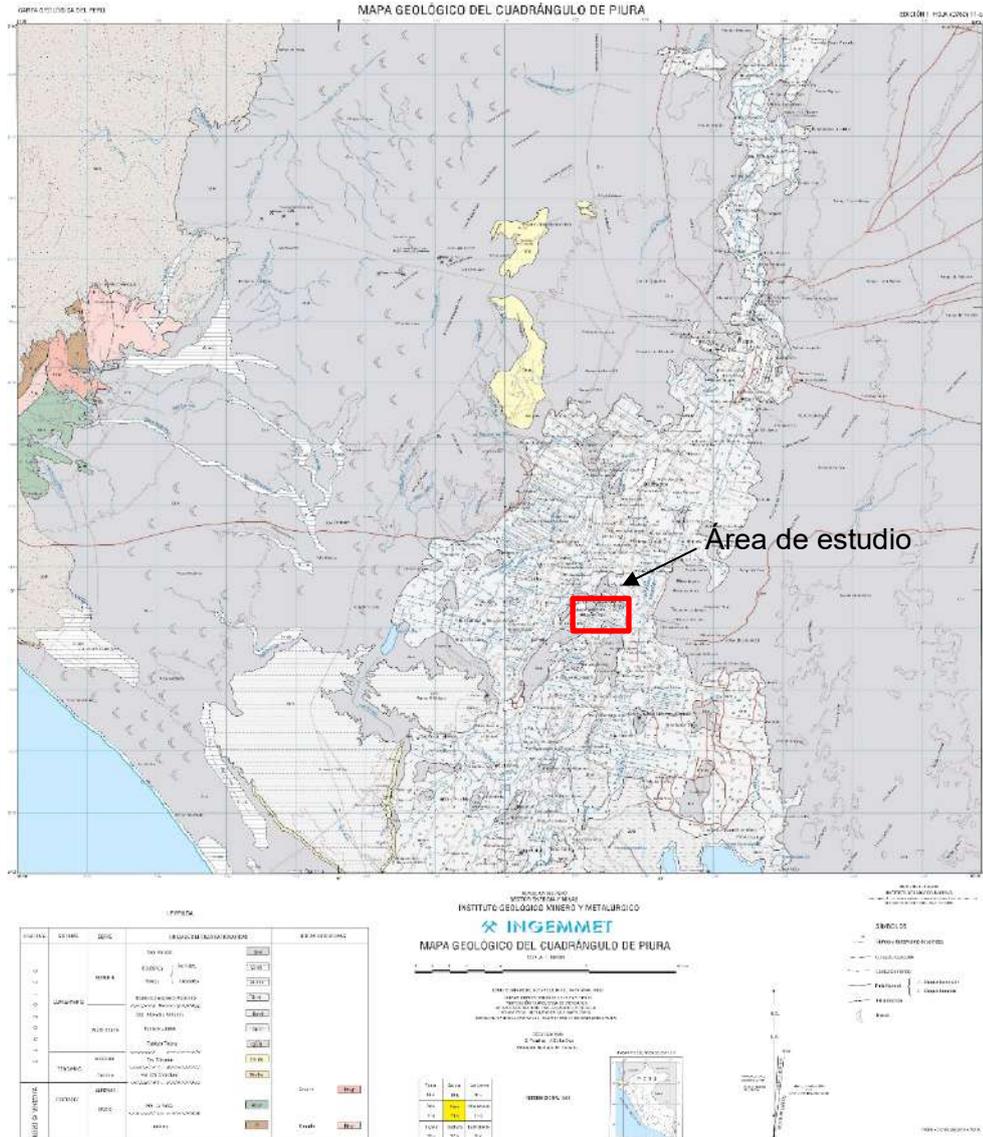


Figura 01: Mapa de geología regional del cuadrángulo de Piura, el área de estudio se ubica en el rectángulo en rojo, Fuente: INGGEMMET, 1999 (versión digital)

5.- ASPECTOS GENERALES

En este capítulo se describe la ubicación, datos de población, clima e hidrografía del área de estudio:

5.1.- Ubicación y accesibilidad

La zona de estudio se ubica a 1017 km al norte de Lima, provincia de Piura, región Piura, en las coordenadas UTM: 532074 E y 9409072 N, a una altura de 29 m.s.n.m. Limita:



Al norte: distrito de Catacaos.

Al sur: distritos de Cura Mori, El Tallán y La Unión

Al este: distrito de Cura Mori.

Al oeste: distrito de La Huaca

El acceso a La Arena desde la ciudad de Lima es por la carretera Panamericana Norte (en un recorrido de 987 km) hasta la ciudad de Piura, luego se continúa hacia el sur unos 22 km para finalmente llegar a la localidad.

La información socioeconómica del distrito de La Arena se encuentra descrita en el Anexo 02.

5.2 Población

Según el último censo del año 2017 (INEI) la población del distrito de La Arena cuenta con 38 734 habitantes, de los cuales el 92% es eminentemente urbano.

5.3 Clima

La estación meteorológica Montegrande se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas 5° 21' 1" S, 80° 42' 1" O a una altura de 13 m.s.n.m. en el distrito de La Arena, Figura 02. Esta estación no cuenta con datos disponibles actuales en la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), por lo que se recurrió a otras fuentes como es el *Climate.data*, el cual indica que el clima en la ciudad de La Arena es desértico, la temperatura máxima registrada es de 27.2 °C en el mes de febrero y la mínima es de 15.2 °C en el mes de julio, Cuadro 01.

Para el caso de las precipitaciones, estas no son significativas a lo largo del año, sin embargo, presentan un incremento entre los meses de diciembre a abril. Para el año 2017 (de ocurrencia del evento El Niño), las lluvias alcanzaron un máximo acumulado diario de 126.1 mm el 22 de marzo de 2017.





Figura 02: Ubicación de estación meteorológica Montegrande.

Cuadro 01: Registro de temperaturas en la ciudad de La Arena

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	28.1	27.2	27.2	26	24.1	22.4	21.1	21.1	21.3	21.9	22.7	24.4
Temperatura min. (°C)	19.9	21.1	21	19.7	18.2	18.6	15.4	15.2	15.2	15.7	16.4	18
Temperatura máx. (°C)	32.4	33.4	33.5	32.3	30.1	28.2	26.9	27	27.5	28.2	29.1	30.9
Precipitación (mm)	4	8	17	3	0	0	0	0	0	1	0	1

Fuente: <https://es.climate-data.org/americadel-sur/peru/piura/la-arena-874909/>

5.4.- Hidrografía

La cuenca más próxima a La Arena es el río Piura, que, según datos del Ministerio de Agricultura, presenta una longitud de cauce de 280 km que parten desde los 3 600 m.s.n.m. en la divisoria de la cuenca del río Huancabamba hasta su desembocadura al océano Pacífico, a través del Estuario Virrilá. Es un río bastante sinuoso que desde su nacimiento presenta un recorrido en dirección sureste a noreste hasta la localidad de Ocoto donde cambia su dirección final de noreste a suroeste hasta su desembocadura.



6. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA, GEOLÓGICA Y GEODINÁMICA

En este capítulo se describen las geoformas, unidades litoestratigráficas identificadas en el área de estudio, así mismo, se identifican zonas que fueron o pueden ser afectadas por eventos geodinámicos tales como movimientos en masa (flujos, deslizamientos, entre otros) e inundaciones, finalmente se realiza un modelado de inundaciones para determinar el caudal de inundación e identificar qué áreas pueden ser afectadas ante dicho evento.

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; 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 La Arena, en relación a su origen. Previamente, para la digitalización del plano geomorfológico se han elaborado los planos 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 la ciudad de La Arena, 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, (Felícisimo, 1994).

Para la elaboración del MDE de la ciudad de La Arena se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel obtenidas a partir de la ortofoto, obteniendo como resultado la representación digital de la superficie del terreno de la localidad.



En base al MDE elaborado de la ciudad de La Arena, se ha reconocido que hacia el noreste (Alto los Mores y Sincape) se ubican las mayores elevaciones entre 21 y 28 m.s.n.m., la parte central urbana se asienta sobre los 17 m.s.n.m., mientras que hacia el sureste (Chatito y Montegrando) las altitudes varían entre los 17 a 21 m.s.n.m.

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, 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 La Arena 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
may-20	Baja
20 - 35	Media
35 - 50	Fuerte
>50	Muy fuerte

Fuente: Fidel et al., (2006)

La mayor parte de la ciudad de La Arena se encuentra asentada sobre una llanura con pendientes menores <5°, sin embargo, hacia el noreste del centro urbano de la localidad (Alto los Mores y Sincape) se observan relieves con pendientes > 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 geformas 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, expresan una combinación de parámetros como la 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 geformas, clasificándose de acuerdo a su origen en depositacional, denudacional (erosional). Otros procesos internos como el magmatismo, tectonismo, entre otros, generan geformas de origen estructural.

En base a las características físicas de las geformas y su origen en la ciudad La Arena se cartografiaron 3 geformas: dunas, llanuras y depresiones (Cuadro 02 y Plano P-04).

Cuadro 02: Determinación de geformas en la ciudad de La Arena en base a sus características físicas y su origen

GEOMORFOLOGÍA PATRÓN			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		PROCESO	UNIDAD GOMORFOLÓGICA
Pendiente	< 25°	Depositacional	Dunas
Geometría	semicircular		
Pendiente	< 5°	Denudacional	Llanura
Geometría	alargada		
Pendiente	<5°	Erosional	Depresión
Geometría	Paralelo		

Fuente IGP 2019

6.1.3.1 Dunas.- Son acumulaciones de arenas finas de origen depositacional, esto ocurre por la acción erosiva del viento que transporta partículas finas provenientes de una roca preexistente. Comúnmente se forman en las zonas costeras por la actividad del viento, por lo que estas presentan capas suaves y uniformes. En la zona de estudio se observó que esta geofoma abarca 158 Has, donde se asientan los sectores urbanos de Alto Los Mores, Sincape, Montegrande y Malvinas, Foto 01.



Foto 01: Localización de Duna en el sector Alto Los Mores del distrito de La Arena.

6.1.3.2 Llanura.- Es una unidad geomorfológica caracterizado por presentar un relieve con pendiente suave $<5^\circ$. En la zona de estudio se identificaron dos tipos de llanuras de acuerdo a su origen (eólico y fluvial).

- **Llanura eólica.-** Es un área con relieve pequeño o nulo, constituido por la acumulación de sedimentos medianos y finos acarreados por el viento. Este tipo de geoforma se presentan en climas áridos y semiáridos. En La Arena abarca un área de 310 Has donde se asientan el centro urbano de la localidad, el centro poblado Chatito y Montegrande, Fotos 02 y 03.



Foto 02: Localización de llanura eólica en el sector Chatito del distrito de La Arena.



Foto 03: Localización de llanura en el centro urbano del distrito de La Arena.

- **Llanura aluvial.**- Es un área de relieve con pendiente suave $<5^\circ$, de origen depositacional con una geometría y drenaje irregular.



En esta unidad se desarrolla la actividad agrícola de la ciudad de La Arena, Foto 04.



Foto 04: Localización de llanura aluvial en el distrito de La Arena.

6.1.3.3 Cuencas ciegas.- Formadas por la acción hídrica en los suelos, es decir, la energía de flujo manifestada en el arranque y desgaste del material que conforma el suelo.

En el distrito se han identificado 13 depresiones localizadas en los sectores urbanos de Alto Los Mores, Montegrande y Chatito, Foto 05.



Foto 05: Localización de una Cuenca Ciega en el caserío Nuevo Montegrande.



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 geoformas que componen el relieve, los factores condicionantes como la litología, pendiente, hidrología, etc; así como, los detonantes: sismos y precipitaciones pluviales que 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 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

La zona de estudio está conformada por depósitos eólicos y aluviales, descritos en los siguientes subcapítulos:



ERA TEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
CENOZOICA	CUATERNARIO	RECIENTE	Depósitos eólicos	Qr-e	Constituidos por arenas acarreadas por el viento de grano grueso
			Depósitos aluviales	Qr-al	Constituida por arenas, arcillas y limos

Figura 03: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio

6.2.1.1 Depósitos Cuaternarios

En el área de estudio predominan los depósitos Cuaternarios de edad Holocena tales como:

6.2.1.1.1 Depósitos eólicos (Qh-e)

Conformados por la acumulación de arenas cuarzosas de grano medio a fino de color amarillento, por acción de los vientos que forman dunas gigantes o llanuras de arena.

Sobre este tipo de depósitos se asienta la población de la ciudad de La Arena, Foto 06 y 07.



Foto 06: Depósito eólico localizado en el centro urbano de La Arena conformado por arenas sueltas.



Foto 07: Depósito eólico identificado en el sector Alto Los Mores.

6.2.1.1.2 Depósitos aluviales (Qh-al)

Conformados por arenas y limos que fueron depositados y transportados por la dinámica del río Piura.

Sobre este tipo de depósitos se desarrolla exclusivamente la actividad agrícola de la ciudad de La Arena.

6.3 Geodinámica Superficial

Comprenden 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 (carcaveo, 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 incrementen 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 La Arena se ha identificado un tipo de evento geodinámico (Plano 06):

6.3.1 Inundación.- Las intensas precipitaciones pluviales que recaen en periodos ENSO (126,1 mm el 21 de marzo del 2017 – El Niño Costero), sobre las 13 depresiones reconocidas en los sectores urbanos de Alto Los Mores, Sincape, Alto de Los Castillos, Nuevo Montegrande, Montegrande, Malvinas, San Pedro II etapa, Chatito y el centro urbano de La Arena, ocasionan la saturación de estas geoformas, cuyo nivel máximo de inundación alcanzan los 0.60 m, afectando a las distintas infraestructuras establecidas en las zonas próximas a estas depresiones, Fotos 08-10.



Foto 08: Zona de depresión e inundable en el sector Montegrande (interlineado rojo)





Foto 09. Zona inundable en el centro urbano de La Arena (Estadio).



Foto 10. Zona de depresión e inundable en el sector Alto de Los Castillos



6.3.2 Elementos expuestos

En el área de estudio del distrito de La Arena 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 03 y 04).

Cuadro 03: Población estimada de la localidad expuesta a eventos de origen natural

Evento geodinámico	Población expuesta
Inundaciones	1200

Cuadro 04: 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	350

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 04.



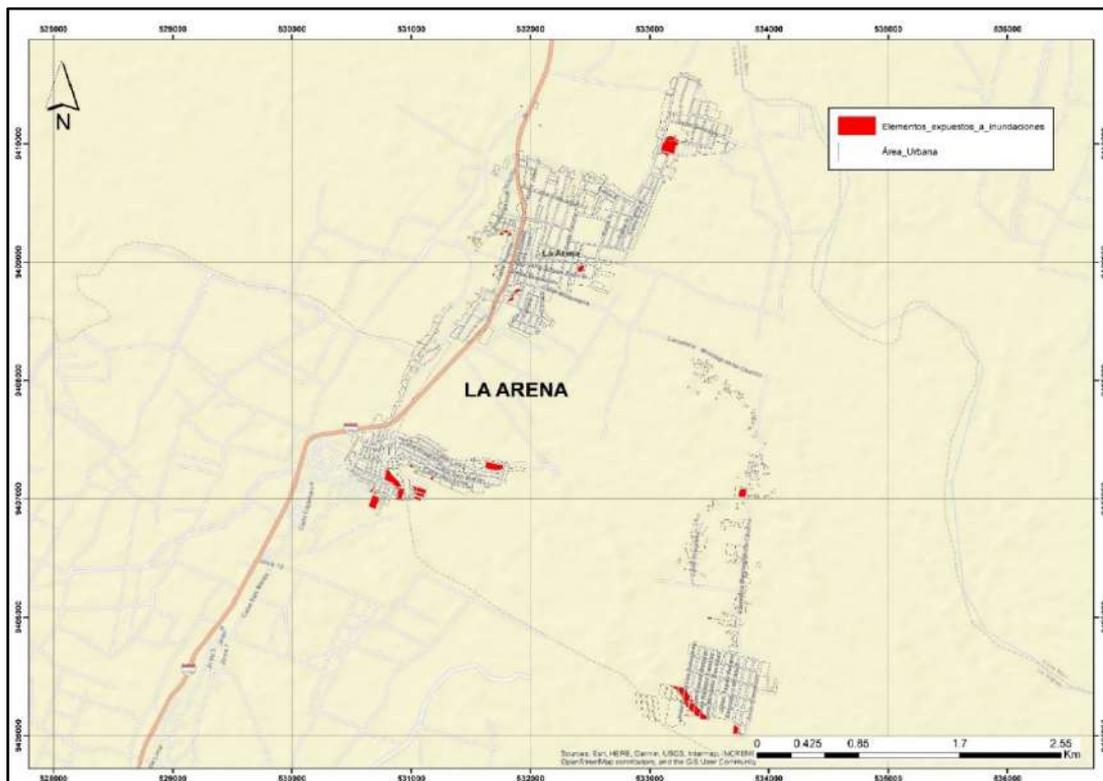


Figura 04: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de inundaciones en la localidad de La Arena.

7. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Los suelos son materiales no consolidados 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 fueron transportados y depositados 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 05.



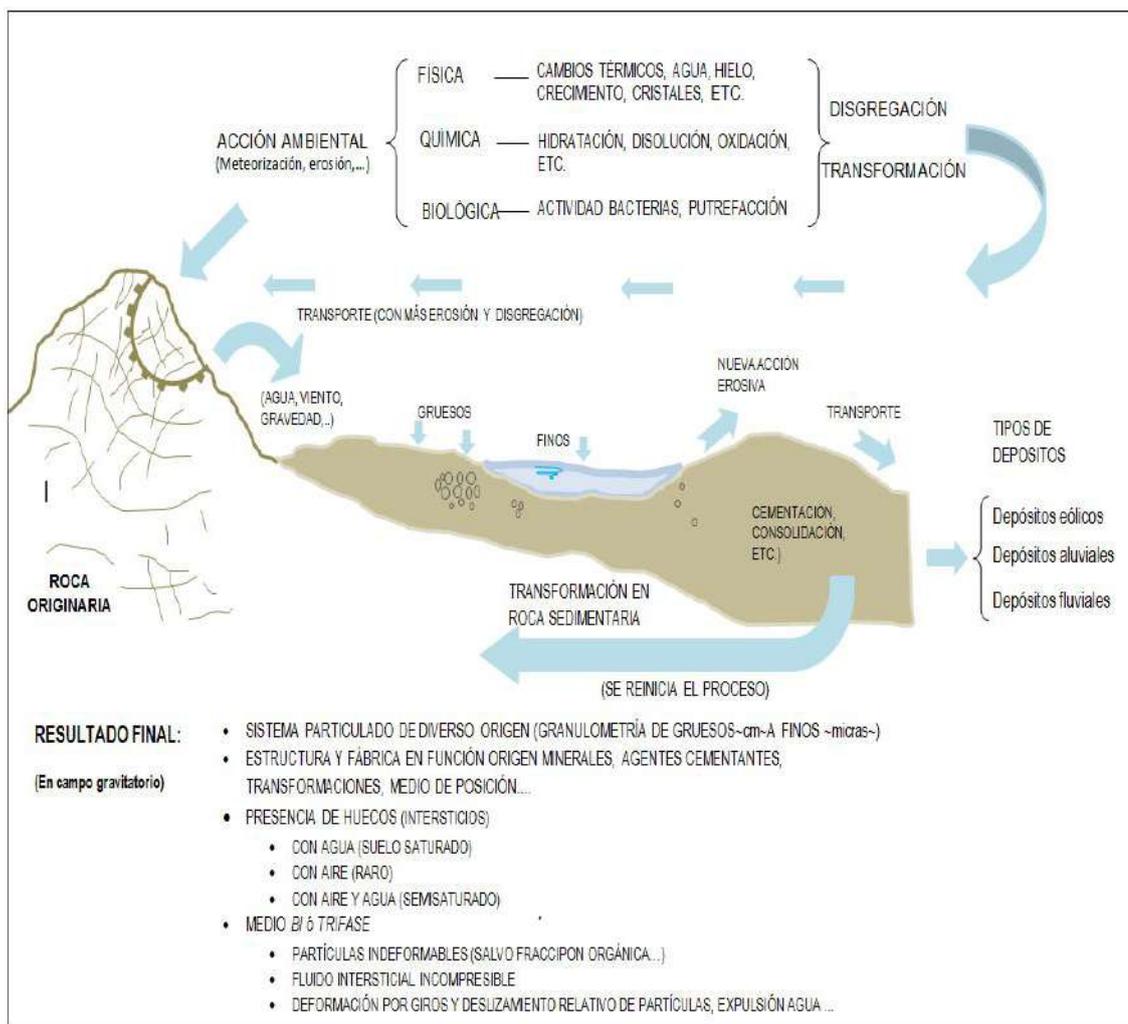


Figura 05: Formación de suelos, (Adaptado de Gonzáles de Vallejo, 2002)

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 La Arena se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de 7 calicatas, 7 densidad de campo, 10 posteos y 12 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), indicadas en el Plano P-07. Las 7 muestras extraídas se analizaron en el laboratorio de mecánica de suelos del IGP y para validar los resultados 3 muestras representativas se enviaron a un laboratorio certificado, 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 y descripción del suelo. Estas exploraciones se realizaron aproximadamente a 3 m de profundidad, a fin de describir los estratos que lo conforman (anexo de geotecnia - fichas de descripción), así como, extraer muestras disturbadas las cuales fueron identificadas y almacenadas en bolsas herméticas con capacidad de 5 kg aproximadamente. Las excavaciones realizadas se localizan en las siguientes coordenadas UTM, Cuadro 05 y Plano P-07.

Cuadro 05: Ubicación de calicatas

CÓDIGO DE CALICATA	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD	NIVEL FREÁTICO
	ESTE (m)	NORTE (m)			
AR-01	531737	9407271	16	2.20	N.P
AR-02	531791	9408625	23	1.80	1.70
AR-03	531213	9408244	16	1.75	1.70
AR-04	532548	9408862	23	2.20	N.P
AR-05	533272	9405750	21	1.50	1.50
AR-06	531999	9409280	24	1.85	1.80
AR-07	533353	9410182	21	2.20	N.P

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 06 se presentan los resultados de las densidades in situ de las siete (7) calicatas y la ficha de densidad se ha adjuntado en los Anexos de Geotecnia.

