



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



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

Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica
Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico



ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS EN EL ÁREA URBANA DE LA UNIÓN

**Distrito de La Unión – Provincia de Piura
Región Piura**

Lima - Perú
2020

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Geofísica de los suelos en el área Urbana de La Unión

Juan Carlos Gómez

Caracterización Geológica y Geotécnica de los suelos en el área urbana de La Unión

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Mariana Vivanco / Pilar Vivanco / Héctor Lavado / Giovana Gutiérrez

Equipo de Evaluación Geofísica: Kelly Parí / Liliana Torres / Fabiola Rosado / Luz Arredondo / Wilfredo Sullá / Javier Oyola / Jorge Salas

Personal de apoyo: Augusto Cárdenas / Roberth Yupanqui

Personal administrativo: Marisol Enríquez / Estherfilia Campos

Este Informe ha sido producido por:

Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169, Mayorazgo IV etapa, Ate
Teléfono (511) 3172300

**ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS
EN EL ÁREA URBANA DE LA UNIÓN**

**Distrito La Unión – Provincia de Piura
Región Piura**

RESUMEN

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 una de sus actividades la “Generación de Estudios Territoriales de Peligro por Sísmico” obteniéndose como resultado final, la Zonificación Geofísica - Geotécnica de las áreas urbanas de las ciudades/localidades de La Arena (distrito de La Arena), La Unión (distrito de La Unión), Morropón (Capital del distrito de Morropón), Máncora (Capital distrito de Máncora), Talara (distrito de Pariñas), Querecotillo (distrito de Querecotillo), Las Lomas (distrito de Lomas) y Tambo Grande (distrito de Tambo Grande). Estos estudios permiten conocer el Comportamiento Dinámico de los Suelos a partir de la recolección de datos de campo utilizando técnicas geofísicas, geológicas y geotécnicas.

El análisis e interpretación de los datos obtenidos permiten tener como resultado la “Zonificación Geofísica – Geotécnica de los suelos en el área urbana de La Unión”, información primaria que debe ser utilizada por ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos identificados en este estudio. Este documento técnico debe constituirse como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.

ÍNDICE

RESUMEN

ÍNDICE

PARTE 1: Presentación

1. Introducción

1.1. Objetivo

1.2. Accesibilidad y clima

1.3. Hidrografía

1.4. Estudios Previos

2. Condiciones locales de sitio

2.1. La Norma Técnica E.030

Conclusiones

PARTE 2: Caracterización geológica y geotécnica de los suelos en el área urbana de La Unión.

PARTE 3: Caracterización geofísica de los suelos en el área urbana de La Unión.

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS: Documentos y Anexos se adjuntan en un DVD.

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, la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrollo la Actividad “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro por Sismo**” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) de los suelos para el área urbana de las siguientes ciudades / localidades (Figura 1):

- **La Arena**, distrito La Arena, provincia y región de Piura.
- **La Unión**, distrito La Unión, provincia y región de Piura.
- **Morropón**, distrito y provincia de Morropón, región de Piura.
- **Máncora**, distrito de Mancora, provincia de Talara, región de Piura.
- **Talara**, distrito de Pariñas, provincia de Talara, región de Piura.
- **Querecotillo**, distrito de Querecotillo, provincia de Sullana, región de Piura.
- **Las Lomas**, distrito Las Lomas, provincia y región de Piura.
- **Tambogrande**, distrito de Tambogrande, provincia y región 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, puestos en evidencia con los daños observados post-sismo en la región 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 que sacudan los suelos 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.

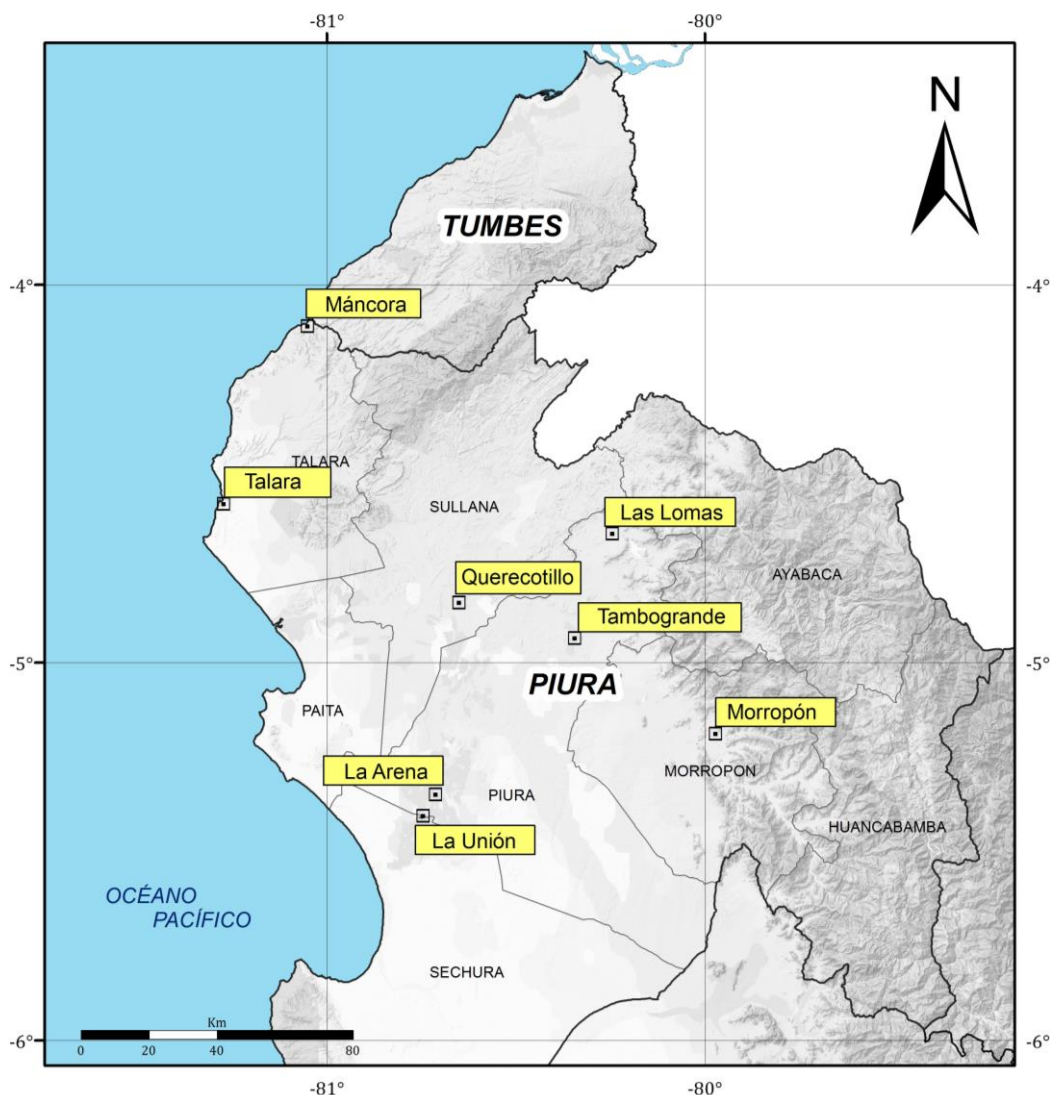


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades intervenidas durante el año 2019: Zonificación Geofísica– Geotécnica de suelos.

