



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto  
Geofísico del Perú



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

### ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN SISMO-GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE LA UNIÓN



Lima - Perú

2020

## **ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN SISMO-GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA LA UNIÓN**

**Provincia y Departamento de Piura  
(Características dinámicas del suelo)**

### **Responsable del Proyecto**

Dr. Hernando Tavera

### **Desarrollo del Proyecto**

Dra. Isabel Bernal Esquíá

MSc. Juan Carlos Gómez Avalos

### **Personal Participante**

Mariana Vivanco Manrique

Pilar Vivanco López

Héctor Lavado Sánchez

Giovana Gutiérrez Medina

Javier Oyola Coral

Jorge Salas Arana

Kelly Pari Rondón

Liliana Torres Velarde

Fabiola Rosado Moscoso

Luz Arredondo García

Wilfredo Sulla Huilca

### **Apoyo Técnico**

Marisol Enríquez Huamán

Estherfilia Campos Córdova

Augusto Cárdenas Ausejo

Roberth Yupanqui Zelada



## RESUMEN EJECUTIVO

*En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica”, el mismo que tuvo como actividades la “Caracterización Geomorfológica, Geológica, Geodinámica y Geotécnica” y “Generación de Estudios Territoriales de Peligros Sísmicos” obteniéndose como resultado final, mapas temáticos (geomorfología, geología, geodinámica, tipos de suelos y capacidad portante y zonificación sísmica) del área urbana La Unión, 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 en el distrito de La Unión 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  $1.00 \text{ kg/cm}^2$  a  $2.00 \text{ kg/cm}^2$ ), 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 La Unión han permitido identificar, considerando lo indicado en la Norma sismorresistente E.030, la existencia de dos (2) zonas correspondientes a suelos Tipos S2 y S3, que comprenden a suelos medianamente rígidos y blandos. Aproximadamente el 80% 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 0.4 segundos con mínimas amplificaciones, principalmente por el sector el Tablazo. El suelo se encuentra constituido principalmente por arenas y limos, cuyo espesor del suelo es variable, siendo los menores en el sector el Tablazo (entre 4 a 13 metros) y mayores a los 30 metros en el resto del área de estudio. El nivel freático es superficial principalmente en los sectores Dos Altos, El Canizal, y por la Plazuela de Armas.*

*El Mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana de La Unión 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.....	13
5.1.- Ubicación y accesibilidad .....	13
5.2 Población .....	13
5.3 Clima.....	13
5.4.- Hidrografía.....	15
6. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA, GEOLÓGICA Y GEODINÁMICA.....	15
6.1 Geomorfología .....	15
6.1.1 Modelo digital de elevación (MDE) .....	16
6.1.2 Pendientes.....	16
6.1.2.1 Clasificación del grado de pendientes .....	16
6.1.3 Unidades geomorfológicas.....	17
6.2 Geología .....	22
6.2.1 Geología Local.....	23
6.3 Geodinámica Superficial.....	25
6.3.1 Inundación .....	26
6.3.2 Flujos de lodo .....	28
6.3.3 Elementos expuestos .....	29
7. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	31
7.1 Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM 420).....	32
7.1.1 Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556).....	33
7.2 Exploraciones con posteadora manual.....	34
7.3 Ensayo de penetración dinámica ligera-LDPT (norma DIN 4094).....	34
7.4 Resultados de los ensayos del laboratorio. ....	36



7.4.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS en la ciudad de La Unión .....	36
7.5 Ensayo de corte directo (Norma STM D-3080) .....	39
7.5.1 Capacidad de carga portante .....	39
7.5.1.1 Tipos de capacidad de carga portante.....	41
8. DISCUSIONES .....	43
SEGUNDA PARTE: GEOFÍSICA Y ZONIFICACIÓN SISMOGEO TÉCNICA .....	44
1.- INTRODUCCIÓN .....	44
1.1.- Objetivos.....	45
1.2.- Área de estudio .....	46
1.2.1.- Antecedentes.....	48
1.3.- Condiciones locales de Sitio .....	49
1.4.- Zonificación, Norma Técnica E.030 .....	50
2.- METODOLOGÍA Y DATOS .....	52
2.1.- Método de Razones Espectrales (H/V) .....	52
2.1.1.- Procesamiento y análisis .....	56
2.2.- Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW).....	56
2.2.1.- Procesamiento y análisis .....	59
2.3.- Método de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT) .....	60
2.3.1.- Procesamiento y análisis .....	63
3.- RESULTADOS .....	64
3.1.- Razones espectrales (H/V) .....	64
3.1.1.- Frecuencias Predominantes .....	64
3.1.2. Periodos dominantes.....	72
3.2.- Perfiles de MASW .....	74
3.3.- Perfiles de Tomografía Eléctrica.....	79
4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA DE LOS SUELOS.....	84
4.1. Integración de resultados .....	84
4.2. Mapa de Zonificación Geofísica.....	87
9. CONCLUSIONES.....	90
10. RECOMENDACIONES .....	92
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	93



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

## RELACIÓN DE CUADROS

- Cuadro 01: Registro de temperaturas en la ciudad de La Unión
- Cuadro 02: Determinación de geoformas en la ciudad de La Unión 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 ocho (07) calicatas elaboradas en la ciudad de La Unión
- Cuadro 10: Capacidad de carga portante de las muestras extraídas en la ciudad de La Unión
- 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 fotogramétrico

Anexo 04: Elementos expuestos

Anexo 05: Planos

- P-01 Ubicación
- P-02 Elevaciones
- P-03 Pendientes
- P-04 Geomorfología
- P-05 Geología
- P-06 Geodinámica
- P-07 Ubicación de ensayos geotécnicos
- P-08 Tipo De Suelos (SUCS)
- 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 Unión se desarrolló como parte del informe 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 Unión 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: 37 000).

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 generados por fenómenos hidrometeorológicos (precipitaciones extremas “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 Riesgos 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 Unión, 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 Unión a escala 1:25 000

Determinar las propiedades físico-mecánicas de los suelos de la ciudad de La Unión (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 1:37 000.

## 3. METODOLOGÍA

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

#### *Gabinete:*

Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales WorlView-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 08 calicatas, 08 densidades de campo, 10 DPL y 10 auscultaciones manuales (posteos), Así mismo, las muestras extraídas 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) 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 Unión se ubica entre el borde de un tablazo marino y la parte marginal del valle del río Piura, Constituyéndose como una zona plana ondulada.

El terreno donde se asienta la ciudad, está conformado por suelos competentes, superficialmente cubiertos por una capa de lumaquelas y otra de material aluvial del valle formado por un suelo arenoso de grano fino a arcillo-limoso.

Los principales problemas que afectan a La Unión están relacionados con las fuertes precipitaciones, donde las áreas depresionadas se colman formando grandes aguajales, asimismo, las quebradas secas de corto recorrido arrastran sedimentos 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 UNIÓN, PROVINCIA DE PIURA, DEPARTAMENTO DE PIURA**

En este informe de evaluación de riesgo, se describen las unidades geomorfológicas reconocidas en el distrito de La Unión, donde los sectores de Tablazo Norte, Sur y Yapato se asientan sobre una planicie aluvial, asimismo el centro urbano se localiza sobre mantos de arena que cubren la planicie costera y dunas.



- **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. 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 del Pleistoceno y Cuaternario Reciente), conformados por Tablazo Lobitos (secuencia conglomeradita poco consolidados con rodados subangulosos y matriz bioclástica), depósitos aluviales conformados por conglomerados, arenas y arcillas y, depósitos eólicos conformados por arenas eólicas (acarreadas por el viento) formando dunas. Figura 01





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).

## 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: 528337 E y 9402635 N, a una altura de 17 m.s.n.m. Limita:

Al norte: Provincias de Sullana y Paita.

Al sur: Provincia de Sechura.

Al este: Distritos de La Arena y El Tallán.

Al oeste: Provincia de Sechura.

El acceso a La Unión 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 30 km para finalmente llegar a la localidad.

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

### 5.2 Población

Según el último censo del año 2017 (INEI), la población del distrito de La Unión cuenta con 41,826 habitantes, de los cuales el 98% 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 y a 8.8 km al norte del centro urbano de La Unión, Figura 01. Esta estación no cuenta con datos disponibles actuales en la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), por tanto, se ha recurrido a otras fuentes como es Climate.data, el cual indica que el clima en la ciudad de La Unión es desértico, la temperatura máxima registrada es de 33.4 °C en el mes de marzo y la mínima es de 15.1 °C (agosto), 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, con un acumulado



diario que no superan los 74.5 mm en el periodo indicado. Para el año 2017 (de ocurrencia del evento Niño), las lluvias alcanzaron un máximo acumulado diario de 121.7 mm el 25 de marzo según la estación meteorológica Bernal, localizada a 8 km al sur de La Unión en las coordenadas 5° 27' 16.18" S 80° 44' 33.44" O, Figura 02.



**Figura 02: Ubicación de estación meteorológica Montegrande y Bernal.**

**Cuadro 01: Registro de temperaturas en la ciudad de La Unión**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	26	27.2	27.2	25.8	24	22.3	21	20.9	21.2	21.8	22.6	24.4
Temperatura min. (°C)	19.9	21.1	21	19.6	18.1	16.6	15.4	15.1	15.2	15.7	16.3	18
Temperatura máx. (°C)	32.2	33.3	33.4	32.1	29.9	28	26.7	26.7	27.2	28	28.9	30.8
Temperatura media (°F)	78.8	81.0	81.0	78.4	75.2	72.1	69.8	69.6	70.2	71.2	72.7	75.9
Temperatura min. (°F)	67.8	70.0	69.8	67.3	64.6	61.9	59.7	59.2	59.4	60.3	61.3	64.4
Temperatura máx. (°F)	90.0	91.9	92.1	89.8	85.8	82.4	80.1	80.1	81.0	82.4	84.0	87.4
Precipitación (mm)	4	7	15	3	0	0	0	0	1	1	0	1

Fuente: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/piura/talara/37441/>





#### 5.4.- Hidrografía

La cuenca más próxima a La Unión 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, mientras que, las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado, estos últimos llamados procesos de geodinámica externa se agrupan en la cadena meteorización-erosión, transporte y sedimentación (Gutiérrez, 2008). El estudio de la geodinámica externa se efectúa en un sistema proceso respuesta, siendo el primero el agente creador (origen) y el segundo la geoforma resultante.

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

En este capítulo se describen las características físicas de las geoformas existente en la ciudad de La Unión, 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 Unión, 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 Unión, 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 Unión, se ha reconocido que hacia el noroeste (Dos Altos, Arroyo Mío y Tamarindo) se ubican las mayores elevaciones entre 15 y 25 m.s.n.m., la parte central urbana se asienta sobre los 17 m.s.n.m., mientras que hacia el oeste (Tablazo Norte, Sur, Yapato y San Martín de Létira) las altitudes varían entre los 15 a 25 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, puesto que, 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 Unión, fue desarrollado a partir del MDE elaborado anteriormente, haciendo usos de herramientas de geoprocésamiento (área de influencia, construcción de modelos, análisis espacial, etc.) para diferenciar gráficamente los ángulos de inclinación del relieve en el área de estudio.

#### 6.1.2.1 Clasificación del grado de pendientes

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



Tabla 01: Rangos de pendientes del terreno

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

**Fuente: Fídel et al., (2006)**

La mayor parte de la ciudad de La Unión, se encuentra asentada sobre dunas con pendientes que oscilan entre 15° y 25°, sin embargo, hacia el oeste del centro urbano de la localidad (Tablazo, Yapato y San Martín de Létira) se observan relieves con pendientes < 10°.

### 6.1.3 Unidades geomorfológicas

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

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

#### A. Características físicas

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

#### B. Procesos

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



En base a las características físicas de las geoformas y su origen en la ciudad La Unión se cartografiaron 07 geoformas tales como: Dunas, llanura eólica, llanura aluvial, colina, quebradas, terraza marina y depresiones, Cuadro 02 y Plano P-04.

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

<b>GEOMORFOLOGÍA PATRÓN</b>			
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>		<b>PROCESO</b>	<b>UNIDAD GOMORFOLÓGICA</b>
Pendiente	< 25°	Deposicional	Dunas
Geometría	semicircular		
Pendiente	<5°	Deposicional	Llanura Eólica
Geometría	alargada		
Pendiente	< 5°	Denudacional	Llanura Aluvial
Geometría	alargada		
Pendiente	< 35°		Colina
Geometría	redondeada		
Pendiente	5° - 35	Denudacional	Quebrada
Geometría	Alargada		
Pendiente	<5°	Tectónico	Terraza marina
Pendiente	<5°	Erosional	Depresión
Geometría	Paralelo		

**Fuente IGP 2019**

**-Dunas**

Son acumulaciones de arenas finas de origen deposicional, 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 geoforma abarca 94.4 Has, donde se asientan el centro poblado Dos Altos, el área de expansión de los barrios Juan Velazco y San José, Foto 01.





Foto 01: Localización de Duna en el sector Dos Altos del distrito de La Unión.

### **-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 aluvial).

**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 presenta en climas áridos y semiáridos. En La Unión abarca un área de 560 Has donde se asientan los sectores urbanos 8 de Diciembre, Tablazo Sur, Tablazo Norte San Martín de Létira y Yapato, Fotos 02 y 03.





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



Foto 03: Localización de llanura en el sector Yapato del distrito de La Unión.





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

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



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

#### **-Cuencas ciegas (depressiones).**

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 5 depresiones localizadas en los sectores urbanos de San José, Juan Velazco, Santa Cruz, y Tamarindo, Foto 05.



Foto 05: Localización de una Cuenca Ciega en el sector San José del distrito de La Unión.



### **-Colinas**

Es una unidad geomorfológica de origen denudacional, con pendientes  $< 20^\circ$ , altura  $< 100$  m, geométricamente redondeado y de drenaje dendrítico. Abarca un área de 185 ha y se localizan en dirección SO de los sectores urbanos de Tablazo Norte Sur y Yapato.

### **-Quebrada**

Se origina en la unidad geomorfológica del tablazo y se extiende hasta el sector urbano de San Martín de Létira. Tiene un recorrido de 3 km de longitud con dirección SE a NO y un ancho de cauce de 80 a 120 m.

### **-Terraza Marina**

Esta unidad es producto de cambios tectónicos (subsistencia de la costa) y variaciones del nivel del mar. Constituido por depósitos marinos y eólicos en su mayoría. Se localiza en el sector Tablazo.

## **6.2 Geología**

La geología es la ciencia que estudio 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 depende de los diversos minerales que constituyen las rocas lo que determina también su naturaleza y fragilidad. Por ejemplo: la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) en forma de cuarzo es estable en climas templados, pero en climas ecuatoriales, las altas temperaturas y las precipitaciones pluviales contribuyen a su descomposición; es por ello que, 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 ocasionan movimientos en masa (deslizamientos, flujos, caídas de rocas).



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

La geología comprende varias disciplinas tales como la geología regional, histórica y estructural que permiten explicar el cómo, cuándo y que 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 dominada por afloramientos de rocas de la formación Tablazo Lobitos, además de depósitos eólicos asentados sobre depósitos aluviales recientes, con matriz arenosa de grano fino a medio y limos, Figura 03.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	LITOLÓGIA
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Depósitos Eólicos	Qh-e	Constituidos por arenas de grano medio a fino
			Depósitos Aluviales	Qh-al	Constituidos por arenas de grano grueso a medio
		PLEISTOCENO	Tablazo Lobitos	Qp-tl	Constituido por conglomerados de matriz bioclástica

**Figura 03: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.**

#### **-Formación Tablazo Lobitos (Qp-tl)**

Están conformados por una secuencia de conglomerados poco consolidados con matriz bioclástica (diatomeas con restos calcáreos) y arenas, Foto 06.





. Foto 06: Diatomeas localizadas al suroeste del sector urbano de Yapato.

#### **-Depósitos aluviales (Qh-al)**

Conformados por acumulación de arenas de grano grueso a medio y limos, depositados y transportados por la dinámica del río Piura, sobre este tipo de depósitos se desarrolla la actividad agrícola de la ciudad de La Unión.

#### **-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 de altura aproximada de 7m a 10 m o llanuras de arena, sobre este tipo de depósitos se asienta la población de la ciudad de La Unión, Foto 07.





**Foto 07: Depósito eólico localizado en el sector urbano de Juan Velazco.**

### 6.3 Geodinámica Superficial

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

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

Los procesos de erosión (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: Flujos de detritos e inundación.

En la ciudad de La Unión se ha identificado dos tipos de eventos geodinámicos, Plano 06:





### 6.3.1 Inundación

Durante el Niño Costero se presencia el desborde de un canal de regadío localizado en el sector Santa Cruz, que fluye en dirección noreste-suroeste de manera laminar sobre una llanura. En dicho periodo según manifiestan los pobladores, las intensas lluvias que recaen sobre las dunas, convergen en la llanura antes citada, que sumado al desborde del canal, el aumentando el nivel máximo de inundación afectan las viviendas e infraestructuras educativas establecidas en el sector urbano de 8 de Diciembre. El sector de Arroyo Mío también es afectado por este mismo evento geodinámico.

Las intensas precipitaciones pluviales que recaen en periodos ENSO, sobre las colinas que contornean los sectores de Yapato y Tablazo Norte, afectan en su recorrido a las viviendas establecidas en estos lugares, sin embargo, dichos flujos discurren sobre pequeños canales preexistentes de desfogue con dirección NE y E hasta la zona agrícola.

Asimismo, el desborde del canal de regadío mellizo en periodos ENSO, localizado a la altura del sector Yapato y San Martín de Létira ha ocasionado daños en las viviendas establecidas en el lugar, Fotos 08-11.



**Foto 08: Vivienda localizada en el Sector urbano 8 de Diciembre, afectado por inundaciones, se evidencia la marca de la altura de agua que llegó a 0.60 m.**





Foto 09. El agua llegó a 1 m de altura, afectó a las viviendas localizadas en el sector Arroyo Mío.



Foto 10. El agua llegó a los 40 cm de altura, afectó a las viviendas localizadas en el sector Tablazo Norte.



**Foto 11: Canal de desfogue localizado en el sector urbano Tablazo Norte.**

### 6.3.2 Flujos de lodo

Durante la presencia del ENSO, en la quebrada Létira se activan flujos de tipo lodo que desembocan en la zona de expansión urbana del sector San Martín de Létira y en áreas de cultivo, asimismo, este evento obtura el canal de regadío mellizos, ocasionando a consecuencia el desborde de este último, Foto 12.





Foto 12: Zona de depositación de flujos de lodo en el sector San Martín de Létira

### 6.3.3 Elementos expuestos

En el área de estudio del distrito de La Unión, 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: 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.

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

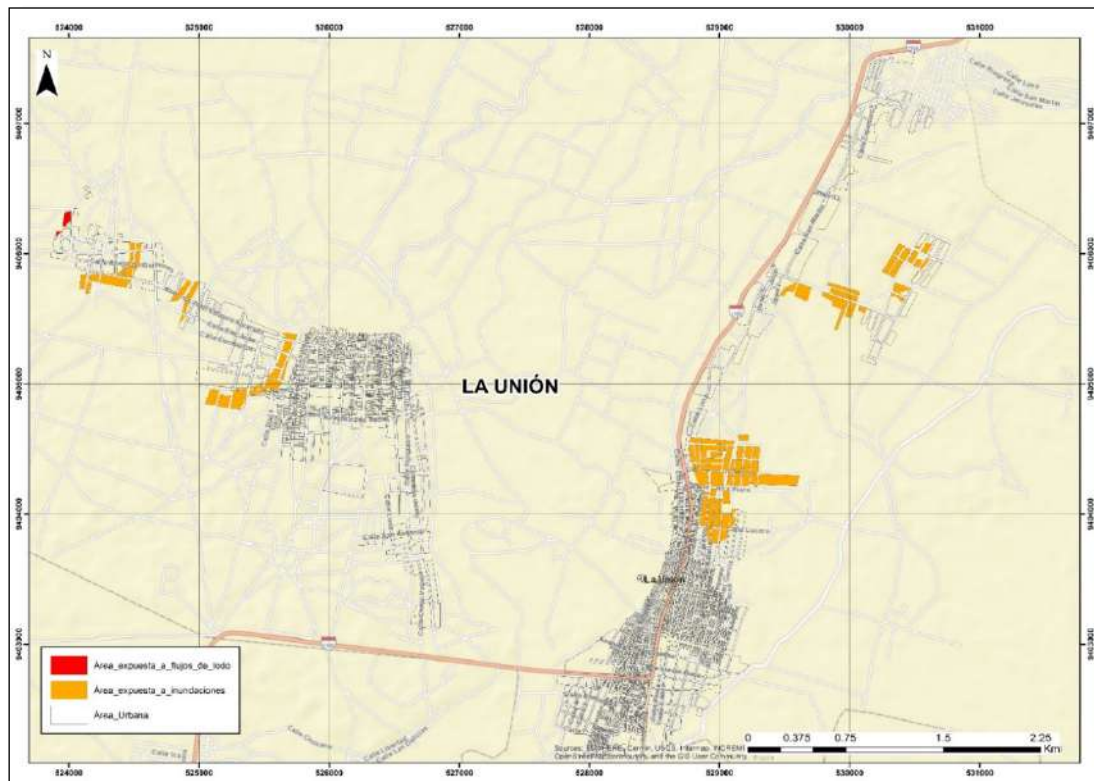
<b>Evento geodinámico</b>	<b>Población expuesta</b>
Inundaciones	1200



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)

<b>Evento geodinámico</b>	<b>Viviendas expuestas</b>
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.



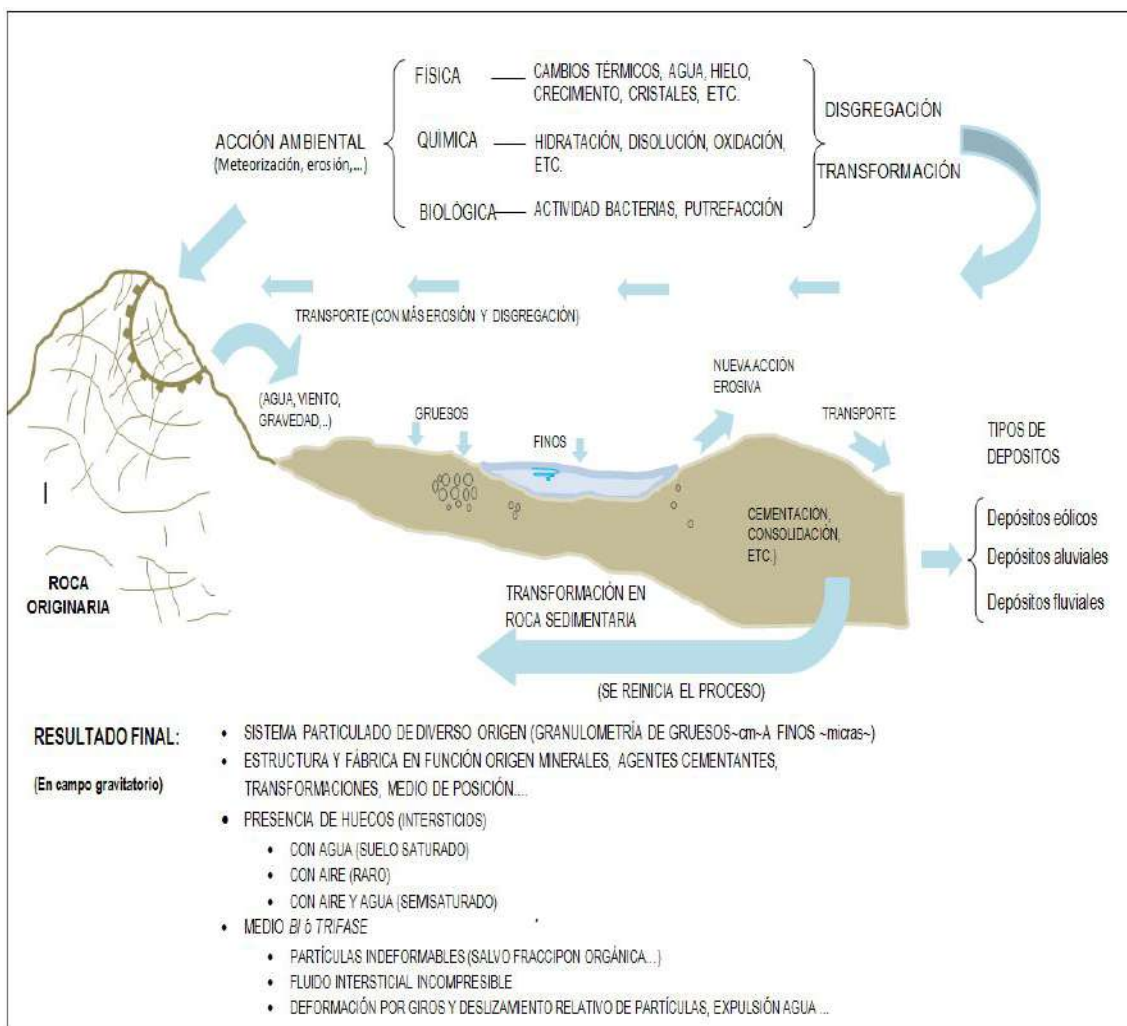
**Figura 04: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de inundaciones en la localidad de La Unión.**



## 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 Unión, se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de 08 calicatas, 08 densidad de campo, 10 posteos y 10 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), indicadas en el Plano P-07. Las muestras extraídas (07) se analizaron en el laboratorio de mecánica de suelos del IGP y para validar los resultados 03 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 3.00 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)			
UN-01	527993	9402877	23	2.20	N.P
UN-02	527993	9405316	16	2.40	2.40
UN-03	527993	9404733	11	0.75	0.70
UN-04	527993	9403383	10	0.85	0.85
UN-05	527993	9403713	29	2.10	N.P
UN-06	527993	9407318	20	2.20	N.P
UN-07	527993	9405287	30	1.85	N.P
UN-08	527993	9406335	32	2.00	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 Unión 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 compacidad 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 ocho (08) calicatas y la ficha de densidad se ha adjuntado en los Anexos de Geotecnia (Anexo 04).