Cuadro 06: Resultado de densidades in - situ

CÓDIGO DE CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	CONTENIDO DE HUEMDAD (%)
CAR-01	DC-TA- 01	2.20	1.55	1.53	1.81
CAR-02	DC-TA- 02	1.80	1.57	1.31	16.57
CAR-03	DC-TA- 03	1.70	1.68	1.46	13.16
CAR-04	DC-TA- 04	2.20	1.47	1.46	0.36
CAR-05	DC-TA- 05	1.50	1.64	1.36	17.2
CAR-06	DC-TA- 06	1.85	1.75	1.56	10.83
CAR-07	DC-TA- 07	2.20	1.46	1.45	0.67

A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de densidad de campo y laboratorio, los suelos de cimentación en la ciudad de La Arena presentan rangos de densidad húmedas entre 1.46 a 1.75 gr/cm³, mientras que las densidades secas oscilan entre 1.31 y 1.56 gr/cm³, es decir, los materiales identificados en las calicatas corresponden a arenas muy sueltas a sueltas, de acuerdo a la referencia de la Tabla A – Anexo Geotecnia.

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 en presencia de gravas y gravillas (la cuchara saca muestra se entrampan 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 La Arena. La ubicación y resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 07, mientras que el registro de perforaciones se describe en el Anexo de Geotecnia.

Cuadro 07: Ubicación de postes y clasificación de suelos SUCS

POSTEO	COORDENADAS		ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	NIVEL FREÁTICO (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)				
Post_01	533167	9410020	29	1.80	SM	1.10
Post_02	533926	9405420	4	1.90	SP-SM	1.50
Post_03	532623	9409111	32	1.50	SP	NP
Post_04	530773	9407512	20	2.20	SM	2.00
Post_05	–	–	–	–	–	–
Post_06	532095	9409673	23	0.90	SM	NP
Post_07	532056	9408992	17	2.60	SM	2.50
Post_08	531624	9408224	24	1.80	SP	1.40
Post_09	533716	9407072	14	1.70	SP-SM	1.10
Post_10	530968	9406964	13	1.80	SM	1.50
Post_11	531828	9409431	23	1.80	SM	1.80

Dónde: N.P =No Presenta

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 recomendables 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 de Geotecnia.



En el Cuadro 08 se indica la ubicación de los ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL) realizados en las inmediaciones de la ciudad de La Arena, registrándose el número de golpes y el ángulo de fricción interna calculado en base a los parámetros de compacidad y densidad relativa según la fórmula de Meyerhof (1956).

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

Dónde:

Φ = Ángulo de fricción interna

Dr=Densidad relativa

Cuadro 08: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetros obtenidos

CÓDIGO DE DPL	COORDENADAS UTM		Elevación (m.s.n.m)	Profundidad (m)	Número de golpes	ϕ
	Este (m)	Norte (m)				
DPL_01	531213	9408248	16	2.10	1	25.4
DPL_02	533441	9405639	16	2.70	2	25.5
DPL_03	532625	9409113	29	2.70	6	27.9
DPL_04	532547	9408867	24	2.00	5	27.3
DPL_05	533347	9410181	21	2.50	6	27.9
DPL_06	532096	9409672	23	2.00	6	27.9
DPL_07	532056	9408999	17	2.50	4	26.7
DPL_08	531785	9408512	11	2.60	10	30.3
DPL_09	533715	9407072	12	2.50	13	30.9
DPL_10	531739	9407270	16	2.50	8	29.1
DPL_11	530828	9407503	21	3.20	16	31.6
DPL_12	531843	9409426	23	3.30	16	31.6

La compacidad relativa y consistencia de suelos se infiere a partir de la Tabla B del Anexo 05. Según los parámetros obtenidos se establece que en 12 de los ensayos se alcanzó una profundidad mayor de 3.30 m, y mínima de 2.00 m debido a que el suelo está constituido por arenas, arenas limosas y limos.

7.4 Resultados de los ensayos del 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 La Arena

El Sistema SUCS abarca suelos granulares y finos, diferenciados por la cantidad de material que pasa la malla N° 200 (Juárez & Rico, 2005), mientras que entre los granulares se encuentran dos grupos tales como gravas y arenas, separadas con la malla N° 4.

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 La Arena, 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 han identificado 4 tipos de suelos, Cuadro 09 y Plano P-08.

- **Suelo tipo SM**
Arenas limosas con contenido de humedad entre 24.97 % y 11.48 %, constituyen suelos de compacidad baja (suelta a muy suelta), no presentan plasticidad y se identificaron en los sectores Las Malvinas, Yapatera y parte del AA. HH Alto de los Mores. Se identificaron en las calicatas (CAR-01 y 06), así como en los posteos (Post-04, 06, 07, 10, 11).
- **Suelo tipo SP**
Arena mal graduada con contenido de humedad de 0.23 % y 17.37%, constituyen suelos de compacidad suelta a muy suelta, no presentan plasticidad y se identificaron en La laguna de Los Prados y en el casco urbano (referencia I.E Alejandro Sánchez Arteaga) que corresponden a las calicatas (CAR-03 y 04), así como, en los posteos (Post-03 y 08).
- **Suelo tipo SP-SM**
Arena mal graduada y arenas limosas, con contenido de humedad de 11.48 % y 0.40%, constituyen suelos de compacidad suelta a muy suelta, no presentan plasticidad y se identificaron en el Centro poblado Chatito y sector Cincape que corresponden a las calicatas (CAR-05 y 07), así como, en los posteos (Post-01, 02 y 09).
- **Limos de baja plasticidad (ML)**
Limo de baja plasticidad con contenido de humedad de 34.42 %, constituyen suelos de compacidad suelta, presentan índice de plasticidad de 9.88 % (baja plasticidad) y se identificaron a inmediaciones del mercado "Sixto Zapata Meléndez" en el AA.HH La Victoria (campo deportivo-Estadio de la Municipalidad de la Arena), en la calicata (CAR-02).



Cuadro 08: Clasificación SUCS de los suelos de las ocho (07) calicatas elaboradas en la ciudad de La Arena

CÓDIGO DE CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	PRESENCIA DE AGUA		GRANULOMETRÍA (%)			LÍMITES ATTERBERG (%)			CLASIFICACIÓN SUCS	DESCRIPCIÓN
		NIVEL FREÁTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	GRAVAS (>4.76 mm)	ARENAS (>0.074 mm, <4.76 mm)	FINOS (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICO		
CAR-01	2.20	N.P	24.97	0.00	71.14	28.66	18.46	—	NP	SM	Arena limosa
CAR-02	1.80	1.70	34.42	0.00	0.51	99.49	34.9	25.02	9.88	ML	Limo de baja plasticidad
CAR-03	1.75	1.70	17.37	0.00	95.80	4.20	NP	NP	NP	SP	Arena graduada mal
CAR-04	2.20	N.P	0.23	0.00	96.20	3.76	NP	NP	NP	SP	Arena graduada mal
CAR-05	1.50	1.50	11.48	0.00	92.80	7.23	NP	NP	NP	SP-SM	Arena graduada mal con arena limosa
CAR-06	1.85	1.80	18.70	0.00	81.15	18.95	7.17	NP	NP	SM	Arena limosa
CAR-07	2.20	N.P	0.40	0.00	94.90	5.12	NP	NP	NP	SP-SM	Arena graduada mal con arena limosa

Dónde: 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 (rozamiento que existe en las partículas granulares).

Los valores finales de la capacidad portante de los suelos en la ciudad de La Arena 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 portante, manteniendo el mismo factor de seguridad especificado en la Norma E 0.50 de diseño de cimentación.

Los resultados de capacidad de carga portante de las 7 muestras de suelos extraídas en la ciudad de La Arena se presentan en el Cuadro 09.

Cuadro 09: Capacidad de carga portante de las muestras extraídas en la ciudad de La Arena

CÓDIGO DE MUESTRA	Capacidad de carga última (Tn/m ²)	Capacidad de carga portante (Kg/cm ²)	Falla de corte
CAR - 01	2.59	0.86	Falla Local
CAR - 02	0.69	0.23	Falla Local
CAR - 03	1.02	0.34	Falla Local
CAR - 04	0.95	0.32	Falla Local
CAR - 05	1.08	0.36	Falla Local
CAR - 06	3.99	1.33	Falla Local
CAR - 07	0.72	0.24	Falla Local
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		



Fuente: Anexo de Geotecnia. Datos del ensayo de DPL y SPT corregidos y datos de Terzaghi, Dónde: F.G: Falla General, FL: Falla Local.

Según los valores del ángulo de fricción, corregido a partir 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 solo para los DPL que alcanzaron una profundidad de cimentación de 1 m Cuadro 10.

Cuadro 10: 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

CÓDIGO DE DPL	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga portante (Kg/cm ²)	Tipo de corte
DPL-01	0.89	0.30	Falla local
DPL-02	0.94	0.31	Falla local
DPL-03	0.86	0.29	Falla local
DPL-04	0.82	0.27	Falla local
DPL-05	0.81	0.27	Falla local
DPL-06	1.16	0.39	Falla local
DPL-07	1.18	0.39	Falla local
DPL-08	0.77	0.26	Falla local
DPL-09	0.84	0.28	Falla local
DPL-10	1.35	0.45	Falla local
DPL-11	1.14	0.38	Falla local
DPL-12	1.04	0.35	Falla local
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		

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

7.5.1.1 Tipos de capacidad de carga portante

En la localidad de La Arena se han identificado los siguientes tipos de capacidad de carga portante:



A) Capacidad de carga portante muy baja

Comprende rangos de capacidad de carga portante menores a 1 kg/cm², se encuentran representado por los tipos de suelos como arena mal graduada (SP), arena limosa (SM), arena mal graduada con arena limosa (SP-SM) y limos (ML). Abarcan el casco urbano y la periferia de los suelos de cimentación de la ciudad de La Arena y se han identificado principalmente en el sector Sincape, AA.HH. Alto de los Mores, Las Malvinas, Centro poblado Chatito.

B) Capacidad de carga portante baja

Comprende rangos de capacidad de carga portante entre 1 a 2 kg/cm², se encuentran representado por arenas limosas (SM), se han identificado principalmente en el sector Yapatera (casco urbano de La Arena).

8. DISCUSIONES

Estudios regionales (geología del cuadrángulo de Piura 11 b, a escala 1: 100,000) describen que los depósitos aluviales en el distrito de La Arena están constituidos por conglomerados, arenas y arcillas, en el cartografiado realizado a escala local 1: 25 000 se ha reconocido que estos depósitos están conformados por arenas, limos y lentes de arcillas, no encontrando evidencia de conglomerados y/o cantos rodados, así mismo, el trabajo a escala local ha permitido definir los polígonos a detalle de cada unidad litológica en el distrito en mención, de forma que el presente informe contribuye a complementar y/o afinar información no registrada a escala generales.



SEGUNDA PARTE: GEOFÍSICA Y ZONIFICACIÓN SISMOGEOTÉCNICA

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 a 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 de distrito La Arena, 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 del área urbana La Arena.



1.2.- Área de estudio

El ámbito de estudio corresponde al área urbana del distrito La Arena, se encuentra al norte de la zona occidental del Perú y forma parte de los 10 distritos que conforma la provincia y departamento de Piura, ver Figura 2. Situado al sur oeste de la provincia de Piura, a una altitud promedio de 25 m.s.n.m., limita por el norte con el distrito de Catacaos, por el este con el distrito de Cura Mori, por el Sur con el distrito de La Unión, por el sur este con el distrito de Él Tallan y al oeste con el distrito de Paita.

El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:25000, tiene un área total de 14 km² y la población beneficiada con el presente estudio es de 38,734 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.



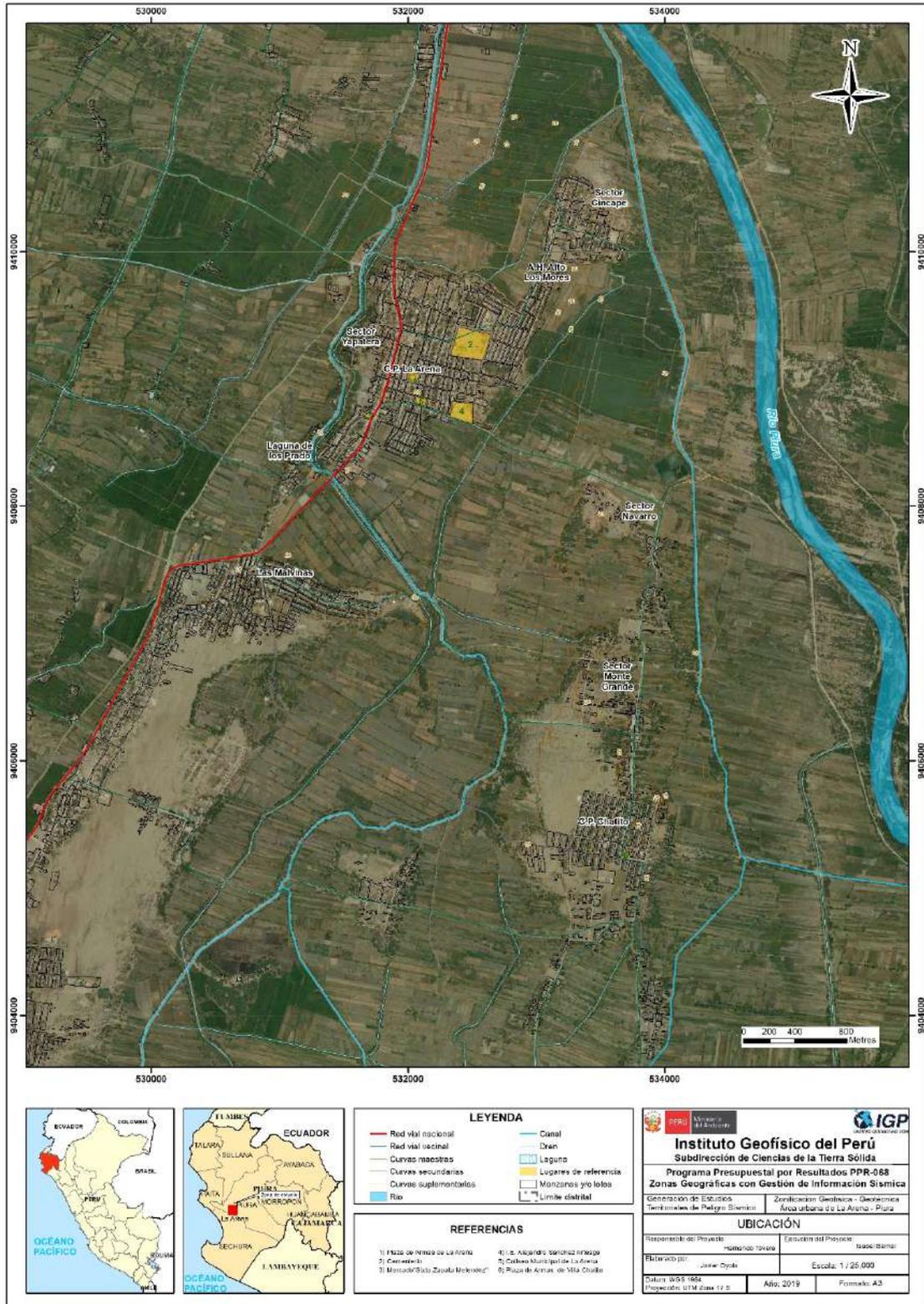


Figura 2. Ubicación del área de estudio.

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, 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 La Arena, 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 2018, CENEPRED ejecuta el estudio “**Informe de evaluación del riesgo por inundación pluvial en el centro poblado Chatito y Canizal Chico, distrito La Arena, provincia de Piura, departamento de Piura**”. El cual concluye que el centro poblado El Chatito, Canizal Chico se encuentran en una zona de alto riesgo ante inundación pluvial, se identificó el nivel de peligro muy alto y alto en el centro poblado.

En el 2017, CENERPRED realiza el estudio “**Informe de evaluación del riesgo por inundación pluvial en el centro poblado La Arena, distrito La Arena, provincia de Piura, departamento de Piura**”, donde se generaron mapas de peligro medio a muy alto y del área de impacto por el Fenómeno de El Niño FEN-2017, determinando que el centro poblado La Arena, se encuentra en una zona de medio a alto riesgo ante inundación pluvial, identificando un nivel de peligro de Muy Alto a Alto ante la inundación pluvial. De acuerdo con la geomorfología se



presentan planicies inundables, terrazas aluviales y mantos de arena, respecto a la hidrología el distrito La Arena constituye parte de la cuenca del río Piura, corresponde al sistema hidrográfico de los valles medio y bajo Piura, cuyas superficies agrícolas son irrigadas por gravedad, mediante un sistema de canales principales y secundarios.

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 el sector de Piura presentaría aceleraciones de hasta 400 gals para un periodo de retorno de 500 años.

En el 2004, el Instituto Nacional de Recursos Naturales presenta el estudio **“Inventario de fuentes de agua subterránea en el valle medio y bajo Piura”**. Identifican 19 pozos tubulares y 08 pozos a tajo abierto en los distritos La Unión y La Arena, son los más explotados y la cota fluctúa de 13 a 6 m.s.n.m.

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 a 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 S_0 : Roca Dura**, corresponde a las rocas sanas con velocidades de propagación de ondas de corte (V_s) mayor a 1500 m/s.
- **Perfil Tipo S_1 : 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 S_2 : Suelos Intermedios**, son suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte V_s entre 180 y 500 m/s.
- **Perfil Tipo S_3 : Suelos Blandos**, corresponden suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte V_s menor o igual a 180 m/s.
- **Perfil Tipo S_4 : 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
S_0	> 1500	Roca dura
S_1	500 a 1500	Roca o suelo muy rígido
S_2	180 a 500	Suelo medianamente rígido
S_3	< 180	Suelo blando
S_4	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 Sísmica - Geotécnica de las ciudades 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 La Arena 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 3 días del mes de marzo del 2019. Durante este periodo se recolectaron 180 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).



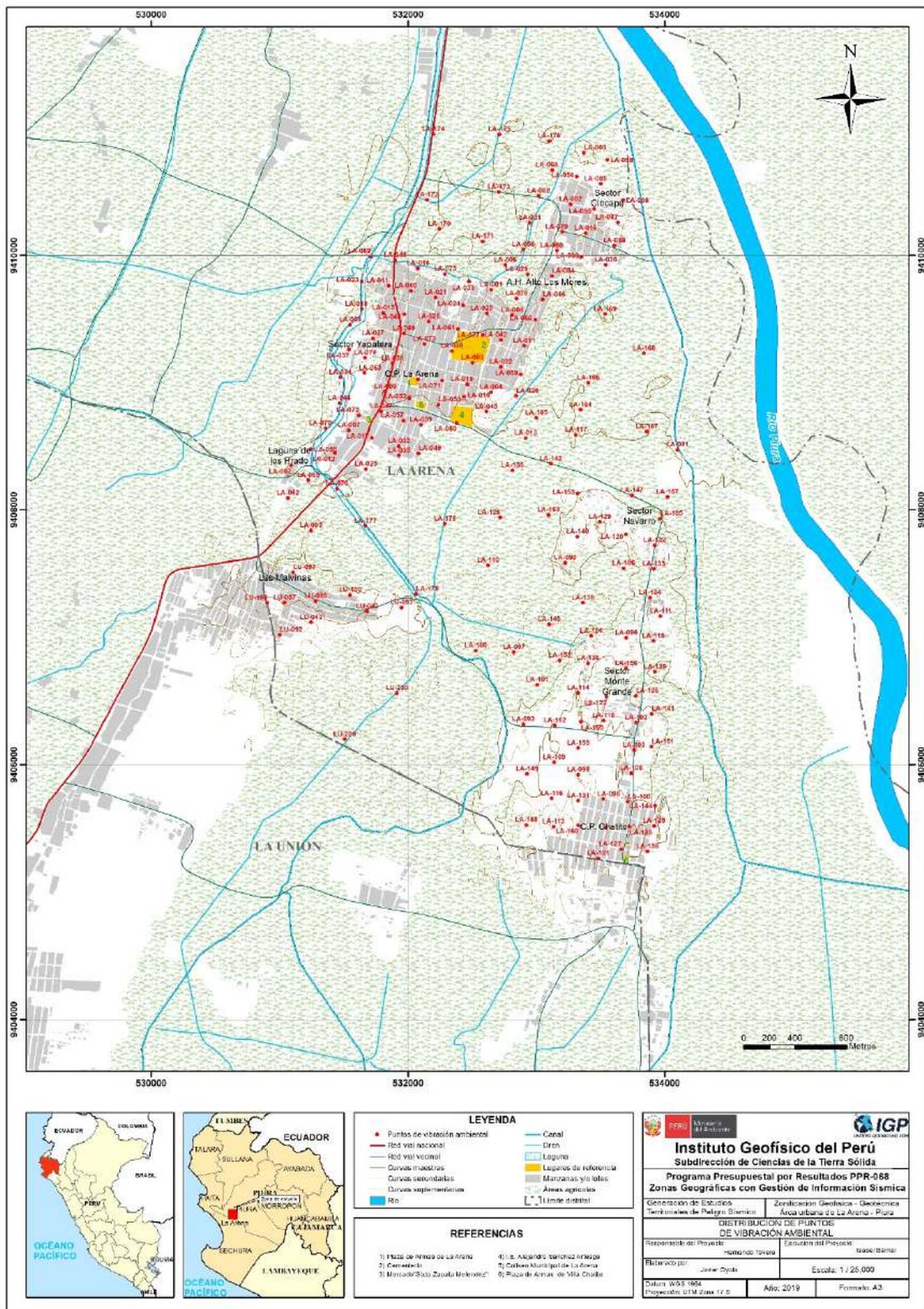


Figura 3. Distribución espacial de los puntos de registros de vibración ambiental del área urbana La Arena.