Los estudios de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) de suelos, 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 datos sísmicos, geofísicos, geológicos, geodinámicos, geomorfológicos y geotécnicos. 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 apropiadas para cada tipo de suelo. Dentro de este contexto, la población de la ciudad de La Unión debe comprender que existen tres (3) reglas para construir una casa sismorresistente (www.acerosarequipa.com):

a) **Buenos Planos.** Los planos de construcción deben ser hechos por profesionales con pleno conocimiento de las características dinámicas del suelo descritas en los Mapas de Zonificación Geofísica – Geotécnica.

b) **Buenos Profesionales.** Para la construcción de las viviendas y/o obras de ingeniería se debe contar siempre con la supervisión de ingenieros civiles, arquitectos, etc.

c) **Buenos materiales.** Solo la calidad de los materiales que se utilizan en la construcción permitirá tener la seguridad de que las estructuras fueron correctamente construidas.

Es importante remarcar que los Mapas de Zonificación Geofísica – Geotécnica de suelos 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. Objetivo

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el mapa de Zonificación Geofísica- Geotécnica para los suelos del área urbana de La Unión, provincia y región de Piura, a partir de la integración de los resultados obtenidos con diferentes métodos geofísicos, geológicos y geotécnicos, Asimismo, es de interés del presente estudio que las autoridades dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión del ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de la ciudad.

1.2. Accesibilidad y Clima

El acceso a La Unión, se realiza por la Panamericana Norte, vía asfaltada (recorrido de 987 km) hasta la ciudad de Piura, para luego continuar con el recorrido de 30 kilómetros en dirección hacia el Sur y llegar a La Unión. Para conocer las condiciones climáticas en La Unión, SENAMHI no cuenta con bases de datos disponible; por lo tanto, se ha recurrido a fuentes alternas como Climate.data, el cual indica que el clima en La Unión es desértico, con temperatura máxima registrada de 33.4 °C en el mes de marzo y la mínima es de 15.1 °C agosto.

Para el caso de las precipitaciones, a lo largo del año no son significativas; sin embargo, presentan incrementos entre los meses de diciembre a abril, con un acumulado diario que no supera los 74.5 mm. Según la estación meteorológica Bernal, localizada a 8 km al sur de La Unión, para el 25 de abril de 2017 (ocurrencia de El Niño) las lluvias alcanzaron un máximo acumulado diario de 121.7 mm. (Figura 2 y Tabla 1).



Figura 2: Ubicación de estación meteorológica Montegrando y Bernal.

Tabla 1: Registro de temperaturas máximas y mínimas en La Unión (climate.data).

	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

1.3. Hidrografía

La cuenca hidrográfica del río Piura es la más cercana a La Unión y según datos del ministerio de agricultura, su cauce presenta una longitud de 280 km que se inicia a una altura de 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 en el océano Pacífico.

1.4. Estudios previos

Para el distrito de La Unión, se ha recopilado información sobre estudios previos de geología, geotécnica, sísmica y geofísica realizados por diversos investigadores e instituciones a fin de ser considerada para cumplir con los objetivos del presente estudio, además de complementar los resultados a obtenerse. Entre los principales documentos técnicos consultados, se tiene:

- Guzmán A. (1994), Estudio geodinámico de la cuenca del río Piura. El informe indica que 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. Los suelos donde se asienta la ciudad están conformados 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. Siendo los principales problemas que afectan a la ciudad de 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.

- CENERPRED (2018), Informe de evaluación de Riesgo por inundación en los Centros Poblados Tablazo Norte, Tablazo Sur y Yapato, distrito de La Unión, Provincia y departamento de Piura. El informe indica la evaluación del nivel de riesgo originado por inundación pluvial, para lo cual se generaron mapas de peligro por inundación, área de impacto del fenómeno de El Niño-2017, concluyendo que el peligro por inundación en el Tablazo Norte, 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.
- El Instituto Geofísico del Perú IGP (2014), 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.

- El Instituto Nacional de Recursos Naturales INRN (2004), 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, siendo los más explotados y la cota fluctúa de 13 a 6 m.s.n.m.

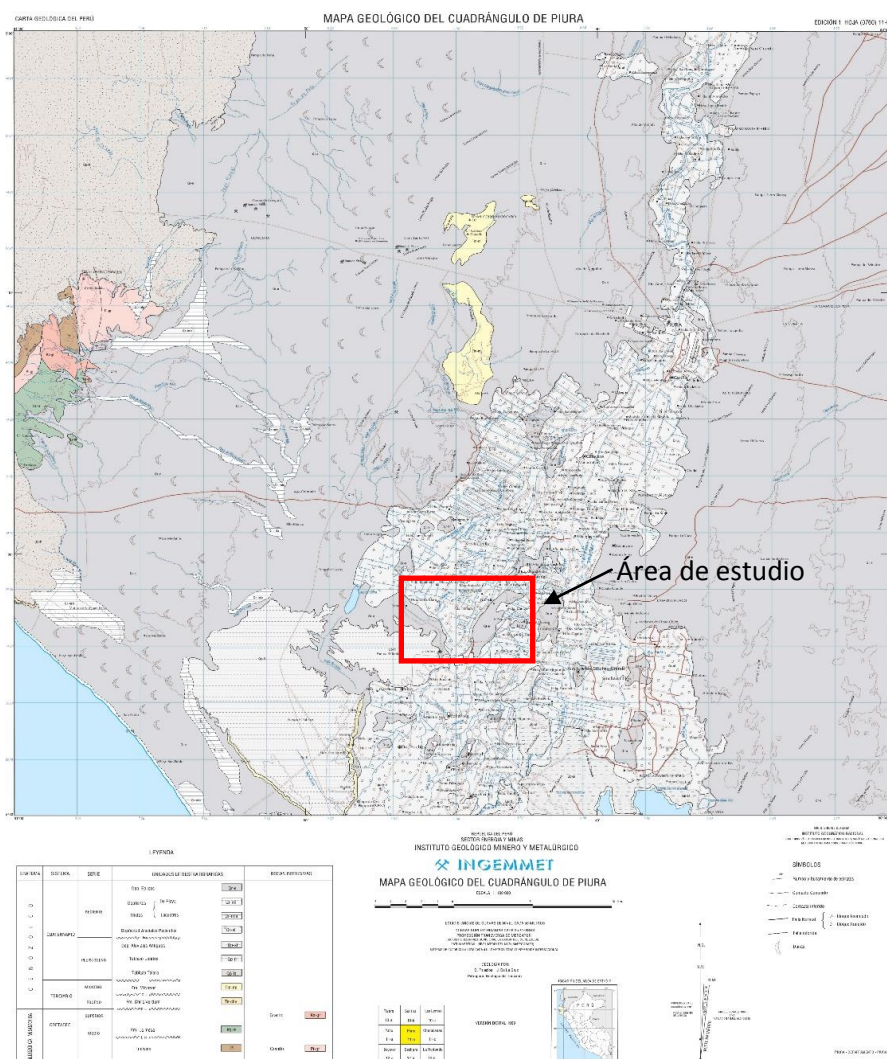


Figura 3: Mapa de geología regional del cuadrángulo de Piura, el área de estudio se ubica en el rectángulo rojo (INGEMMET, 1999).