Cuadro 06: Resultado de densidades in - situ

CÓDIGO DE CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE HUEMDAD (%)
CUN-01	DC-C-UN-01	1.20	1.17	1.15	1.45
CUN-02	DC-C-UN-02	1.20	1.60	1.47	7.99
CUN-03	DC-C-UN-03	0.50	1.75	1.53	12.78
CUN-04	DC-C-UN-04	0.20	1.92	1.66	13.57
CUN-05	DC-C-UN-05	1.20	1.49	1.47	1.29
CUN-06	DC-C-UN-06	1.20	1.84	1.68	8.76
CUN-07	DC-C-UN-07	1.20	1.42	1.41	0.62
CUN-08	DC-C-UN-08	1.20	1.44	1.20	17.06

A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de densidad de campo y laboratorio, los suelos de cimentación en la ciudad de La Unión presentan rangos de densidad húmedas entre 1.17 a 1.92 gr/cm<sup>3</sup>, mientras que, las densidades secas oscilan entre 1.20 y 1.68 gr/cm<sup>3</sup>, es decir, los materiales identificados en las calicatas corresponden a arenas muy sueltas, sueltas a medio densas de acuerdo a la referencia de la Tabla A del Anexo 04.



## 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 Unión. La ubicación y resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 07, mientras que el registro de perforaciones se describe en el Anexo 04.

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	530557	9406221	25	1.60	SP	1.60
Post_02	528988	9404316	16	1.30	SP	0.90
Post_03	526765	9403662	23	1.30	SP-SM	NP
Post_04	527907	9402309	20	1.80	SP	NP
Post_05	528618	9402558	10	1.40	SP	NP
Post_06	524775	9405894	13	1.40	CL	NP
Post_07	529472	9405583	13	1.70	SP	NP
Post_08	530077	9406768	25	1.70	CL	NP
Post_09	526119	9404910	29	1.20	SP-SM	NP
Post_10	528545	9403417	29	2.40	SP	NP

Donde: 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 dónde 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 1.0 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/cm<sup>2</sup>, 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 Unión, 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:

$\Phi$ = 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	$\phi$
	Este (m)	Norte (m)				
DPL_01	530299	9405197	26	2.40	7	28.5
DPL_02	524170	9403377	7	2.00	13	30.9
DPL_03	528536	9403417	28	2.60	13	30.9
DPL_04	528984	9404317	16	3.30	16	31.6
DPL_05	527993	9402870	23	2.40	7	28.5
DPL_06	529463	9405579	13	3.00	10	30.3
DPL_07	528617	9402552	10	3.20	15	31.4
DPL_08	—	—	—	—	—	—
DPL_09	530293	9407325	18	2.50	25	33.6
DPL_10	524107	9406358	31	2.40	28	34.3
DPL_11	526298	9403663	26	1.60	40	36.6



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 10 de los ensayos se alcanzó una profundidad mayor de 3.20 m., y mínima de 1.60 m, debido a que el suelo está constituido por arenas mal graduadas, arenas limosas, arena mal graduada con arenas limosas y arcillas.

#### **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 Unión**

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 Unión, y de los ensayos de laboratorio Mecánica de Suelos (granulometría y límites Atterberg) efectuados a las muestras extraídas, descritos en el Anexo 04 - Resultados de Laboratorio, se han identificado 04 tipos de suelos, Cuadro 09 y Plano P-08.

##### **- Suelo tipo SM**

Arenas limosas, con contenido de humedad de 0.62 %, constituyen suelos de compacidad baja (suelta) no presentan plasticidad, este tipo de suelo se identificó en el sector Yapato, que corresponde a la calicata (UN-07).

##### **- Suelo tipo SP**

Arena mal graduada, con contenido de humedad entre 1.53 % y 15.94%, constituyen suelos de compacidad suelta, no presentan plasticidad y se identificaron en la zona urbana de La Unión y corresponden a las calicatas 01, 02, 03 y 04 respectivamente, así como, en los posteos (01, 02, 04, 05, 07 y 10).

##### **- Suelo tipo SP-SM**

Arena mal graduada y arenas limosas, con contenido de humedad de 1.16%, constituyen suelos de compacidad suelta a media, no presentan plasticidad y se identificaron en el Centro poblado Tablazo sur que corresponden a la calicata UN-05, así como, en el posteo 03.



- **Suelo tipo CL**

Arcilla inorgánica, con contenido de humedad de 25.55 % y 22.19%, constituyen suelos de compacidad baja a media, presentan plasticidad de 8.42 % y 13.29 %, identificados en la calicata UN-06 y UN 08 respectivamente, así como, en los posteos 06 y 08, este tipo de suelo ha sido reconocido en el sector de Nuevo Tamarindo y Yapato.





Cuadro 09: Clasificación SUCS de los suelos de las ocho (07) calicatas elaboradas en la ciudad de La Unión

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		
UN_01	2.20	N.P	1.45	0.00	97.7	3.01	-	-	-	SP	Arena mal graduada
UN_02	2.40	2.40	7.99	0.00	96.5	3.55	-	-	-	SP	Arena mal graduada
UN_03	0.75	0.70	12.78	0.00	96.5	3.45	-	-	-	SP	Arena mal graduada
UN_04	0.85	0.85	13.57	0.00	96.3	3.70	-	-	-	SP	Arena mal graduada
UN_05	2.10	N.P	1.16	0.00	91.80	8.20	17.89	-	NP	SP-SM	Arena mal graduada con arena limosa
UN_06	2.20	2.20	25.55	0.00	29.22	70.78	27.67	19.25	19.25	CL	Arcilla inorgánica de baja compresibilidad
UN_07	1.85	N.P	0.62	0.00	80.30	19.71	-	-	-	SM	Arena limosa
UN_08	2.00	N.P	22.19	0.00	47.24	52.76	37.76	24.47	13.29	CL	Arcilla inorgánica de baja compresibilidad

Donde: N.P. = No presenta



## 7.5 Ensayo de corte directo (Norma STM 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 Unión 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 08 muestras de suelos extraídas en la ciudad de La Unión se presentan en el Cuadro 10.



Cuadro 10: Capacidad de carga portante de las muestras extraídas en la ciudad de La Unión

CÓDIGO DE MUESTRA	Capacida de carga última (Tn/m <sup>2</sup> )	Capacidad de carga portante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Falla de corte
CUN - 01	3.54	1.18	Falla Local
CUN – 02	1.96	0.65	Falla Local
CUN – 03	1.11	0.37	Falla Local
CUN – 04	1.22	0.41	Falla Local
CUN – 05	10.48	3.49	Falla Local
CUN – 06	2.04	0.68	Falla Local
CUN – 07	5.13	1.71	Falla Local
CUN - 08	1.83	0.61	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 1.00 m, Cuadro 11.

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.

CÓDIGO DE DPL	Capacidad de carga última (kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga portante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de corte
DPL-01	1.76	0.59	Falla local
DPL-02	1.10	0.37	Falla local
DPL-03	1.36	0.45	Falla local
DPL-04	0.97	0.32	Falla local
DPL-05	3.20	1.07	Falla local
DPL-06	2.72	0.91	Falla local
DPL-07	3.20	1.07	Falla local
DPL-09	1.17	0.39	Falla local
DPL-10	1.21	0.40	Falla local
DPL-11	9.41	3.14	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 04, se ha determinado que, la zona urbana de la ciudad de La Unión en su mayoría ha sido construida con cimentaciones de 1.00 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 Unión 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 1.00 kg/cm<sup>2</sup>, se encuentran representado por los tipos de suelos, tales como: Arena mal graduada (SP), y arcillas (CL). Abarcan el casco urbano y la periferia de los suelos de cimentación de la ciudad de La Unión y se han identificado en el sector Nuevo Tamarindo, Dos Altos Sur, Santa Cruz, Barrio San José y Yapato

#### B) Capacidad de carga portante baja

Comprende rangos de capacidad de carga portante entre 1.00 a 2.00 kg/cm<sup>2</sup>, se encuentran representado por arenas mal graduadas (SP) y arenas limosas (SM), se han en AH. José Carlos Mariátegui y Tablazo Norte.

#### C) Capacidad de carga portante Alta

Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del área urbana de La Unión

Comprende rangos de capacidad de carga portante mayor a 3.00 kg/cm<sup>2</sup>, se encuentran representado por arenas pobremente graduada y arenas limosas (SP-SM), se han identificado principalmente en el sector Tablazo Sur y AH San Vicente.





## 8. DISCUSIONES

- Estudios regionales (geología del cuadrángulo de Piura 11 b, a escala 1: 100,000) describe que los Depósitos aluviales en el distrito de La Unión están constituidos por conglomerados, arenas y arcillas, en el cartografiado realizado a escala local 1: 25 000 se ha reconocido que estos depósitos en mención 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 asociadas a las unidades litoestratigráfica en el distrito en mención, de forma que el presente informe contribuye a complementar y/o afinar información no registrada a escala regionales.



## 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 Mancora, provincia de Talara, departamento de Piura.

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

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

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

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

De acuerdo con la historia sísmica del Perú, la región norte ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de sacudimiento del suelo, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en el departamento de Piura (Silgado, 1978; Tavera et al. 2016). Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que, en el futuro las mismas ciudades y/o áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones.

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



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

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

## 1.1.- Objetivos

El principal objetivo del presente estudio es obtener el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana del distrito La Unión, 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 Unión.**

## 1.2.- Área de estudio

El ámbito de estudio corresponde al área urbana del distrito La Unión, que forma parte de los 10 distritos que conforma la provincia y departamento de Piura, ver Figura 2. Situado al suroeste a 29 km de la capital de Piura, se encuentra a una altitud promedio de 17 m.s.n.m., tal como se muestra en la Figura 2. Limita por el Norte, el distrito de La Arena, al Sur el distrito de Bellavista, al Este el distrito de Tallan y al Oeste el distrito de Vice.

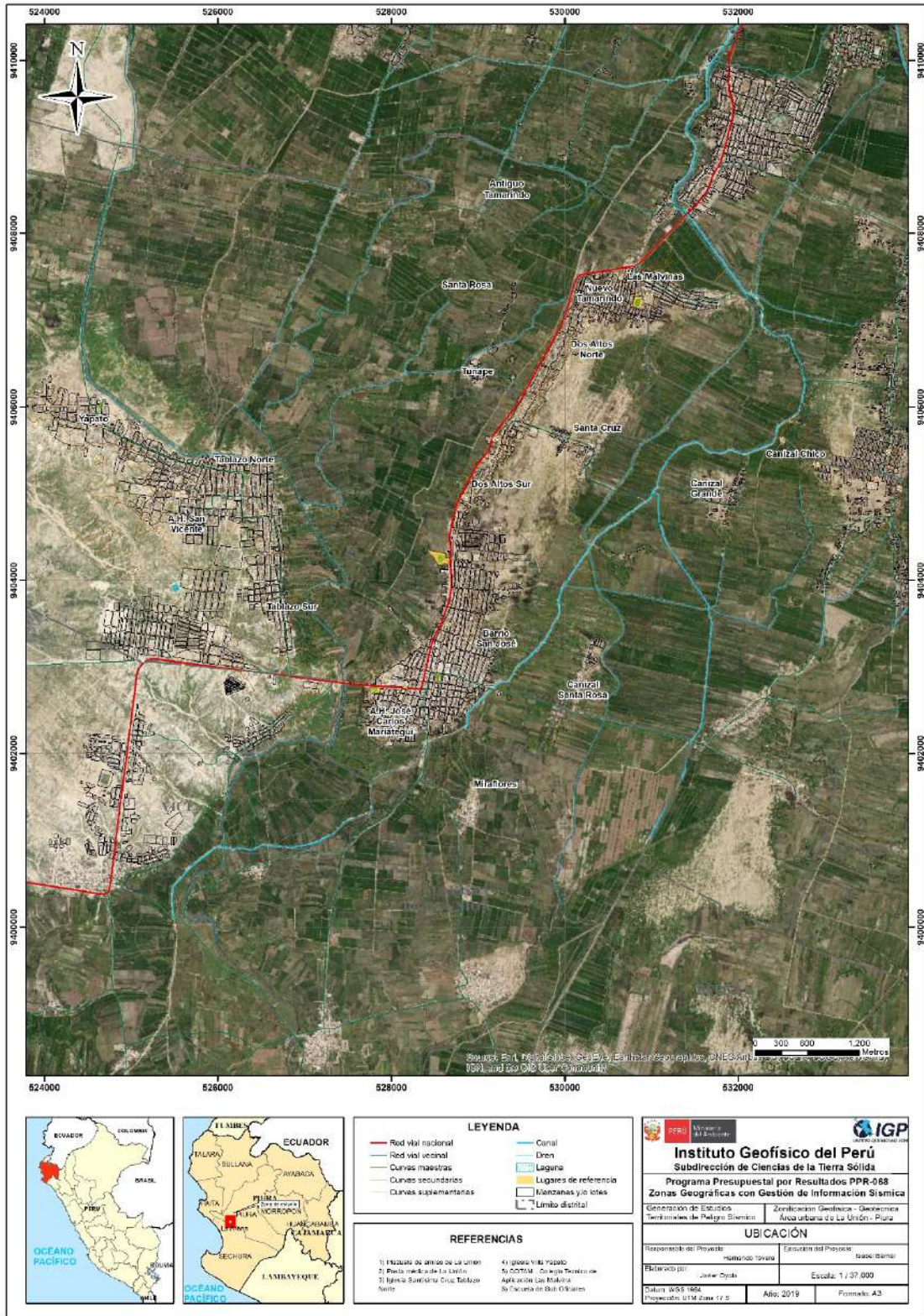
El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:37000, tiene un área total de 28 km<sup>2</sup> y la población beneficiada con el presente estudio es de 10,374 habitantes (INEI, 2017).

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.





*Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del área urbana de La Unión*



**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 Unión, 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 2018, CENERPRED realiza el estudio **“Informe de evaluación de Riesgo por inundación en los Centros Poblados Tablazo Norte, Tablazo Sur y Yapato, distrito de La Unión, Provincia de Piura, departamento de Piura”**. Tuvo por objetivo determinar el nivel de riesgo originado por inundación pluvial, para lo cual se generaron mapas de peligro por inundación del área de impacto del Fenómeno de El Niño FEN-2017, concluyendo que el peligro por inundación en el Tablazo Norte, Tablazo Sur y Yapato es muy alto, además que el área afectada por inundación pluvial tiene vulnerabilidad muy alta debido a la alta



concentración de viviendas de material precario. 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 por seguir permitirá 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 Geofísica - Geotécnica de las áreas urbanas se realiza en función de las características mecánicas, físicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas por la Norma E.030. En tal sentido y de acuerdo con 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 Unión 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).





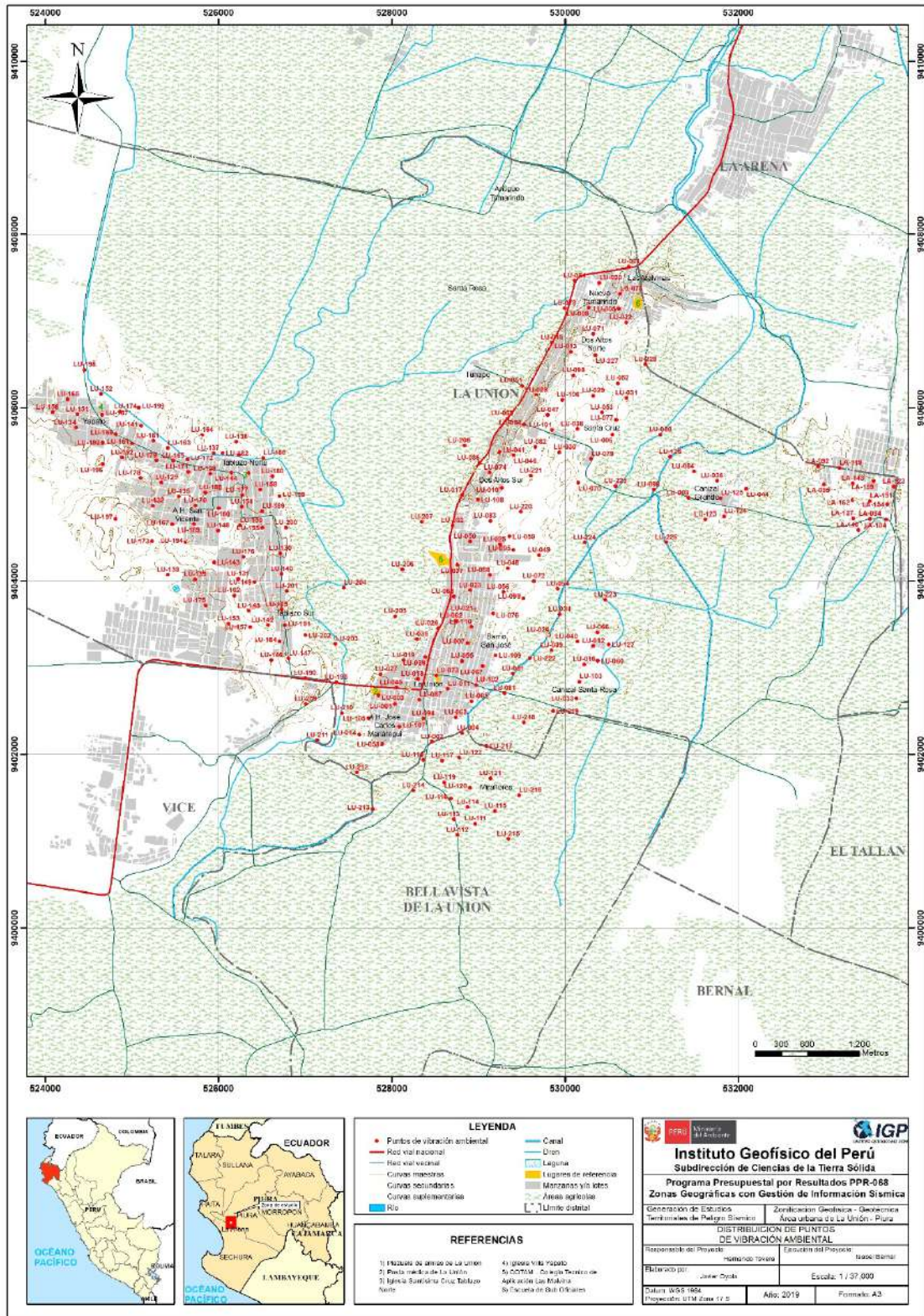


Figura 3. Distribución espacial de los puntos de registros de vibración ambiental del área urbana La Unión.

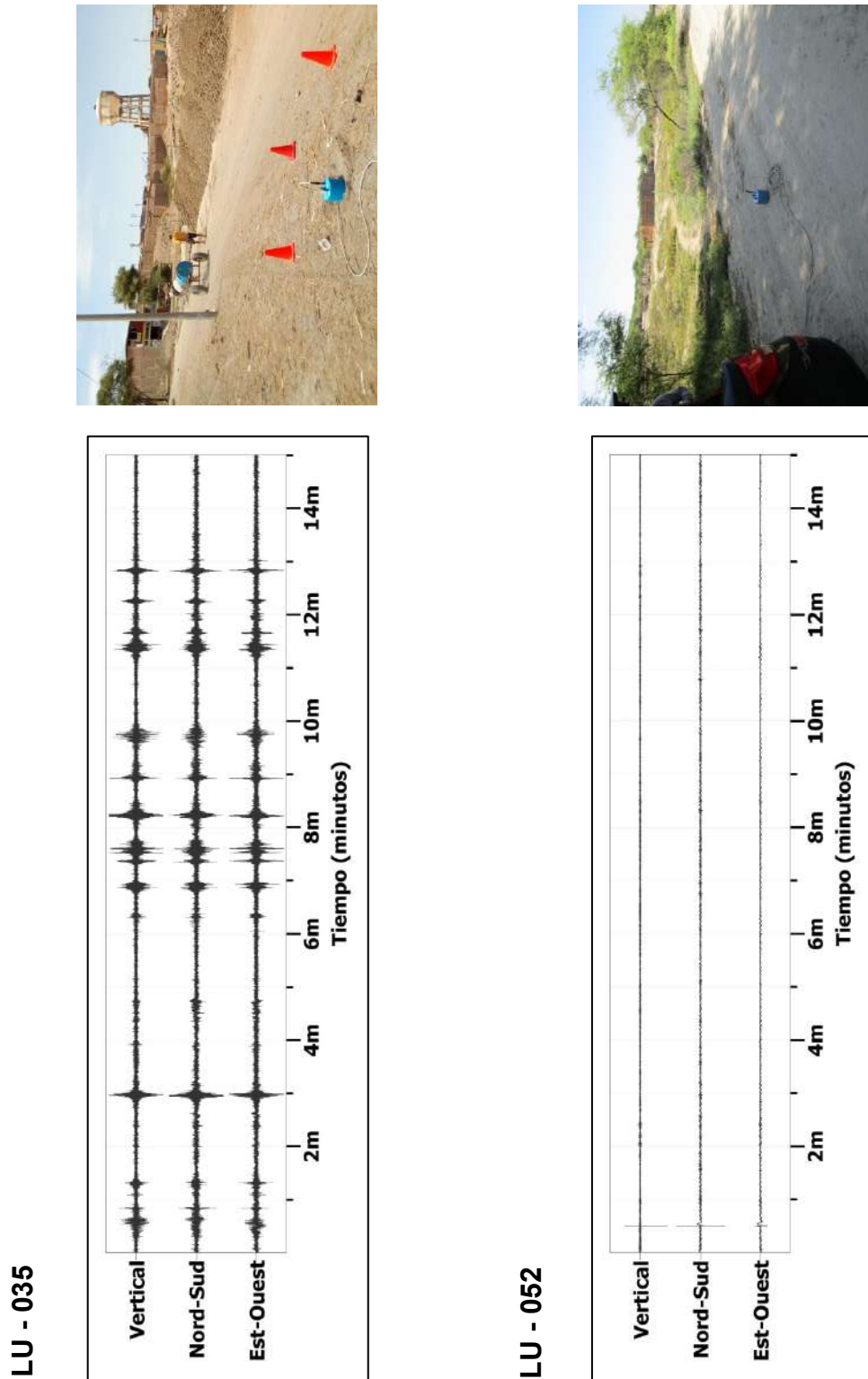


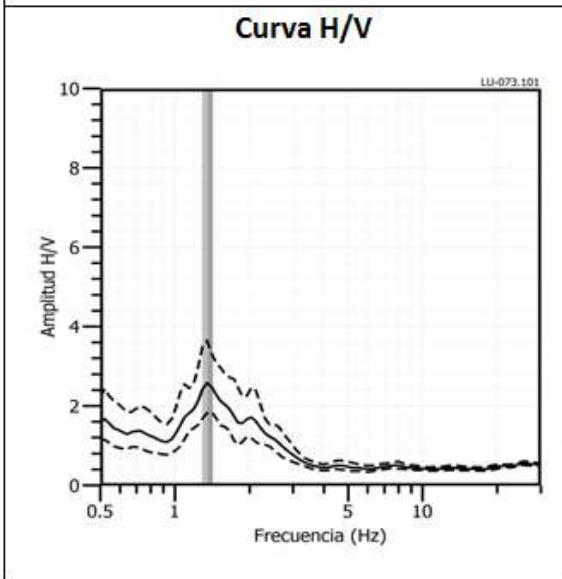
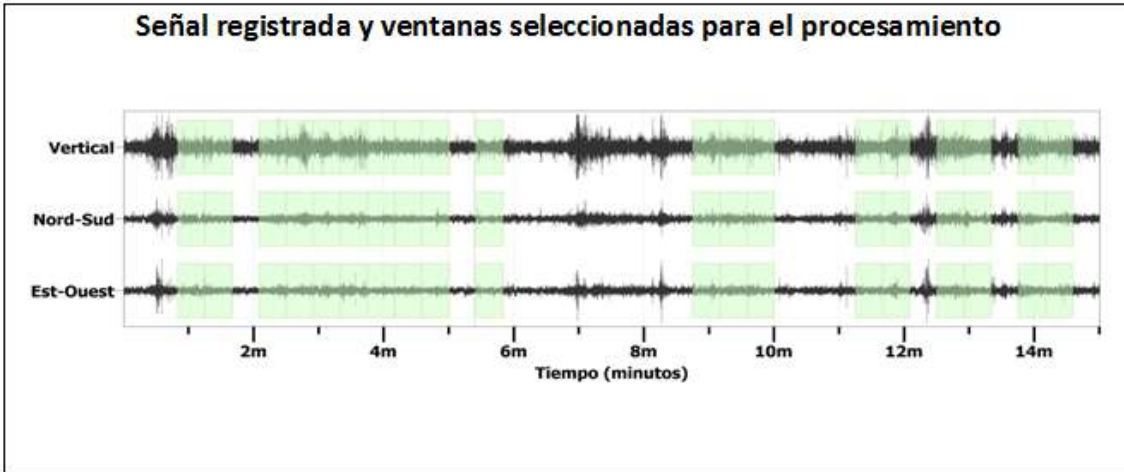
Figura 4. Disposición del equipo sísmico para la adquisición de los registros de vibración ambiental. Ejemplos de registros obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (LU-035) y otro con ruido de fondo constante (LU-052). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.