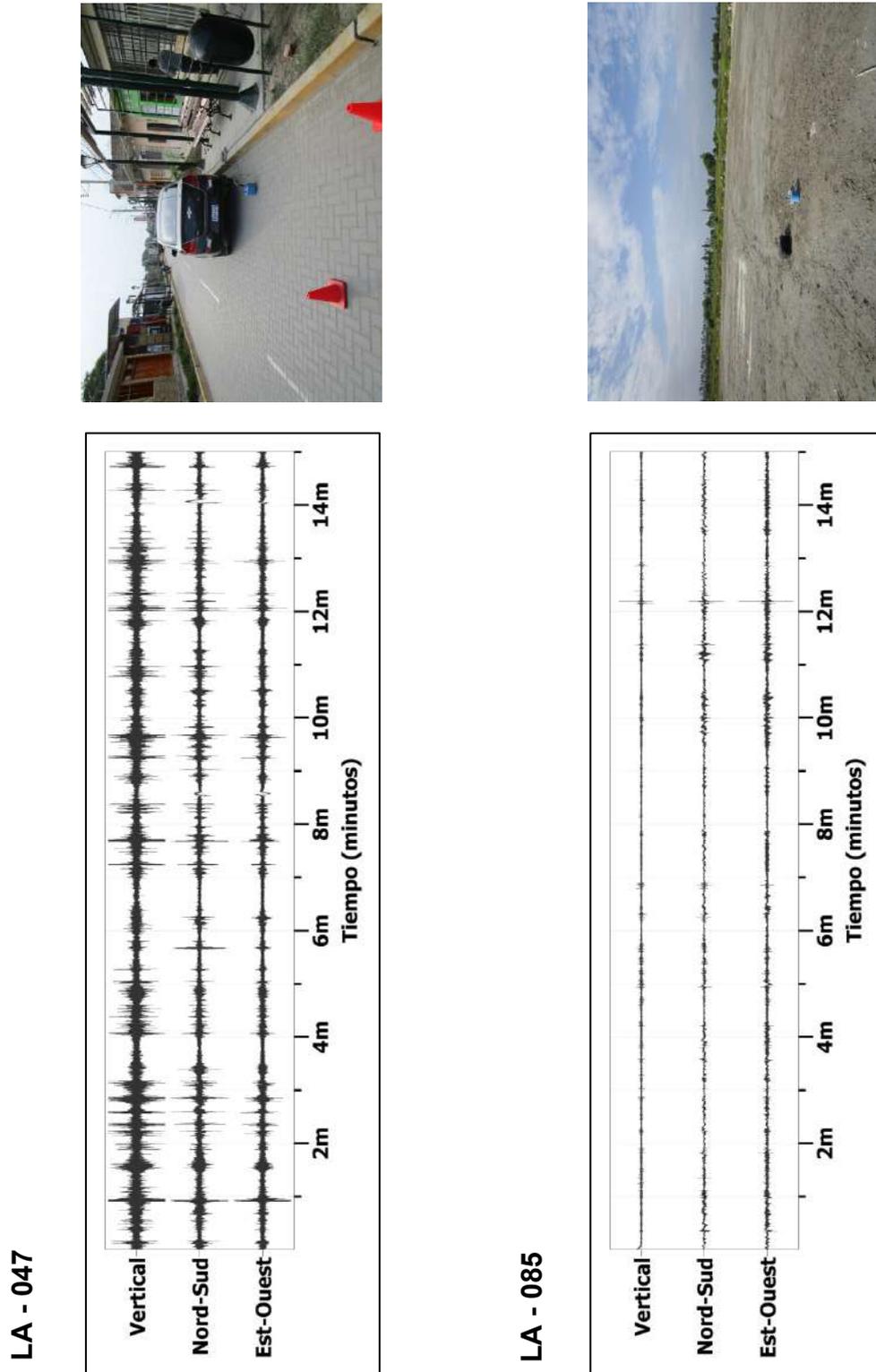


Figura 4. Disposición del equipo sísmico para la adquisición de los registros de vibración ambiental. Ejemplos de registros obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (LA-047) y otro con ruido de fondo constante (LA-085). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.



Zonificación Sísmica - Geotécnica
ÁREA URBANA DE LA ARENA
Frecuencias predominantes del Suelo

LA-133

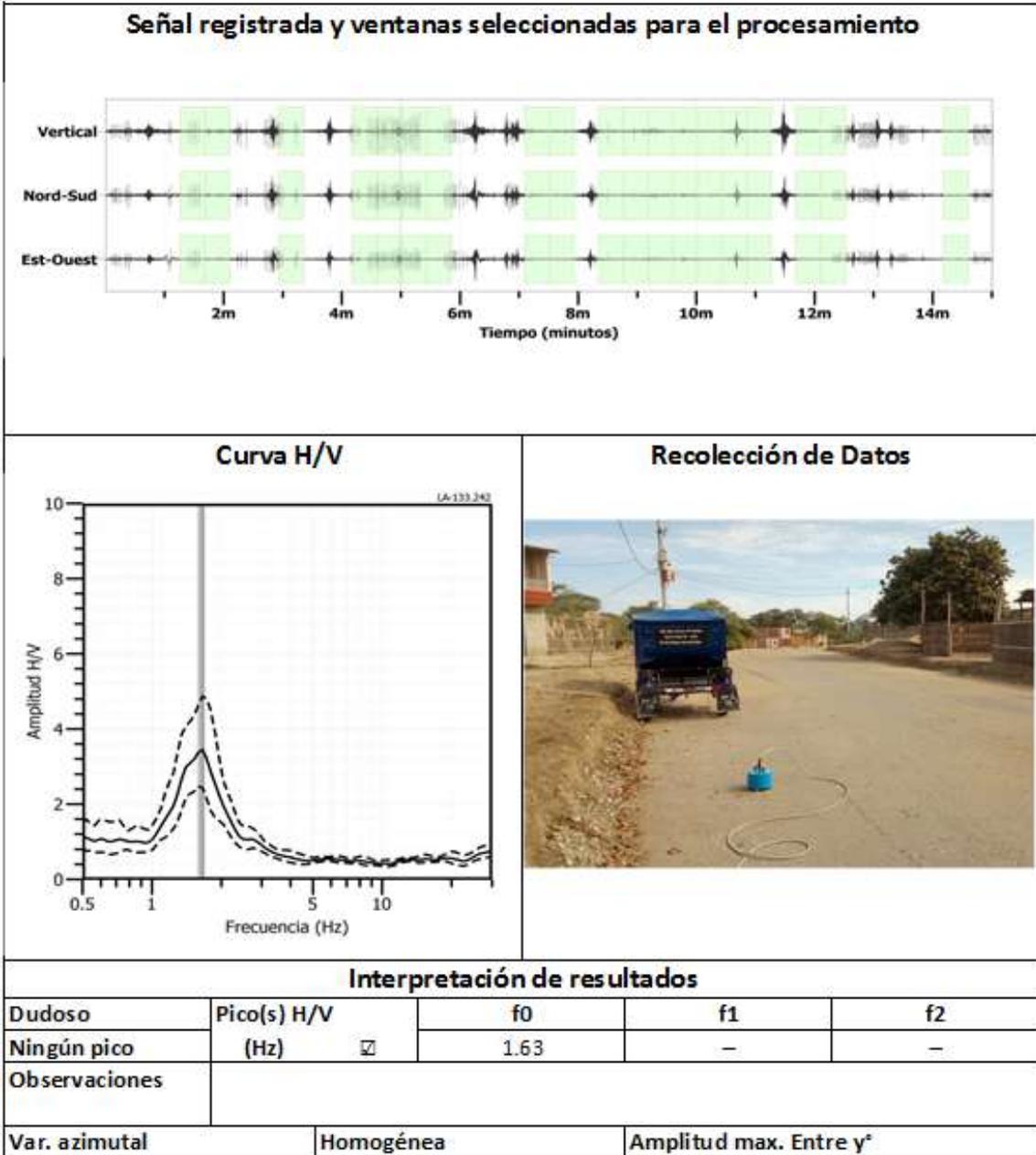


Figura 5. Ejemplo de la ficha H/V para el punto LA-133 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas y Abajo resultados.



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 LA-133. Aquí 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 La Arena se realizaron 08 líneas de MASW codificadas como LS01-LA y LS08-LA (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 de martillo a 3 metros al final del arreglo lineal.



Tabla 2. Coordenadas y características de los arreglos lineales MASW realizados en La Arena.

Arreglo lineal MASW	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-LA	531740	9409024	10	4	92
	531653	9409062	12		
LS02-LA	532346	9408693	24	4	92
	532429	9408664	21		
LS03-LA	533514	9407993	24	4	92
	533585	9407934	24		
LS04-LA	533363	9406410	28	4	92
	533355	9406318	24		
LS05-LA	531294	9408546	23	6	138
	531388	9408643	24		
LS06-LA	533720	9405234	22	4	92
	533738	9405320	22		
LS07-LA	533598	9410060	23	4	92
	533509	9410097	25		
LS08-LA	532328	9409496	28	4	92
	532302	9409405	30		



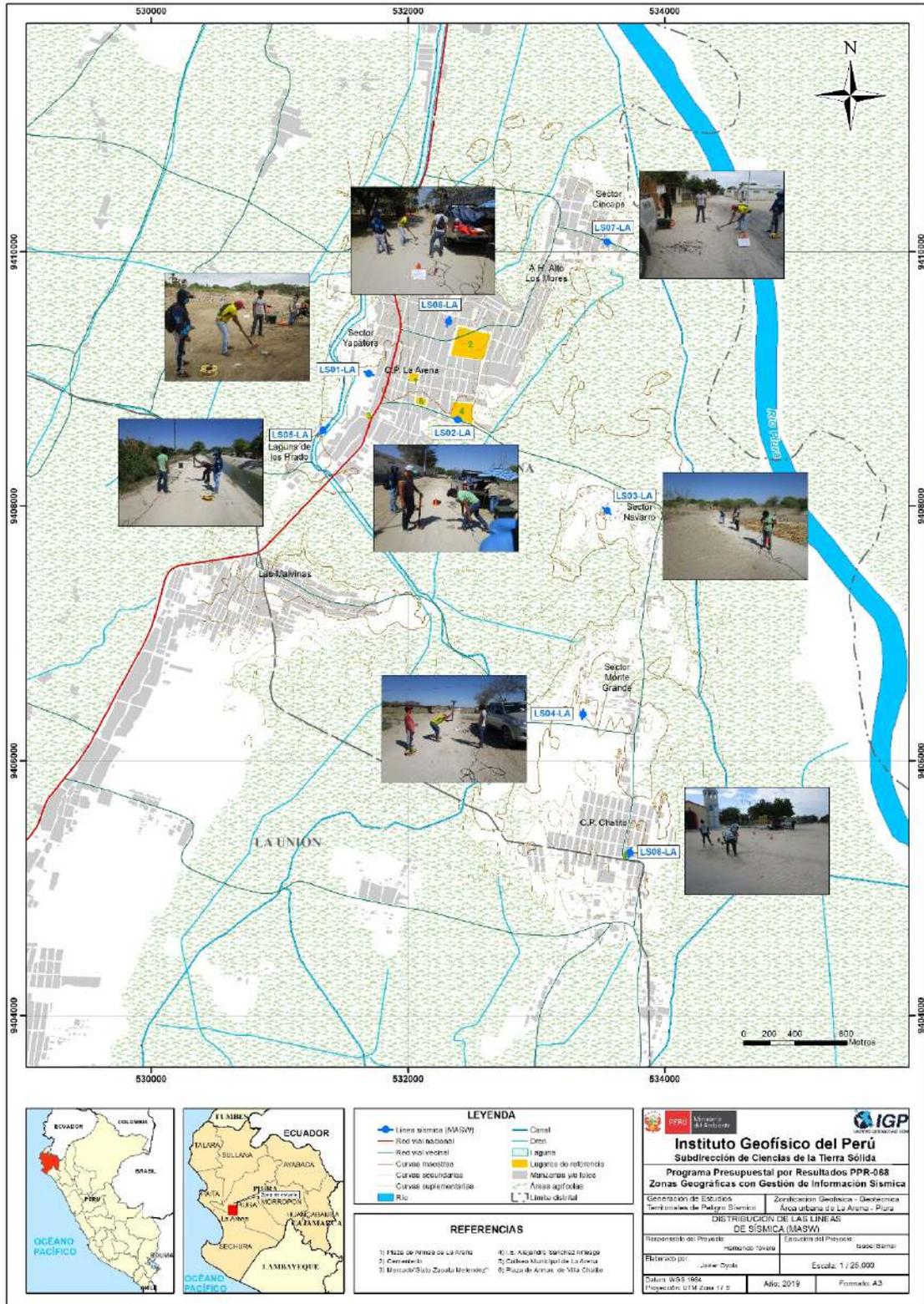


Figura 6. Distribución espacial de los ensayos MASW codificados como LS01-LA, ..., LS08-LA en el área urbana La Arena

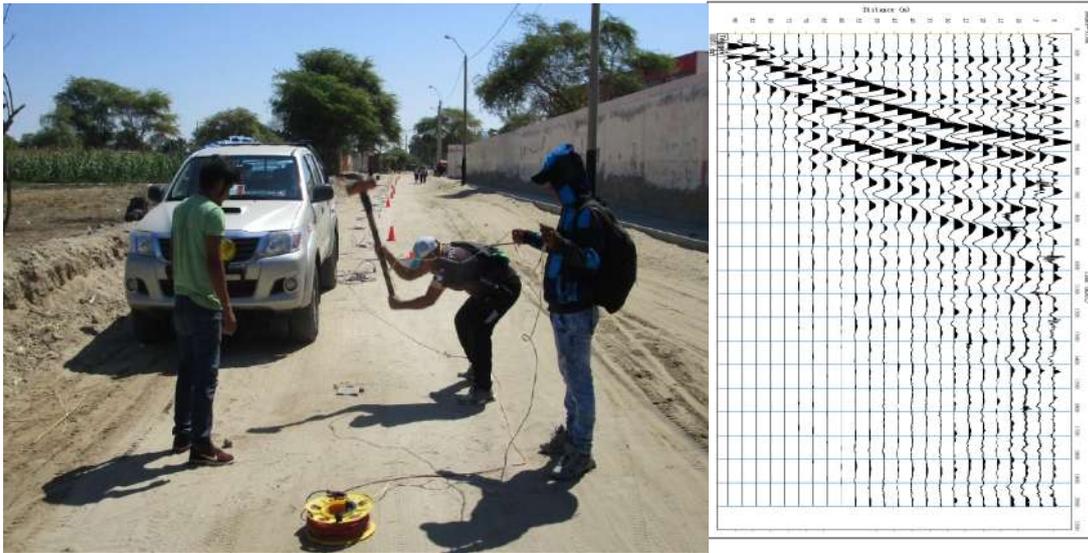


Figura 7. Disposición del equipo de adquisición de registro sísmico.

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.

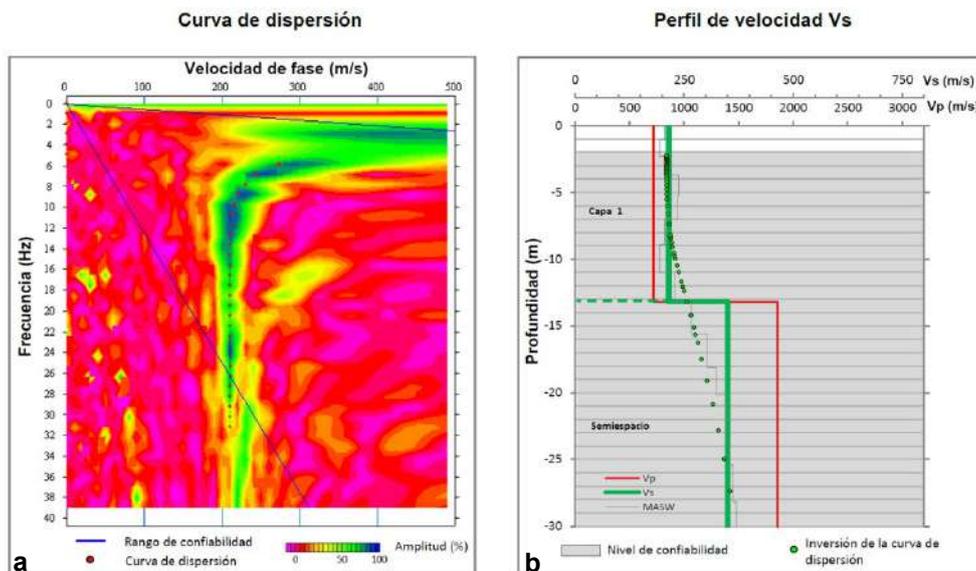


Figura 8. a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo MASW.



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 10 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 de Talara. 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 La Arena.

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-LA	531774	9409010	38	10	190
	531586	9409085	41		
LE02- LA	532532	9408624	18	10	290
	532251	9408729	19		
LE03- LA	533645	9407850	20	10	280
	533436	9408062	21		
LE04- LA	533373	9406544	19	10	260
	533346	9406245	18		
LE05- LA	531437	9408728	19	10	290
	531247	9408506	21		



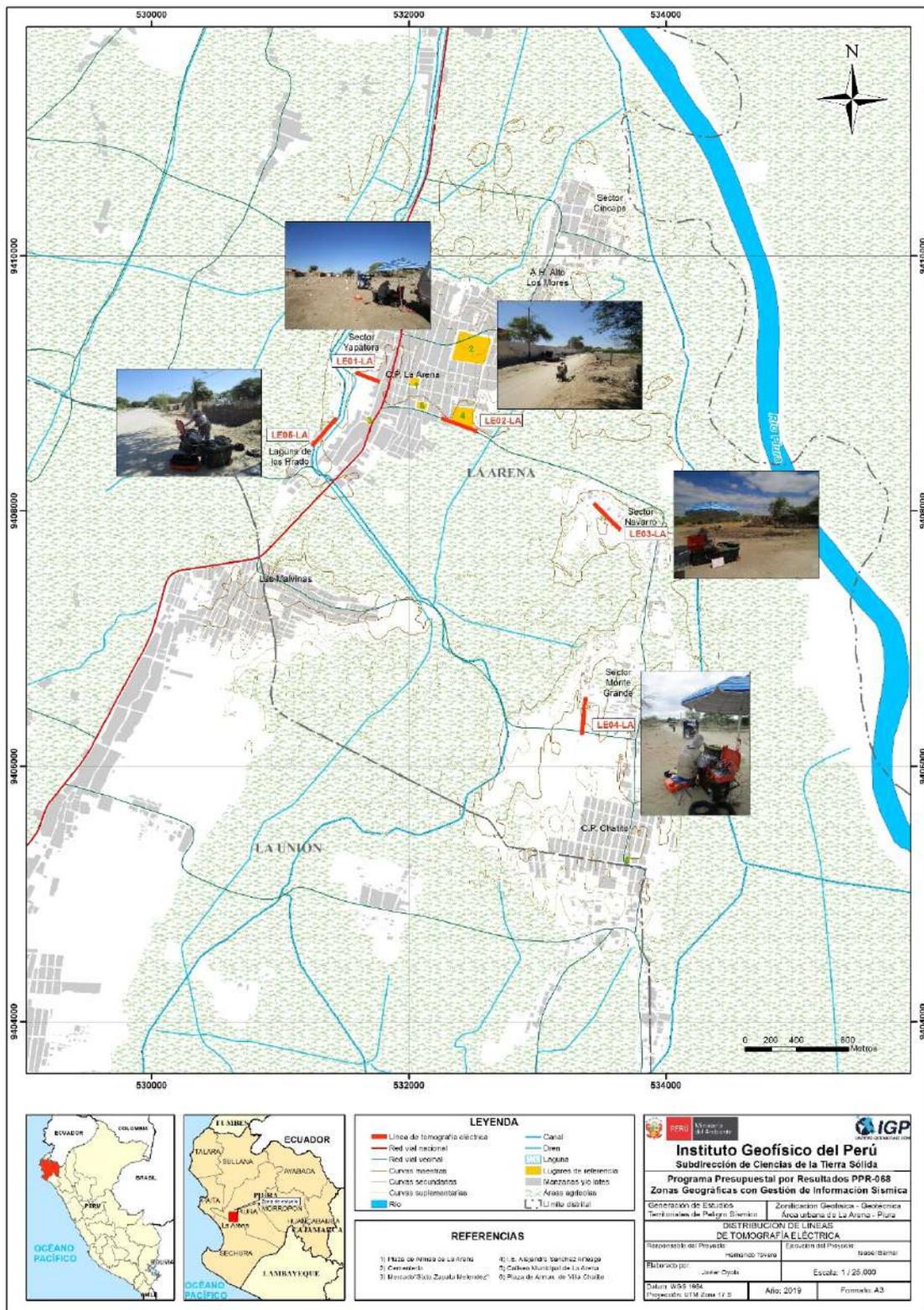


Figura 9. Distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como LE01-LA, ... LE05-LA en el área urbana La Arena.

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 La Arena, los suelos responden a frecuencias predominantes (F_0) menores e iguales a 3.0 Hz, con diferentes amplificaciones. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias identificadas en el área urbana La Arena.

3.1.1.- Frecuencias Predominantes

.- **La frecuencia predominante F_0** , según la Figura 10, fluctúa principalmente entre 1.1 a 2.8 Hz, distribuyéndose de manera uniforme en el área de estudio.

En la Figura 11, se muestra ejemplos de razones espectrales característicos para los puntos LA-009(A), LA-046(C) y LA-081(D), ubicados en el extremo norte del área de estudio, próximos a la plaza de armas, A.H. Alto los Mores y cementerio, donde se identifica un pico a frecuencias de 1.9, 2.2 y 2.0 Hz respectivamente, con bajas amplificaciones (menor a 2 veces), evidenciando la presencia de suelos consistentes en este sector.

Las razones (H/V) obtenidas para los puntos LA-103(E), LA-152(L) y LA-158(M), ubicados en el extremo SE del área de estudio, en el sector de Monte Grande y el C.P. El Chatito, donde se identifica dos picos de frecuencia, uno bien definido a 1.5, 1.8 y 1.7 Hz con amplificaciones de 3.3, 2.4 y 2.8 veces respectivamente, y otro a 3.4, 3.9 y 3.5 Hz con bajas amplificación (menores a 2 veces). La presencia de dos picos sugiere que los suelos muestran mayor complejidad en su respuesta dinámica ante sismos.