- Palacios O. (1994), Geología de los cuadrángulos Paita 11-A, Piura 11-B, Talara 10-A, Sullana 10-B, Lobitos 9-A, quebrada seca 9-B, Zorritos 8-B, Tumbes 8-C y Zarumilla 7-C; serie A: carta geológica nacional. boletín N° 54. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-INGEMMET. El boletín describe 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 3).

2. 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 geológicas, geomorfológicas, geodinámicas, geotécnicas y geofísicas de los suelos. En conjunto, 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 Geofísica - Geotécnica y el resultado es considerado como una de las herramientas más importantes para minimizar los daños producidos por los sismos. La finalidad es evaluar el comportamiento dinámico de los suelos (CDS), teniendo en cuenta que la intensidad del sacudimiento sísmico varía considerablemente a distancias cortas y áreas pequeñas. 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 y 2018).

La metodología a seguir para lograr el mayor conocimiento sobre el comportamiento dinámico del suelo o efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad, considera estudios geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos. Cada uno de estos campos de investigación proveen de información básica a partir 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 - Geotécnica que debe constituirse como el documento más importante en las tareas y programas de gestión del riesgo ante la ocurrencia de sismos.

2.1. La Norma Técnica E.030

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar 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 estable 5 perfiles (Tabla 2).

- **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 S₃: Suelos Blandos**, corresponden suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte V_s menor o igual a 180 m/s.
- **Perfil Tipo S₄: Condiciones Excepcionales**, corresponde a suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Será determinado con un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).

Tabla 2: 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:

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

Dónde:

di = espesor de cada uno de los estratos n.

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

En general, para cualquier estudio se deberá considerar el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de cada zona de interés. Para este estudio, la Zonificación Geofísica – Geotécnica se realiza en función de las características mecánicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas

por Norma E.030 (Diseño Sismorresistente). En tal sentido y de acuerdo a los estudios realizados, se establece la existencia de 5 zonas cuyas características son:

ZONA I: Comprende a suelos Tipo S1, cuyos periodos predominantes varía entre 0.1 y 0.3 segundos con velocidad de ondas de corte (V_s) entre 500 y 1500 m/s.

ZONA II: Comprende a suelos Tipo S2, cuyos periodos predominantes varía entre 0.3 y 0.5 segundos con velocidades de ondas de corte (V_s) entre 180 y 500 m/s,

ZONA III: Comprende a suelos Tipo S3, cuyos periodos predominantes varía entre 0.5 y 0.7 segundos con velocidad de ondas de corte (V_s) que fluctúa alrededor de los 180 m/s.

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, 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.

CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Geofísica - Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana de La Unión, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones (Figura 4).

- En base a los resultados de los ensayos geotécnicos se ha identificado 6 tipos de suelos presentes en La Unión: 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 área urbana de La Unión se caracteriza por presentar seis unidades geomorfológicas: 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; así como flujos de lodo que se originan en la quebrada Létira y desembocan en la zona de expansión urbana de San Martín de Létira.
- Los suelos antes indicados son partes de dos capas o tipos de suelo: la primera capa presenta un espesor de 7 a 11 metros constituida por suelos blandos con velocidades de corte (V_s) que varían entre 156 a 209 m/s. Estos suelos están presentes de manera sectorizada en el A.H. Dos Altos Sur y el anexo Santa Rosa. La segunda capa presenta 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 hasta superar los 30 metros de espesor. la profundidad investigada (30 metros). Estos suelos son moderadamente rígidos con velocidades que varían entre 211 y 385 m/s.

- De acuerdo al mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Figura 4), los suelos hasta una profundidad de 30 metros presentan velocidades V_{s30} entre 211 a 385 m/s correspondiendo a suelos moderadamente rígidos presentes en toda el área de estudio. Hacia el extremo Este del área urbana se identifica la presencia de suelos saturados desde la superficie hasta los 3 metros 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, los suelos se presentan parcialmente saturados a partir de los 15 metros de profundidad, tal como se observa en el A.H. San Vicente debido a la presencia de terrenos de cultivo, el río Piura, aguas subterráneas, canales de regadío y la presencia de vegetación.
- De acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente E.030 y a las características físicas y dinámicas del suelo, en el área urbana de La Unión existen suelos de Tipo S2 y S3.

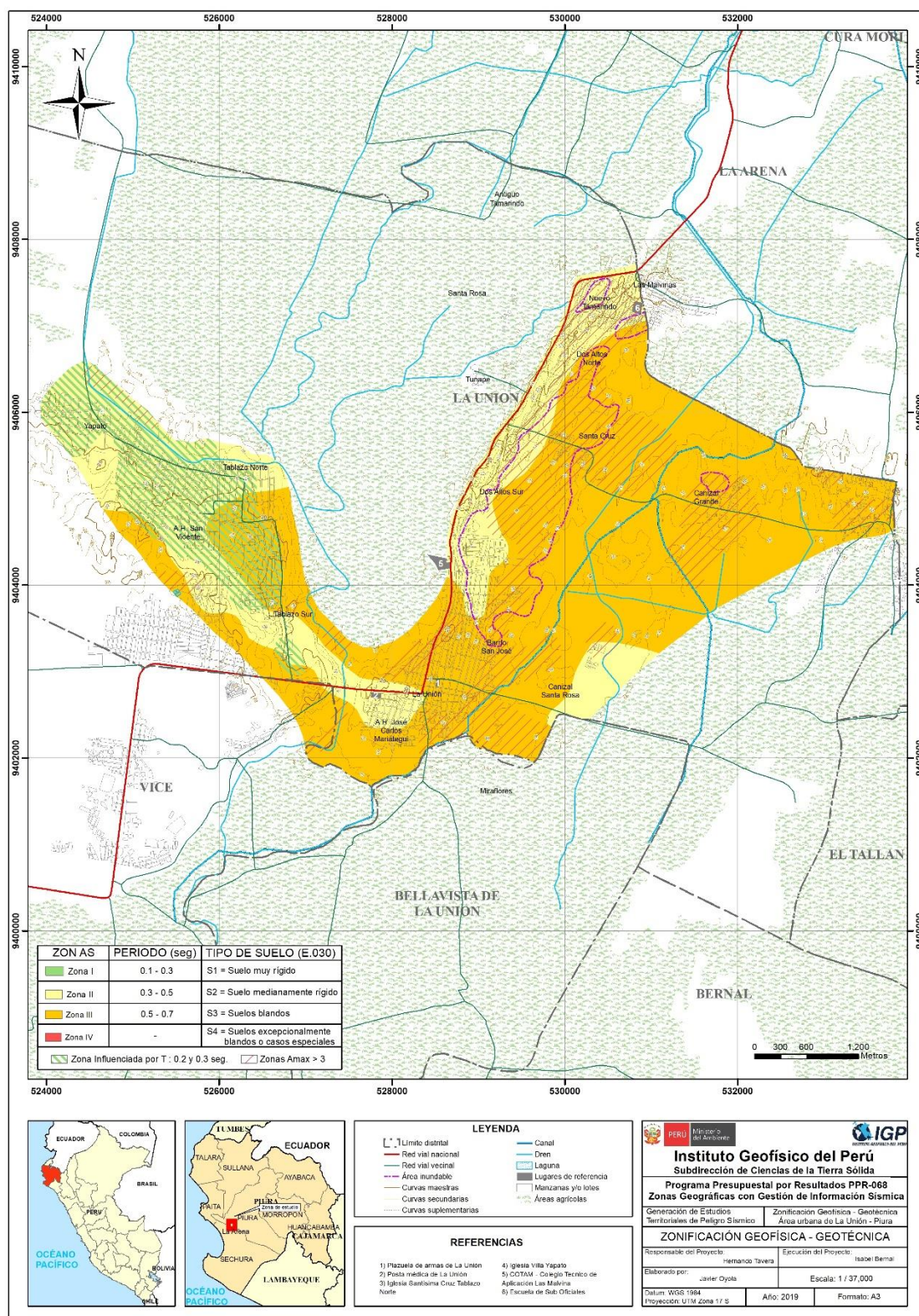


Figura 4: Zonificación Geofísica– Geotécnica para los suelos del área urbana de La Unión.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA
DE LOS SUELOS EN EL ÁREA URBANA DE LA UNIÓN**