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

LU-073



**Interpretación de resultados**

Dudoso	Pico(s) H/V (Hz)	f0	f1	f2
Ningún pico	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	-	-
<b>Observaciones</b>				
<b>Var. azimuthal</b>		<b>Homogénea</b>		<b>Amplitud max. Entre y°</b>

Figura 5. Ejemplo de la ficha H/V para el punto LU-073 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 LU-073. 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 ( $V_s$ ) 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 Unión se realizaron 08 líneas de MASW codificadas como LS01-LU, ... y LS10-LU (ver Tabla 2). La distribución espacial de estas líneas se muestra en la Figura 6. 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 Unión.

Arreglo lineal MASW	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-LU	530050	9406601	23	4	92
	530003	9406523	24		
LS02-LU	531809	9404990	25	4	92
	531789	9404900	19		
LS03-LU	528979	9404888	24	4	92
	528949	9404799	23		
LS04-LU	528813	9403035	17	3	69
	528828	9403097	18		
LS05-LU	527752	9402462	22	4	92
	527778	9402550	21		
LS06-LU	525809	9404406	30	4	92
	525815	9404499	30		
LS07-LU	528896	9401483	16	4	92
	528908	9401571	16		
LS08-LU	524867	9405806	23	4	92
	524839	9405715	25		
LS09-LU	526569	9405333	21	4	92
	526573	9405240	20		
LS10-LU	530196	9402803	19	4	92
	530224	9402892	19		





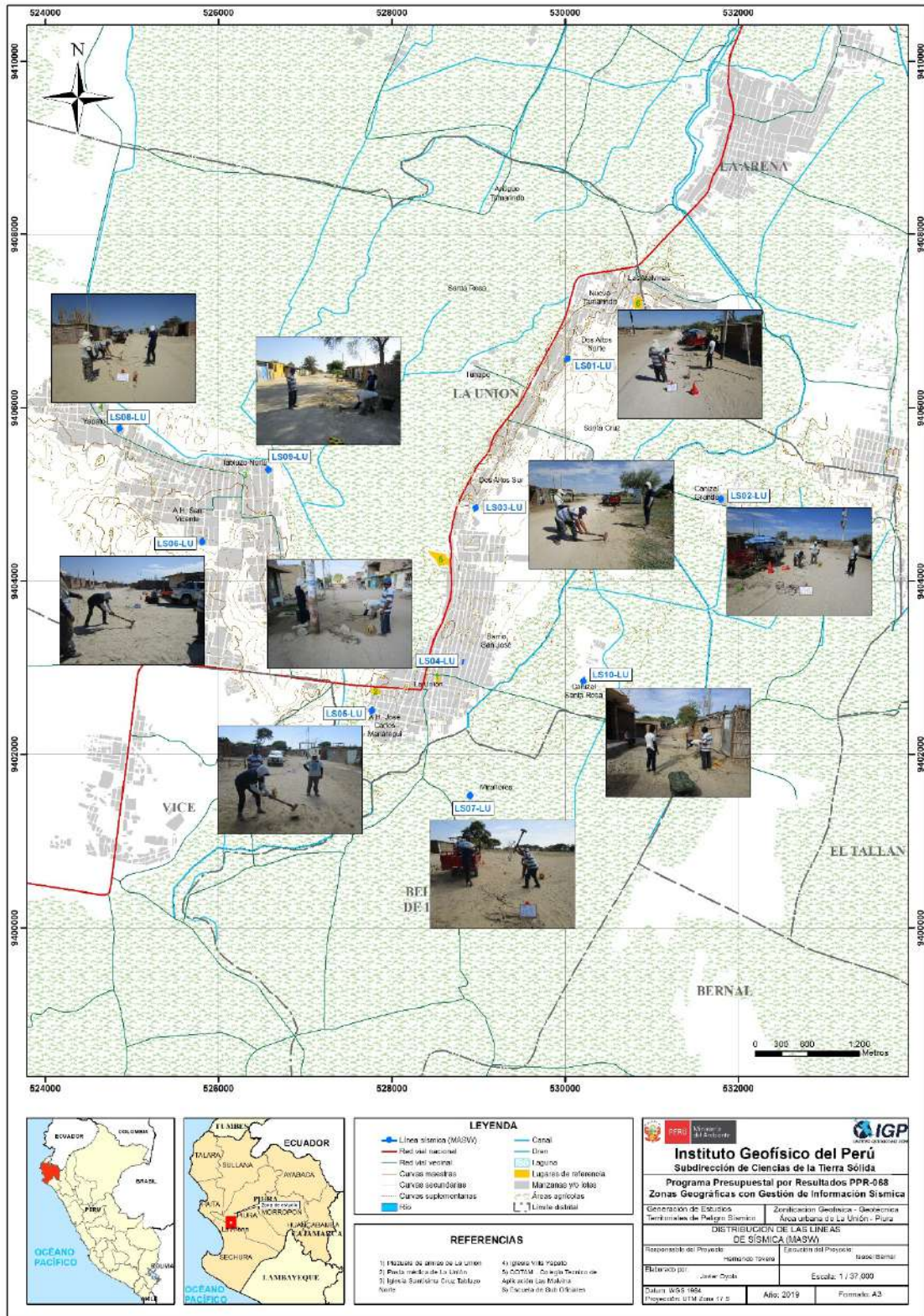


Figura 6. Distribución espacial de los ensayos MASW codificadas como LS01-LU, ..., LS10-LU en el área urbana La Unión





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.

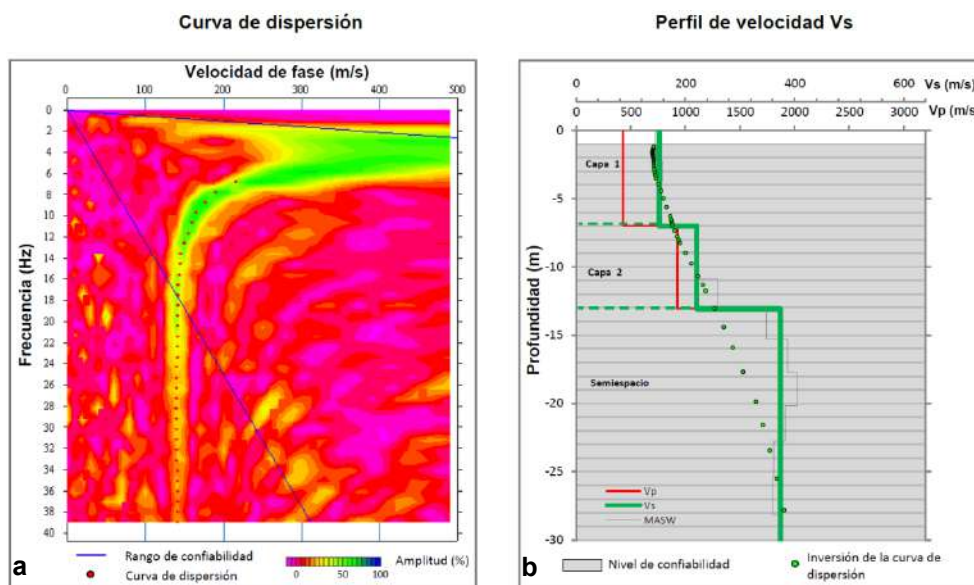


Figura 8. a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir de la técnica de MASW.



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 <sub>3</sub>	Suelo blando	Suelo blando
2	180 m/s a 350 m/s	S <sub>2</sub>	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 <sub>1</sub>	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 <sub>0</sub>	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 ( $\rho$ ) 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 07 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 La Unión. 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 Unión.



Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del área urbana de La Unión

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
<b>LE01-LU</b>	530083	9406704	19	10	290
	529960	9406429	19		
<b>LE02- LU</b>	531820	9405014	19	10	270
	531761	9404722	17		
<b>LE03- LU</b>	529012	9405019	19	10	290
	528932	9404738	16		
<b>LE04- LU</b>	529033	9403439	17	10	290
	528962	9403149	16		
<b>LE05- LU</b>	527802	9402653	17	10	280
	527718	9402367	14		
<b>LE06- LU</b>	525828	9404648	23	10	290
	525802	9404347	27		
<b>LE07- LU</b>	528958	9401729	16	10	240
	528882	9401491	14		





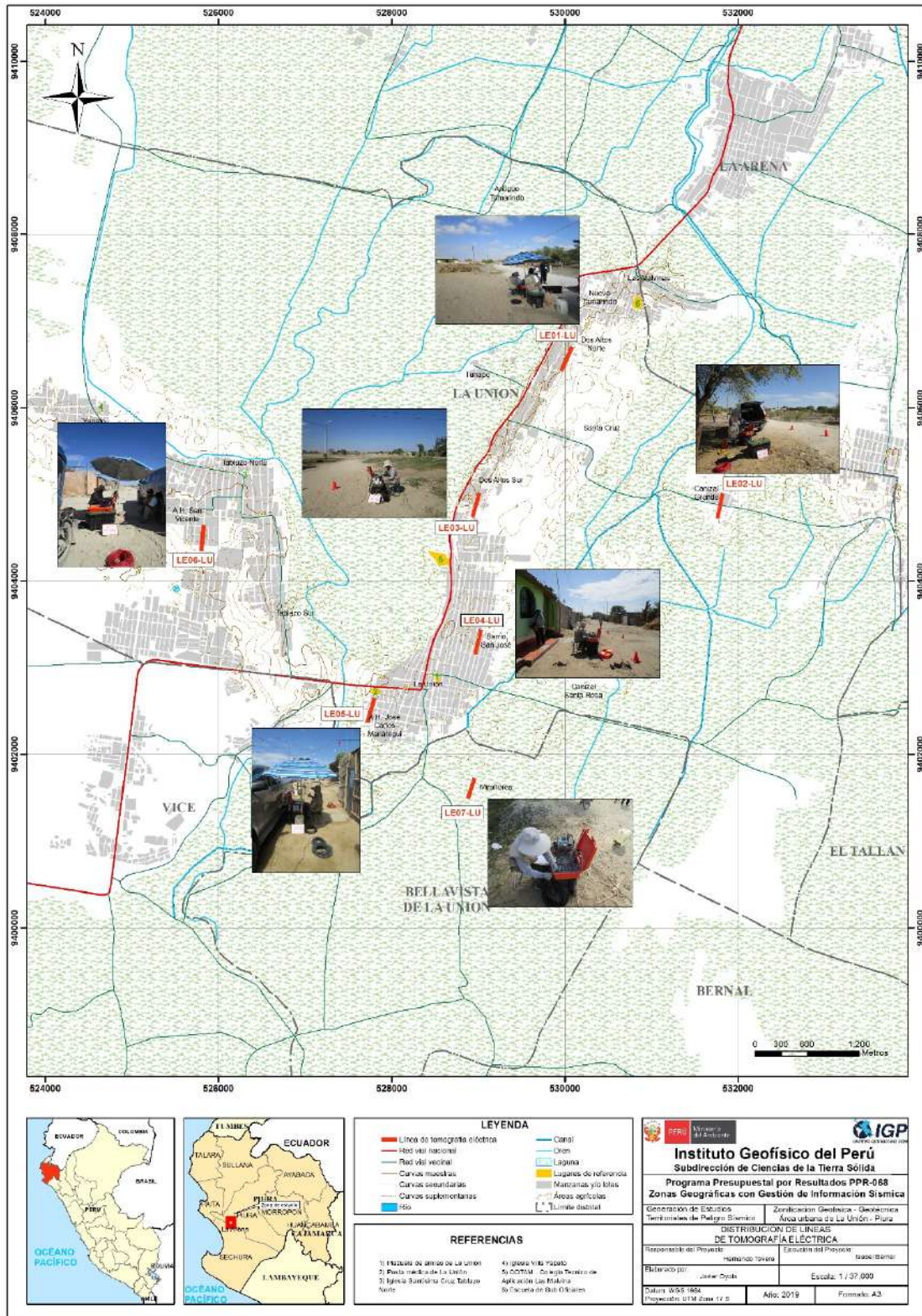


Figura 9. Distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-LU, ... LE07-LU en el área urbana La Unión.

### 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 $\Omega\text{m}$
Basamento. Roca fracturada	1500-5000 $\Omega\text{m}$
Basamento. Roca fracturada saturada con agua corriente	100-2000 $\Omega\text{m}$
Basamento. Roca fracturada saturada con agua salada	50-100 $\Omega\text{m}$
Gravas parcialmente saturadas	500-2000 $\Omega\text{m}$
Gravas saturadas	300-500 $\Omega\text{m}$
Arenas parcialmente saturadas	400-700 $\Omega\text{m}$
Arenas saturadas	100-200 $\Omega\text{m}$
Limos parcialmente saturados	100-200 $\Omega\text{m}$
Limos saturados	20-100 $\Omega\text{m}$
Limos saturados con agua salada	5-15 $\Omega\text{m}$
Arcillas parcialmente saturadas	20-40 $\Omega\text{m}$
Arcillas saturadas	5-20 $\Omega\text{m}$
Arcillas saturadas con agua salada	1-10 $\Omega\text{m}$
Ceniza volcánica seca	1000-2000 $\Omega\text{m}$
Ceniza volcánica húmeda	300-1000 $\Omega\text{m}$
Ceniza volcánica saturada	100-300 $\Omega\text{m}$



### 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 Unión, los suelos responden a frecuencias predominante ( $F_0$ ) menores a 3.0 Hz con diferentes amplificaciones y un segundo pico a frecuencias de 4.0 a 5.0 Hz. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en el área urbana La Unión.

##### 3.1.1.- Frecuencias Predominantes

.- **La frecuencia predominante  $F_0$** , según la Figura 10, fluctúa principalmente entre 1.2 a 2.8 Hz, con una distribución uniforme en toda el área de estudio.

En la Figura 11, se muestra ejemplos de razones espectrales característicos para diversos sectores del distrito. Para la zona céntrica, se obtuvieron las razones (H/V) para los puntos LU-07(A), LU-49 (B) y LU-120(E), realizados próximos a plaza de armas, Barrio San José, A.H. Dos Altos Sur y Miraflores, donde sobresalen frecuencias a 1.6, 1.7 y 1.7 Hz con amplificaciones meradas de 2.3, 3.6 y 3.0 veces respectivamente. A diferencia de lo observado hacia el extremo NE del área de estudio, cuyas razones espectrales obtenidas para los puntos LU-71(C), LU-79(D) y LU-123(F), ubicados próximos a los AA.HH. Dos Altos Norte, Santa Cruz y Cañizal Grande, donde sobresale un pico bien definido en el mismo rango de frecuencias ( $F_0$ : 1.9, 1.5 y 1.4 Hz) pero con la diferencia de que las amplificaciones se duplican (4.5, 4.9 y 5.5 veces). Estos resultados evidencian que los suelos ubicados hacia el extremo NE son más blandos que en la zona céntrica del distrito.

Un caso particular se observa hacia el extremo Oeste de la zona céntrica del distrito, donde sobre un área pequeña donde se identifican tres diferentes tipos de suelo:

a) En dirección SO, se obtienen las razones espectrales (H/V) para los puntos LU-157(G), LU-189 (N) y LU-197(O), ubicados próximos al Tablazo Sur y al A.H. San Vicente, donde sobresalen las frecuencias de 1.9, 1.5 y 1.5 Hz con mínimas amplificaciones (menores a 2 veces).

b) En dirección NE, se obtienen las razones espectrales (H/V) para los puntos LU-163(H), LU-172 (J) y LU-181(L), ubicados entre el Sector Yapato y el Tablazo Norte, donde sobresalen las frecuencias de 5.7, 4.8 y 5.7 Hz con amplificaciones de 2.5 veces.





c) En dirección NO, se obtienen las razones espectrales (H/V) para los puntos LU-168(I), LU-174 (K) y LU-187(M), ubicados en el Sector Yapato, donde sobresale en dos picos de frecuencia el primero a 1.7, 1.7 y 1.8 Hz con amplificaciones relativas de 2.1, 2.5 y 2.1 veces y el segundo a 5.6, 4.9 y 5.5 Hz con amplificaciones de 2.1, 3.1 y 2.1 veces respectivamente.

Los valores bajos de frecuencia se asocian a estratos del suelo de gran espesor y los factores de amplificación mayores a 4 veces, sugieren que estos suelos presentan baja consistencia. La presencia de dos picos de frecuencia evidencian la presencia de suelos heterogéneos, cuya respuesta dinámica ante la ocurrencia de un sismo es compleja.



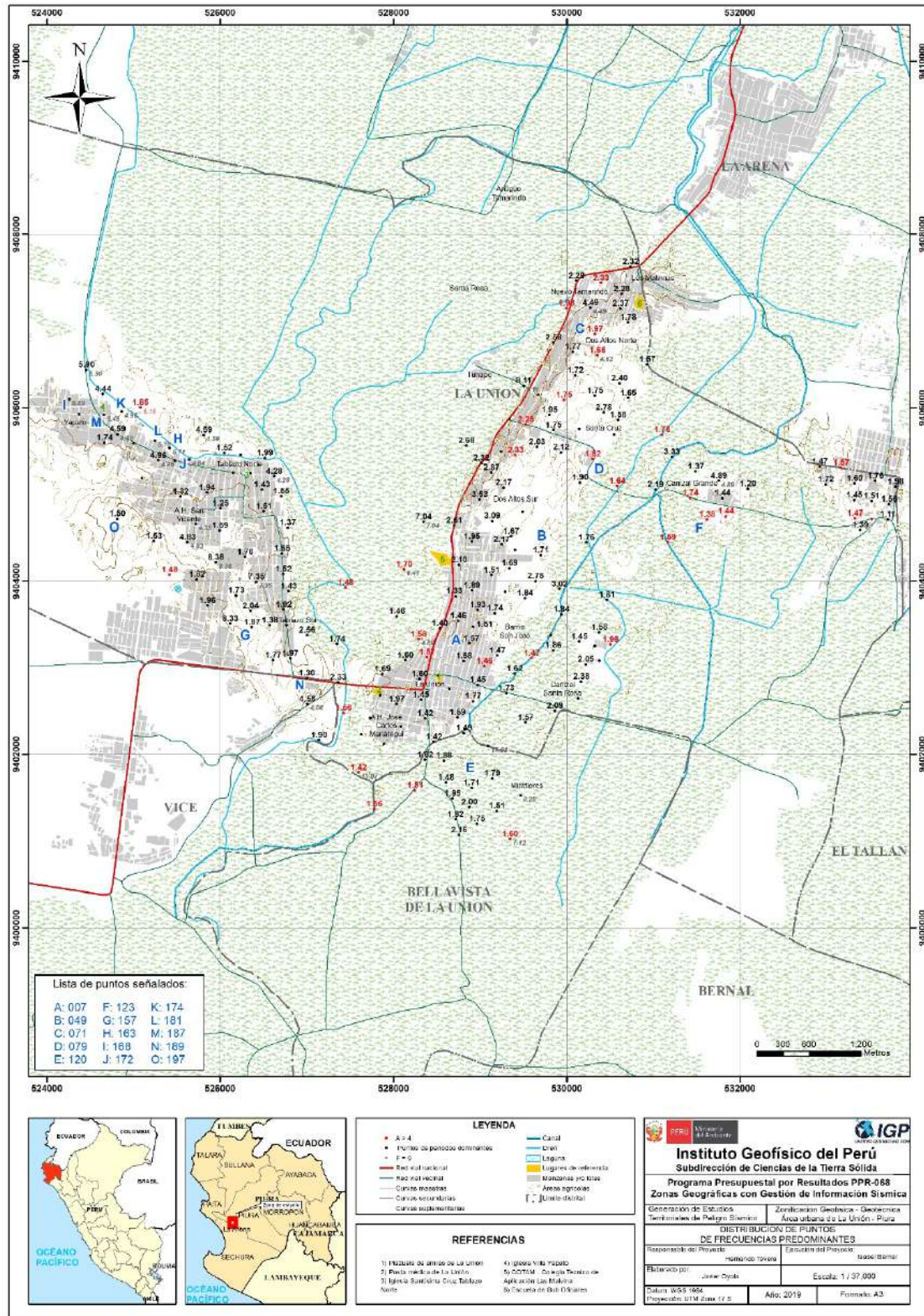
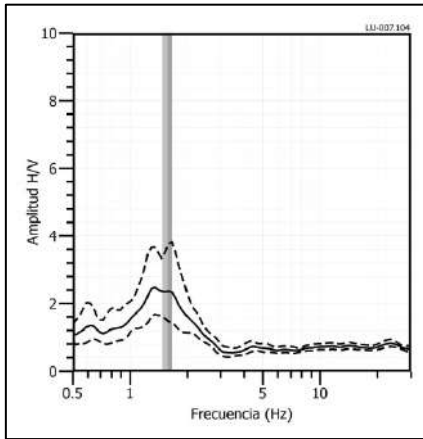


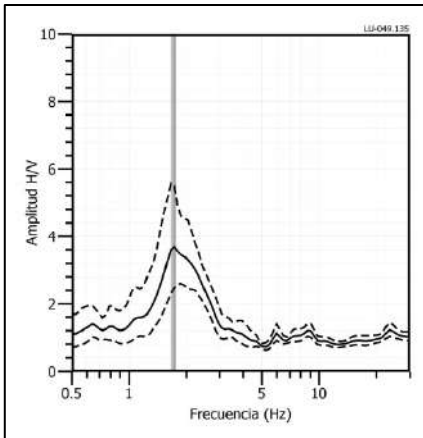
Figura 10. Distribución espacial de las frecuencias predominantes  $F_0$ . Los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 3 veces. Las letras corresponden a los puntos cuyas razones espectrales son analizadas en el informe.