Finalmente, los puntos LA-112(G), LA-148(J) y LA-149(K), ubicados al oeste del C.P. El Chatito, presentan un pico bien definido a frecuencias de 1.5, 1.6 y 1.5 Hz con amplificaciones de 4.2, 6.1 y 5.2 veces. Asimismo, los puntos LA-110(F), LA-164(N) y LA-177(O), ubicados entre el A.H. Alto Los Mores (extremo Norte) y C.P. Chatito (extremo Sur), en los sectores Navarro y Las Malvinas, los suelos responden a frecuencias de 1.5, 1.6 y 1.4 Hz con amplificaciones de 5.4, 4.7 y 4.6 veces respectivamente. Estos mismos patrones presentan los puntos LA-036(B), LA-140(I) y LA-122(H). Las altas amplificaciones sugieren la presencia de suelos blandos.



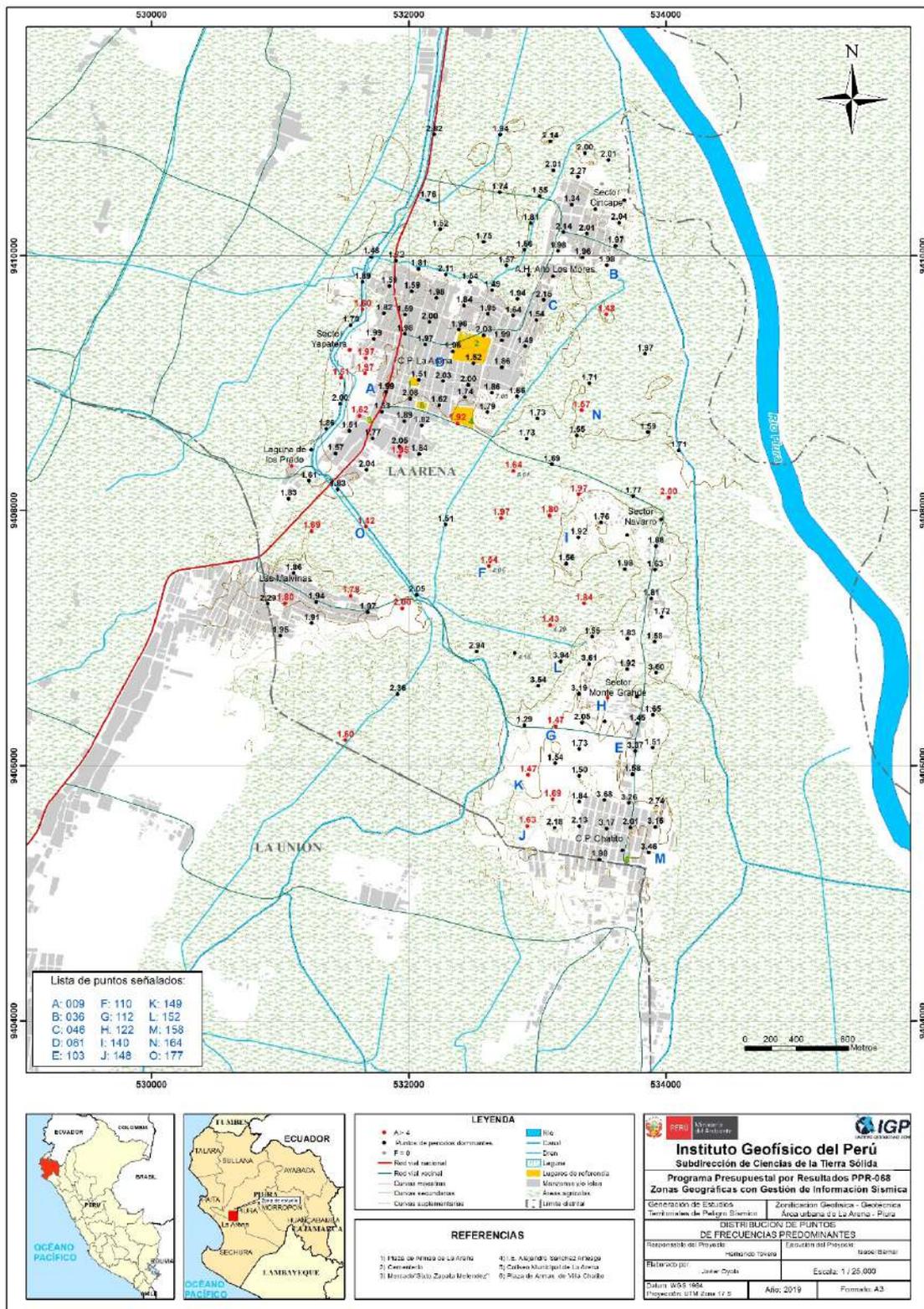
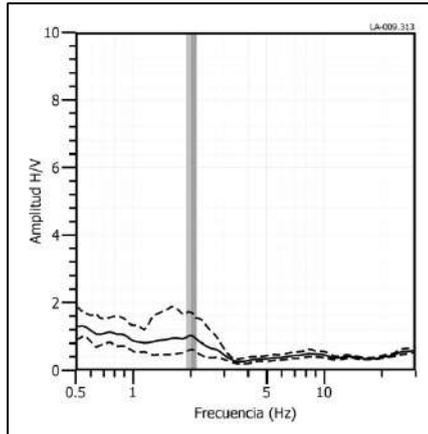
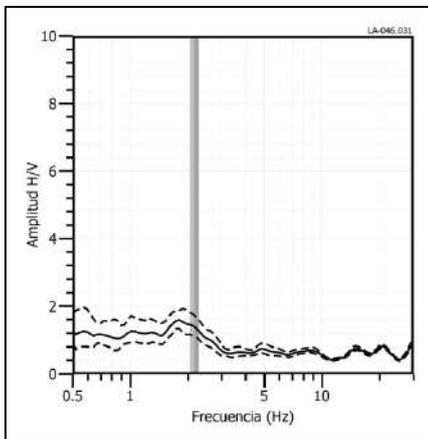


Figura 10. Distribución espacial de las frecuencias predominantes (Fo). Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 4 veces. Las letras corresponden a los puntos cuyas razones espectrales son analizadas en el informe.

LA - 009



LA - 046



LA - 081

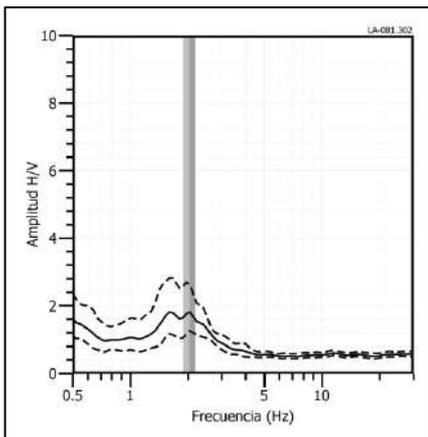
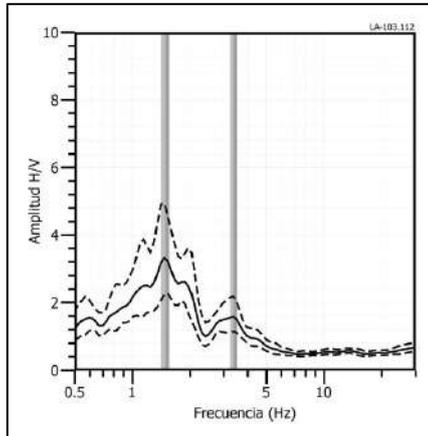


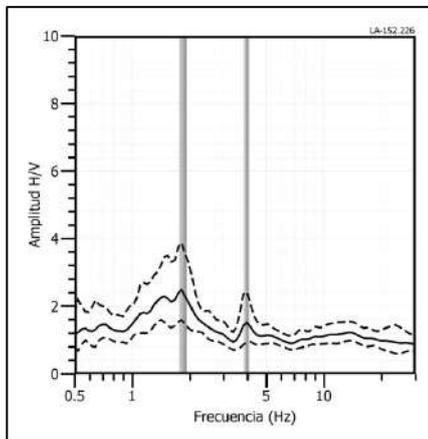
Figura 11. Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos LA-09(A), LA-46 (C) y LA-81 (D), ubicados en el centro de la ciudad, por la plaza de armas y el cementerio. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.



LA - 103



LA - 152



LA - 158

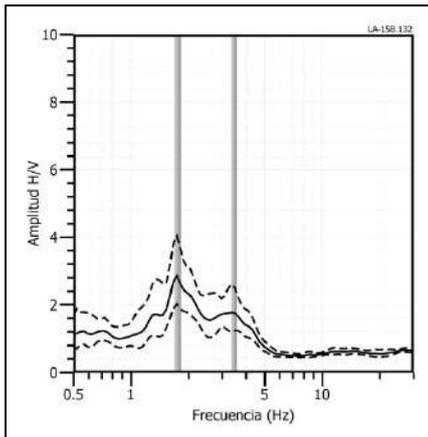
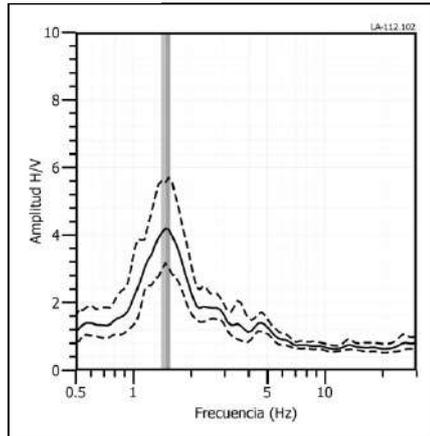


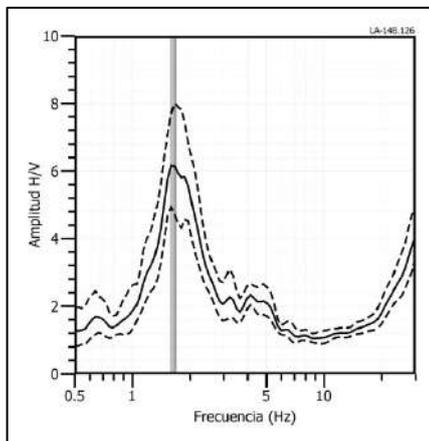
Figura 11. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos LA-103(E), LA-152 (L) y LA-158 (M), ubicados al sur, por Monte Grande y el centro poblado El Chatito. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.



LA - 112



LA - 148



LA - 149

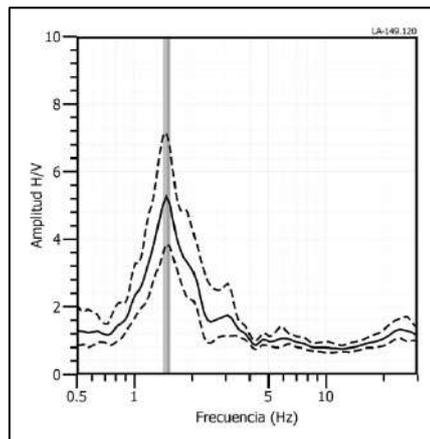
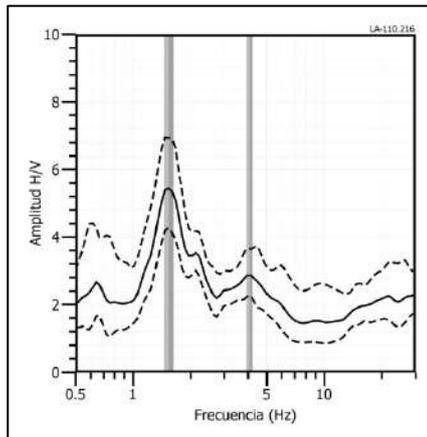


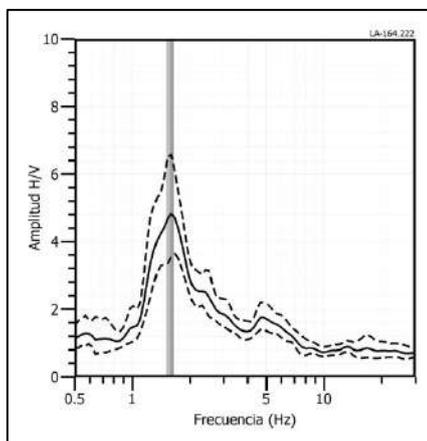
Figura 11. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos LA-112(G), LA-148(J) y LA-149(K), ubicados en al oeste del C.P. El Chatito. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.



LA - 110



LA - 164



LA - 177

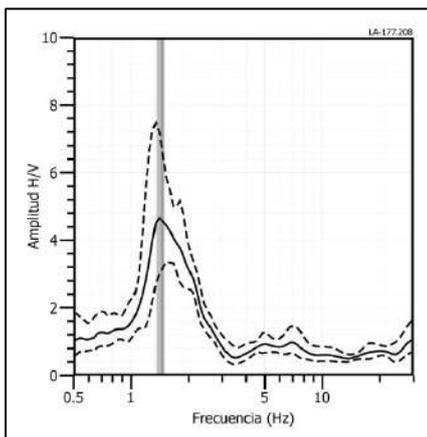


Figura 11. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos LA-110(F), LA-164 (N) y LA-177(O), ubicados al oeste del sector Navarro. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.



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 0.2 y 0.7 segundos, los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 4 veces. Hacia el extremo sur del área de estudio, se identificó picos secundarios, en el centro poblado El Chatito y el sector Monte Grande, 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 250 m/s y 300 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.5 y 0.6 segundos, se estima una capa superficial con espesores de entre 30 a 40 metros. Los resultados de este análisis sugieren que la capa superficial del suelo presenta mayor espesor hacia el extremo sur del área urbana La Arena.



Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del distrito de La Arena

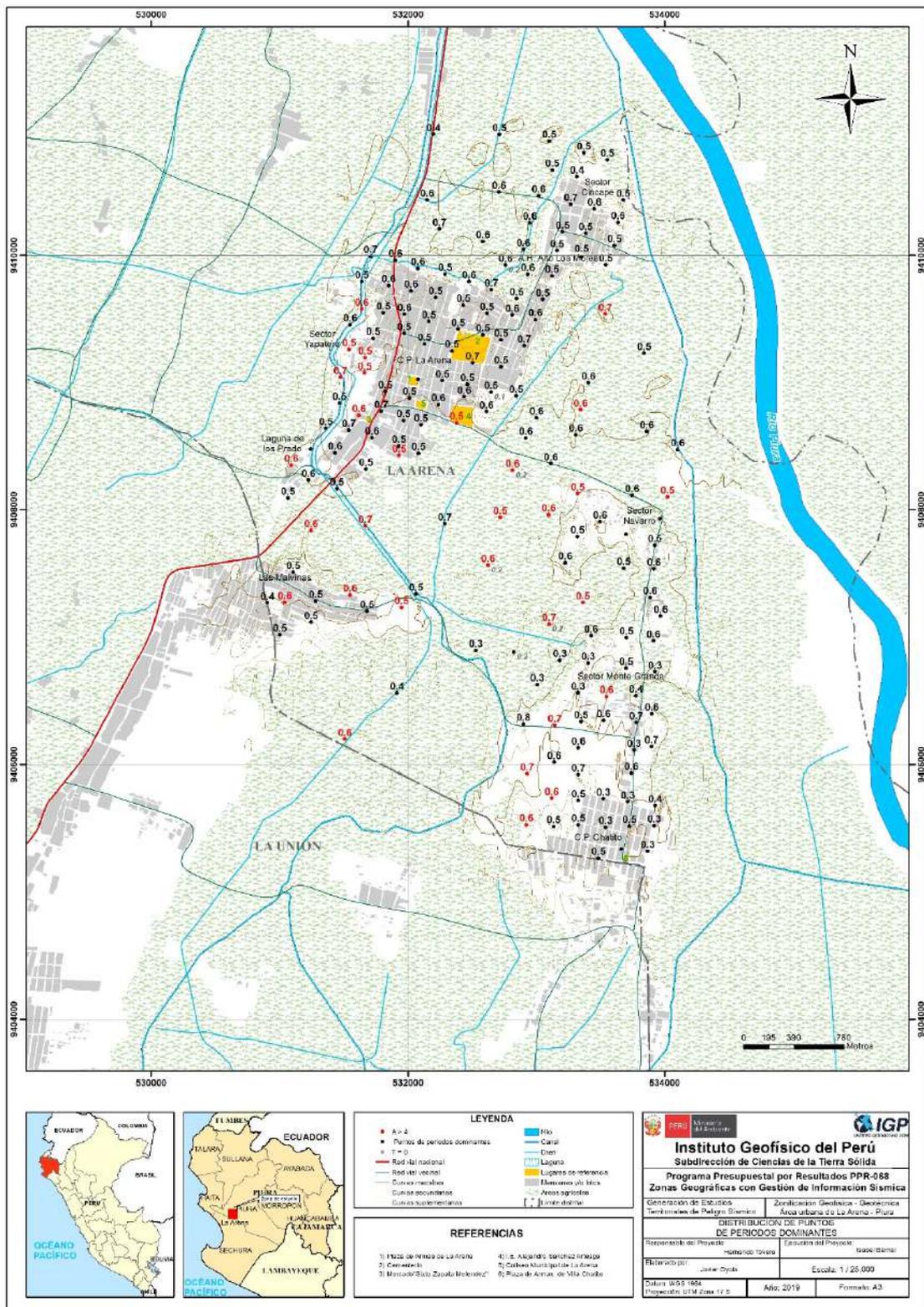


Figura 12. Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

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-LA. Para el resto de los perfiles, ver Anexo I.

Línea sísmica LS01-LA: Ubicada en el sector Yapatera. Se identifica una capa sísmica con velocidades V_s de 169 m/s y 15 metros de espesor que corresponde a suelo blando. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 244$ m/s, correspondiendo a suelo moderadamente rígido.

Línea sísmica LS02-LA: Realizada frente a la I.E. Alejandro Sánchez Arteaga. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 11 metros de espesor y velocidades V_s de 163 m/s que considera a suelo blando. La segunda capa con velocidades V_s de 239 m/s y 9 metros de espesor y el semi-espacio con velocidades $V_s > 348$ m/s.

Línea sísmica LS03-LA: Ubicada al este del área urbana, sector Navarro. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 4 metros de espesor y velocidades V_s de 244 m/s, la segunda capa, con velocidades V_s de 188 m/s cuyo espesor es de 14 metros y el semi-espacio, presenta velocidades $V_s > 257$ m/s.

Líneas sísmicas LS04-LA y LS06-LA: Ubicadas al sureste del área urbana, sector Monte Grande y C.P. Chatito. Se identifica una capa sísmica de 13 a 18 metros de espesor y velocidades V_s que varían entre 189 a 214 m/s, por debajo, el semi-espacio muestra velocidad $V_s > 343$ m/s. De acuerdo con los resultados obtenidos, el perfil corresponde a suelos blandos a moderadamente rígido.

Líneas sísmicas LS05-LA y LS08-LA: Ubicadas en el cercado del distrito, C.P. Laguna de Prados y A.H. 03 de abril, respectivamente. Se identifica una capa sísmica de 16 a 20 metros de espesor y velocidades V_s que varían entre 205 y 221 m/s, por debajo, el semi-espacio muestra velocidades $V_s > 342$ m/s.

Línea sísmica LS07-LA: Ubicada al noreste del área de estudio, en el sector Cincape. Se identifica una capa sísmica con velocidades V_s de 232 m/s y de 25 metros de espesor que corresponde a suelo moderadamente rígido. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 372$ m/s.



En la Tabla 6, se muestra el resumen de la información obtenida, la velocidad de ondas de corte Vs, su espesor y las velocidades 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		Semi-espacio		VS30 (m/s)
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
LS01-LA	169	15	244	-	-	-	200
LS02-LA	163	11	239	9	348	-	217
LS03-LA	244	4	188	14	257	-	217
LS04-LA	189	18	343	-	-	-	224
LS05-LA	221	20	348	-	-	-	247
LS06-LA	214	13	349	-	-	-	265
LS07-LA	232	25	372	-	-	-	239
LS08-LA	205	16	342	-	-	-	247

	Suelo blando ($V_s < 180$ 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 duro (800 – 1500 m/s)
	Roca dura ($V_s > 1500$ m/s)



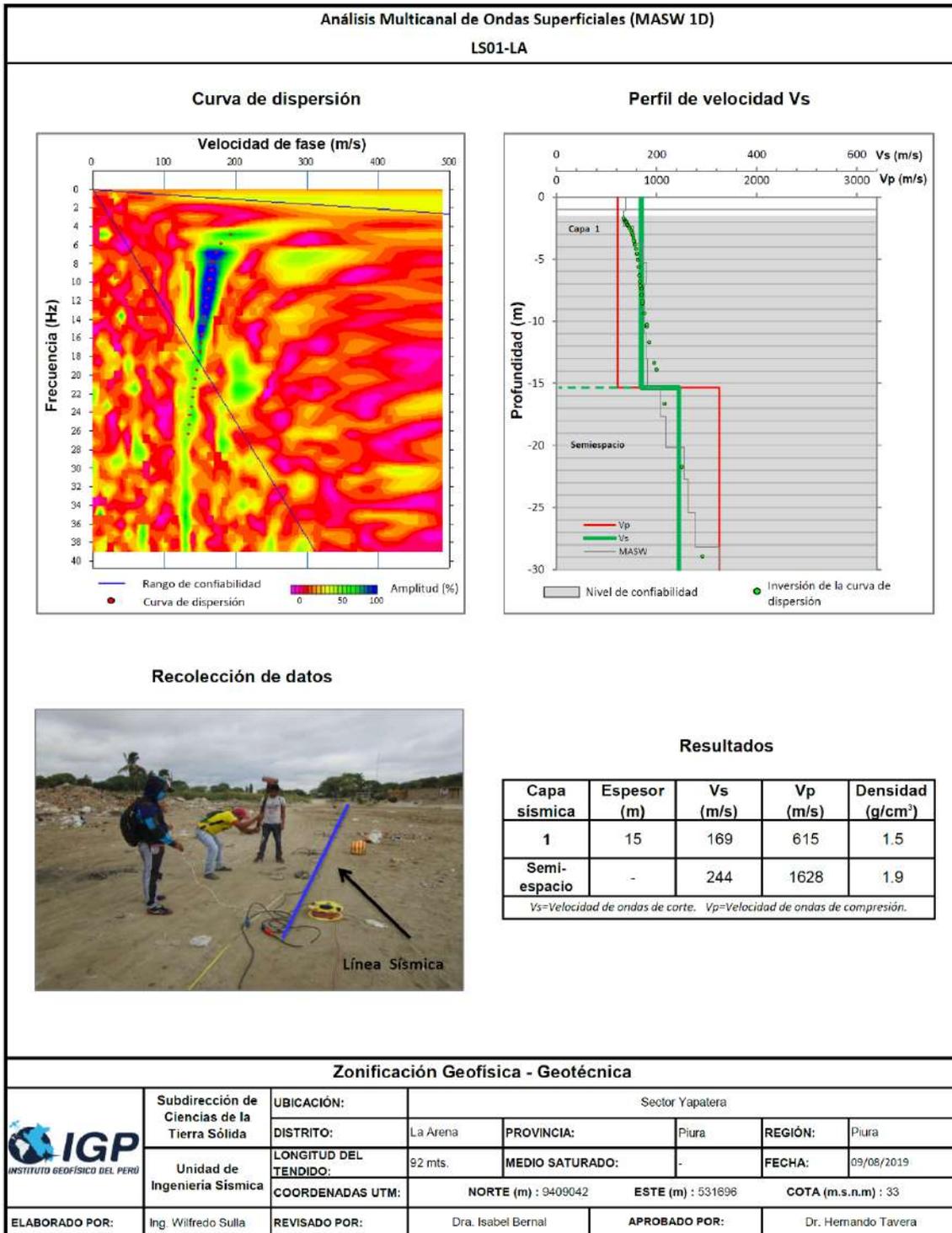


Figura 13. Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS01-LA.