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

2. GEOMORFOLOGIA

2.1. Modelo Digital de Elevación (MDE)

2.2. Pendiente

2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

2.3. Unidades geomorfológicas

2.3.1. Dunas

2.3.2. Llanura

2.3.3. Cuencas ciegas (depresiones)

2.3.4. Colinas

2.3.5. Quebradas

2.3.6. Terraza Marina

3. GEOLOGÍA

3.1. Geología local

3.1.1. Formación Tablazo Lobitos

3.1.2. Depósitos aluviales

3.1.3. Depósitos Eólicos

4. GEODINÁMICA SUPERFICIAL

4.1. Inundación

4.2. Flujos de lodo

4.3. Elementos expuestos

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

5.1. Exploraciones a cielo abierto

5.1.1. Densidad del suelo in-situ

5.2. Exploraciones con posteadora manual

5.3. Ensayo de penetración dinámica ligera DPL

5.4. Clasificación de suelos SUCS

5.5. Ensayo de corte directo

5.5.1. Capacidad de carga portante

5.5.1.1. Tipos de capacidad de carga portante

1. METODOLOGÍA

El estudio de cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico y de exploraciones geotécnicas realizadas en La Unión, se desarrolló en dos fases:

- **Gabinete:** Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales WorlView-2 con resolución 0.5 m. del Servidor Digital Globe 2010 para delimitar la zona de estudio. Asimismo, se realizó la recopilación de información bibliográfica de la zona a escala regional y local (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).
- **Campo:** Se realizó el cartografiado geológico, geomorfológico y geodinámico a escala 1:25000, para lo cual se utilizó la ortofoto del área de estudio obtenida a través del RPAS.

En el área urbana de La Unión se realizaron ensayos geotécnicos considerando las siguientes técnicas: calicatas distribuidas equitativamente (8 calicatas); densidades de campo; ensayos de densidad de penetración dinámica ligera (10 ensayos de DPL) y auscultaciones manuales haciendo uso de una posteadora (10 auscultaciones).

Las muestras extraídas fueron analizadas a través de ensayos del laboratorio de mecánica de suelos para determinar humedad, límites de Atterberg y granulometría. Asimismo, mediante el corte directo se determinó los parámetros de cohesión y ángulo de fricción de los suelos a ser utilizados para calcular la capacidad portante de los suelos.

2. GEOMORFOLOGIA

La geomorfología estudia las diferentes formas de relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan debido a 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 son llamados procesos de geodinámica externa y se agrupan en la cadena de 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 estudio se describen las características físicas de las geoformas existentes en el área de La Unión, en relación a su origen. Para disponer de un plano geomorfológico fue necesario construir los planos de Modelo Digital de Elevación (MDE) y pendientes. Asimismo, para caracterizar y delimitar las unidades geomorfológicas del terreno (geoformas) fue necesario realizar un detallado trabajo de campo en toda el área de estudio.

2.1. Modelo Digital de Elevación (MDE)

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

Para la elaboración del MDE del área de estudio se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel diseñadas a partir de la ortofoto, obteniendo como resultado la representación digital de la superficie del terreno del área de estudio.

En base al MDE elaborado para La Unión (Figura 1), se ha reconocido que hacia el extremo noroeste (Dos Altos, Arroyo Mío y Tamarindo) se ubican las mayores elevaciones con alturas entre 15 y 25 m.s.n.m.; mientras que, la parte central del área urbana se asienta sobre los 17 m.s.n.m. Hacia el extremo oeste (Tablazo Norte, Sur, Yapato y San Martín de Létira), las altitudes varían entre los 15 a 25 m.s.n.m.

2.2. Pendientes

Las pendientes del terreno influyen 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 del mapa de pendientes para el área de estudio (Figura 2), fue desarrollado a partir del MDE y haciendo uso de herramientas de geoprocésamiento (área de influencia, construcción de modelos, análisis espacial, etc.) con el objetivo de diferenciar gráficamente los ángulos de inclinación del relieve en el área de estudio.

2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se consideró los valores propuestos por Fidel (2006). Según la Tabla 1, la mayor parte del área urbana de La Unión, se encuentra asentada sobre dunas con pendientes que oscilan entre 15° y 25°; sin embargo, hacia el extremo oeste del centro urbano (Tablazo, Yapato y San Martín de Létira), se observan relieves con pendientes < 10°.