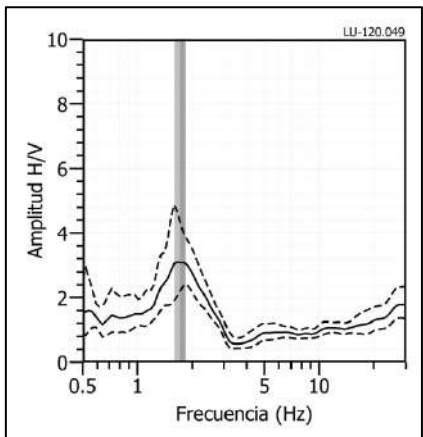
**LU - 07**



**LU - 49**



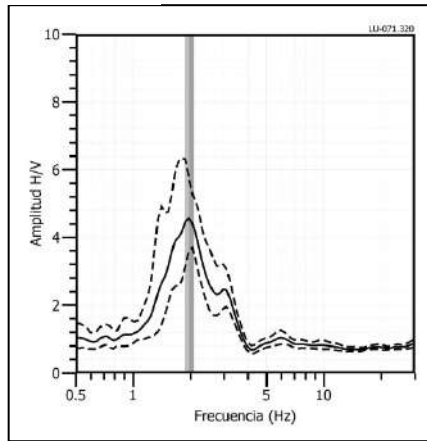
**LU - 120**



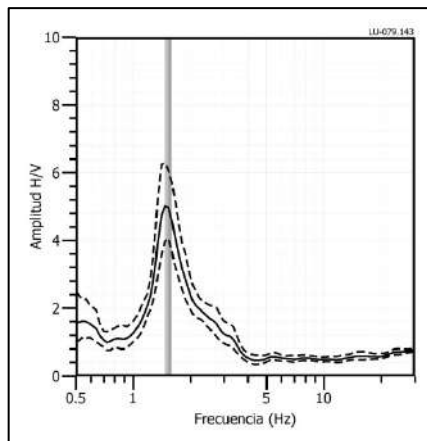
**Figura 11. Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos LU-07(A), LU-49 (B) y LU-120(E), realizados próximos al Barrio San José, al sur del A.H. Dos Altos Sur y próximo a Miraflores, respectivamente Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.**



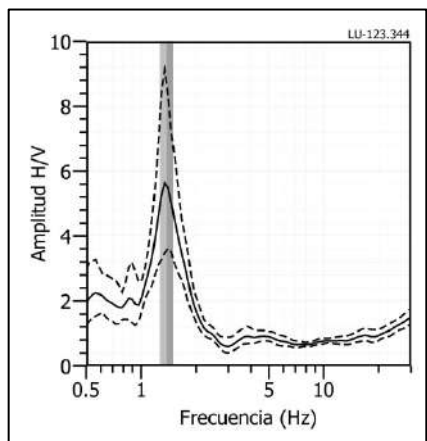
**LU - 71**



**LU - 79**



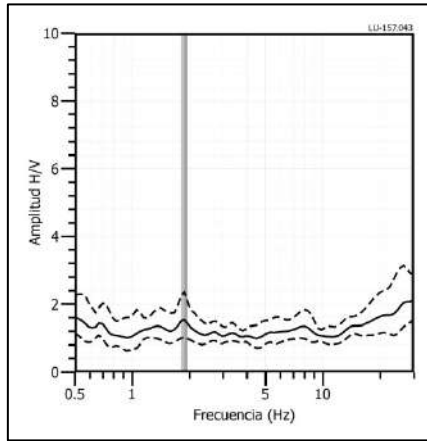
**LU - 123**



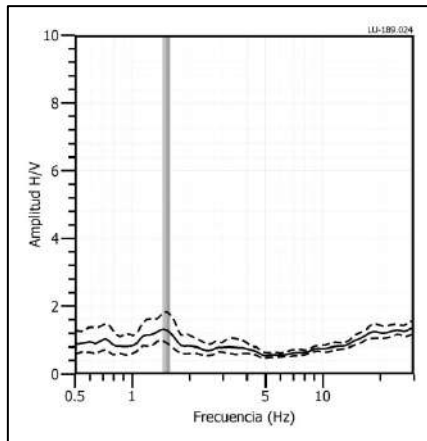
**Figura 11. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos LU-71(C), LU-79(D) y LU-123(F), realizadas próximas a los AA.HH. Dos Altos Norte, Santa Cruz y Cañizal Grande, respectivamente. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.**



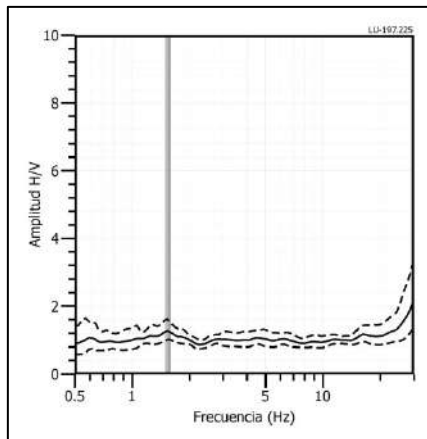
**LU - 157**



**LU - 189**



**LU - 197**

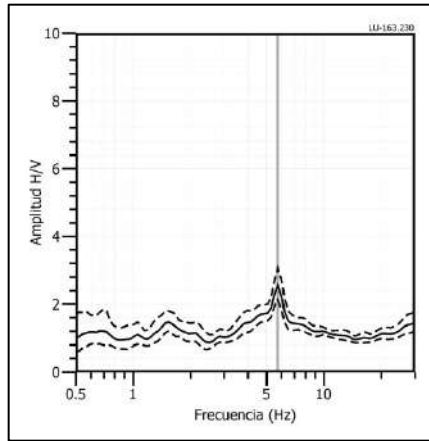


**Figura 11. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos LU-157(G), LU-189(N) y LU-197(O), ubicados todos al oeste del área de estudio, próximos al Tablazo Sur y al A.H. San Vicente. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.**

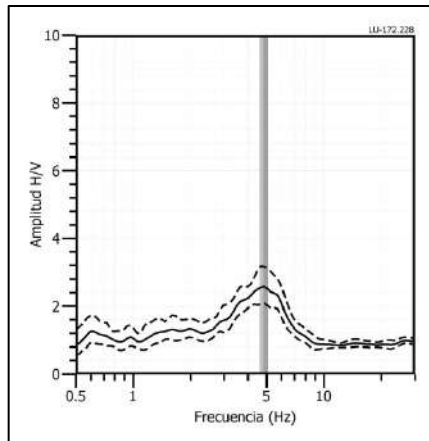




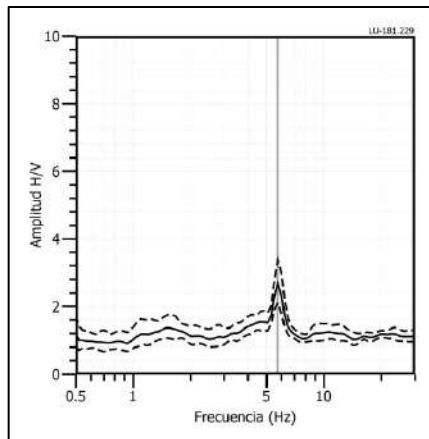
**LU - 163**



**LU - 172**



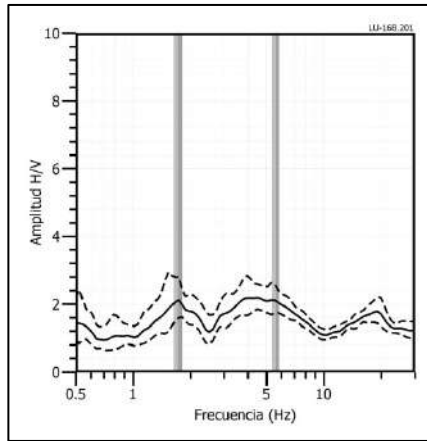
**LU - 181**



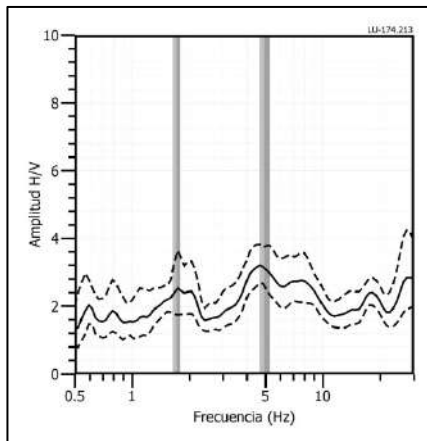
**Figura 11. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos LU-163(H), LU-172(J) y LU-181(L), ubicados al oeste, entre Yapato y Tablazo norte. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.**



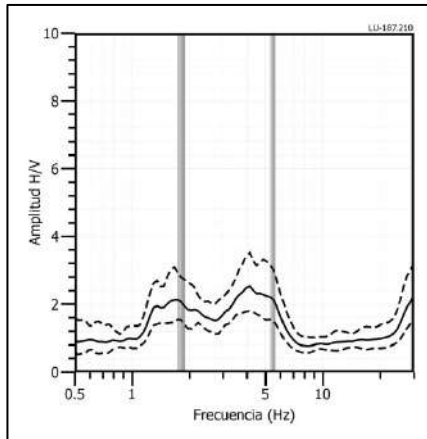
**LU - 168**



**LU - 174**



**LU - 187**



**Figura 11. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos LU-168(I), LU-174(K) y LU-187(M), ubicados en Yapato. 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 y los puntos en gris corresponden a puntos donde no sobresalió ningún periodo. Los  $T_0 > 0.4$  segundos se distribuyen de manera uniforme sobre toda el área de estudio y los valores de  $T_0 = 0.2 - 0.3$  segundos, de forma aleatoria hacia el extremo Oeste del área de estudio, en los sectores Yapato, Tablazo Norte y A.H. San Vicente, 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 este del área urbana La Unión.





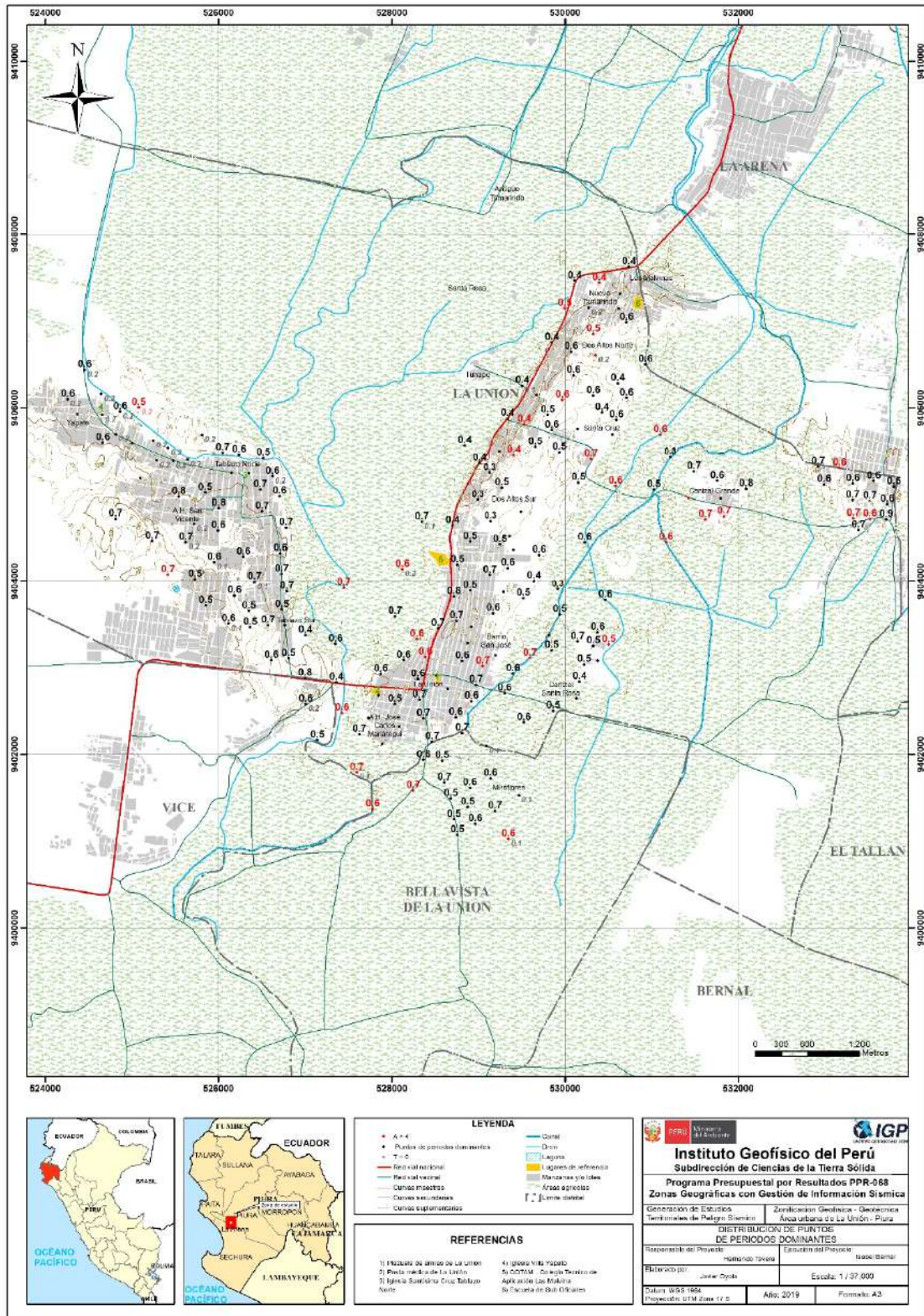


Figura 12. Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

### 3.2.- Perfiles de MASW

En el área de estudio se realizaron 10 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-LU. Para el resto de los perfiles, ver Anexo I.

**Línea sísmica LS01-LU:** Ubicada al Norte La Unión, A.H. Dos Altos Norte. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 11 metros de espesor con velocidad  $V_s$  de 188 m/s, la segunda capa, muestra velocidad  $V_s$  de 241 m/s cuyo espesor es de 12 metros y, el semi-espacio, presenta velocidades  $V_s > 338$  m/s. De acuerdo con los resultados obtenidos, hay un predominio de suelos moderadamente rígido.

**Línea sísmica LS02-LU:** Ubicada al noreste del área de estudio en el C.P. Canizal Grande. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 5 metros de espesor con velocidad  $V_s$  de 235 m/s, la segunda capa, la velocidad  $V_s$  disminuye a 189 m/s cuyo espesor es de 15 metros, y el semi-espacio, presenta velocidades  $V_s > 273$  m/s.

**Línea sísmica LS03-LU:** Ubicada en el extremo Norte del distrito, en el A.H. Dos Altos Sur. Indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 7 metros de espesor y velocidad  $V_s$  de 152 m/s corresponde a suelo blando. La segunda capa con velocidad  $V_s$  de 221 m/s cuyo espesor es de 6 metros y el semi-espacio, con velocidades  $V_s > 373$  m/s.

**Línea sísmica LS04-LU:** Ubicada en la zona céntrica del distrito, en el barrio San José. Se identifica una capa sísmica con velocidad  $V_s$  de 218 m/s y espesor de 18 metros, por debajo, el semi-espacio presenta velocidades  $V_s > 319$  m/s. De acuerdo con los valores de velocidad, la capa sísmica y el semi-espacio corresponde a suelo moderadamente rígido.

**Línea sísmica LS05-LU:** Ubicada al suroeste del área de estudio, en el A.H. José Carlos Mariátegui. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 11 metros de espesor con velocidad  $V_s$  de 196 m/s, la segunda, con velocidad  $V_s$  de 235 m/s cuyo espesor es de 12 metros, y el semi-espacio con velocidades  $V_s > 347$  m/s.

**Línea sísmica LS06-LU:** Ubicada al Oeste del área de estudio, en el A.H. San Vicente (sector Tablazo). Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 4 metros de espesor con velocidad  $V_s$  de 231 m/s que corresponde a suelo moderadamente rígido, la segunda capa, muestra velocidad  $V_s$  de 357 m/s cuyo espesor es de 7 metros, y el semi-espacio, con velocidades  $V_s > 456$  m/s. Estos últimos (segunda capa y semi-espacio) corresponden a suelo rígido.





**Línea sísmica LS07-LU:** Ubicada al Sur del área de estudio, en el anexo Miraflores que corresponde al distrito de Bellavista. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 5 metros de espesor con velocidad  $V_s$  de 233 m/s, la segunda muestra decaimiento de la velocidad  $V_s$  a 195 m/s cuyo espesor es de 8 metros, pero ambas capas consideran a suelo moderadamente rígido. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades  $V_s > 368$  m/s, la cual corresponde a suelo rígido.

**Línea sísmica LS08-LU:** Ubicada al Oeste del área de estudio, en el Sector Yapato (sector Tablazo). Se identifica una capa sísmica de 11 metros de espesor con velocidad  $V_s$  de 232 m/s la cual sugiere suelo moderadamente rígido. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades  $V_s > 423$  m/s, corresponde a suelo rígido.

**Línea sísmica LS09-LU:** Ubicada al oeste del área de estudio, C.P. 19 de Agosto (sector Tablazo). Se identifica dos capas: la primera de 4 metros de espesor con velocidad  $V_s$  de 292 m/s, la segunda capa, con velocidad  $V_s$  de 347 m/s y espesor es de 9 metros, ambas corresponden a suelo moderadamente rígido. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades  $V_s > 417$  m/s, considera a suelo rígido.

**Línea sísmica LS10-LU:** Ubicada al sureste del área urbana, en el anexo Santa Rosa. Se identifica una capa sísmica de 11 metros de espesor con velocidad  $V_s$  de 156 m/s, corresponde a suelo blando. El semi-espacio presenta velocidades  $V_s > 278$  m/s, considera a suelo moderadamente rígido.

En la Tabla 6, se muestra el resumen de la información obtenida, la velocidad de ondas de corte  $V_s$ , su espesor y la velocidad  $V_{s30}$ .



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

		Superficie $\longrightarrow$ Profundidad					
Línea Sísmica	N° DE CAPA						
	1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
LS01-LU	188	11	241	12	338	-	230
LS02-LU	235	5	289	15	273	-	211
LS03-LU	152	7	221	6	373	-	251
LS04-LU	218	18	319	-	-	-	247
LS05-LU	196	11	235	12	347	-	233
LS06-LU	231	4	357	7	456	-	385
LS07-LU	233	5	195	8	368	-	266
LS08-LU	232	11	423	-	-	-	329
LS09-LU	292	4	347	9	417	-	373
LS10-LU	156	11	278			-	211

<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color: #f08080; border: 1px solid black;"></span>	Suelo blando ( $V_s < 180$ m/s)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color: #f4a460; border: 1px solid black;"></span>	Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color: #ffff00; border: 1px solid black;"></span>	Suelo rígido (350 – 500 m/s)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color: #90ee90; border: 1px solid black;"></span>	Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color: #32cd32; border: 1px solid black;"></span>	Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color: #008000; border: 1px solid black;"></span>	Roca dura ( $V_s > 1500$ m/s)



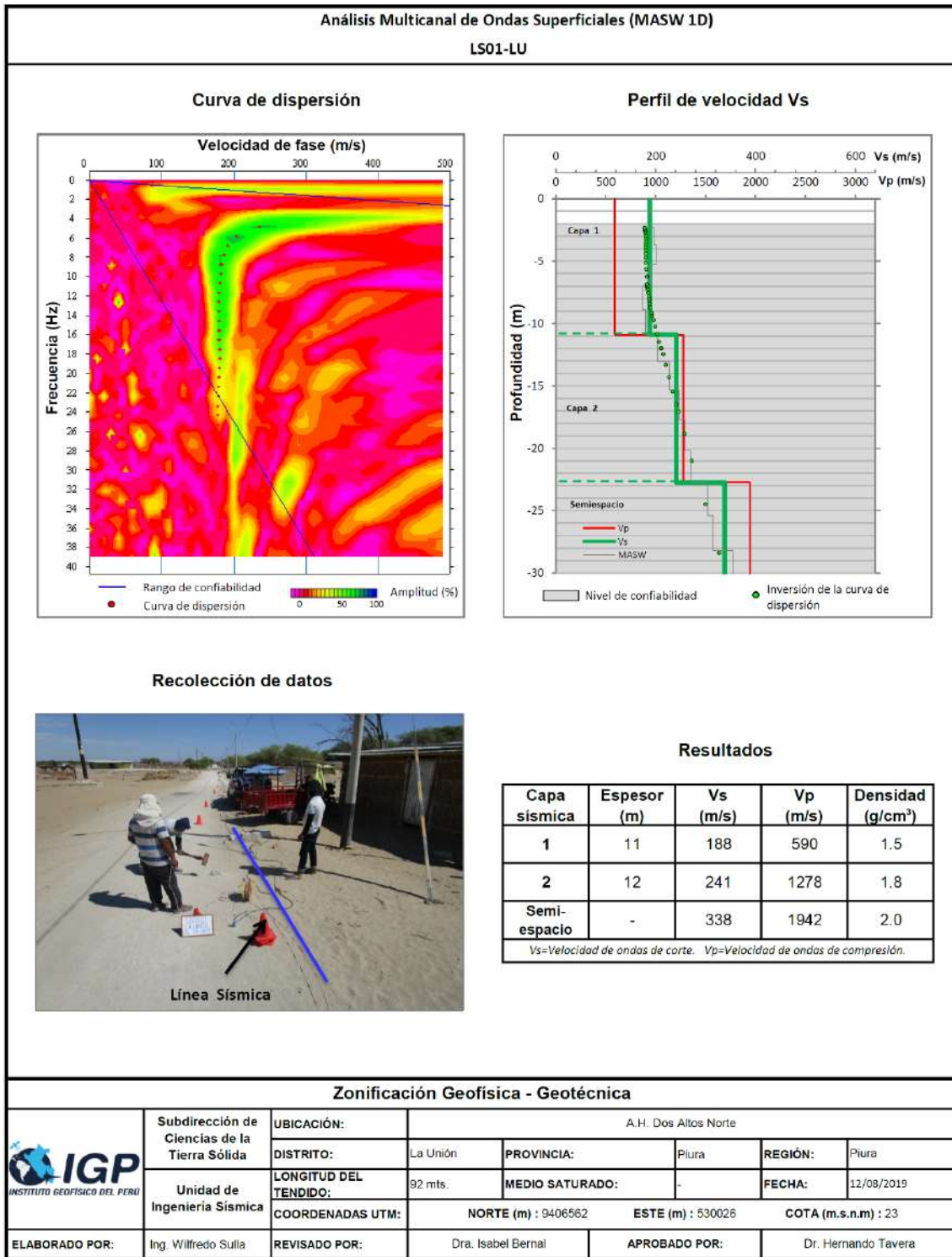


Figura 13. Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo lineal LS01-LU.