Según los resultados obtenidos con el método sísmico (Figura 14) se define principalmente 2 y 3 capas sísmicas y un semi-espacio (Tabla 6) hasta una profundidad confiable de 30 metros, identificándose dos tipos de suelo; el primero caracterizado por: (1) **suelos blandos** con velocidades de corte (V_s) que varían entre 163 a 169 m/s y espesores entre 11 a 15 metros presentes en el sector Yapatera y por la I.E. Alejandro Sánchez Arteaga, en ambos lugares se observa áreas de cultivo y nivel de saturación superficial. Adicionalmente, en el sector Yapatera se sabe que existió una antigua laguna la cual desapareció a través de los años, a la fecha se observa suelos con humedad y vegetación, (Figura 15). Y (2) **Suelos moderadamente rígidos** con velocidades que varían entre 189 y 244 m/s con espesores entre 13 y 25 metros que se distribuyen en gran parte de área de estudio. Con la profundidad se incrementa el grado de rigidez del subsuelo.

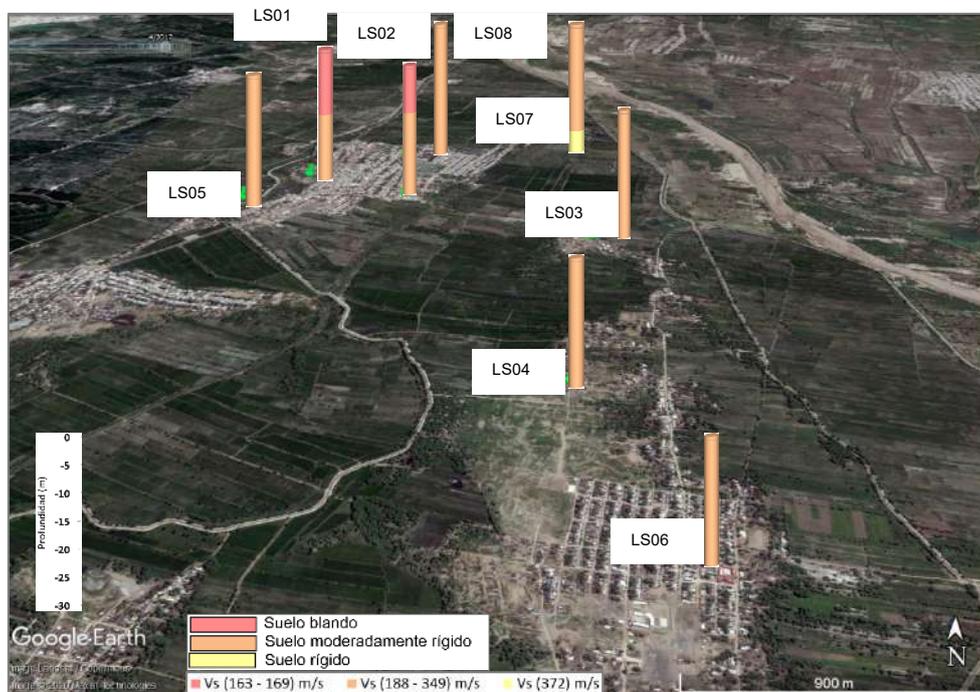


Figura 14. Distribución espacial de los perfiles del suelo sobre la superficie topográfica en el área urbana La Arena. Los puntos en verde representan la ubicación de los ensayos MASW

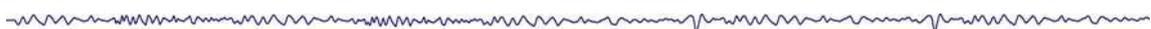




Figura 15. Suelos cuya humedad es observada en superficie en el área urbana La Arena.

3.3.- Perfiles de Tomografía Eléctrica

Se realizaron 05 líneas de tomografía eléctrica en el área urbana La Unión 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 16 y 17, imágenes con la disposición de las diferentes líneas y en la Figura 18, los resultados obtenidos para la línea LE01-LA. Para el resto de los perfiles, ver Anexo II.

Las líneas **LE01-LA**, **LE02-LA**, **LE05-LA** realizadas en el extremo oeste y noroeste en el sector la Yapatera, frente a la I.E. Alejandro Sánchez Arteaga y al C.P. Laguna de Los Prados (Figura 9), próximos al canal y dren de regadío, en estas líneas se presenta predominio de valores muy bajo resistivos ($<20 \Omega.m$), indica que el suelo presenta gran contenido de humedad por la influencia de los canales de regadío y el dren, además de la presencia de terrenos agrícolas y vegetación a los alrededores de estas, Figura 16.



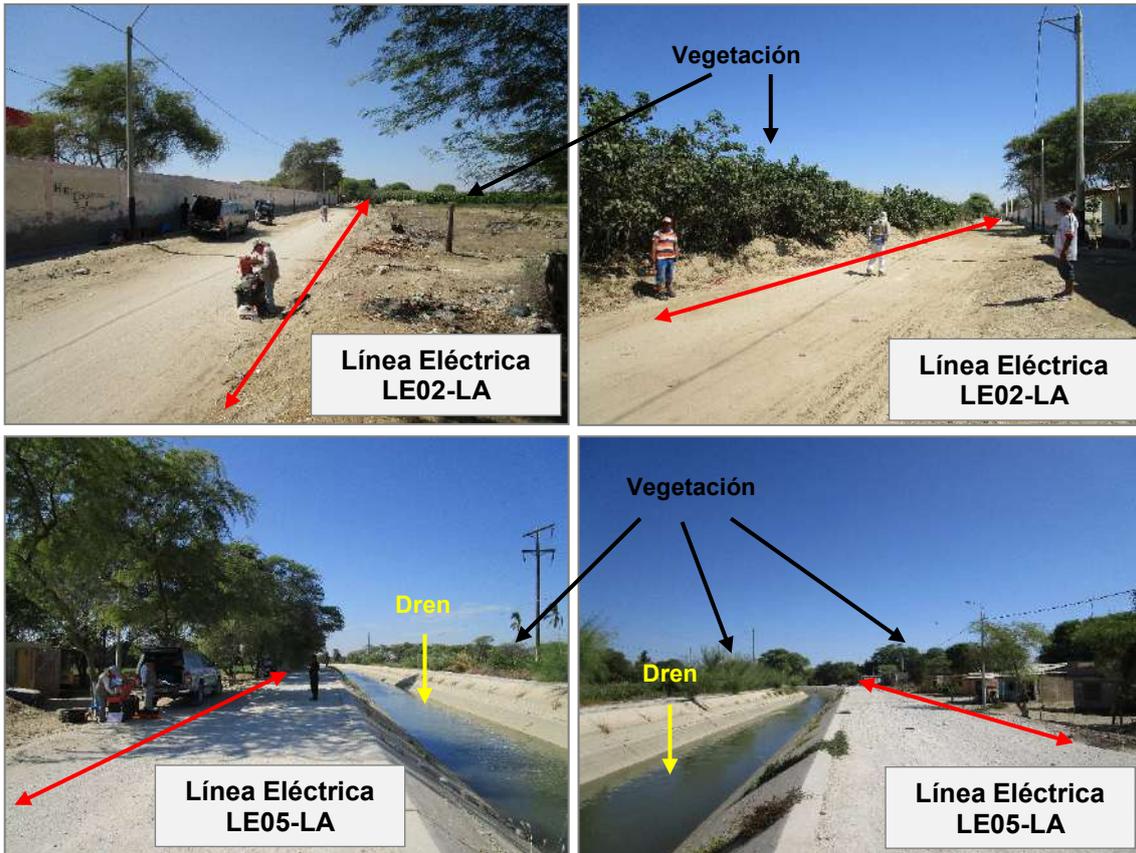


Figura 16. Vista de la línea eléctrica LE01-LA, LE02-LA y LE05-LA.

En la línea eléctrica **LE03-LA**, realizada al extremo este del área urbana en el sector Navarro. Se identifica el predominio de valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m$) desde superficie y aumenta en profundidad. En superficie se presentan valores de bajo resistivos a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$), sugiriendo que el suelo presenta alto grado de saturación asociada a la proximidad de zonas de cultivo y al río Piura.

En la línea **LE04-LA**, realizada al extremo sureste, sector Monte Grande, predominan los valores de bajo a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$), presentando humedad asociada a depósitos de arenas y limos, que presentan saturación del suelo por la proximidad de zonas de cultivo. En superficie el predominio es de los valores bajo resistivos ($<20 \Omega.m$), correspondiendo a medios saturados.



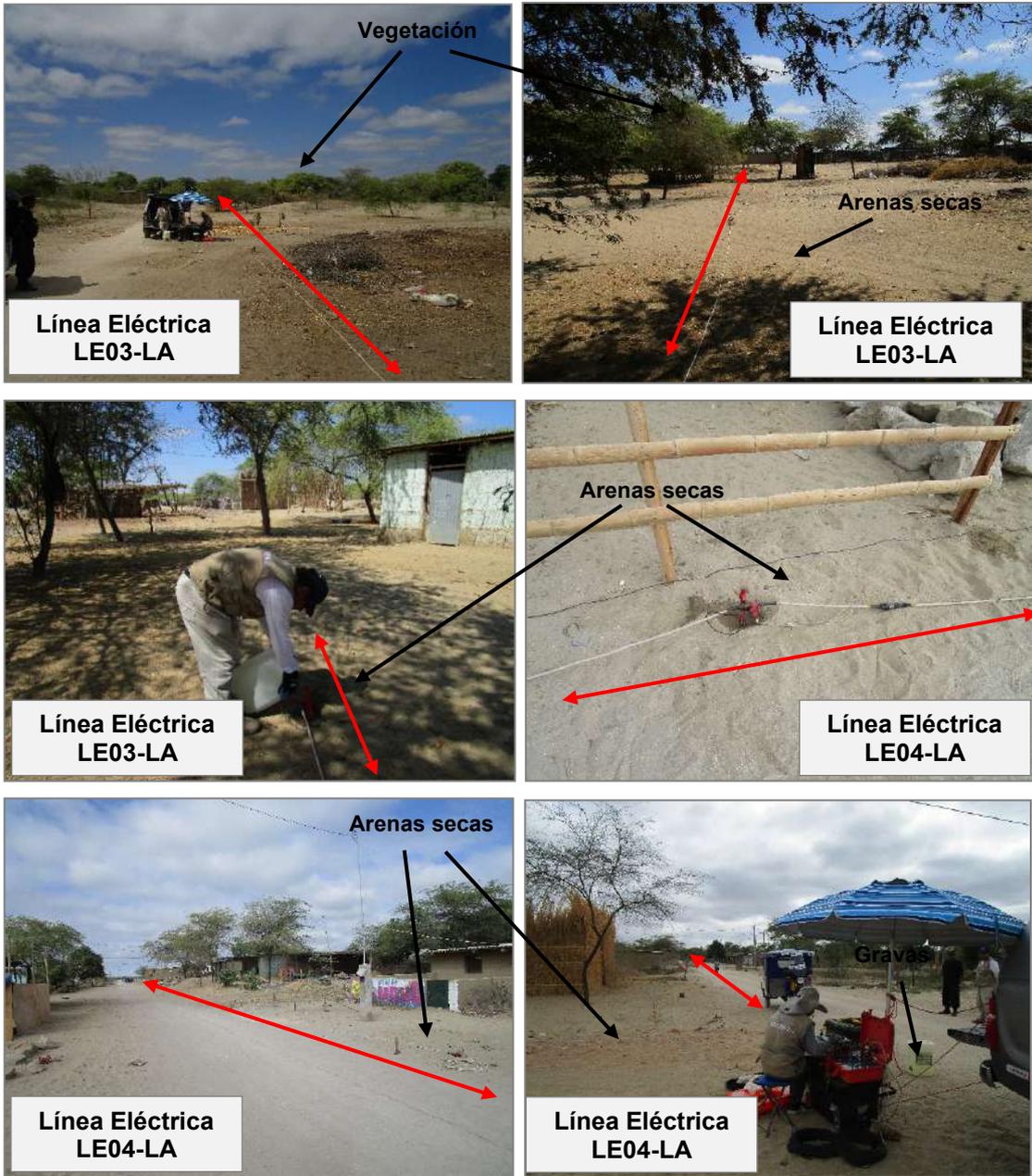


Figura 17. Vista de la línea eléctrica LE03-LA, LE04-LA.



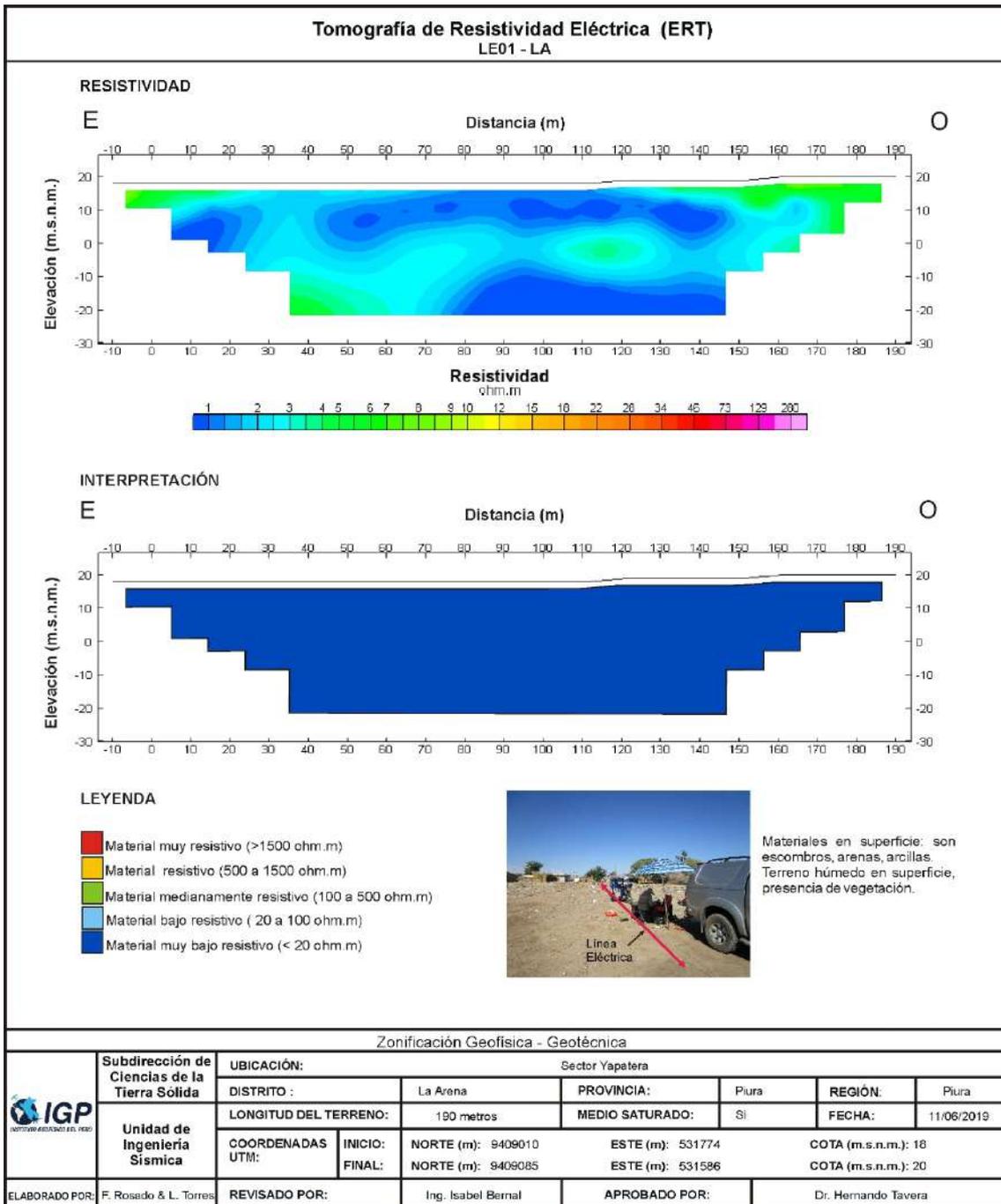


Figura 18. Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-LA.

Hacia el extremo oeste del área de estudio, los cortes geoelectricos evidencian la presencia de suelos saturados, principalmente en los sectores de la Yapatera, en los alrededores del I.E. Alejandro Sánchez y en el C.P. Lagunas de los Prados. Los niveles de saturación se presentan desde la superficie, debido a la influencia de los canales de regadío, el sistema de dren y los terrenos de cultivo, el medio saturado supera los 40 metros de profundidad desde la superficie. El suelo está caracterizado por arenas no consolidadas que permiten el almacenamiento de agua subterránea, esto aumenta la posibilidad de producirse licuación de suelo durante la ocurrencia de un evento sísmico.

Y hacia el extremo Este del distrito, se presenta un medio parcialmente saturado, tal como se observa en el sector Navarro que a nivel superficial se presenta un medio saturado y en profundidad medios no saturados. Por otro lado, en el sector de Monte Grande, hacia el sureste del área de estudio, el medio saturado se presenta desde pocos metros en superficie (entre 3 a 5 metros), por la influencia de los terrenos de cultivo, la presencia del río Piura y vegetación, estos suelos corresponden a depósitos eólicos, aluviales no consolidados que pueden almacenar agua subterránea, pudiendo formar acuíferos en profundidad



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 La Arena se encuentra a una altura promedio de 25 m.s.n.m., presenta una superficie ligeramente ondulada con pendientes bajas, condiciones geomorfológicas que influyen en los resultados.

En general el suelo responde a periodos de entre 0.5 y 0.7 segundos, cuya distribución es variada (Figura 19), los periodos de 0.5 segundos se identifican principalmente en el cercado, A.H. Altos los Mores y en el sector Cincape, y los periodos de 0.6 y 0.7 segundos se distribuyen de manera homogénea en el resto del área de estudio. De acuerdo al análisis sísmico, predominan en superficie suelos moderadamente rígidos ($V_s = 189 - 349$ m/s) con espesores que superan los 30 metros a excepción del sector norte (A.H. Alto Los Mores), siendo el espesor de la capa superficial de 25 metros.

De forma puntual, en los sectores de Yapatera y la I.E. Alejandro Sánchez Arteaga, se identifica una capa superficial entre 11 y 15 metros de espesor, cuyos suelos presentan bajas velocidades V_s ($V_s = 163 - 169$ m/s), evidenciando la presencia de suelos blandos.

Asimismo, hay un predominio de suelos saturados desde niveles próximos a la superficie (3 metros), principalmente en las áreas próximas al canal de drenaje, en los sectores Yapatera, Monte Grande y por la I.E. Alejandro Sánchez Arteaga, esto es debido a la influencia del río Piura y a la infiltración que se originan durante los periodos de lluvias intensas y/o el fenómeno de El Niño, los mismos que son mencionados con mayor detalle en los estudios realizados por CENEPRED (2017, 2018) y INRENA (2004).

Las amplificaciones máximas relativas, en el área de estudio, alcanzan valores de hasta 4 veces, evidenciando la presencia de suelos menos consistentes y con alto nivel freático, en los sectores de Yapatera, Las Malvinas y Navarro.



En general, los suelos del distrito La Arena, al estar constituido de arenas y limos, y presentar bajas velocidades de corte con un alto grado de saturación, evidencian un alto Peligro por sismo.