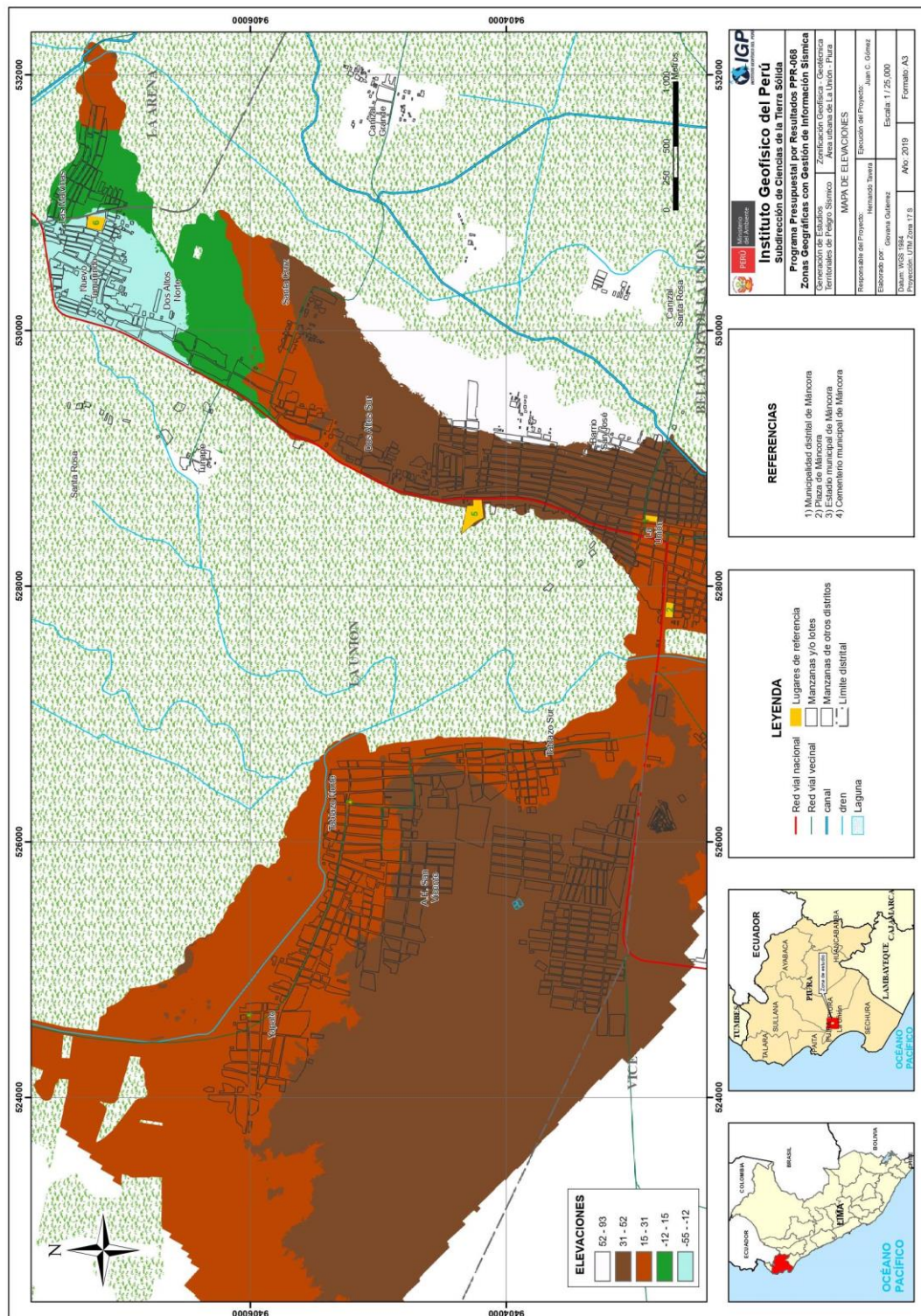


Figura 1: Mapa de elevación digital del terreno para el área urbana de La Unión y alrededores.

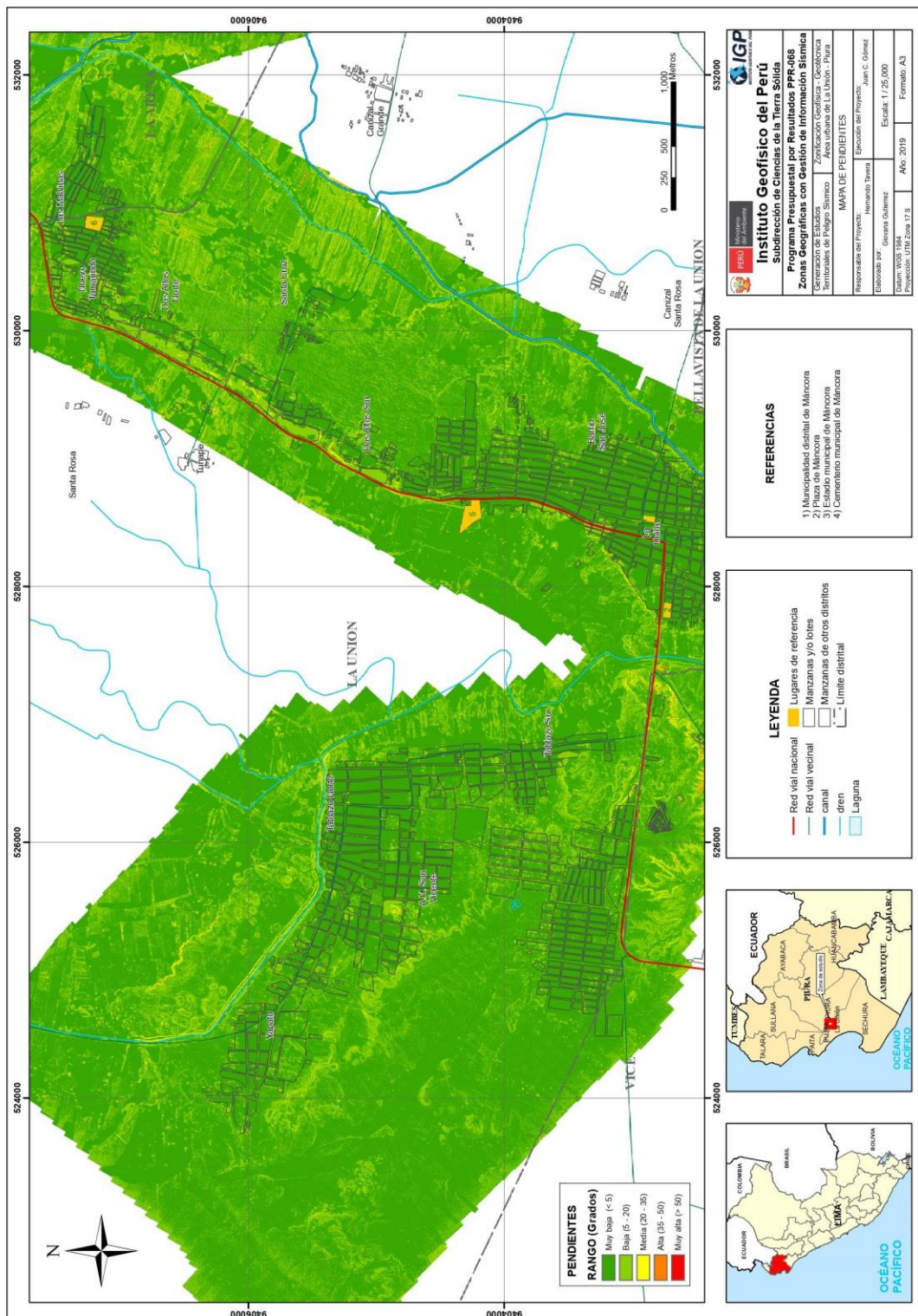


Figura 2: Mapa de pendientes del terreno para el área urbana de La Unión y alrededores.

Tabla 1: Rangos de pendientes del terreno.

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

2.3. Unidades geomorfológicas

Estas unidades están compuestas por materiales que presentan una génesis propia que explica la dinámica de cómo se formaron y las características físicas que les permite conformar un relieve (forma, altura, pendiente, drenaje, textura de vegetación, color, etc.) con suelos diferenciados. En este sentido, las geoformas son generadas por procesos geodinámicos de tipo endógeno (internos) y exógenos (externos) que dan lugar a relieves positivos y negativos.

- **Características físicas:** Las características físicas de las unidades geomorfológicas; 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.
- **Procesos:** Los agentes modeladores como el agua, el viento, temperatura, entre otros, desencadenan diversos procesos externos tales como: intemperismo, meteorización, erosión, transporte y depositación que generan diferentes geoformas. Estos procesos se clasifican de acuerdo a su origen, en depositacional y denudacional (erosional). Otros procesos internos propios del planeta Tierra como el magmatismo y tectonismo, generan geoformas de origen estructural.

En base a las características físicas de las geoformas y su origen, en La Unión se cartografiaron la presencia de 7 unidades estructurales: Dunas, llanura eólica, llanura aluvial, colina, quebradas, terraza marina y depresiones (Figura 3 y Tabla 2).