Se los resultados en el distrito La Unión, existen dos tipos de suelo; el primero caracterizado por **(1) suelos blandos**, con velocidades menores a 180 m/s y espesores que varían entre 7 a 11 metros se distribuyen de forma sectorizada por el A.H. Dos Altos Sur y el anexo Santa Rosa, ambos lugares se encuentran próximos a áreas de cultivo con alta humedad, ver Figura 14. **(2) suelos moderadamente rígidos** con velocidades de 200 a 400 m/s y espesores variables (de 4 a 30 metros), los menores espesores se presentan en sector Yapato, el Tablazo, y se incrementa conforme se tiende hacia El Cercado, A.H. Dos Altos, anexo Santa Rosa y Canizal Grande.



Figura 14. Variación de espesores de los suelos moderadamente rígidos en el distrito La Unión.





### 3.3.- Perfiles de Tomografía Eléctrica

Se realizaron 07 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 15 y 16, imágenes con la disposición de las diferentes líneas y en la Figura 17, los resultados obtenidos para la línea LE01-LU. Para el resto de los perfiles, ver Anexo II.

Las líneas **LE01-LU**, **LE02-LU**, **LE03-LU** y **LE04-LU** realizadas en la zona norte, noreste y centro, en los sectores Dos Altos Norte, Canizal Grande, Dos Altos Sur y Barrio San José, próximos al canal y dren de regadío, en estas líneas se presenta predominio de valores muy bajo resistivos ( $<20 \Omega.m$ ), caracterizado por arenas limosas, el suelo se encuentra parcialmente saturado 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 15.

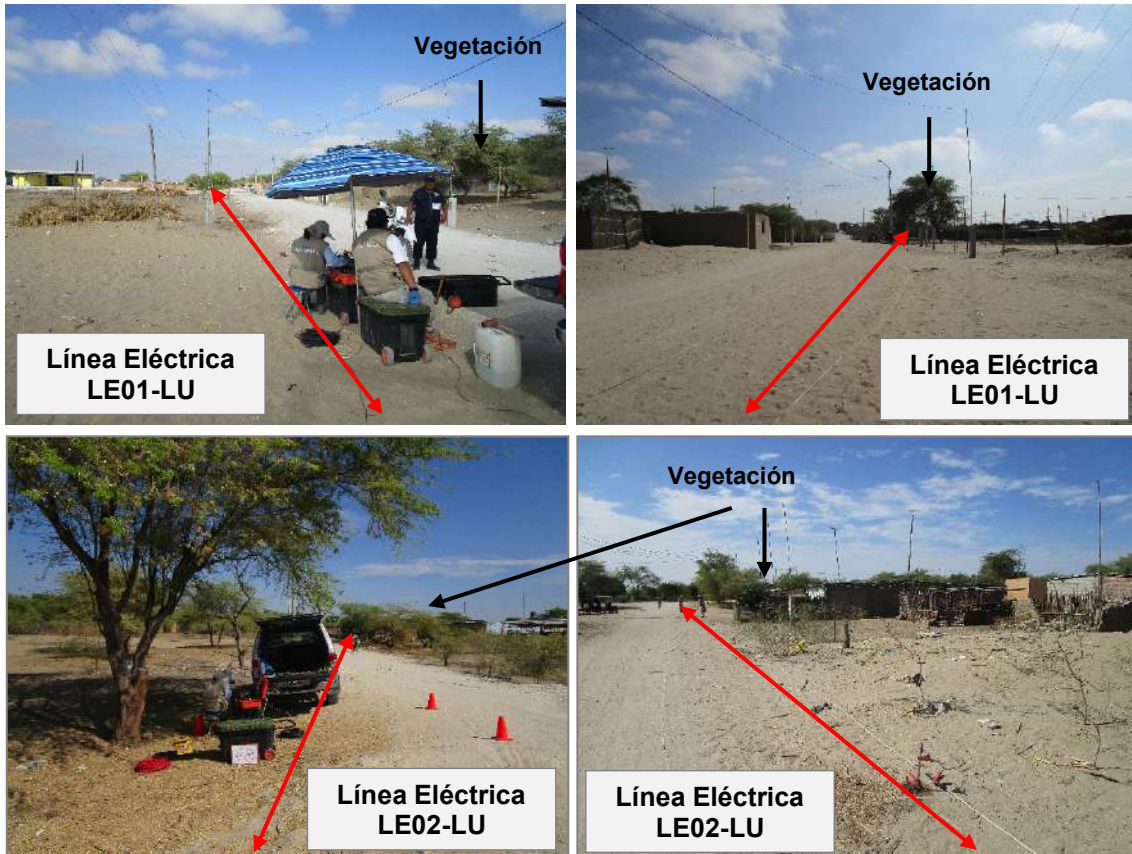






Figura 15. Vista de la línea eléctrica LE01-LU, LE02-LU, LE03-LU y LE04-LU.

En la línea eléctrica **LE05-LU**, realizada en el extremo sur del área de estudio, en el A.H. José Carlos Mariátegui. Se identifica el predominio de valores bajo resistivos a muy bajo resistivos ( $<100 \Omega.m$ ), presentando humedad asociada a depósitos de arenas de origen marino y a la presencia de terrenos de cultivo (Figura 16).

En la línea **LE06-LU**, realizada al oeste del área de estudio próximo al A.H. San Vicente / Tablazo. En superficie aparecen valores medianamente resistivos (100 a 500  $\Omega.m$ ) lo que sugiere una costra sedimentaria caracterizada por depósitos de tablazo (Figura 16). Pero en profundidad, a partir de 15 metros, se identifica el predominio de valores bajo resistivos a muy bajo resistivos ( $<100 \Omega.m$ ), indica que el suelo presenta humedad asociándose a arenas mal gradadas e influenciadas por aguas subterráneas.

En esta línea **LE07-LU**, realizada al extremo sur, en el sector de Miraflores. Se identifica el predominio de valores de bajo a muy bajo resistivos ( $<100 \Omega.m$ ), que corresponde a medios saturados, asociados a arenas y arcillas de origen marino y fluvial (Figura 16).





**Figura 16. Vista de la línea eléctrica LE05-LU, LE06-LU y LE07-LU.**





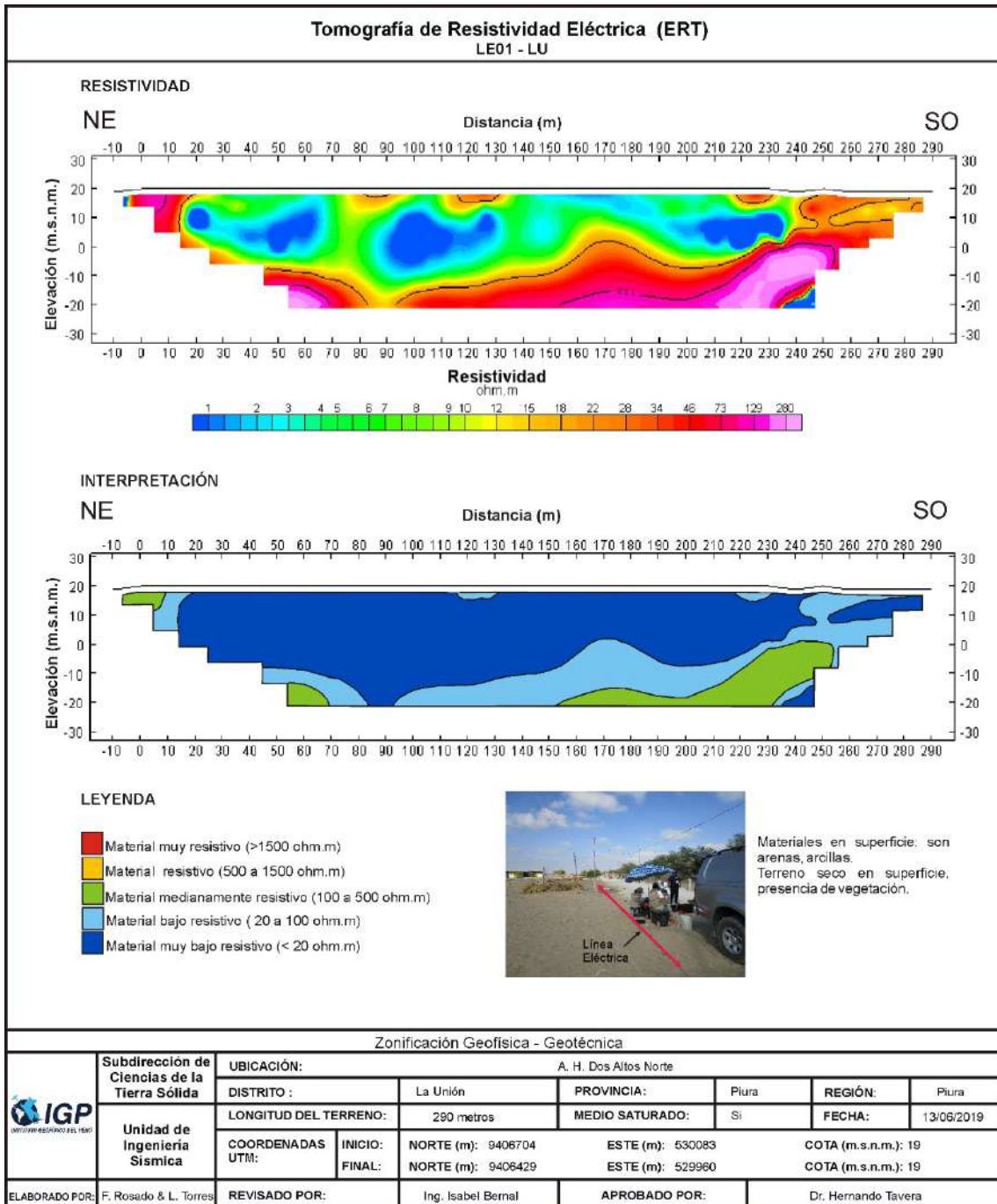


Figura 17. Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-LU.

Hacia el extremo este del área de estudio, los cortes geoelectricos evidencian la presencia de suelos saturados, principalmente en los sectores Dos Altos Norte, Canizal Grande, Dos Altos Sur, el Barrio San José, A.H. José Carlos Mariátegui y Miraflores. Los niveles de saturación se presentan desde la superficie, debido a la influencia de los canales de regadío y el sistema de dren y los terrenos de cultivo. El medio saturado supera los 40 metros de profundidad desde superficie. Y hacia el extremo Oeste del distrito, presenta un medio parcialmente saturado a partir de los 15 metros de profundidad, principalmente en el A.H. San Vicente, esto es debido por la influencia de los terrenos de cultivo, el río Piura, aguas subterráneas y la presencia de vegetación.

El suelo de este distrito 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.





## 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 Unión 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 0.4 y 0.7 segundos (Figura 18), cuya distribución es variada, los periodos de entre 0.4 y 0.5 segundos se identifican principalmente en los sectores Dos Altos Norte, Dos Altos Sur y Santa Rosa, y los periodos de entre 0.6 y 0.7 segundos se distribuyen de manera homogénea en el resto del área de estudio. Asimismo, en los sectores Yapato y El Tablazo (hacia el Oeste), los suelos responden en un segundo rango de periodos de entre 0.2 y 0.3 segundos, evidenciando su heterogeneidad que se ve reflejado en los perfiles de suelo obtenidos con el análisis sísmico. Se identifica en superficie suelos moderadamente rígidos ( $V_s = 188 - 347$  m/s), de menor espesor en los sectores Yapato y El Tablazo (entre 4 y 13 metros) y mayor, en el resto del área de estudio superando la profundidad investigada. Por debajo, se emplazan los suelos rígidos ( $V_s = 357$  a  $456$  m/s).

De forma puntual, en los sectores Dos Altos Sur y Santa Rosa, se identifica una capa superficial entre 7 y 11 metros de espesor, cuyos suelos presentan velocidades bajas ( $V_s = 152 - 156$  m/s), evidenciando la presencia de suelos blandos. Estos suelos corresponden a depósitos eólicos e influenciados por el nivel freático.

Asimismo, hay un predominio de suelos saturados desde niveles próximos a la superficie (3 metros), principalmente en áreas cercanas a los canales de drenaje, en los sectores Nuevo Tamarindo, Dos Altos Sur, Canizal Grande, Barrio San José y el Tablazo, este último a partir de los 15 metros, esto es debido a la influencia del río Piura, las inundaciones y a las infiltraciones 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 (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 que se encuentran de manera



puntual en los sectores Nuevo Tamarindo, Dos Altos y Canizal Grande, los cuales se encuentran influenciados por el grado de saturación.

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



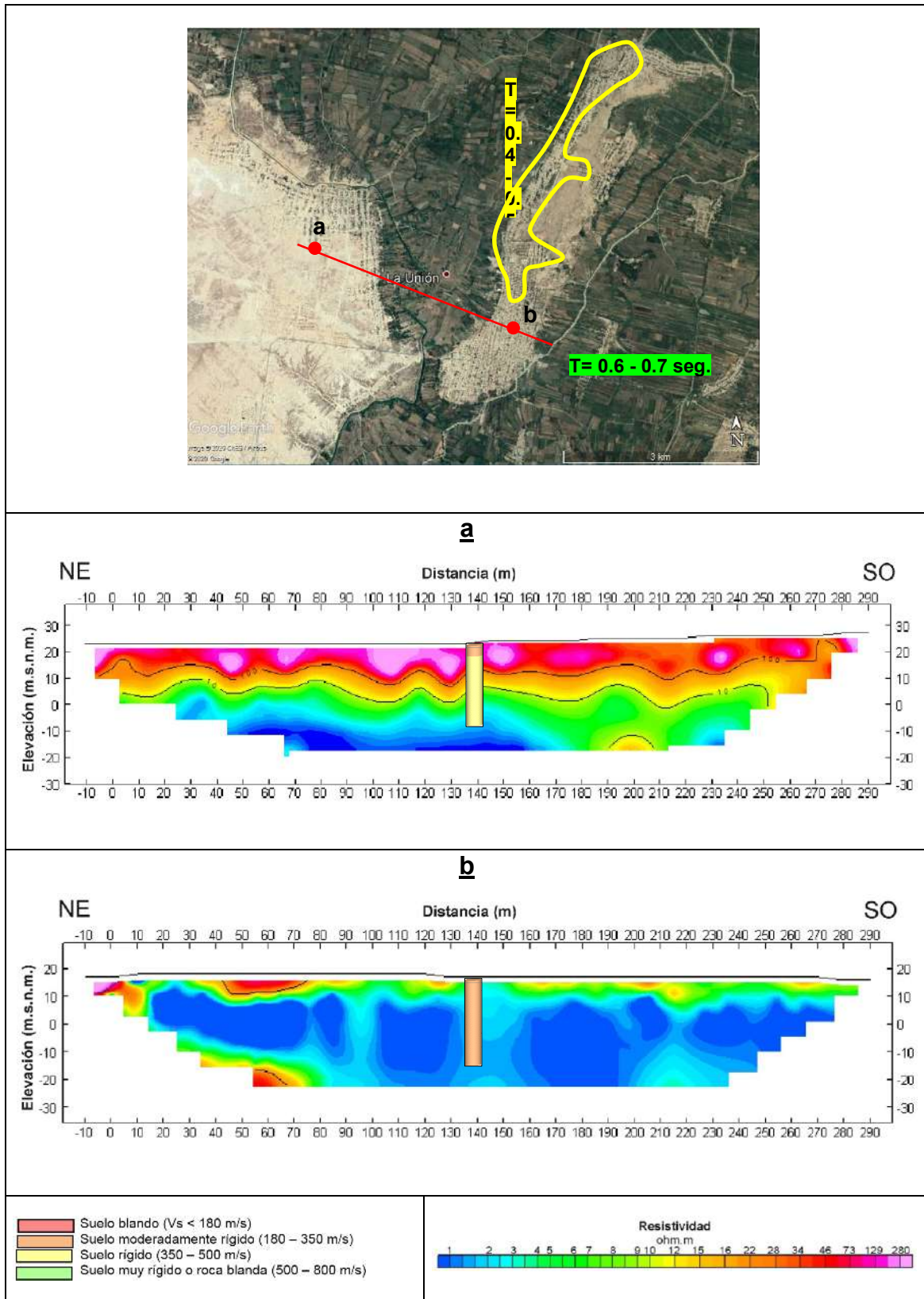


Figura 18. Correlación de los ensayos geofísicos, periodos dominantes, tipo de suelo y grado de saturación.



## 4.2. Mapa de Zonificación Geofísica

El mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana La Unión, se elabora en función de la integración de los resultados 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 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 varían entre 0.5 y 0.7 segundos.

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

- **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 300 m/s.

- **ZONA II:** Considera suelos constituido por estratos de arenas (depósito eólico y de tablazo). Presenta velocidades de ondas de corte  $V_s$  de 220 m/s en promedio para la capa superficial y de hasta 456 m/s a la profundidad investigada de 30 metros, con periodos de vibración natural entre 0.2 y 0.5 segundos, ambos definen la existencia de suelos Tipo S2, cuyo comportamiento es medianamente rígido (NTE.030). Los suelos presentan un moderado nivel de saturados a nivel superficial y una capacidad de carga admisible de entre 1.0 y 3.0 Kg/cm<sup>2</sup> a un metro de profundidad. Esta zona comprende los sectores de Dos Altos, Nuevo Tamarindo, Canizal Santa Rosa, El Tablazo, Yapato, A.H. San Vicente y parte del A.H. José Carlos Mariátegui, ver Figura 19.

Las líneas inclinadas de color verde delimitan áreas que se encuentra influenciado por un segundo rango de periodos que varían entre 0.2 y 0.3 segundos con bajas amplificaciones, comprende los sectores de Tablazo Norte y Sur, Yapato y A.H. San Vicente.

- **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 373 m/s a la profundidad investigada de 30 metros, con predominio de periodos de vibración natural que varían entre 0.6 y 0.7 segundos, ambos definen la existencia de suelos Tipo S3, que tienen superficialmente un comportamiento blando. Los suelos se presentan saturados desde pocos metros de la superficie (3 metros). Esta zona comprende el 65 % del área de estudio y se identifica por la escuela de Sub Oficiales, en sectores de Dos altos, Santa Cruz, Canizal Grande, Barrio San José, parte del A.H. José Carlos Mariátegui y áreas próximas a los canales de regadío.

En las zonas II y III, las líneas inclinadas en rojo delimitan áreas donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 4 veces, sugiriendo que el mayor



sacudimiento del suelo a la ocurrencia de un sismo se presentará en los sectores de Nuevo Tamarindo, Canizal Grande, Dos Altos Norte y próximo a canales de regadío.

Asimismo, en la Figura 19 se delimita con una línea discontinua, los sectores con inundación pluvial y fluvial originada por el fenómeno El Niño en el año 2017. Estos sectores corresponden a Nuevo Tamarindo, Dos Altos Sur y Norte, Santa Cruz, Canizal Grande y Barrio San José.



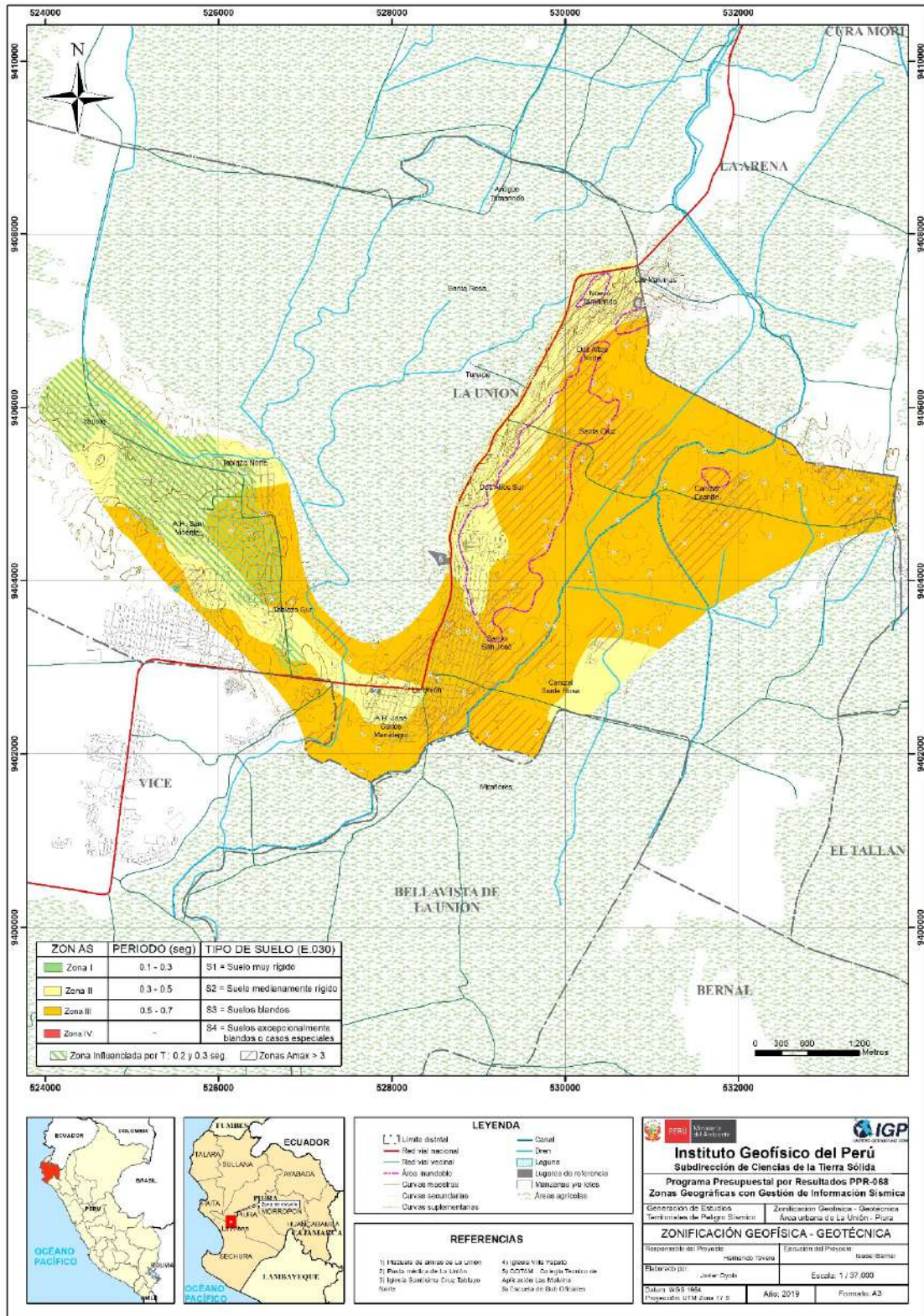


Figura 19. Mapa de Zonificación Sísmica del área urbana La Unión.

## 9. CONCLUSIONES

- La Unión se caracteriza por presentar seis unidades geomorfológicas como son: Terrazas marinas (conformados por conglomerados poco consolidados con matriz de restos calcáreos), colinas, dunas, llanuras, quebrada y cuencas ciegas o depresiones (conformados por arenas eólicas, arenas y limos). Los eventos geodinámicos reconocidos en la zona de estudio son inundaciones ocasionado por los desbordes de los canales de regadío y escorrentías formadas por las intensas precipitaciones en periodos ENSO, que afectan los sectores urbanos de Arroyo Mío, 8 de Diciembre, Yapato, San Martín de Létira, Tablazo Norte y Sur, y flujos de lodo, que se originan en la quebrada Létira y desembocan en la zona de expansión urbana de San Martín de Létira.
- En base a los resultados de los ensayos geotécnicos y del laboratorio se ha determinado que los tipos de suelos presentes en la ciudad de La Unión son cuatro (04), entre los que se tienen: arenas mal graduadas (SP), arenas limosas (SM), arena mal graduada con arena limosa (SP-SM) y arcillas inorgánicas (CL) de plasticidad baja a media, los cuales presentan capacidad de carga portante muy baja ( $< 1.00 \text{ kg/cm}^2$ ), baja ( $1.00 - 2.00 \text{ kg/cm}^2$ ) y alta ( $> 3.00 \text{ kg/cm}^2$ ).
- Los suelos del distrito La Unión responden principalmente a frecuencias de entre 1.2 y 2.8 Hz con amplificaciones de hasta 4 veces. De manera local, los suelos de los sectores Yapato, Tablazo Norte y A.H. San Vicente, muestran sensibilidad a un segundo pico a frecuencias de 4.0 y 5.0 Hz con moderadas amplificaciones.
- Las altas amplificaciones sugiere que los suelos en los sectores de Nuevo Tamarindo y Canizal Grande, presentan menor consistencia. A diferencia de lo observado en los sectores del Tablazo Norte y Tablazo Sur 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 de manera local hacia el extremo Oeste del área de estudio, en los sectores Yapato, Tablazo Norte y A.H. San Vicente. 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 este del área urbana La Unión.