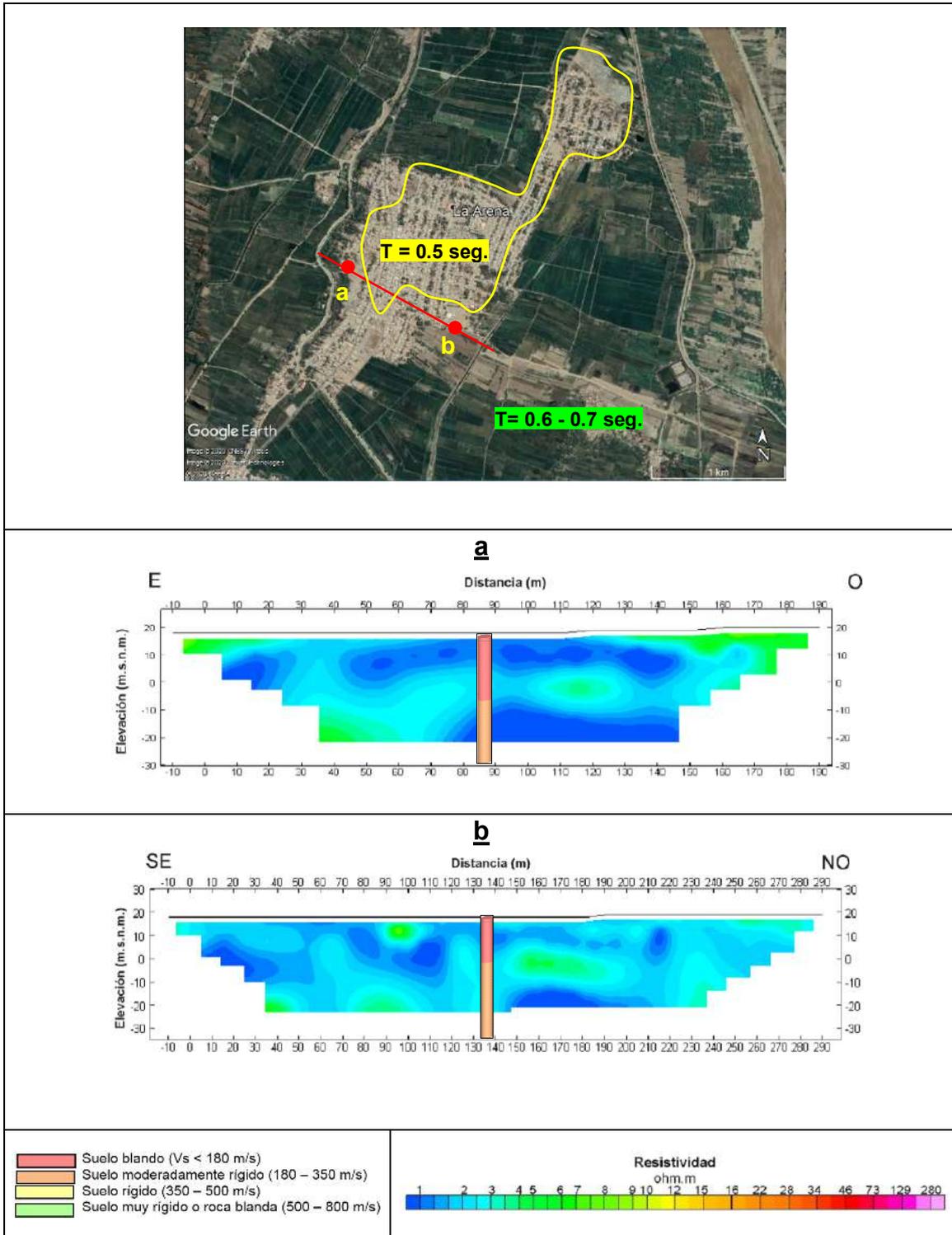


Figura 19. Correlación de los ensayos geofísicos, periodos dominantes, tipo de suelo y grado de saturación.



4.2. Mapa de Zonificación Geofísica

El mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana La Arena, se elabora en función de la integración de los resultados obtenidos del análisis geofísico y geotécnico. Las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas, han permitido identificar en el área de estudio, considerando lo indicado en la Norma Técnica de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S2 y S3. Estos tipos de suelo corresponden a las Zonas II y III respectivamente, donde predominan periodos que fluctúan entre 0.5 y 0.7 segundos.

Para el área urbana La Arena, se propone la siguiente zonificación Geofísica - Geotécnica (Figura 20).

- **ZONA I:** En el área de estudio no se identificó suelos de Tipo S1, debido a que los suelos superficiales presentan velocidades de ondas de corte menores a 370 m/s.

- **ZONA II:** Considera suelos constituidos por estratos de arenas (depósito eólico). Presenta velocidades de ondas de corte V_s de 230 m/s en promedio para la capa superficial y de hasta 372 m/s a la profundidad investigada de 30 metros, con periodos de vibración natural de 0.5 segundos, ambos definen la existencia de suelos Tipo S2, cuyo comportamiento es medianamente rígido (NTE.030). Los suelos presentan moderado saturamiento y una capacidad de carga admisible de entre 1.0 a 2.0 Kg/cm² a un metro de profundidad. Esta zona comprende el área ubicada entre la plaza de armas, el A.H. Alto Los Mores y parte del sector Cincape.

- **ZONA III:** Considera suelos constituidos por estratos de arenas y limos (depósito aluvial). Esta zona presenta, suelos con velocidades de ondas de corte V_s de 200 m/s en promedio para la capa superficial y de hasta 348 m/s a la profundidad investigada de 30 metros, con periodos de vibración natural que varían entre 0.6 y 0.7 segundos, ambos definen la existencia de suelos Tipo S3, que tienen un comportamiento blando (NTE.030). Los suelos presentan de moderado a alto grado de saturamiento desde pocos metros de la superficie (3 metros) y una capacidad de carga admisible menor a 1.0 Kg/cm² a un metro de profundidad. Esta zona comprende el 85 % del área de estudio y se identifica en el C.P. Chatito, y los sectores de Monte Grande, Navarro, extremo sur de Cincape, Las Malvinas, Laguna de los Prados, Yapatera y por la I.E. Alejandro Sánchez Arteaga.

Las líneas inclinadas de color verde delimitan áreas que se encuentra influenciado por un segundo rango de periodos bajos que varían entre 0.2 y 0.3 segundos, comprende el sector de Monte Grande y C.P. Chatito.



En las zonas II y III, las líneas inclinadas en rojo delimitan áreas donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 3 veces, sugieren que los mayores sacudimientos se presentarán en los sectores de Navarro, Yapatera, Las Malvinas y C.P. Chatito.

Asimismo, en la Figura 20 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 Cincape, Navarro, Yapatera y las Malvinas.

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.



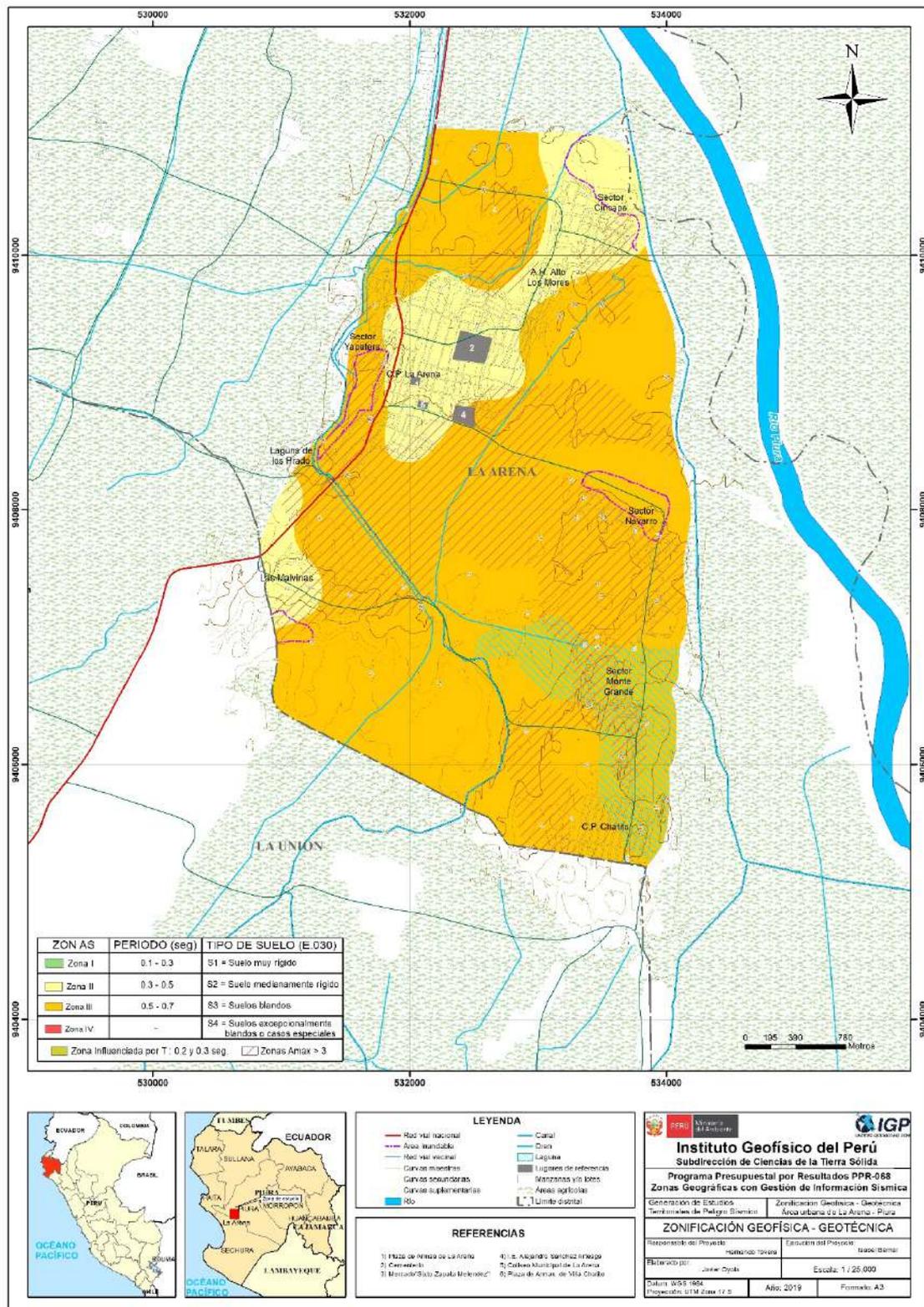


Figura 20. Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica del área urbana La Arena.

9. CONCLUSIONES

- La Arena se caracteriza por presentar tres unidades geomorfológicas: llanuras, depresiones y dunas, las dos primeras conformadas por materiales aluviales (arenas, limos, arcillas) y la restante constituida por arenas eólicas sobre el cual se asienta el área urbana de La Arena.

Los eventos geodinámicos reconocidos en la zona de estudio fueron las inundaciones suscitadas por la saturación en zonas de depresiones a causa de las intensas precipitaciones en periodos ENSO (126,1 mm el 21 de marzo del 2017 – El Niño Costero), que afectan los sectores urbanos de Alto Los Mores, Sincape, Alto de Los Castillos, Nuevo Montegrando, Montegrando, Malvinas, San Pedro II etapa, Chatito y el centro urbano de La Arena.

- En base a los resultados de los ensayos geotécnicos y del laboratorio de suelos se ha determinado que los tipos de suelos presentes en la ciudad de La Arena son cuatro (4): arenas mal graduadas (SP), arenas limosas (SM), arena mal graduada con arena limosa (SP-SM) y limo inorgánico (ML), los cuales presentan compacidad baja (muy sueltas a sueltas) y capacidad de carga portante muy baja ($<1.00 \text{ kg/cm}^2$) a baja ($1.00 - 2.00 \text{ kg/cm}^2$).
- Los suelos del distrito La Arena responden principalmente a frecuencias de entre 1.1 y 2.8 Hz con amplificaciones de hasta 4 veces. De manera local, los suelos del sector Monte Grande y el C.P. Chatito, muestran sensibilidad a un segundo pico a frecuencias de 3.0 y 4.0 Hz con bajas amplificaciones (menor a 2 veces).
- Las altas amplificaciones sugieren que los suelos superficiales en el C.P. Chatito los sectores de Monte Grande, Navarro, extremo sur de Cincape, Las Malvinas, Laguna de los Prados y Yapatera presentan menor consistencia. A diferencia de lo observado en el área ubicada entre la plaza de armas, el A.H. Alto Los Mores y extremo norte de Cincape, donde los suelos presentan mayor consistencia.
- El periodo dominante del suelo (T_0) varían entre 0.2 y 0.7 segundos, siendo los $T_0 > 0.4$ segundos los predominantes en el área de estudio, y los valores de $T_0 = 0.2 - 0.3$ segundos, un periodo secundario de respuesta, el cual se distribuye localmente hacia el extremo sur del área de estudio, en el centro poblado El Chatito y el sector Monte Grande. Mediante la relación $T_0=4H/V_s$, y asumiendo velocidades de 250 m/s y 300 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.5 y 0.6 segundos, se estima una capa superficial con espesores de entre 30 a 40 metros. Los resultados de este análisis sugieren que la capa superficial del suelo presenta mayor espesor hacia el extremo sur del área urbana del distrito.



- De los resultados obtenidos con el método sísmico, se identificó dos tipos de suelo; el primero caracterizado por: **suelos blandos** con velocidades de corte (V_s) que varían entre 163 a 169 m/s y espesores entre 11 a 15 metros que se distribuyen en el sector Yapatera y por la I.E. Alejandro Sánchez Arteaga. Y **suelos moderadamente rígidos** con velocidades que varían entre 189 y 244 m/s con espesores entre 13 y 25 metros. Con la profundidad se incrementa el grado de rigidez.
- 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 un solo tipo de suelo, con rangos de velocidad V_{s30} entre 200 a 265 m/s lo cual sugiere suelos medianamente rígidos emplazados en toda el área de estudio.
- Al oeste del distrito, se identifica la presencia de suelos saturados, principalmente en los sectores de la Yapatera, en los alrededores de la I.E. Alejandro Sánchez, C.P. Chatito y en el C.P. Lagunas de los Prados. Y conforme se tiende hacia el extremo Este del área de estudio, presenta un medio parcialmente saturado.
- Los resultados obtenidos para el área urbana La Arena 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 S2 y S3.



10. RECOMENDACIONES

- Implementar red de drenajes en los sectores donde ocurren las inundaciones para mitigar los daños generados (proliferación de enfermedades infecciosas y virales) por estos.
- Se debe tener en cuenta que los suelos en la ciudad de La Arena presentan dos características importantes, la primera es que están conformados por arenas mal graduadas, arenas limosas de compacidad relativa sueltas a muy sueltas, la segunda es la capacidad portante de los mismos, la cual es baja a muy baja, esto podría contribuir a la ocurrencia de asentamientos.



11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Academy Press, Transportation Research Board Special report 176. 9-33 p Braja Das, (2011)
 - Principles of Foundation Engineering, Seven Edition, pág. 139-140.
- 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, pag. 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>.
- 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.
- Cenepred, (2018) – Informe De Evaluación De Riesgo Por Inundación Pluvial En Los Centros Poblados Chatito-Canizal Chico, Distrito De La Arena, Provincia De Piura, Departamento De Piura
- Crespo V., C., (2004) - Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 5ta edición.
- COEN-INDECI (Informe N° 62), 2017-INFORME N° 855-21/12/2017
- CISMID, (2016) - Densidad de campo. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Laboratorio Geotécnico.
- Chow, V., T., Maidment, D., R., & Mays, L., W., (1994) - Hidrología Aplicada Bogotá, McGrawHill, pág. 584.



- De Marco, Pietro, (2002) - Corrección del índice de resistencia a la penetración. Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2002. 315 p.
- Diario El Comercio, (2015) – Máncora pierde el 70% de su humedal debido a invasiones
- 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.
- 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, N° 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.
- GITS-Grupo de Investigación de Transporte de Sedimentos.
- GORE Piura, (2006) – Estudio De Diagnostico Y Zonificación Para El Tratamiento De La Demarcación Territorial En La Provincia De Piura
- 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.
- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. Bull. Seism. Soc. Am. 82, 2308-2327
- Howie D., & Sy, (2003) - A method for correlating large penetration test (LPT) to standard penetration test (SPT) blow counts.
- Hutchinson, J., N., (1968) - Mass Movement. In the Enciclopedia of Geomorphology (Fairbridge, R.W., ed., Reinhold Book Corp., New York). 668-696 p.
- 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.
- INEI. (2007). Censo Nacional 2007: XI de Población y VI Vivienda. Lima- Perú. INEI. Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>
- INEI. (2017). Censo Nacional 2017: XII de Población, VII Vivienda y III de comunidades indígenas. Lima- Perú. INEI. Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2017/tabulados/#>



- Juárez, E., y Rico, A. (2005) - Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Segunda Edición. Limusa S.A. México D.F.
- Jica (Agencia de Cooperación Internacional Japonesa- Ministerio de Agricultura, (2012) Hidrología de Máximas avenidas del río Chira, Apéndice - 5
- 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. 2016. 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.
- Palacios, O, (1994) - Geología de los cuadrángulos Paita 11-a, Piura11-b, Talara 10-a , Sullana 10-b, Lobitos 9-a, Quebrada Seca 9-b, Zorritos 8-b, Tumbes 8-c y Zarumilla 7-c. Serie A: Carta Geológica Nacional. Boletín N° 54. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico-INGEMMET.
- 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.
- Reynolds, J.M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Romaní, F. et al. (2017). Informe de evaluación de riesgo por inundación pluvial en el centro poblado La Arena, Distrito La Arena, provincia de Piura, departamento de Piura. Informe técnico. CENEPRED. p 64.
- Romaní, F. et al. (2018). Informe de evaluación de riesgo por inundación pluvial en el centro poblado Chatito – Canizal Chico, Distrito La Arena, provincia de Piura, departamento de Piura. Informe técnico. CENEPRED. p 69.
- 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
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), (2018). <http://www.senamhi.gob.pe/>
- 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.
- 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 sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974)* primera edición digital, noviembre 2012.

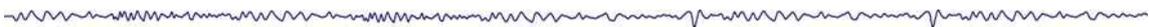


- Silgado, E. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513 -1974). INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 3, 130 p.
- Tarbuck, E., D. Lutgens, F., K., (2005) - Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física Prentice Hall. Cap16. 8a edición. 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.
- 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.
- Zenteno, E y **Sánchez, C. (2004)**. Inventario de fuentes de aguas subterráneas en el valle medio y bajo de Piura. Informe técnico. INRENA. p 143.
- Zinck, J. & Valenzuela, C., (1990) – Soil geographic database: structure and application examples. ITC Journal, 1990(3), 270-294