Tabla 2: Descripción de las unidades geomorfológicas, en el área urbana La Unión, en base a las características físicas y su origen

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

2.3.1. Dunas

Son acumulaciones de arenas finas de origen deposicional debido a 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 estas geoformas abarcan un área de 94.4 Has sobre las cuales se asientan el centro poblado Dos Altos, el área de expansión de los barrios Juan Velazco y San José (Figura 4).

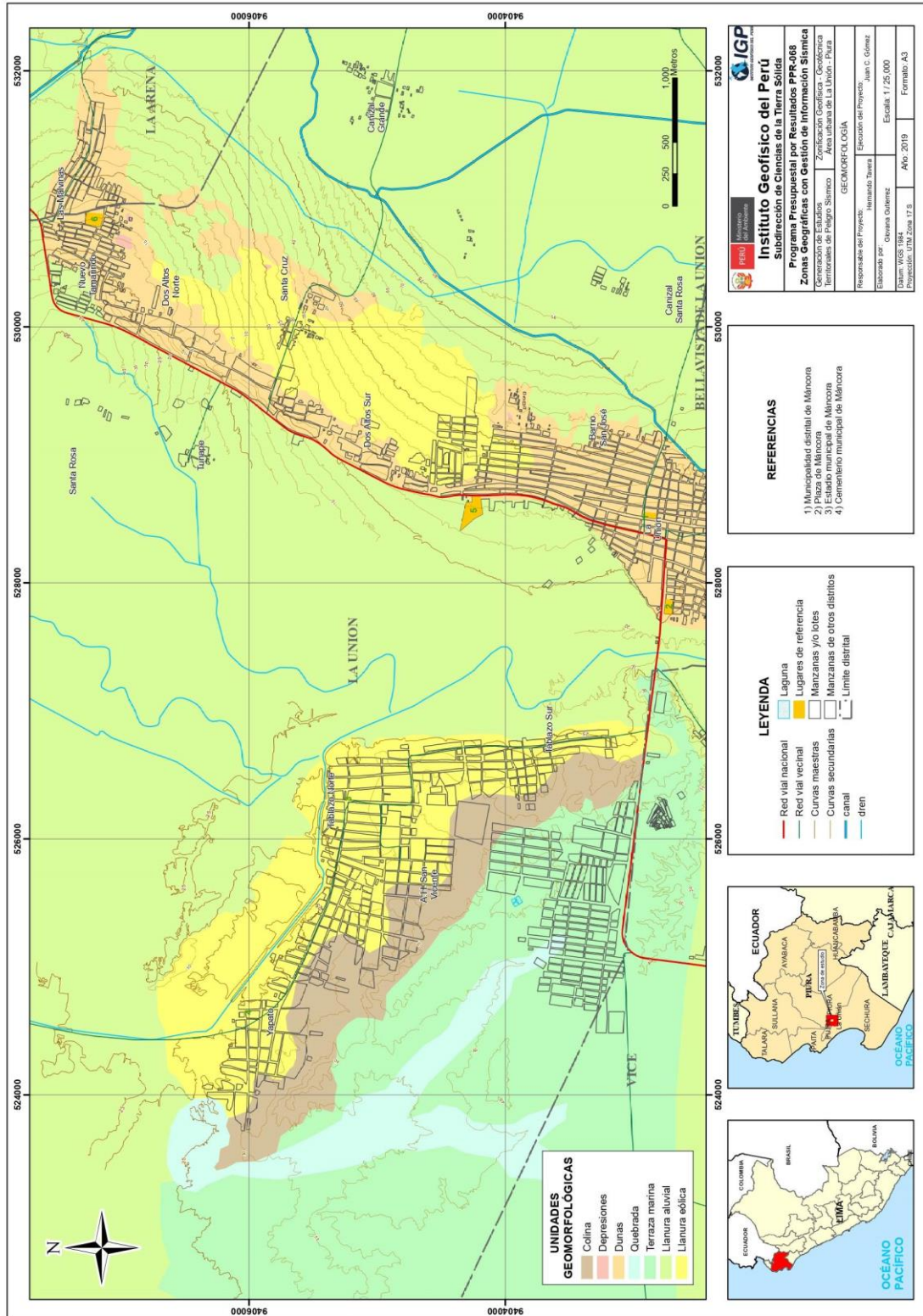


Figura 3: Mapa geomorfológico para La Unión y alrededores.



Figura 4: Localización de Duna en el sector Dos Altos del distrito de La Unión.

2.3.2. Llanura

Esta unidad geomorfológica se caracteriza por presentar un relieve con pendiente suave $<5^\circ$ y 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, esta llanura abarca un área de 560 Has sobre la cual se asientan los sectores urbanos 8 de Diciembre, Tablazo Sur, Tablazo Norte, San Martín de Létira y Yapato (Figuras 5 y 6).

Llanura aluvial. - Es un área de relieve con pendiente suave $<5^\circ$ y de origen depositacional con una geometría y drenaje irregular, conformado por sedimentos medianos. En esta unidad se desarrolla la actividad agrícola (Figura 7).



Figura 5: Localización de llanura eólica en el sector Chatito del distrito de La Unión.



Figura 6: Localización de llanura en el sector Yapato del distrito de La Unión.



Figura 7: Localización de llanura aluvial en el distrito de La Unión.

2.3.3. Cuencas ciegas (depresiones)

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 (Figura 8).

2.3.4. Colinas

Es una unidad geomorfológica de origen denudacional, con pendientes $< 20^\circ$, altura < 100 m, geométricamente redondeada 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.



Figura 8: Localización de una Cuenca Ciega en el sector San José del distrito de La Unión.

2.3.5. Quebradas

Se originan 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.

2.3.6. 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.

3. GEOLOGÍA

La geología es la ciencia que estudia la Tierra, los materiales que la componen, las estructuras y los procesos que actúan sobre y debajo de la superficie a lo largo de millones de años desde su origen hasta la actualidad. La litología como parte de la geología, estudia las características físicas de las rocas y depósitos que constituyen una formación geológica, es decir una unidad litoestratigráfica. 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 asociada se convierte en suelo. Los procesos químicos son complejos y dependen de los diversos minerales que constituyen las rocas lo que determina también su naturaleza y fragilidad. Por ejemplo, la sílice (SiO₂) 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 procesos detonantes como los sismos y precipitaciones pluviales que ocasionan movimientos en masa (deslizamientos, flujos, caídas de rocas, entre otros).

Para entender el comportamiento dinámico del terreno, es necesario conocer los procesos geológicos externos (meteorización, erosión, transporte

y sedimentación) en las rocas y los suelos que provienen de las mismas, analizando las propiedades asociadas al comportamiento mecánico.

La geología comprende varias disciplinas, que en conjunto 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 de estudio.

3.1. 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. En la Tabla 3 y Figura 9 se describe estas unidades.

Tabla 3: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
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

3.1.1. Formación Tablazo Lobitos (Qp-tl)

Están conformados por una secuencia de conglomerados poco consolidados con matriz bioclástica (diatomeas con restos calcáreos) y arenas (Figura 10).

3.1.2. Depósitos aluviales (Qh-al)

Conformados por acumulación de arenas de grano grueso a medio y limos que antes de ser depositados, fueron transportados por la dinámica del río Piura. En el área de estudio, sobre este tipo de depósitos se desarrolla la actividad agrícola.