- De los resultados obtenidos con el método sísmico, en el área de estudio predominan en superficie dos tipos de suelo; el primero caracterizado por suelos blandos con valores  $V_s$  que varían entre 152 a 156 m/s y espesores entre 7 a 11 metros se distribuyen por el A.H. Dos Altos Sur y el anexo Santa Rosa. El segundo, es el que predomina en el área de estudio, considerado como suelos moderadamente rígidos muestra velocidades  $V_s$  entre 188 a 347m/s, el espesor es variable, hacia el este superan la profundidad investigada (30 metros). Los resultados de este análisis sugieren que la capa superficial del suelo presenta mayor espesor hacia los extremos sur y NE del área urbana del distrito.
- De los resultados obtenidos con el método sísmico, se identifica dos tipos de suelo; el primero caracterizado por: **suelos blandos** con velocidades de corte ( $V_s$ ) que varían entre 156 a 209 m/s con espesores que varían entre 7 a 11 metros se distribuyen de forma sectorizada por el A.H. Dos Altos Sur y el anexo Santa Rosa. Y **suelos moderadamente rígidos** con velocidades que varían entre 211 y 385 m/s con espesores que varían entre 12 a 22 metros que conforme se dirige hacia el extremo Este (El Cercado, A.H. Dos Altos, anexo Santa Rosa y Canizal Grande) se incrementa el espesor llegando a superar la profundidad investigada (30 metros).
- 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 211 a 385 m/s sugiere suelos medianamente rígidos emplazados en toda el área de estudio.
- Al este del distrito, se identifica suelos saturados desde la superficie (3 metros), principalmente en los sectores Dos Altos Norte, Canizal Grande, Dos Altos Sur, el Barrio San José y Miraflores. Sin embargo, hacia el oeste de área urbana, presenta un medio parcialmente saturado a partir de los 15 metros de profundidad, principalmente en el A.H. San Vicente. Esto es debido por la influencia de los terrenos de cultivo, el río Piura, aguas subterráneas, canales de regadío y la presencia de vegetación.
- Los resultados obtenidos para el área urbana La Unión 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 a la infraestructura física (viviendas, centros educativos, entre otros) y población de La Unión, debido a que la acumulación de las aguas a causa de las precipitaciones extremas (evento Niño) genera la proliferación de enfermedades infecciosas y virales.
- Se debe tener en cuenta que los suelos en la ciudad de La Unión 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 y la presencia del nivel freático superficial (UN-3 y UN-4) en los sectores de Barrio San José y Dos Altos Sur que ante un eventual evento sísmico los suelos pueden presentar licuación.

-



## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bard, P-Y. (1995) Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323
- Bard, P-Y y SESAME (2004) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 16, 2004 Paper No. 2207
- Beresnev, I.A., K.L. Wen, and Y.T. Yeh 1995a, "Nonlinear Soil Amplification: It's Corroboration in Taiwan. Bull, Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 496-515
- Bernal, I. (2006) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, México. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pág. 130.
- Bernal, I., Tavera, H., Sulla, W., Arredondo, L., & Oyola, J. (2018). Geomorphology characterization of Ica basin and its influence on the dynamic response of soils for urban seismic hazards in Ica, Peru. International Journal of Geophysics, 2018, article ID 9434251, 12. <https://doi.org/10.1155/2018/9434251>
- Braja Das, (2011) - Principles of Foundation Engineering, Seven Edition, pág. 139-140.
- Brusi, D., et al (2013) - Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. ISSN: 1132-9157. Pág. 181-194.
- Cahill & Isacks (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- 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.
- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. Bull. Seism. Soc. Am. 82, 2308-2327
- Harvey, A., M., 1987. Patterns of Quaternary aggradational and dissectional landform development in the Almeria region, southeast Spain: a dry-region tectonically-active landscape. Die Erde 118, 193-215.
- Howie D., & Sy, (2003) - A method for correlating large penetration test (LPT) to standard penetration test (SPT) blow counts.
- Hutchinson, J., N., (1968) - Mass Movement. In the Encyclopedia 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 Cohesionalless Soils. Journal of the Soils Mechanics and Foundations División, ASCE, Vol 82 N°SM1, Proc. Paper 886, Jan. 1956, pp-19.
- Ministerio de Economía y Finanzas, (2017) - Informe de seguimiento y Gestión a la Inversión Pública.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) - <http://renac.mtc.gob.pe/inventariovial/default2.aspx>.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30.
- Norma Técnica de edificaciones E.030. 2018. Aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada por Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA.
- Orellana, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- 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.
- Rivera, P., A., (2013) - Proyecto: Mejoramiento y ampliación del parque Grau del balneario de Máncora, provincia de Talara, departamento de Piura, estudio de Preinversión a nivel de perfil. Municipalidad Distrital de Máncora.
- Rojas, L., E., L., (2010) - Cuencas Sedimentarias del Noroeste Peruano Geología Talara. Informe Universidad Nacional De Ingeniería.
- Romaní, F. et al. (2018). Informe de evaluación de riesgo por inundación pluvial en los centros poblados Tablazo Norte, Tablazo Sur y Yapato, Distrito La Unión, provincia de Piura, departamento de Piura. Informe técnico. CENEPRED. p 92.
- Romaní, F. et al. (2018). Informe de evaluación de riesgo por inundación pluvial en el centro poblado Chatito – Canizal Chico, Distrito de 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/>
- Sepúlveda, S.A., (2000) - Metodología de Evaluación del Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos. Revista Comunicaciones, Departamento de Geología, Universidad de Chile, No.51, p. 3-28.
- Seed HB, Tokimatsu K, Harder LH & Chung R., (1984) - "The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations," Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No. EERC 84-15.
- 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 los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513 - 1974). INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 3, 130 p.
- Silgado, E (1978) Historia de sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974) primera edición digital, noviembre 2012.
- Suárez, D., J., (1998) – Estabilidad de Taludes en Tropicales. Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos. Colombia. Ed. Ingeniería de Suelos Ltda. 550 p.
- Tarbuck, E., D. Lutgens, F., K., (2005) - Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física Pretince Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.
- Tavera, H., Bernal, I., Condori, C., Ordaz, M., Zeballos, A. y Ishizawa, O. (2014) Re-evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú. Instituto Geofísico del Perú. P. 91.
- Tavera, H. y Buforn, E. (2001). Source Mechanism of Earthquakes in Perú, Journal of Seismology, 5, 519-539.
- Tavera, H., Agüero, C y Fernández, E. (2016). Catálogo general de isosistas para sismos peruano. Instituto Geofísico del Perú. Pag. 196
- Terzaghi, K. Peck, B., G. & Mesri, G., (1948) – Soil mechanics in engineering practice, New York: Wiley.
- Varnes, D.J., (1958) - Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Washington, D.C. 20-47 p.
- Varnes, D. J., (1978) - Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster R. L. y Krizek, R. J., ed. Landslides analysis and control: Washington, D. C. National Academy Press, Transportation Research Board Special report 176. 9-33 p.
- Wyllie, D., C. & Norrish, N., I., (1996). “Stabilization of rock slopes”. Landslides investigation and mitigation. Special report 247. Transportation Research Board. National research council, pp. 474-504.
- Yamunaque, F., L., E., (1991) - Microzonificación y Lineamientos de Planeamiento Urbano de la Ciudad de Talara para la Mitigación de Desastres.
- 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