ANEXO I

Perfiles Sísmicos MASW



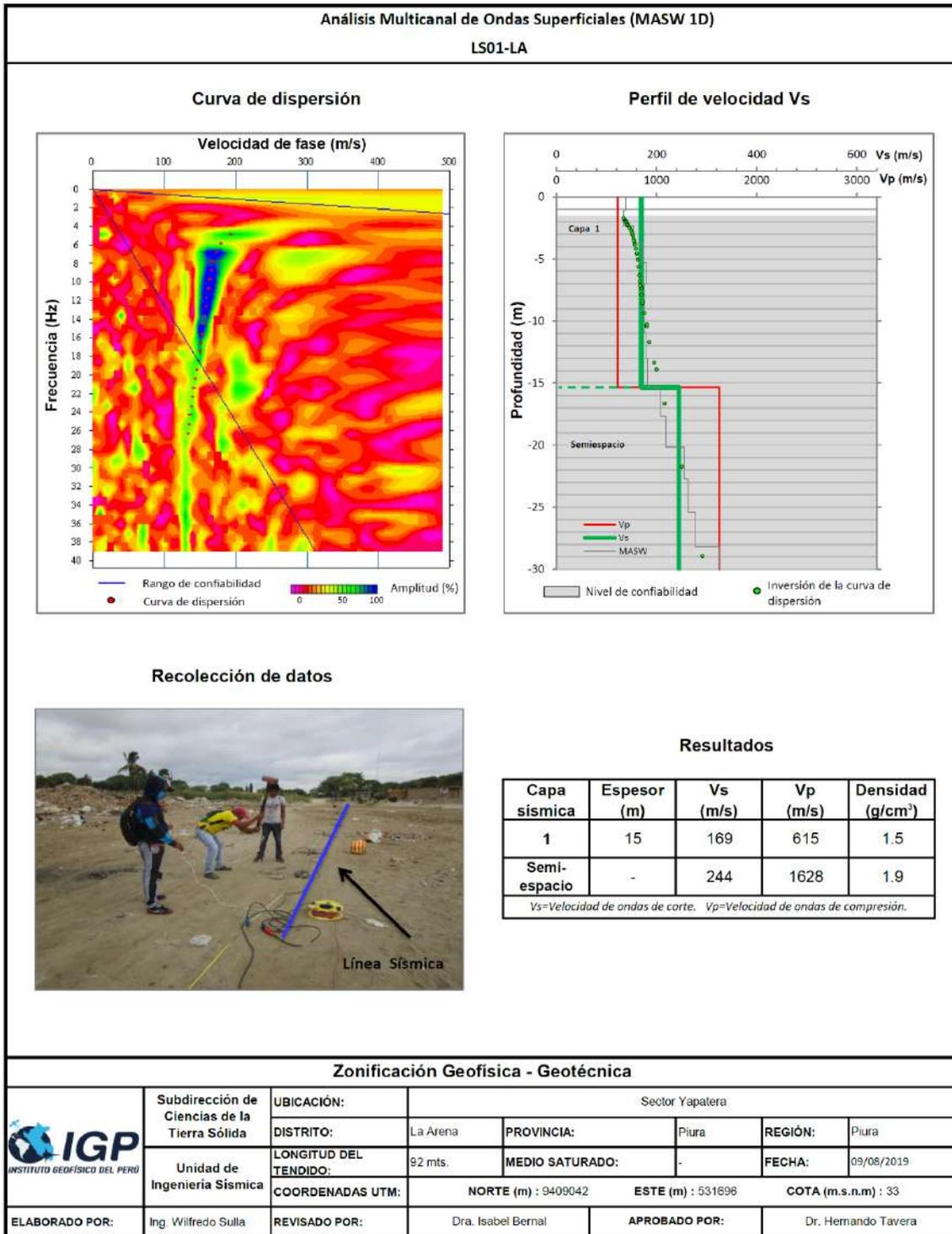


Figura 13. Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS01-LA



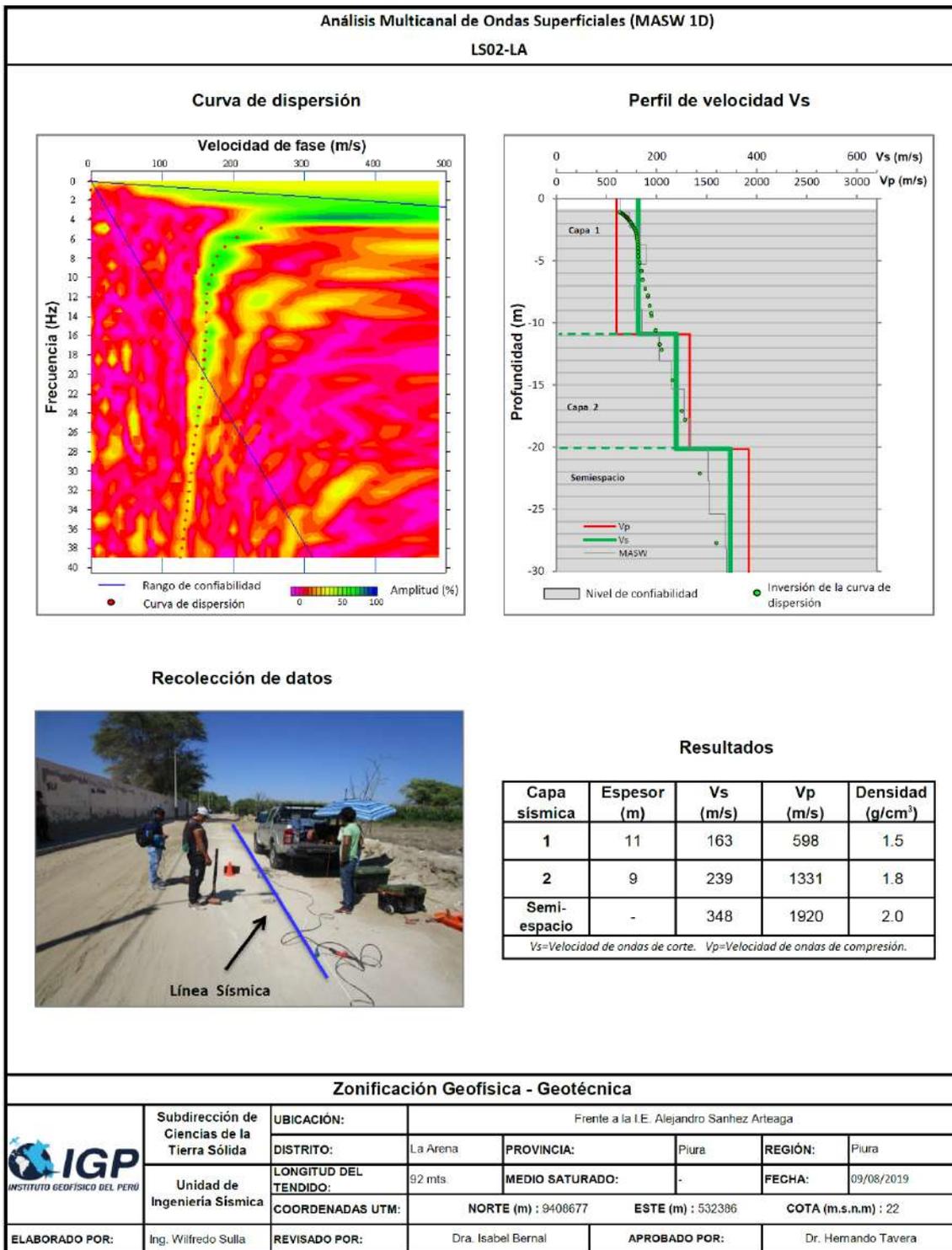


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS02-LA



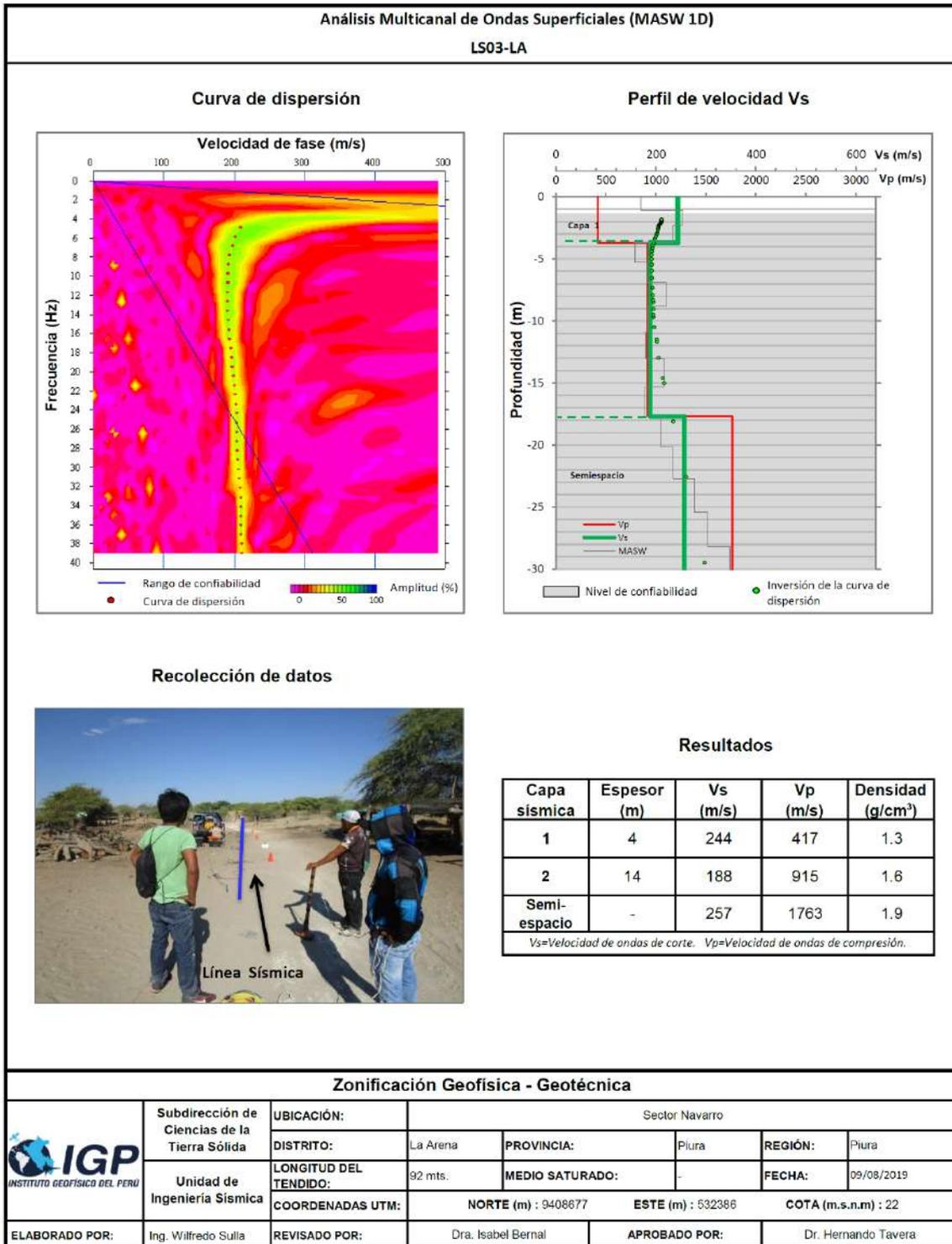


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS03-LA



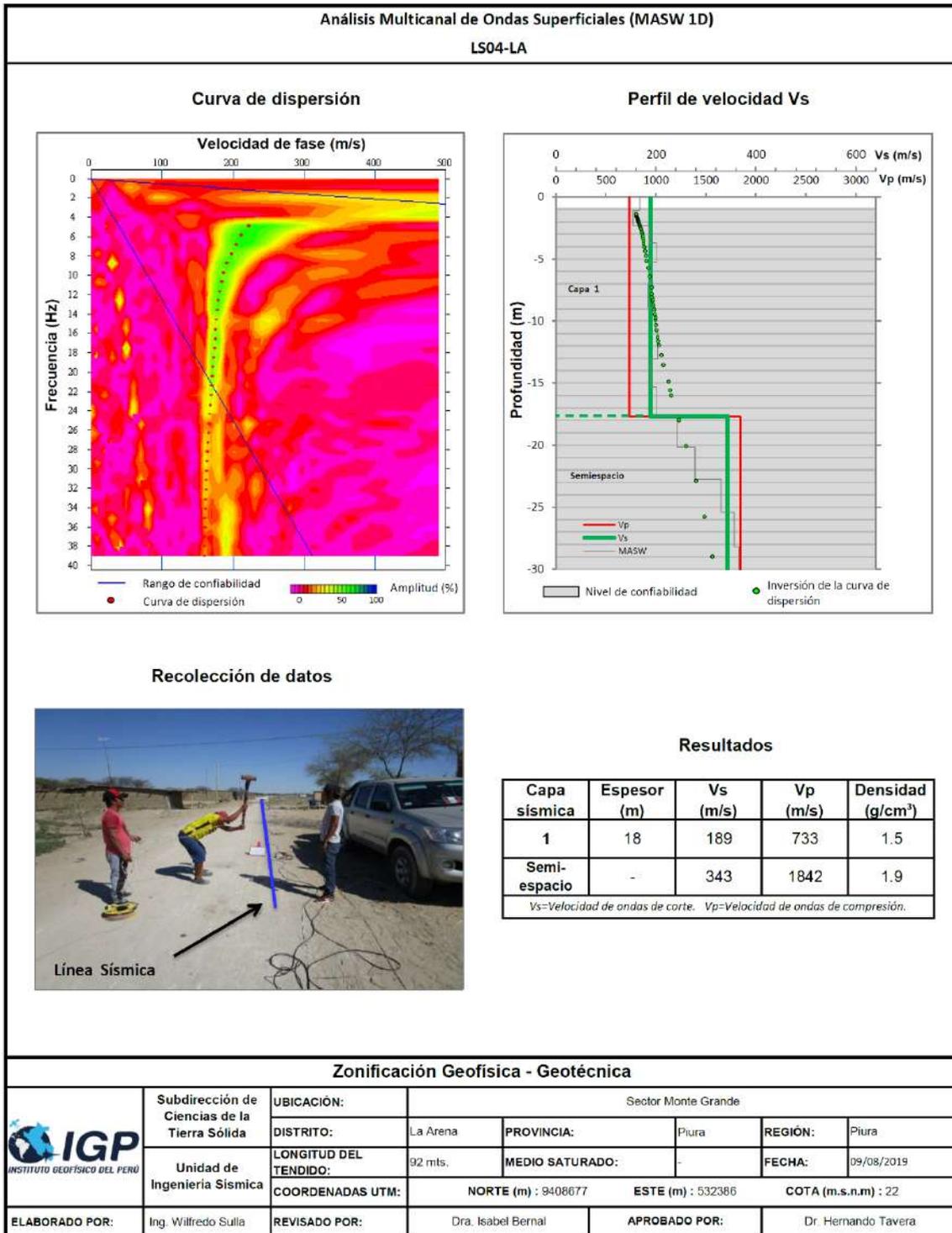


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS04-LA



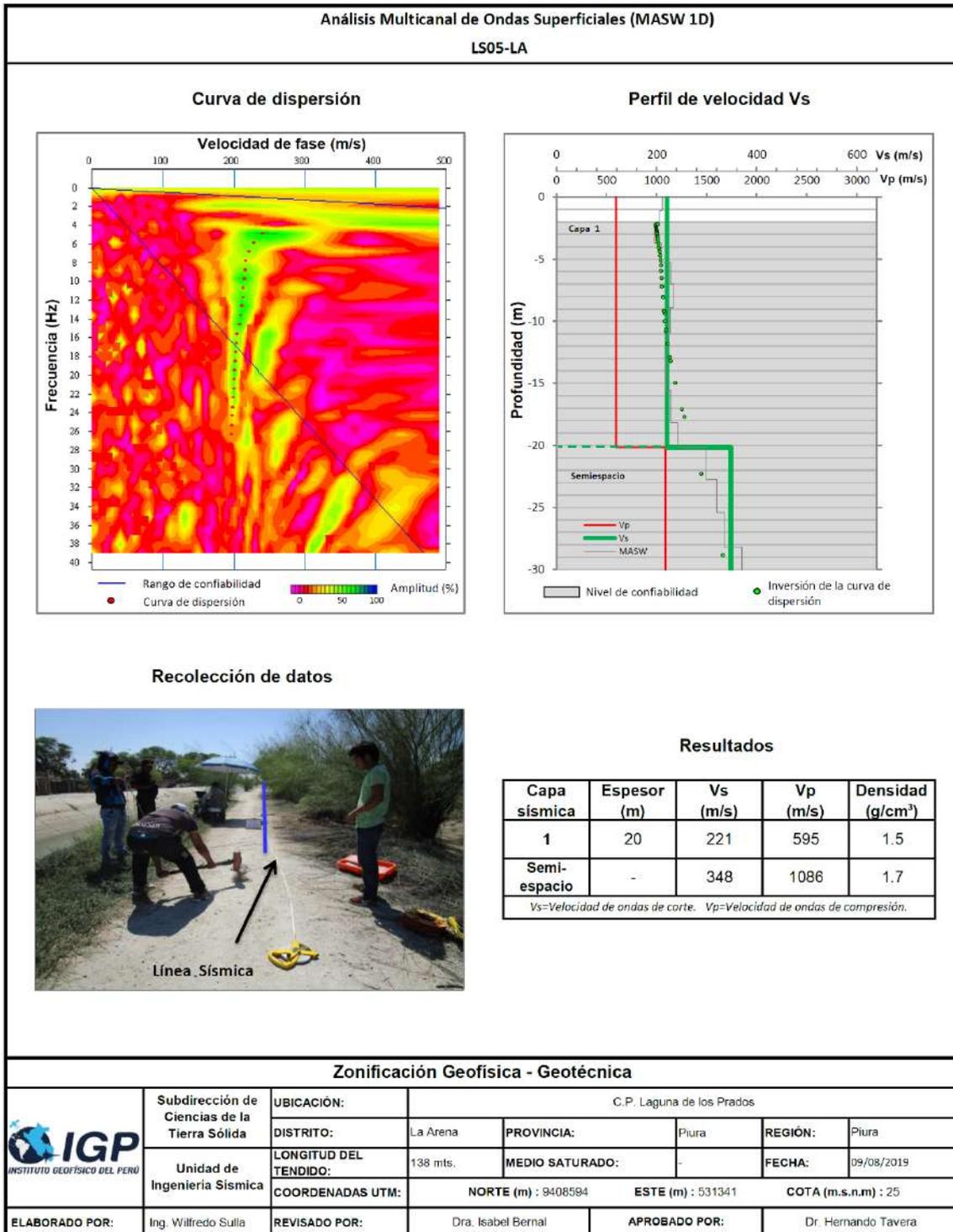


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS05-LA



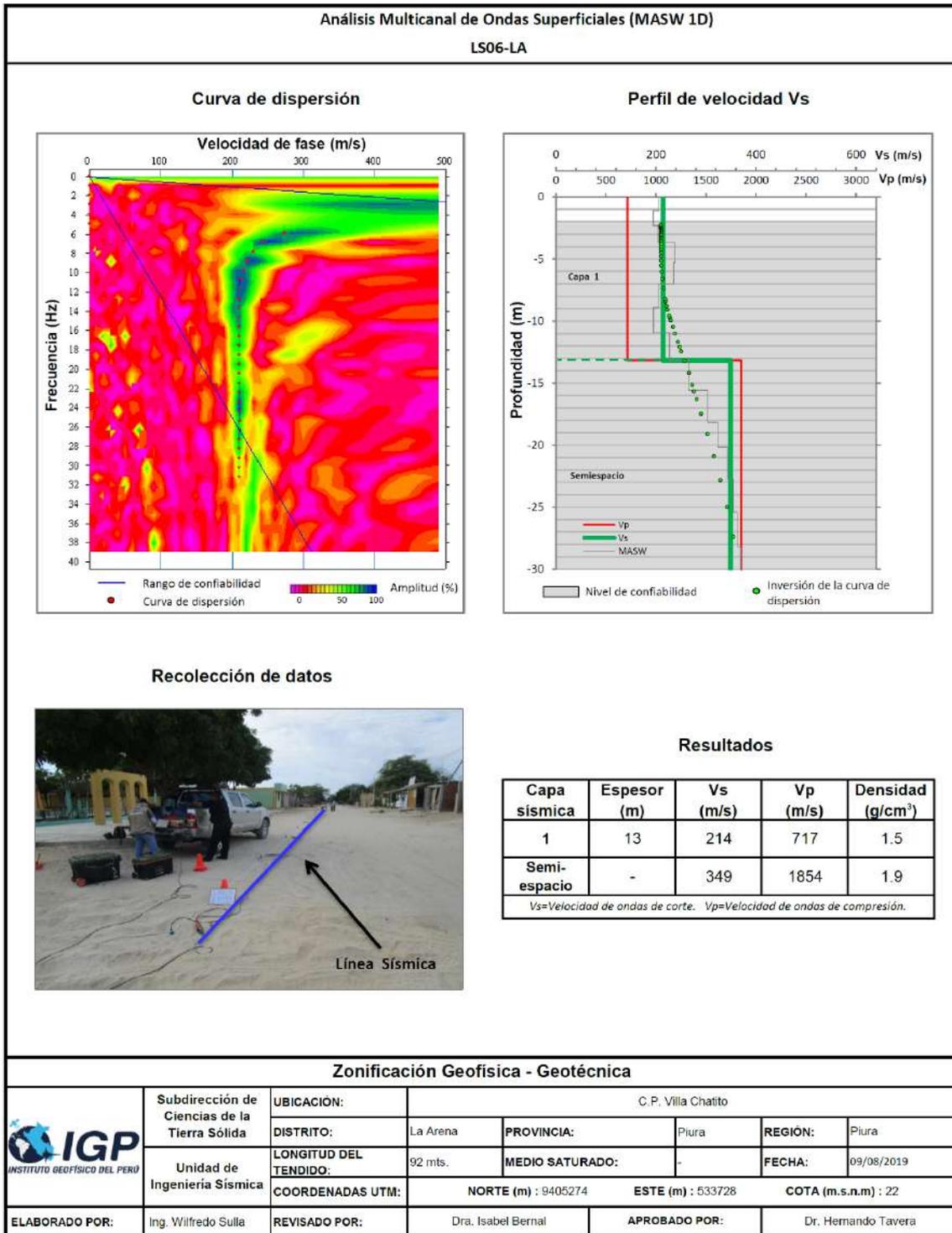


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS06-LA



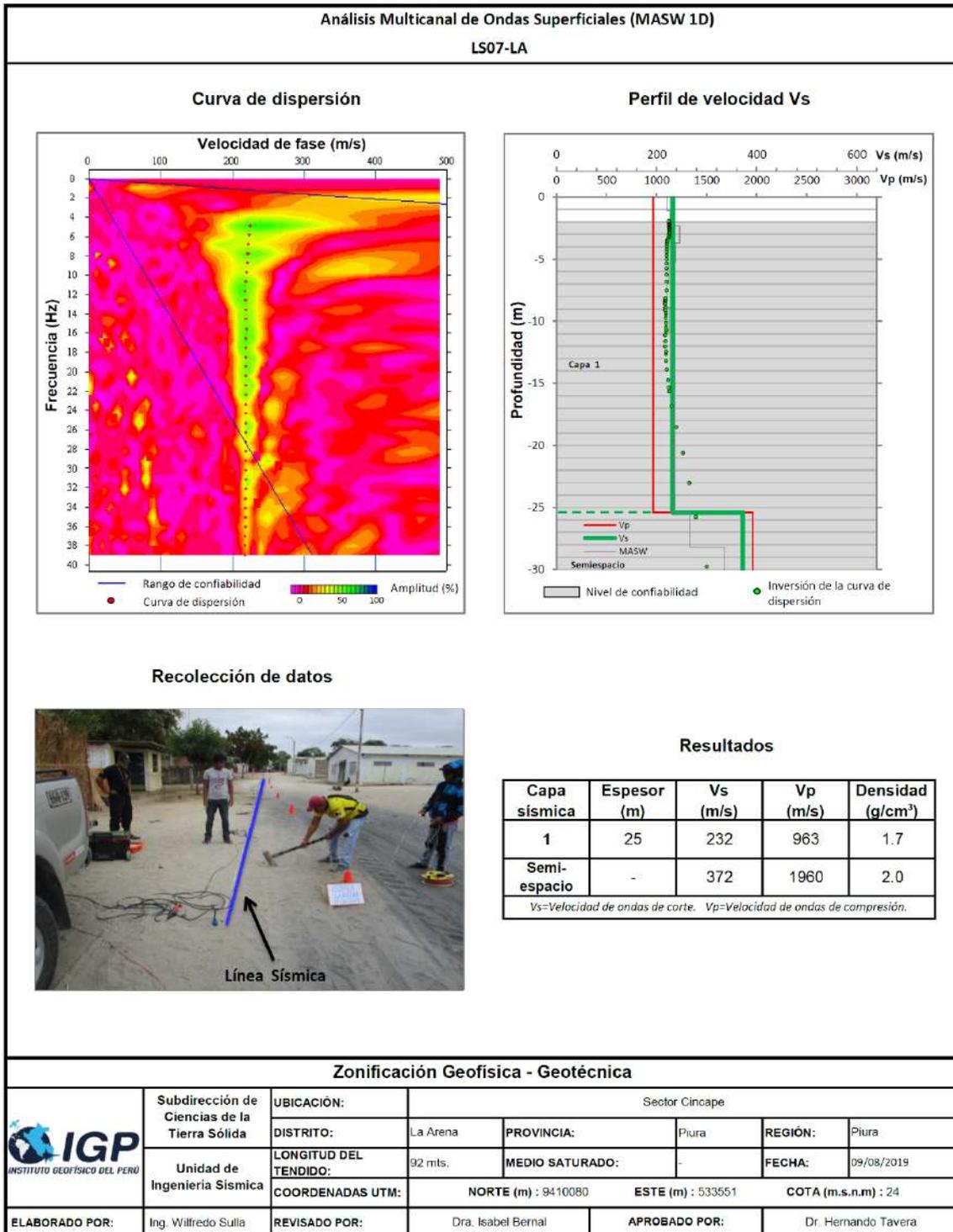


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS07-LA