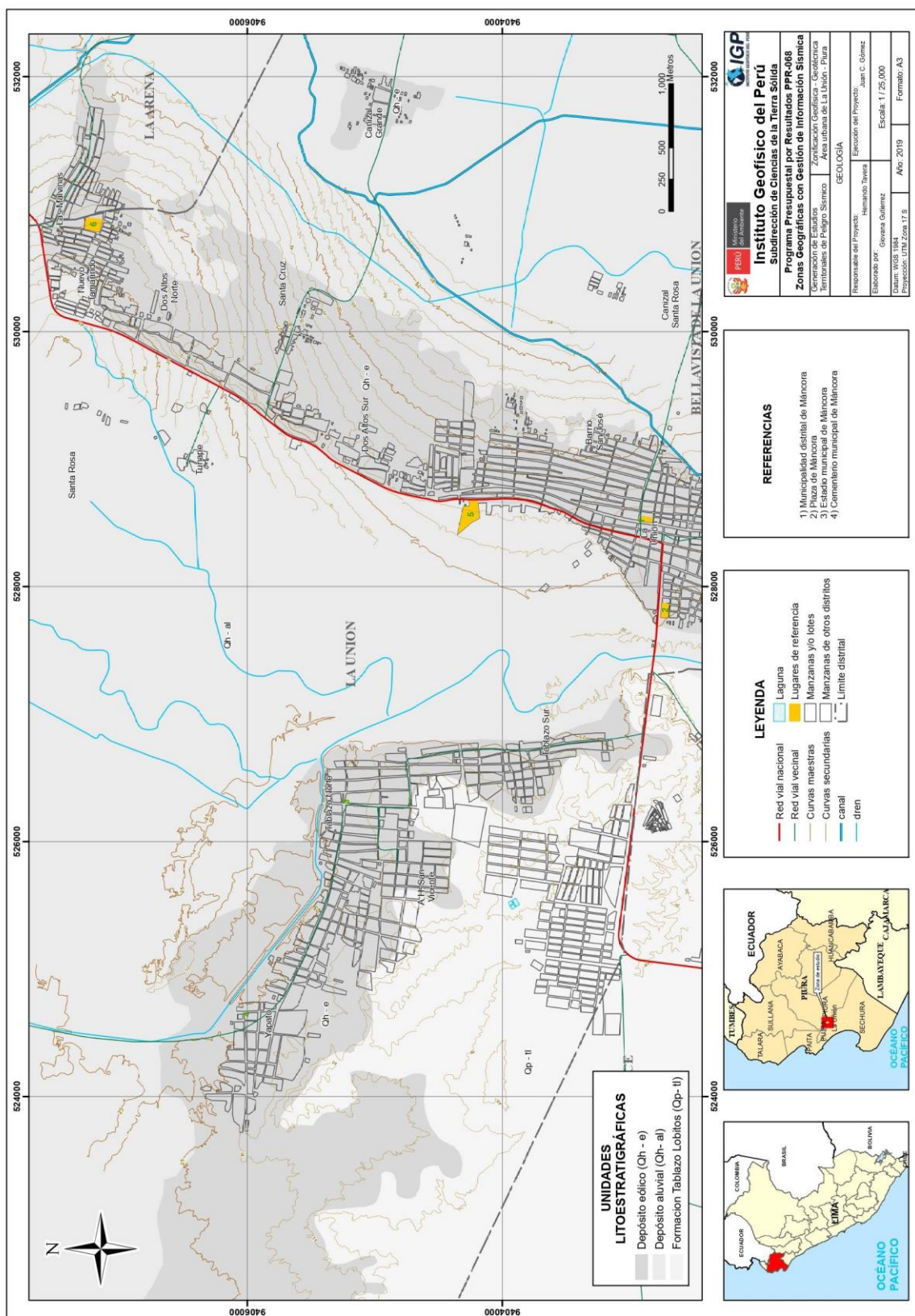


Figura 9: Mapa de geología local para La Unión y alrededores.



Figura 10: Diatomeas localizadas al suroeste del sector urbano de Yapato.

3.1.3. Depósitos Eólicos (Qh-e)

Conformados por la acumulación de arenas cuarzosas de grano medio a fino de color amarillento, debido a la acción de los vientos y que forman dunas de 7 a 10 m de altura; así como llanuras de arena. Sobre este tipo de depósitos se asienta la población del área urbana de La Unión (Figuras 11).



Figura 11: Depósito eólico localizado en el sector urbano de Juan Velazco

4. 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 y que dan como producto eventos que modifican el actual relieve. La importancia de 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 la meteorización y erosión que en conjunto 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, generando escorrentías superficiales que provocan el arrastre progresivo de materiales a posiciones de menor energía potencial (menor pendiente). La carga de sedimentos transportados por la quebrada o río incrementan la acción erosiva y son capaces de producir remoción de los materiales como (Brusi, 2013) los flujos de detritos e inundación. En el área de estudio se ha identificado dos tipos de eventos Geodinámicos (Figura 12): inundación y flujos de lodo.

4.1. Inundación

Durante El Niño Costero se presentó el desborde de un canal de regadío ubicado 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, aumenta el nivel máximo de inundación para afectar 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.