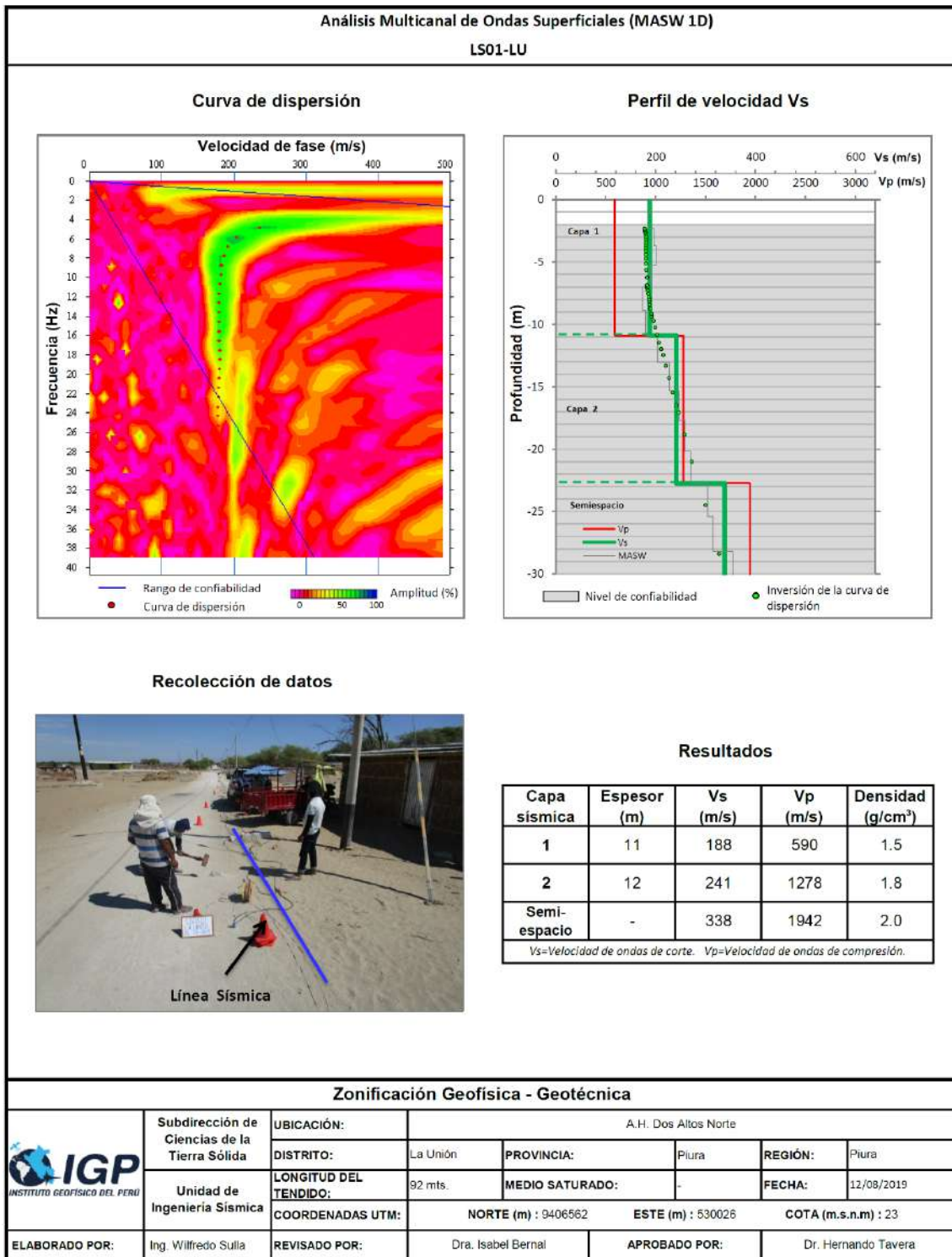


Figura 13. Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS01-LU

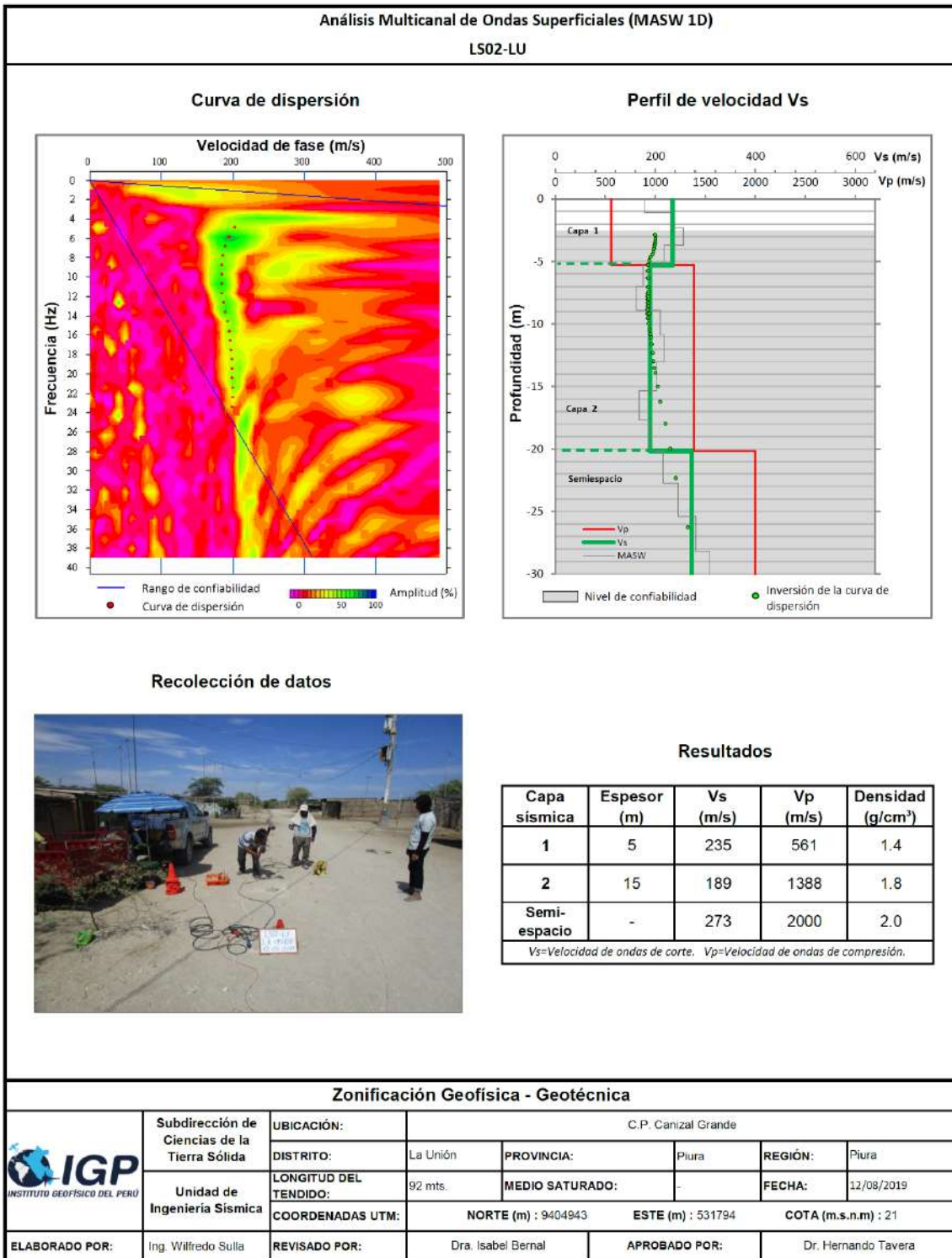


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS02-LU



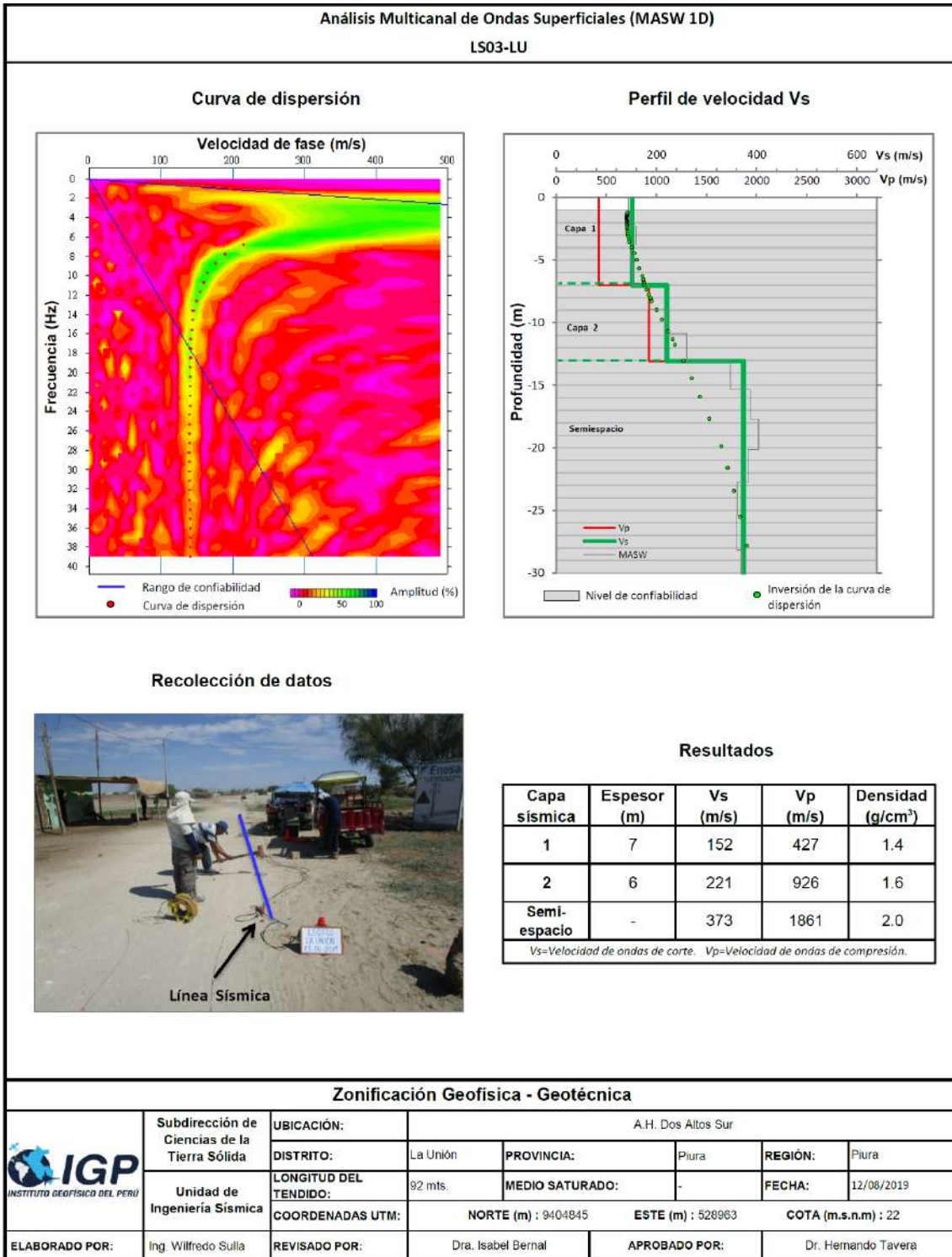


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS03-LU





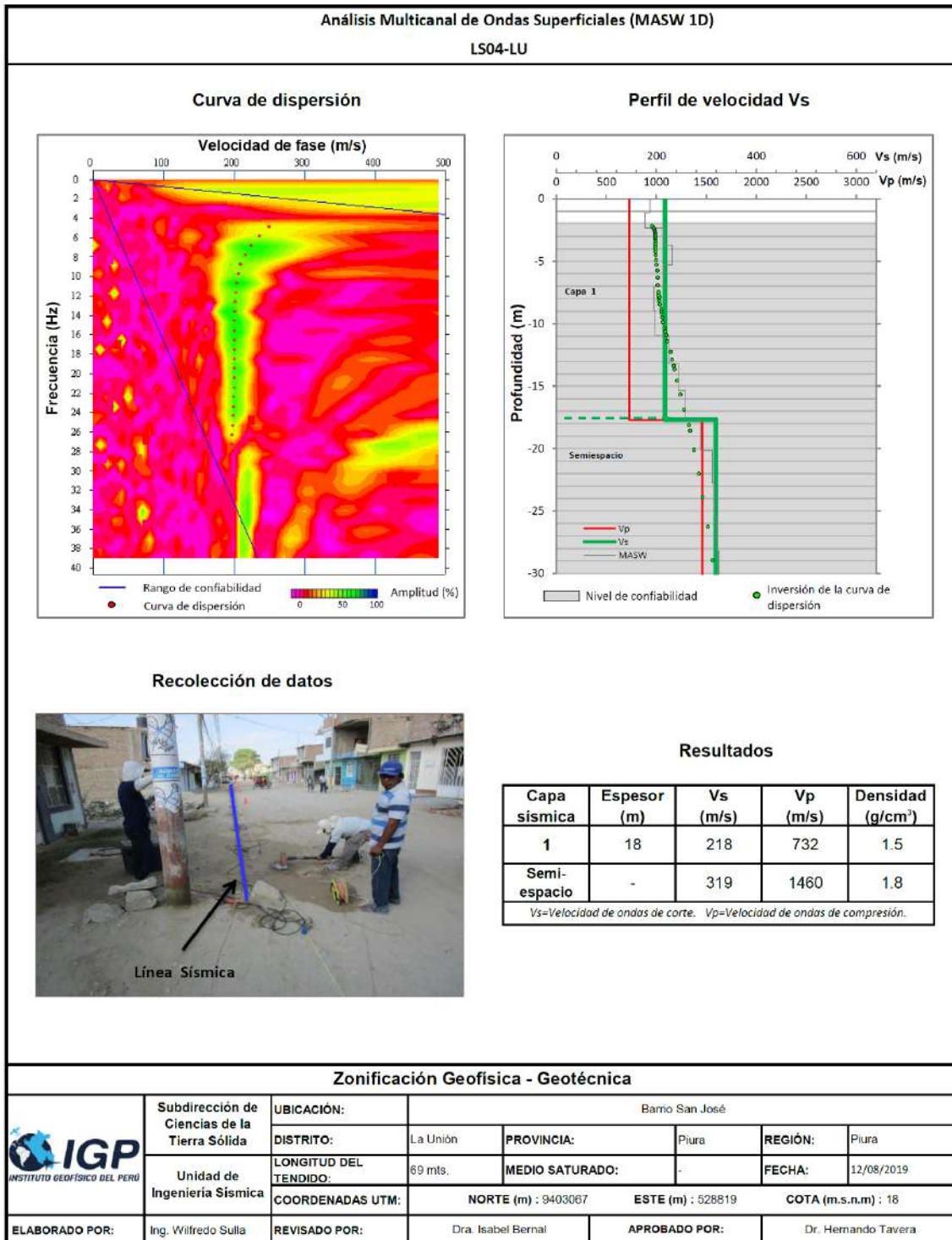


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS04-LU





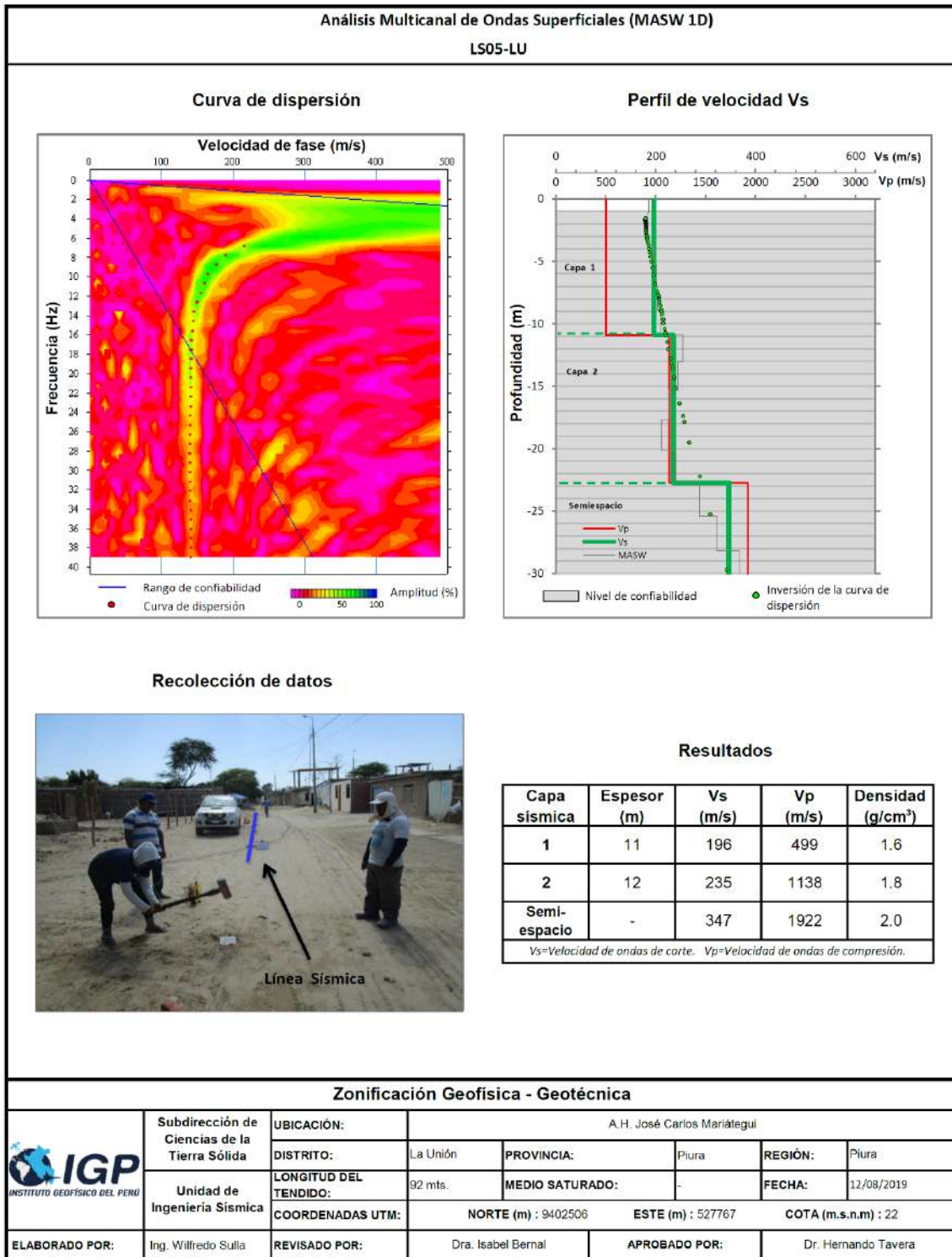


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS05-LU



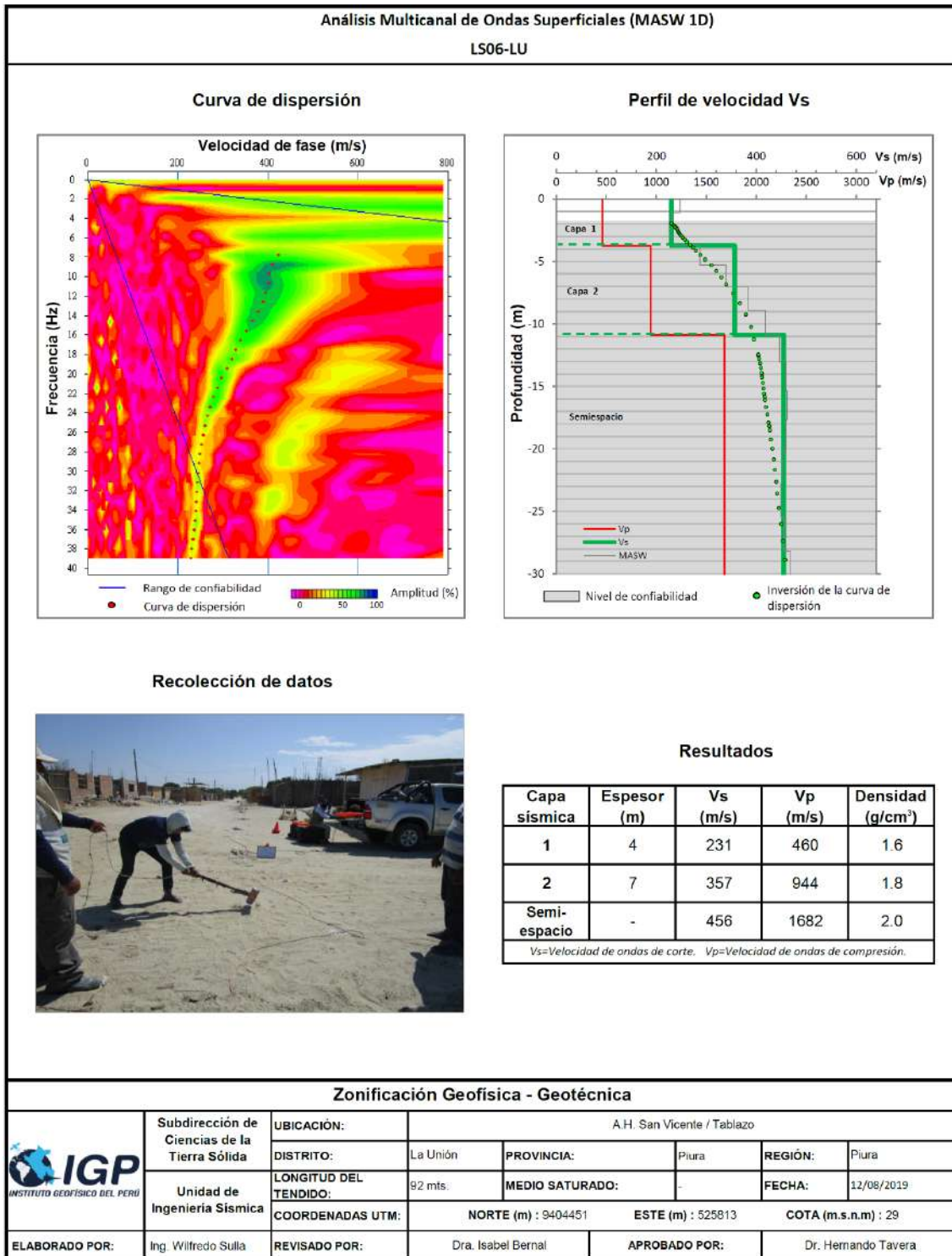


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS06-LU



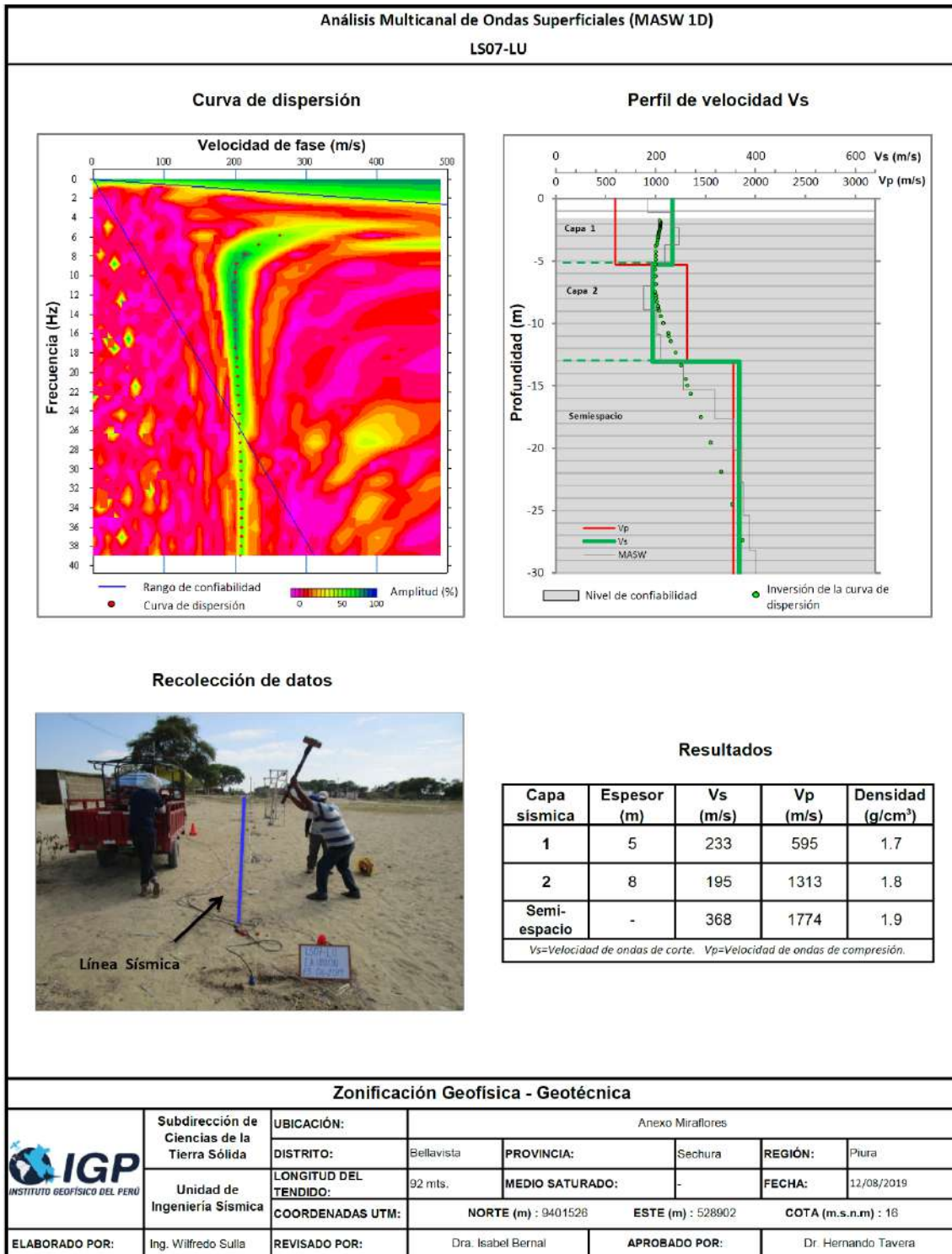


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS07-LU





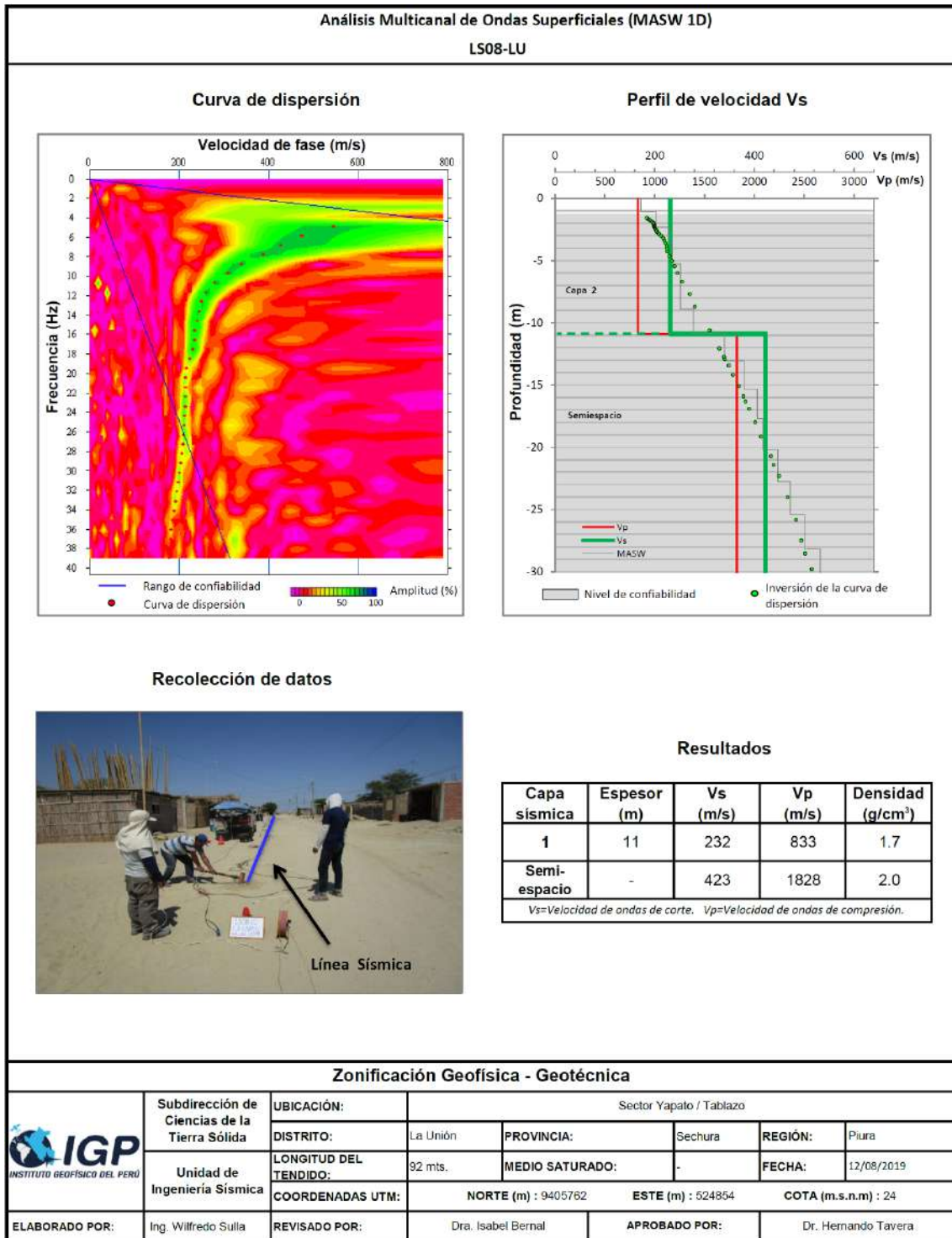


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS08-LU





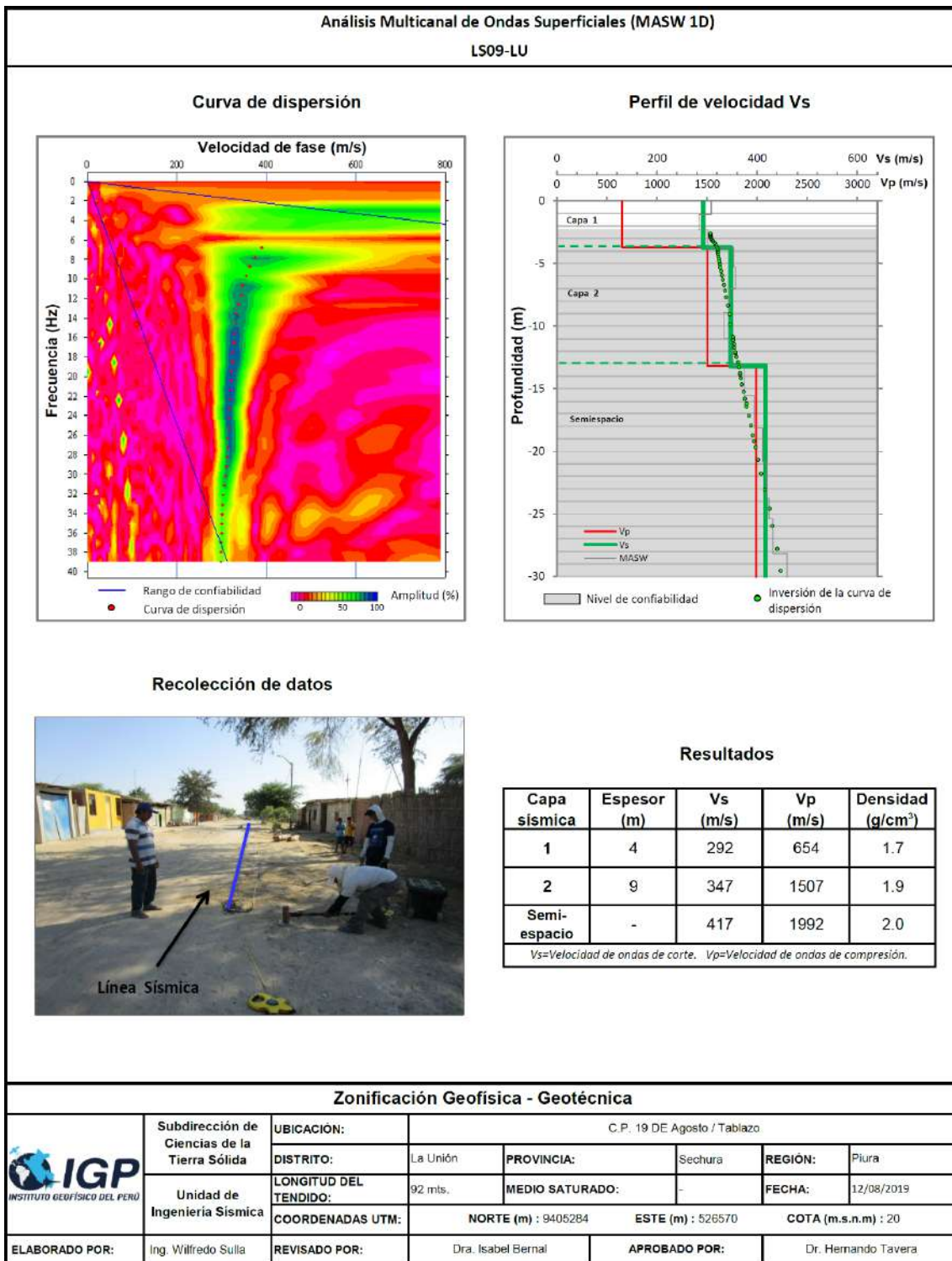


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS09-LU