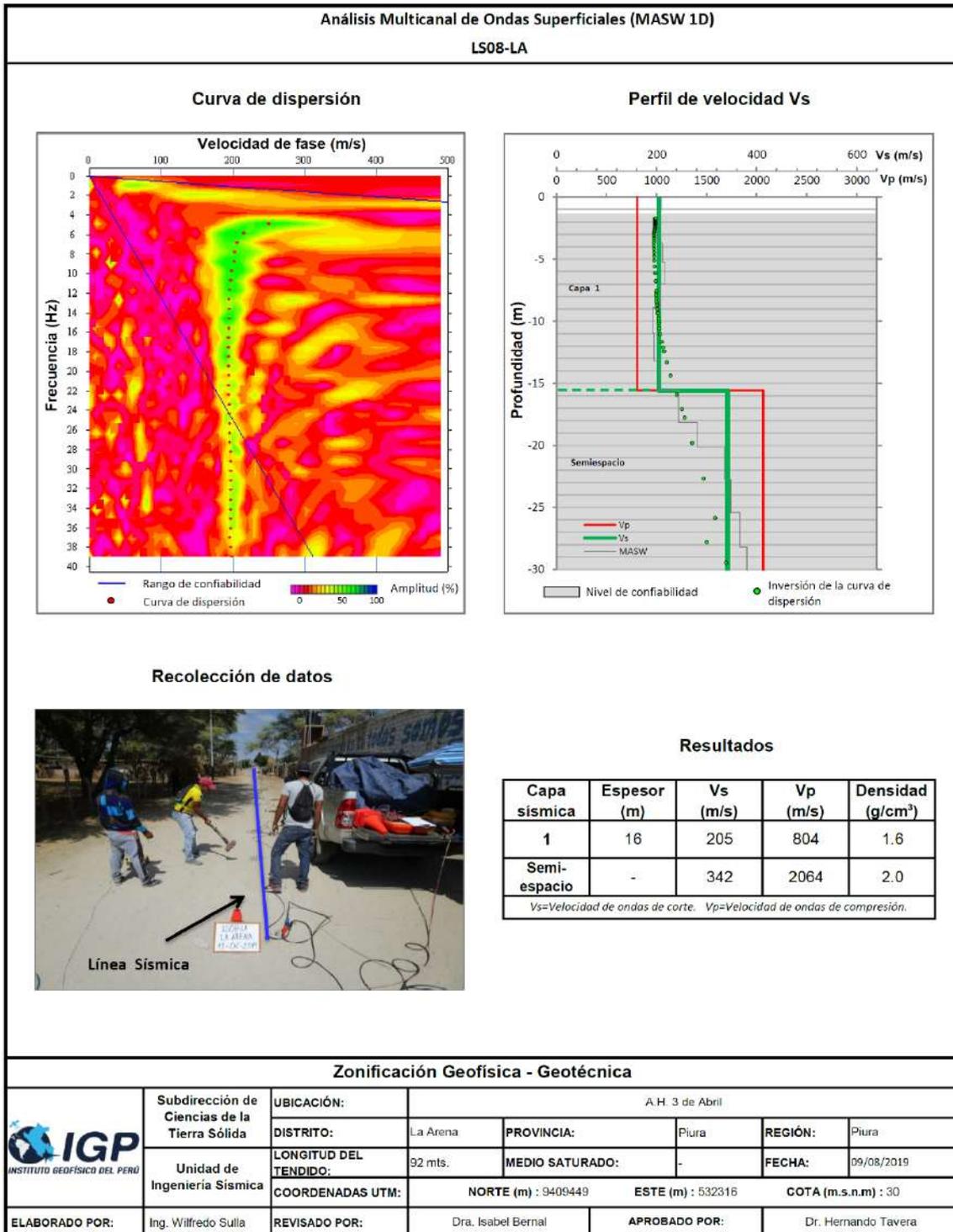


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS08-LA



ANEXO II

Perfiles de Tomografía Eléctrica ERT



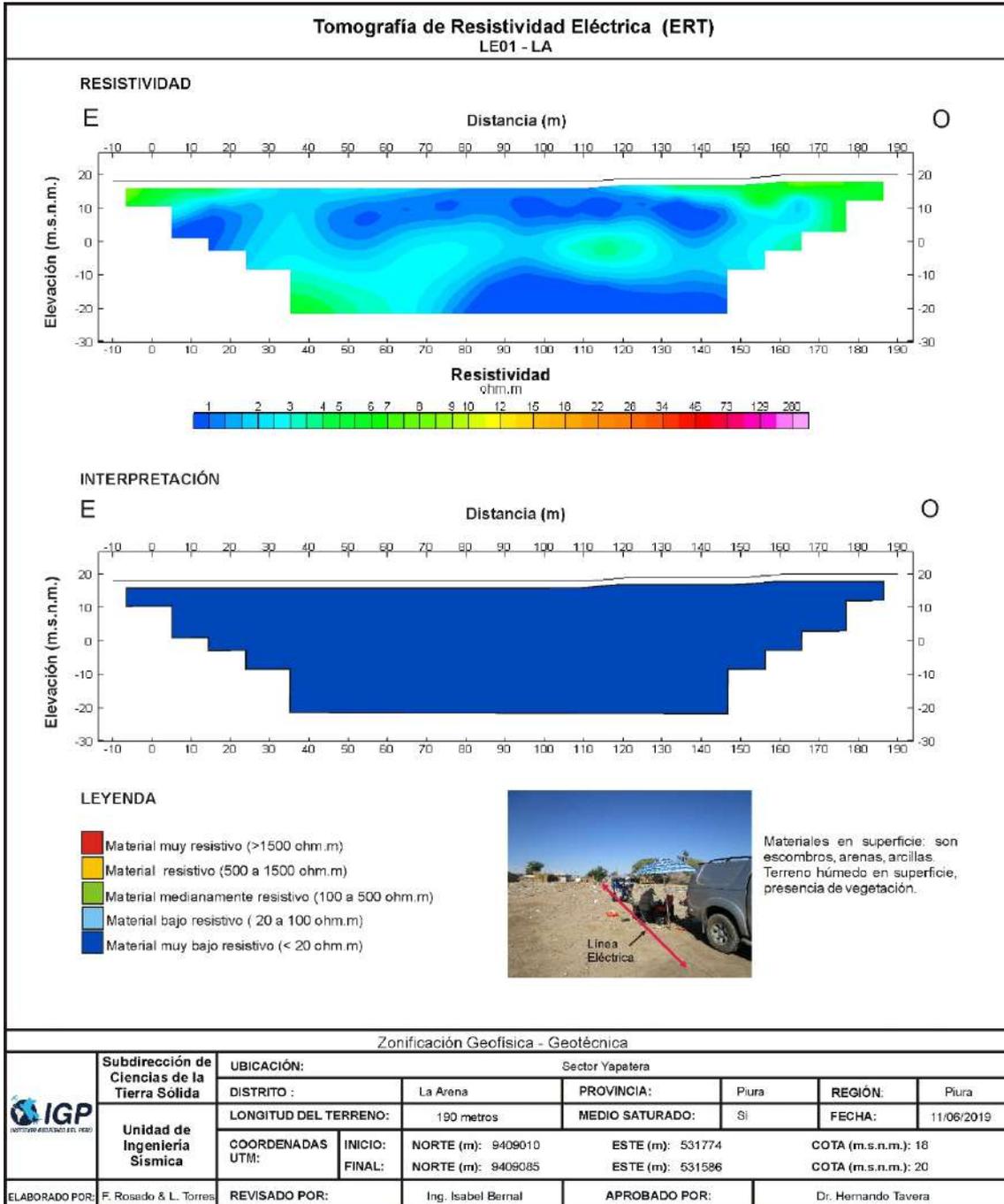


Figura 18. Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-LA



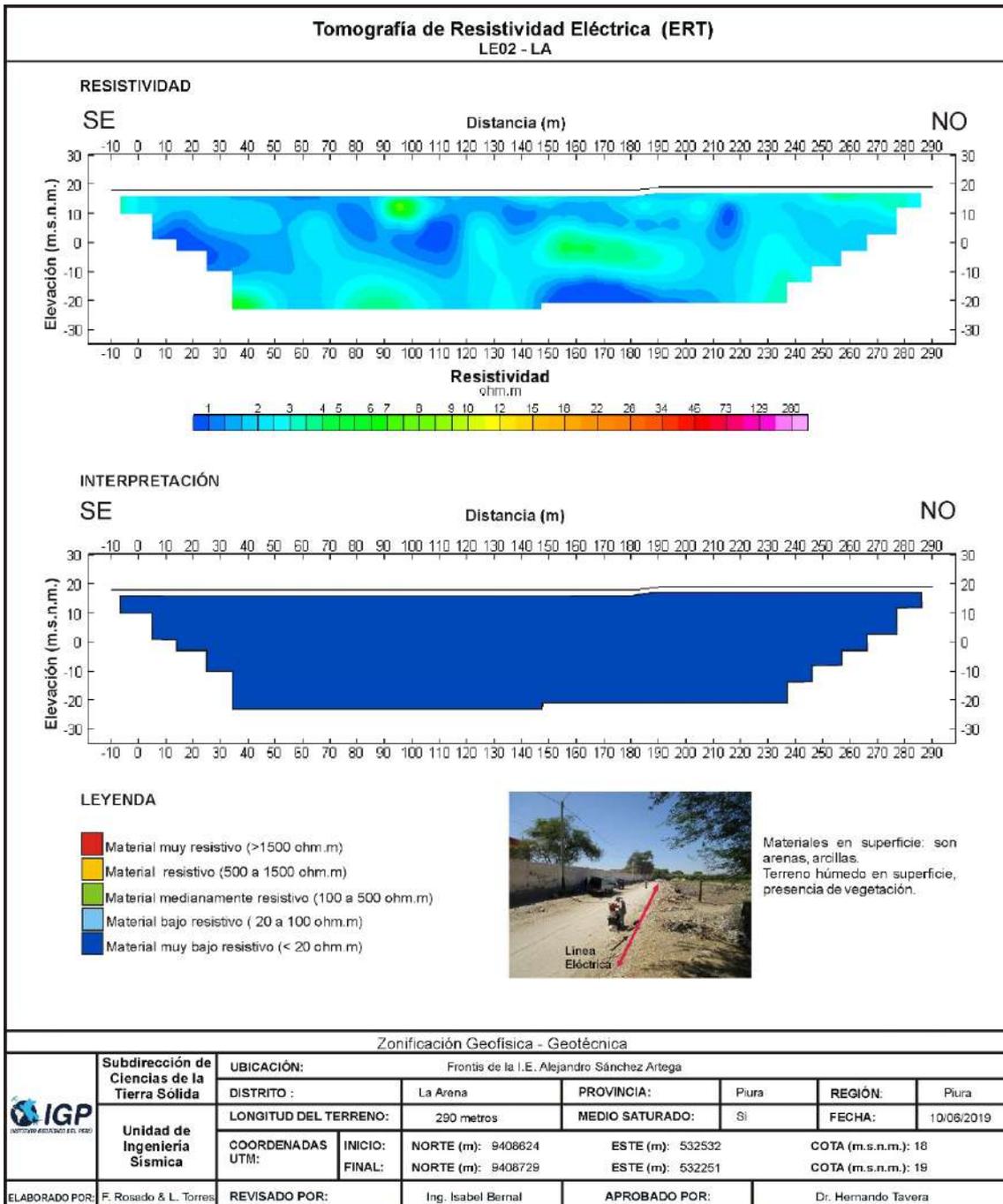


Figura 18. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE02-LA.



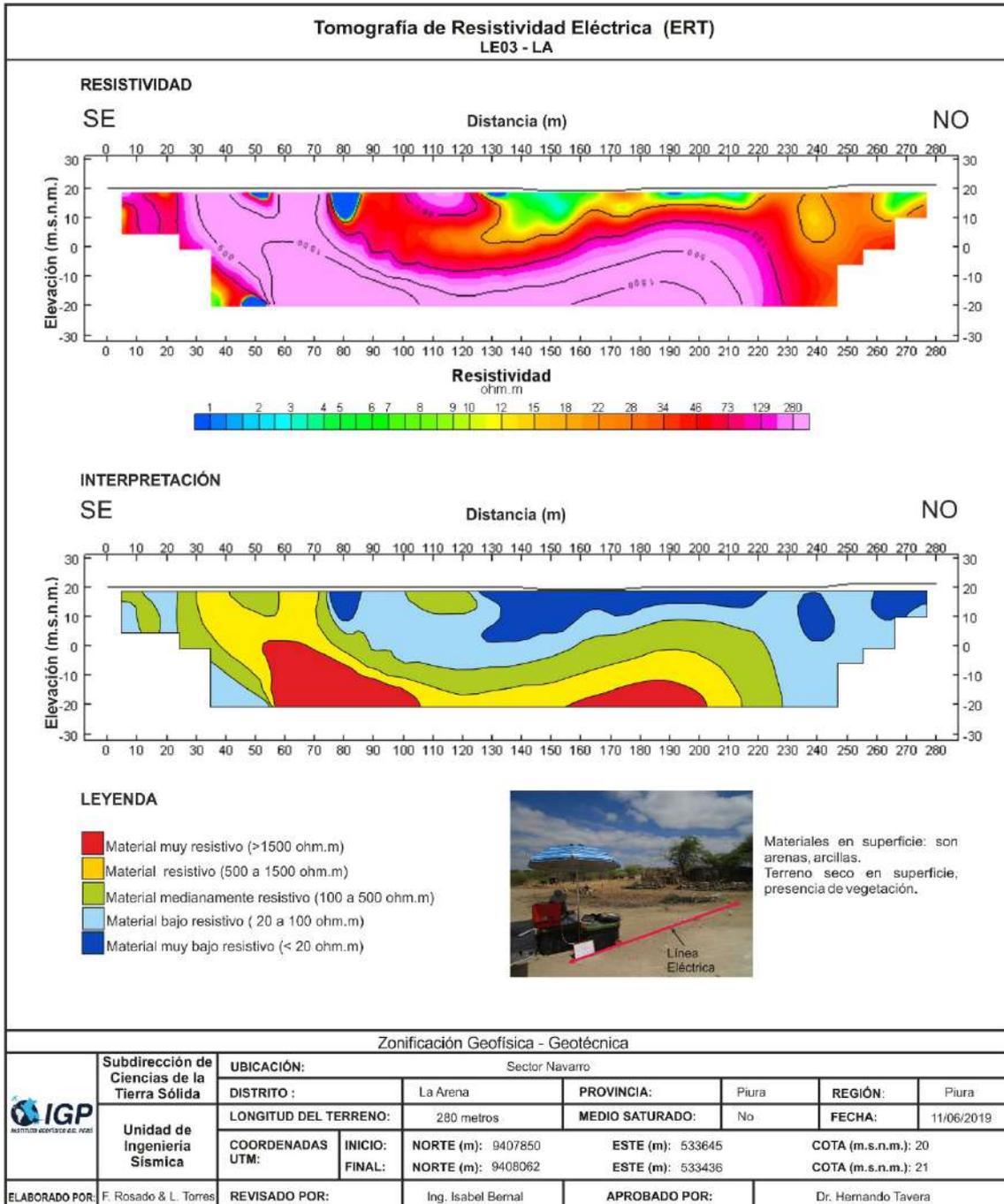


Figura 18. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE03-LA.



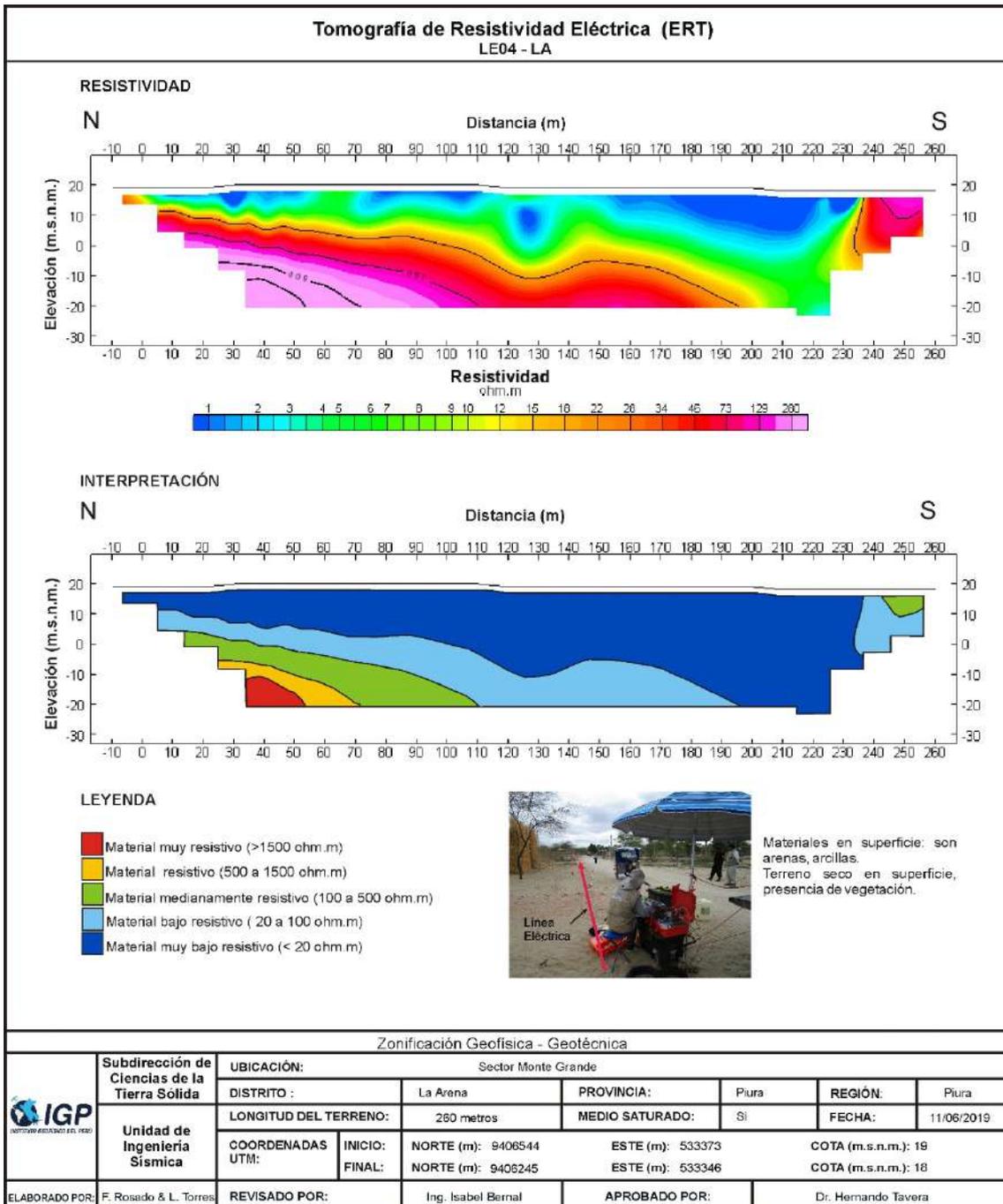


Figura 18. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE04-LA.



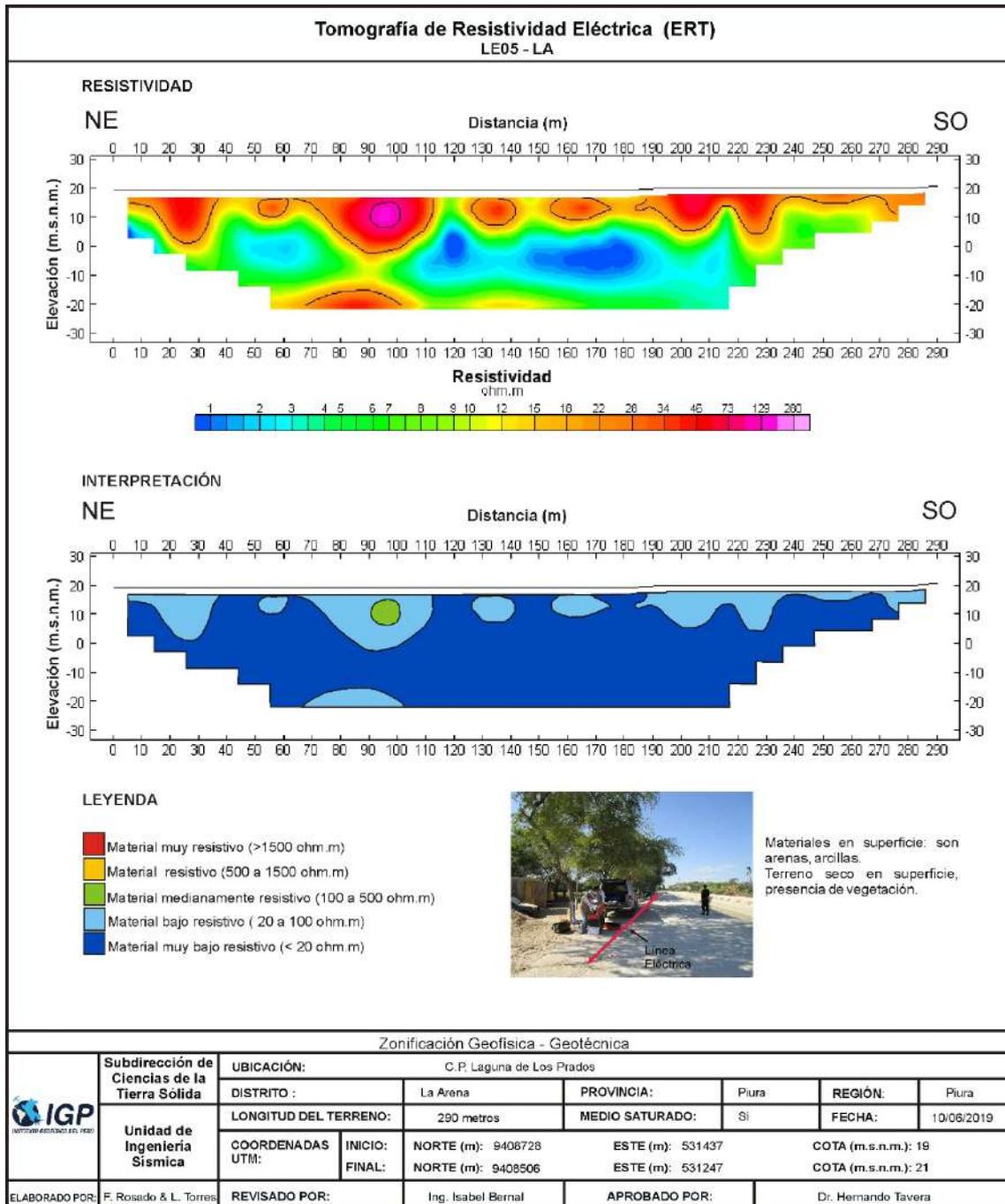


Figura 18. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE05-LA.