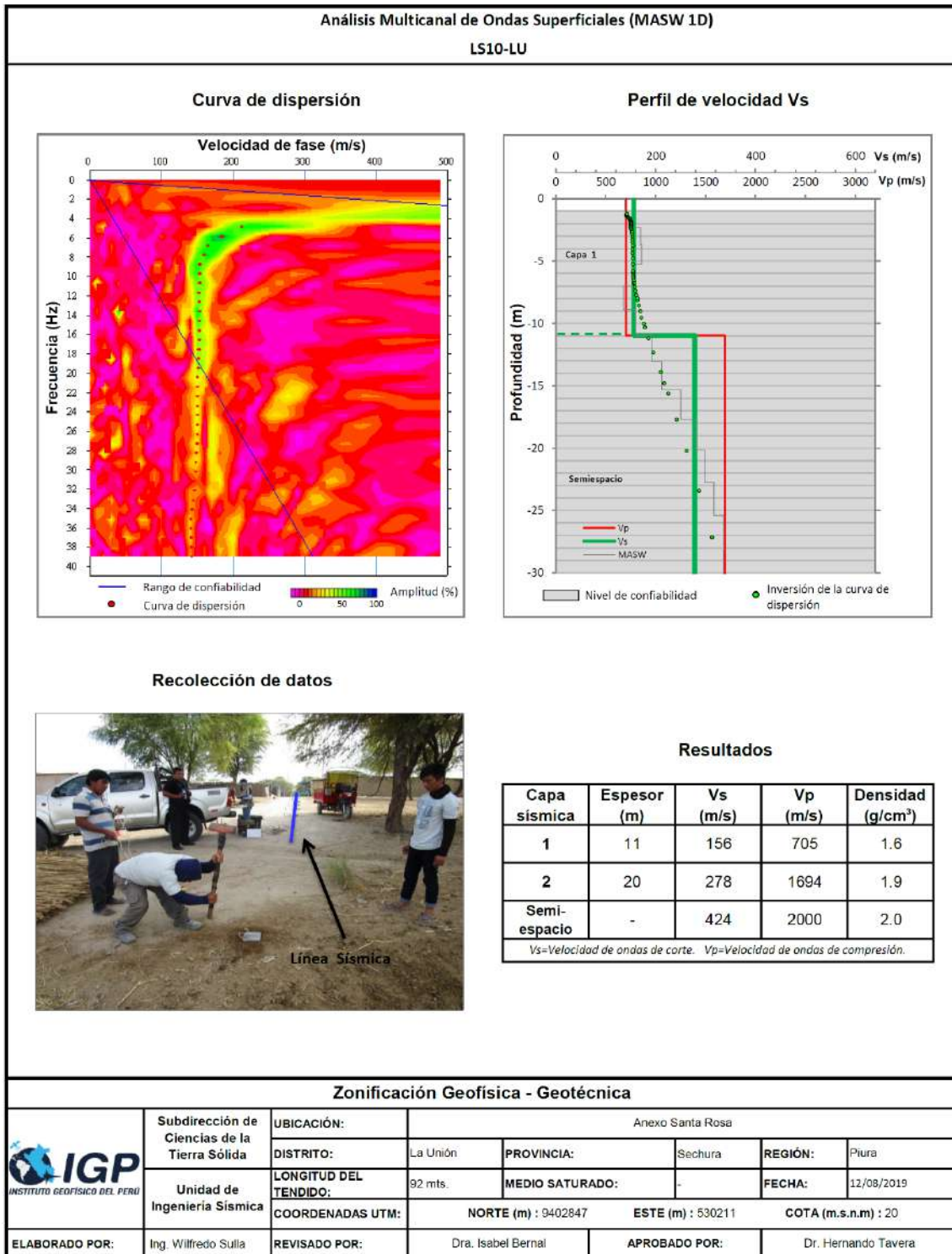


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS10-LU



## **ANEXO II**

### Perfiles de Tomografía Eléctrica ERT



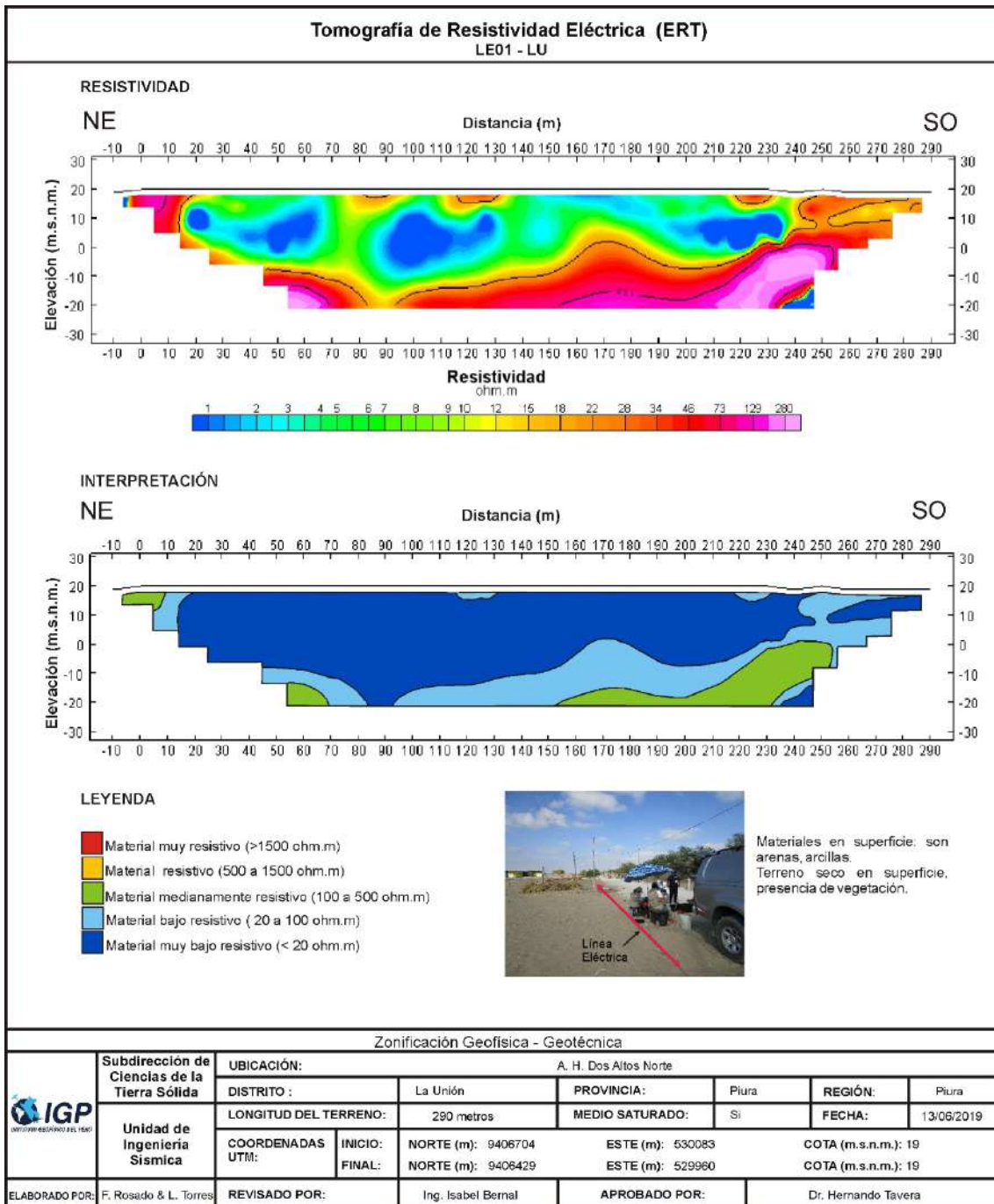
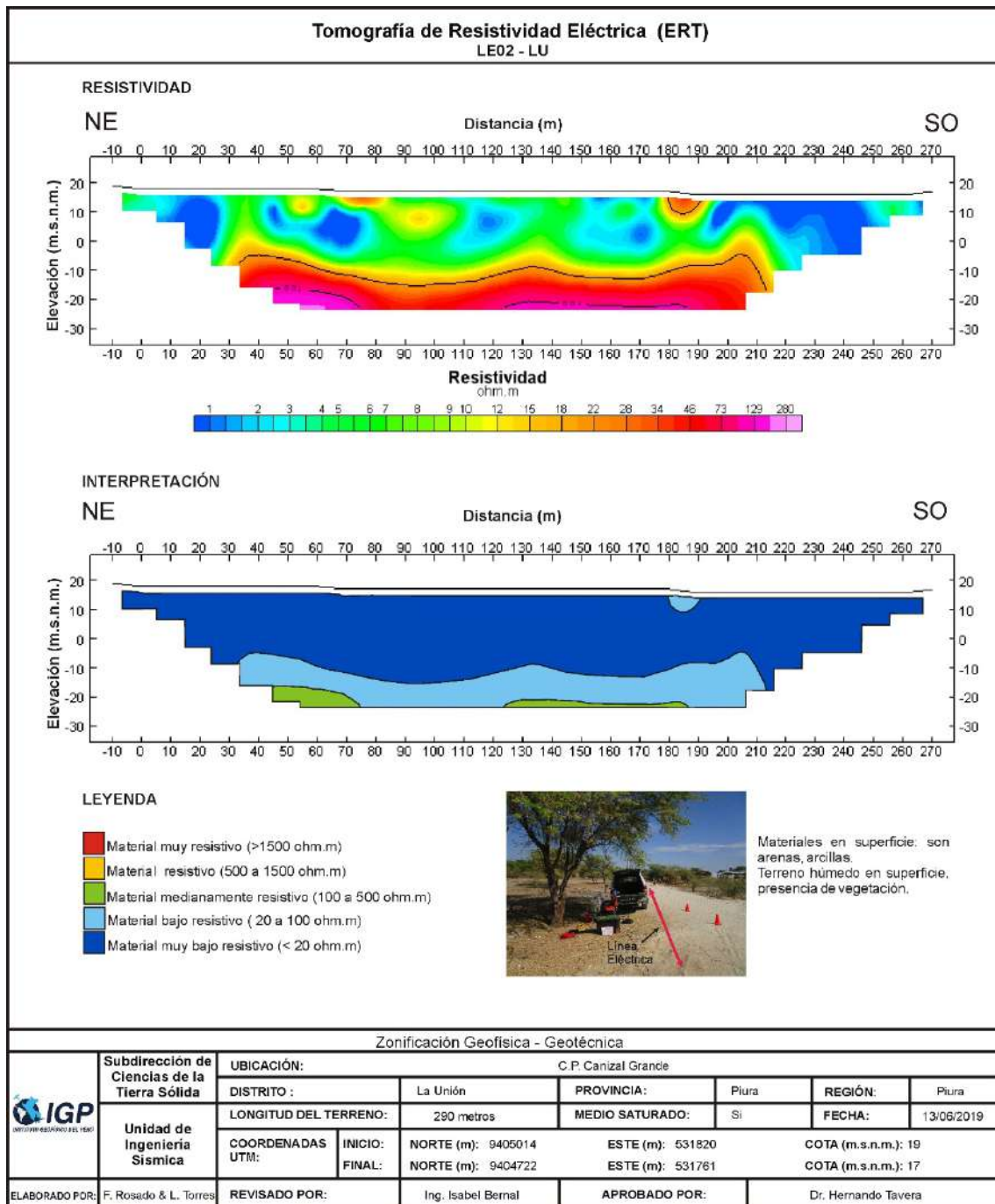


Figura 17. Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-LU





**Figura 17. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE02-LU.**

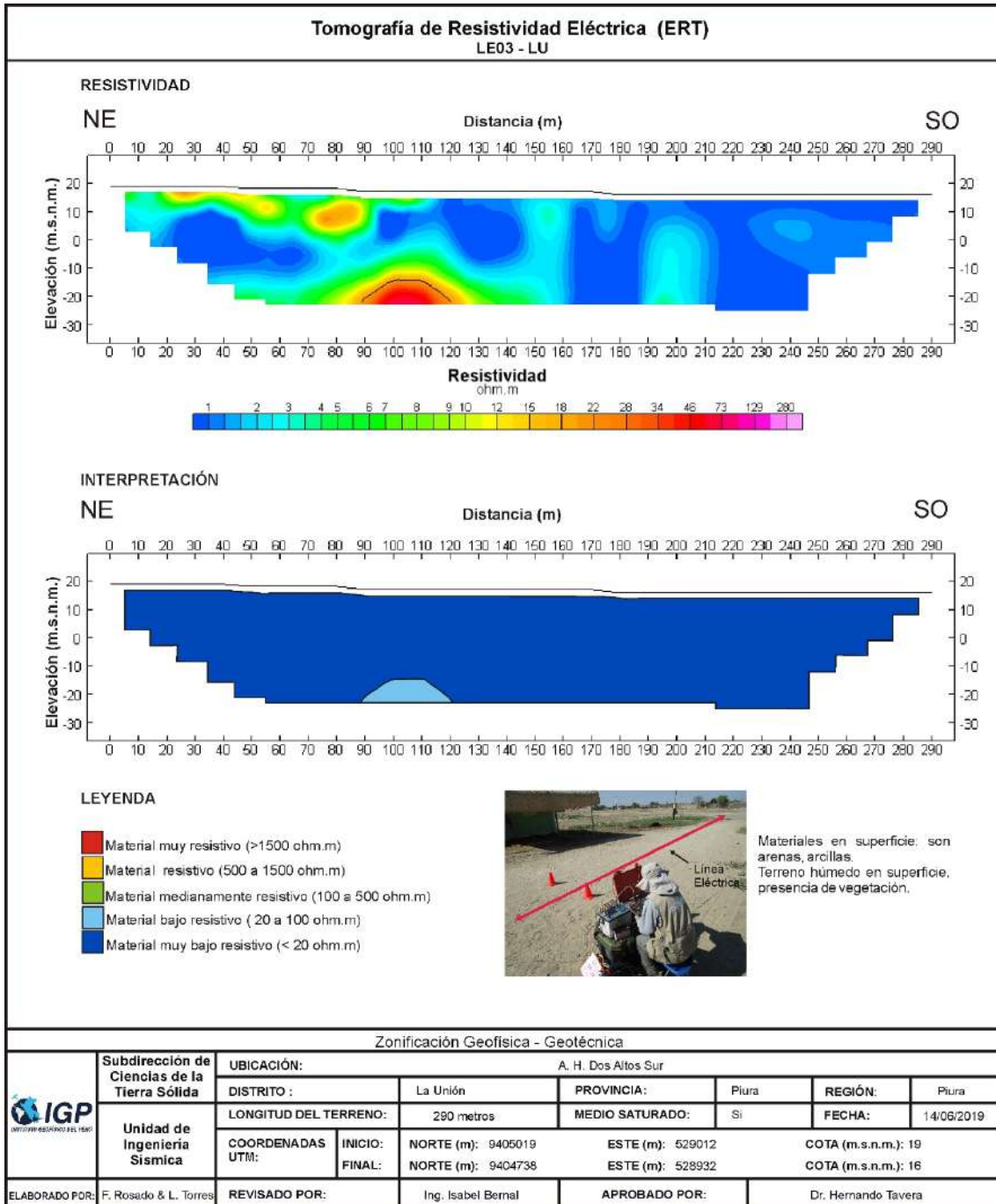


Figura 17. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE03-LU.

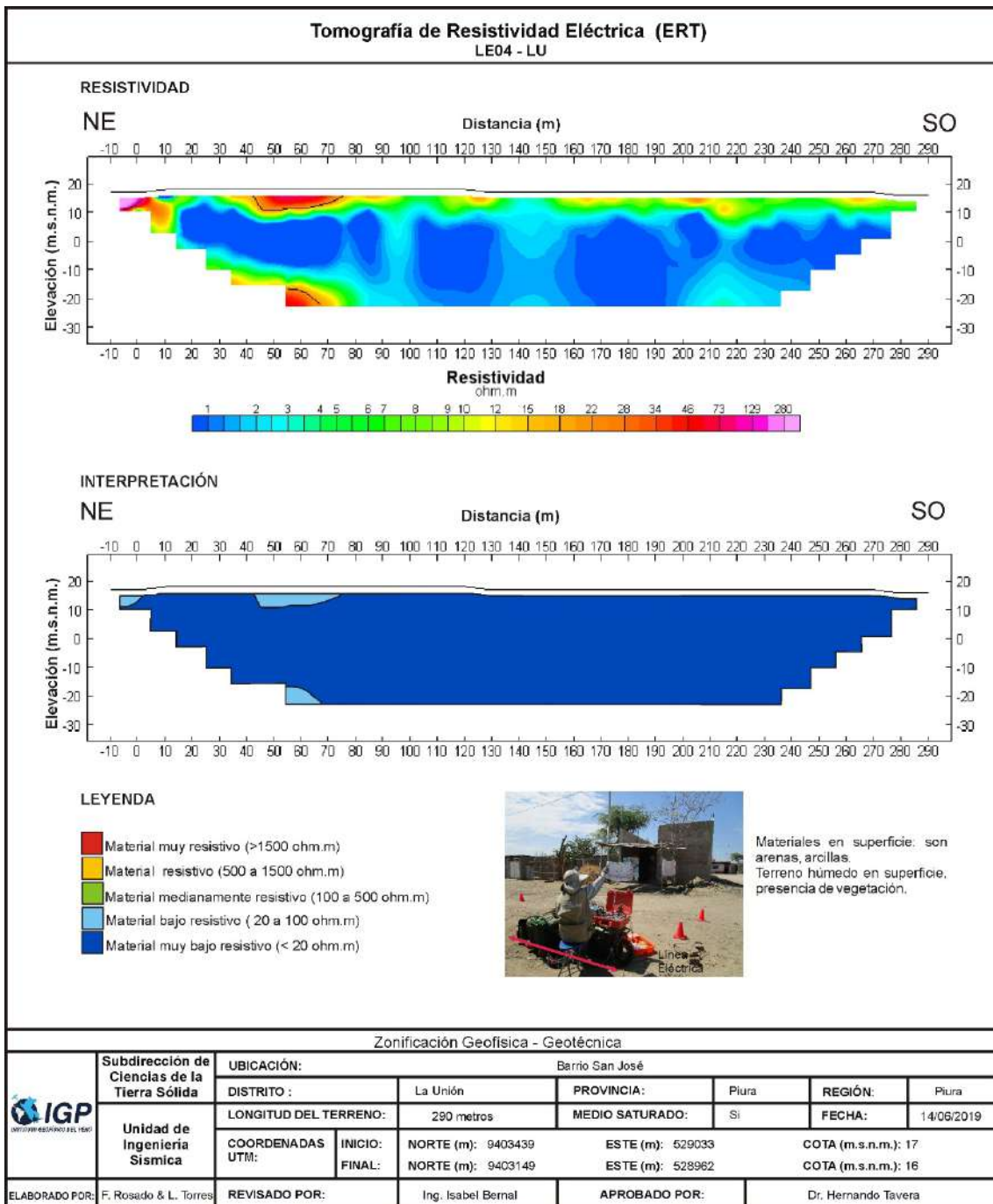


Figura 17. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE04-LU.

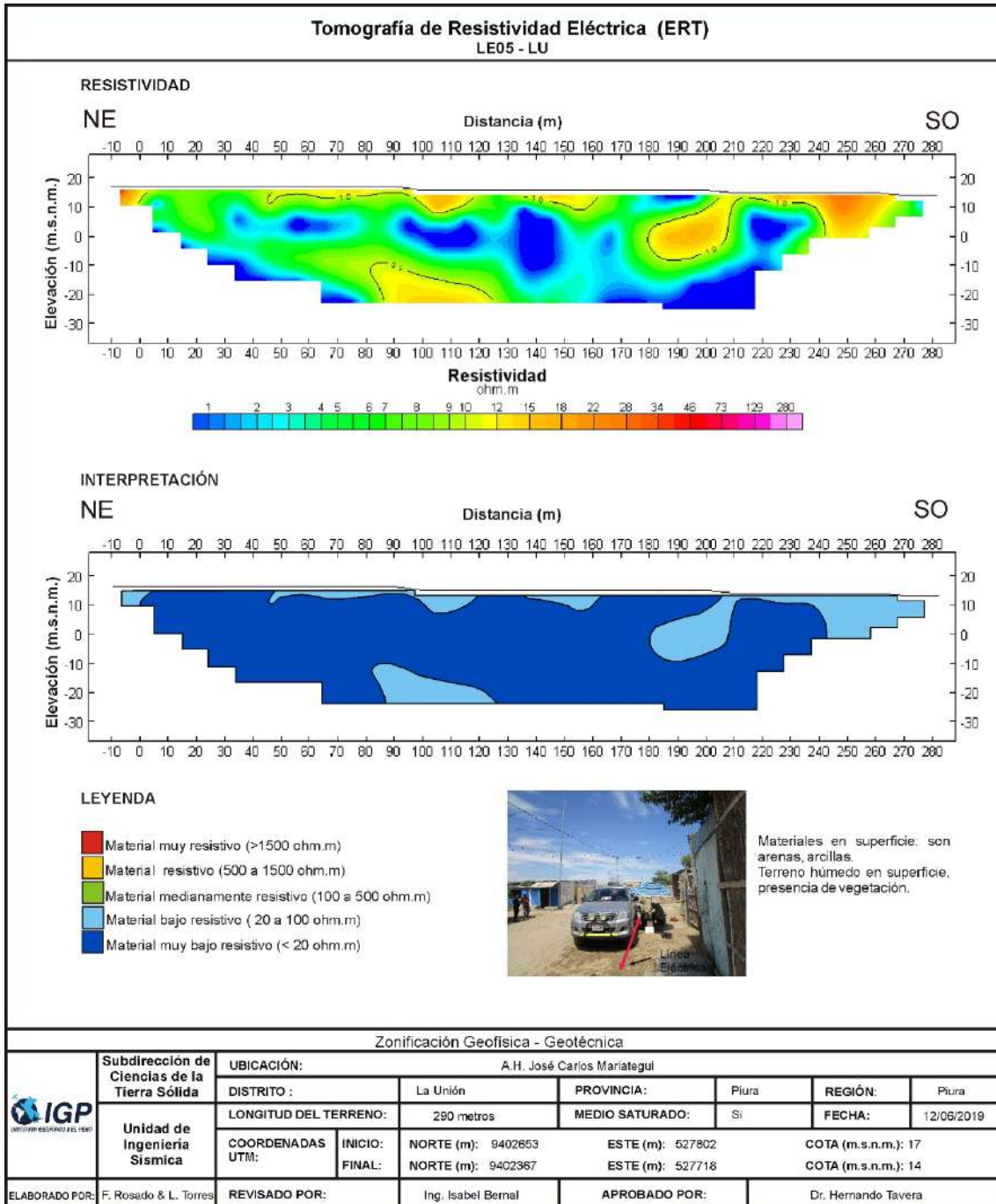


Figura 17. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE05-LU.



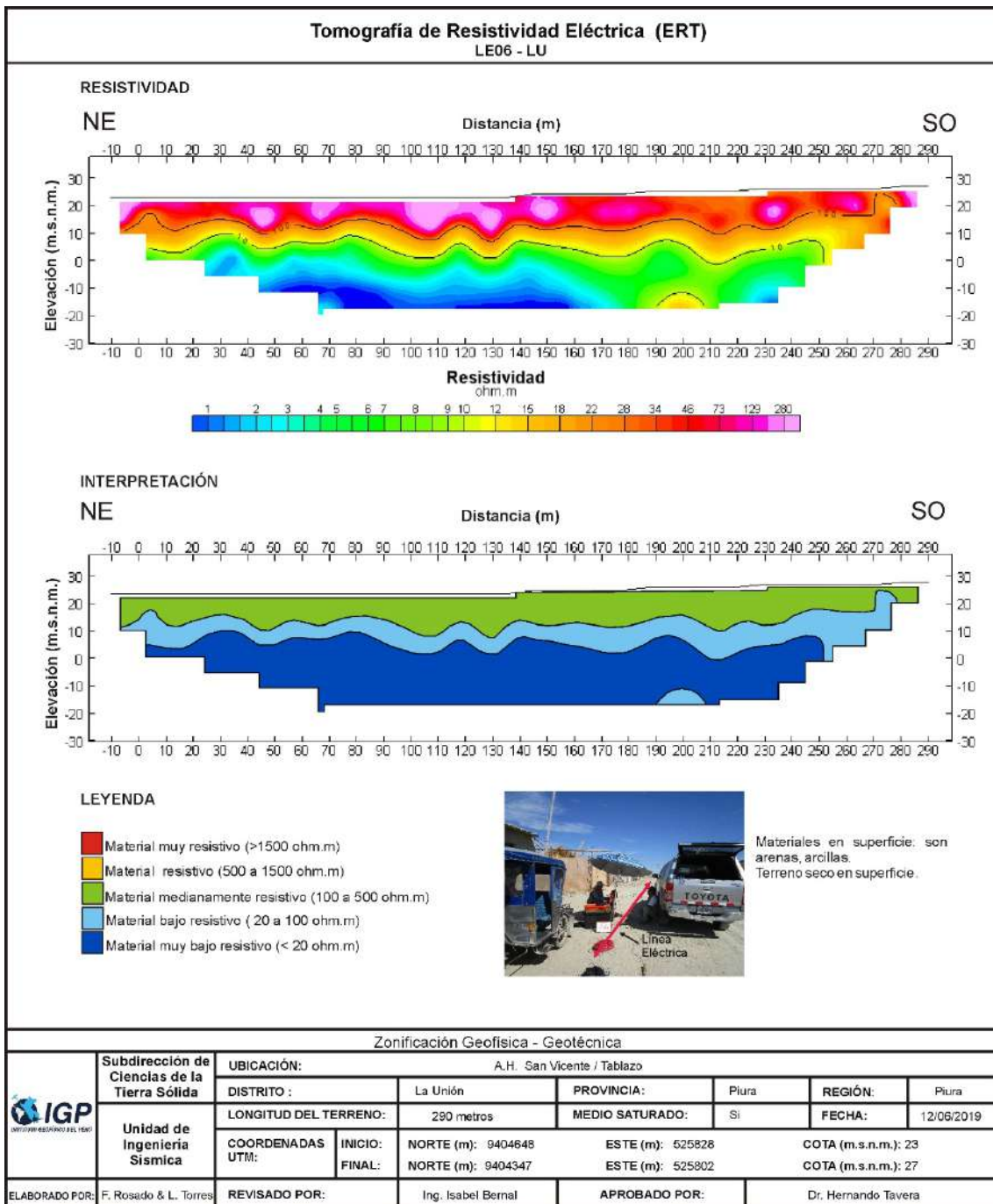


Figura 17. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE06-LU.

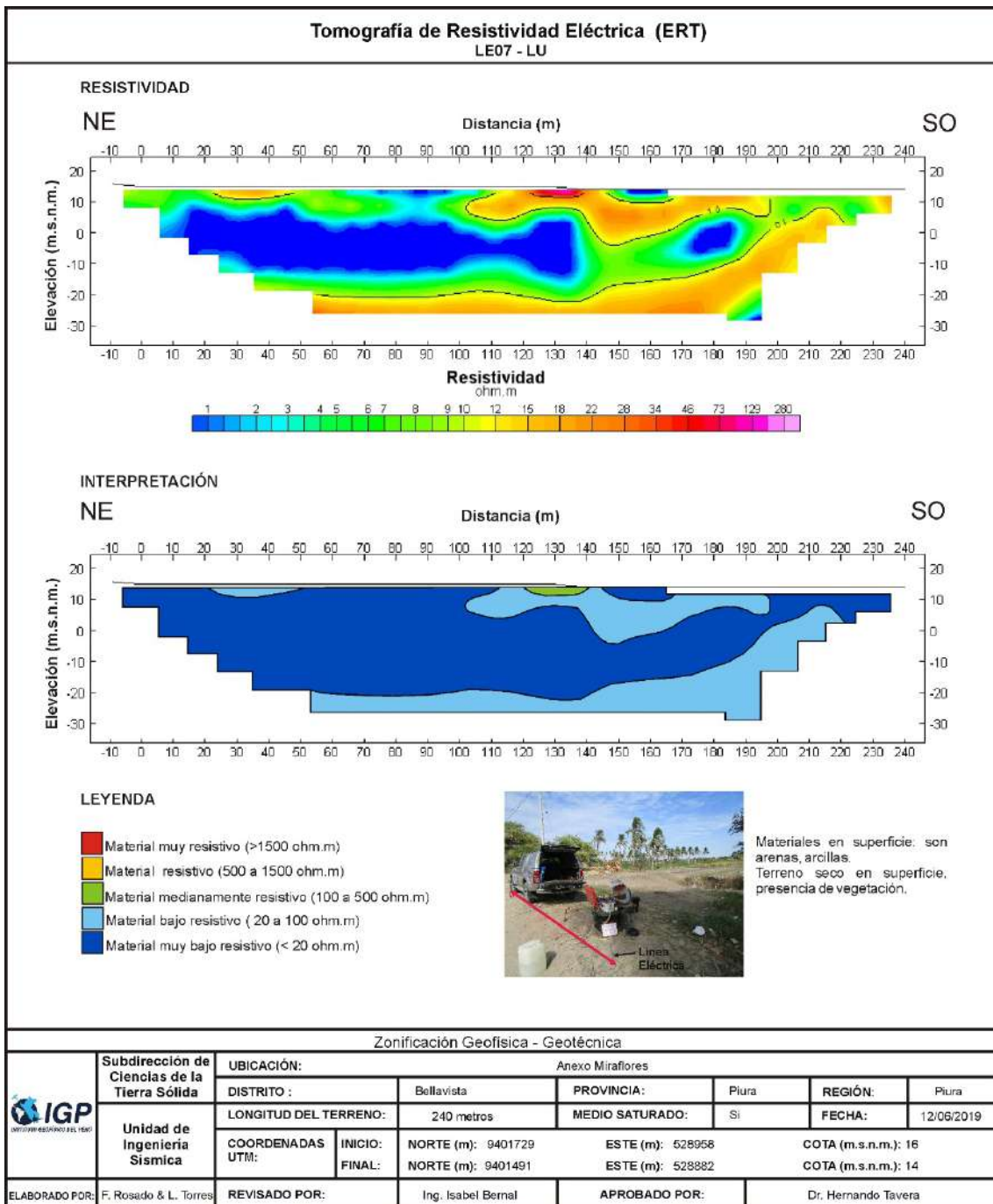


Figura 17. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE07-LU.