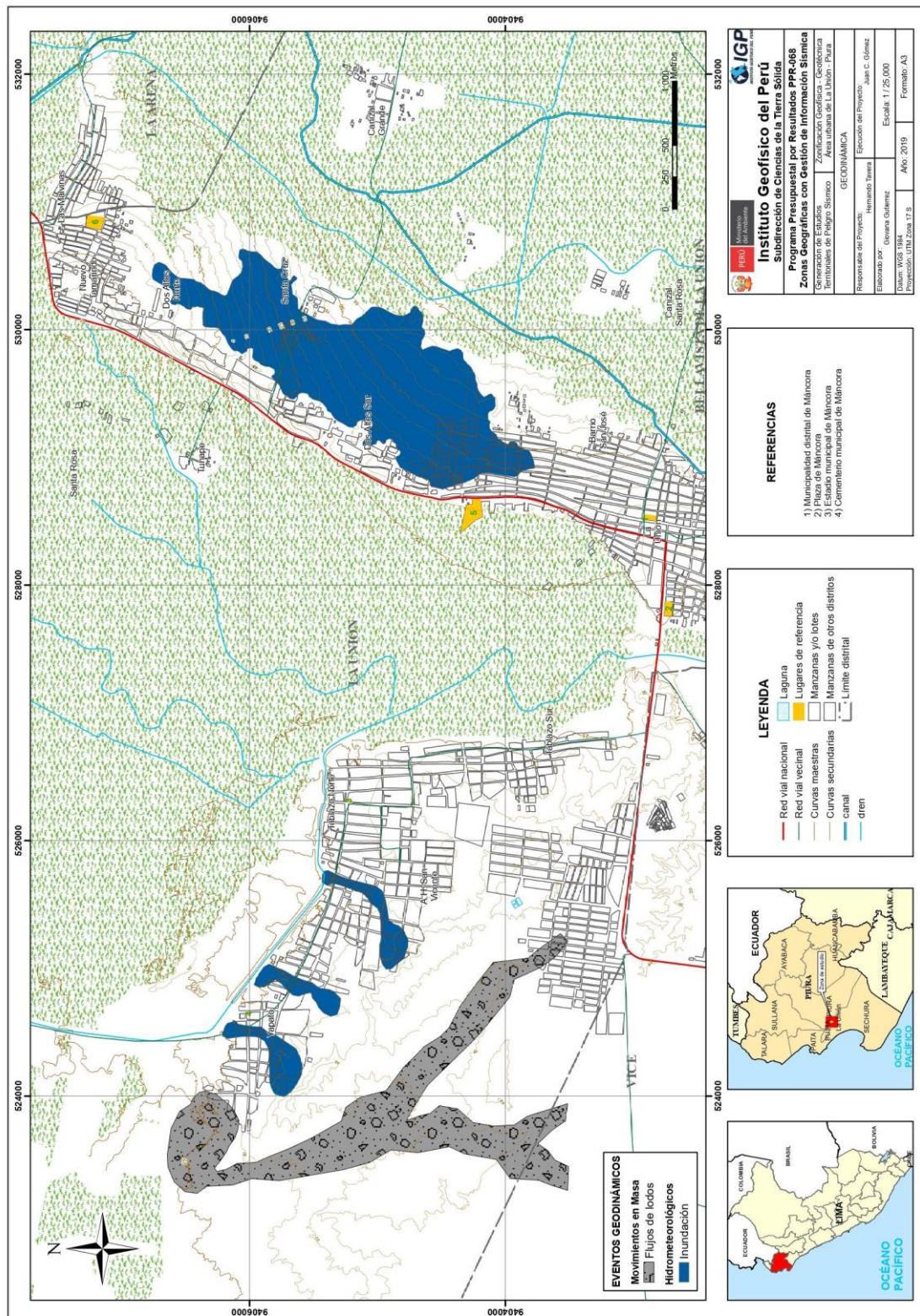


Figura 12: Mapa geodinámico de La Unión y alrededores.

Las intensas precipitaciones pluviales que en periodos ENSO, recaen 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, los flujos discurren sobre pequeños canales preexistentes de desfogue con dirección NE y E hasta la zona agrícola. Asimismo, en periodos ENSO el desborde del canal de regadío mellizo ubicado a la altura del sector Yapato y San Martín de Létira, ha ocasionado daños en las viviendas establecidas en el lugar (Figuras 13, 14, 15 y 16).



Figura 13: 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.



Figura 14: El agua a 1 m de altura, afectó a las viviendas localizadas en el sector Arroyo Mío.



Figura 15: El agua a 40 cm de altura, afectó a las viviendas localizadas en el sector Tablazo Norte.



Figura 16: Canal de desfogue localizado en el sector urbano Tablazo Norte.

4.2. 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 su desborde e incremento el daño en las áreas inundadas (Figura 17).



Figura 17: Zona de depositación de flujos de lodo en el sector San Martín de Létira.

4.3. Elementos expuestos

En el área de estudio se encuentran los elementos expuestos a nivel social susceptibles ante el impacto del peligro por ocurrencia de inundaciones; es decir, la población y viviendas. Las cantidades de estos elementos, son estimaciones resultantes de la relación entre el área de influencia del peligro y la ocupación del sector urbano (Tablas 4 y 5).

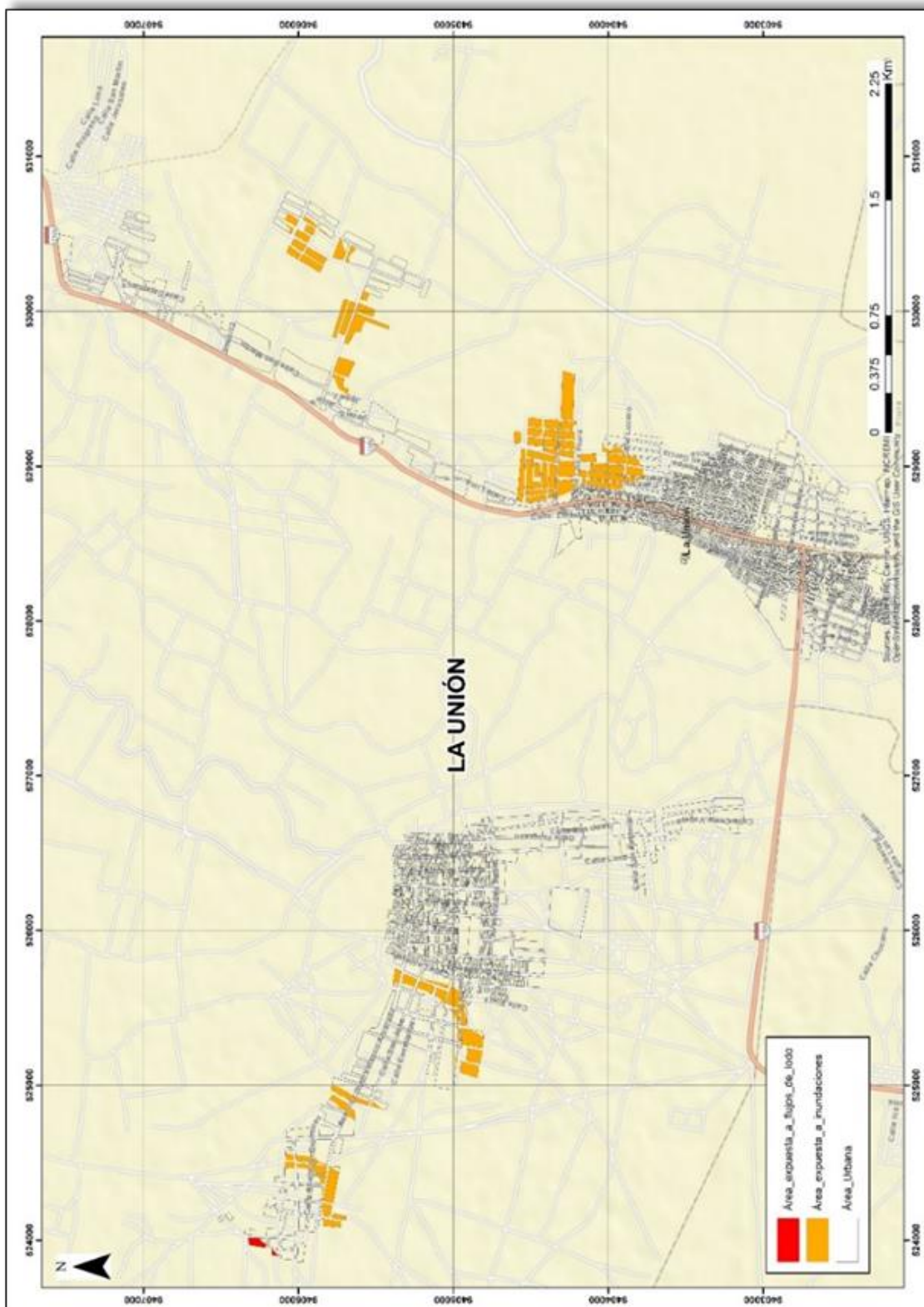


Figura 18: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de inundaciones en el área urbana de La Unión.

Tabla 4: Población estimada de la localidad expuesta a eventos de origen natural

Evento geodinámico	Población expuesta
Inundaciones	1200

Tabla 5: Viviendas de la localidad expuestas a eventos de origen natural (se consideró la delimitación del área de influencia de la inundación realizada en el capítulo de geodinámica)

Evento geodinámico	Viviendas expuestas
Inundaciones	350

Haciendo uso de la superposición del área de influencia de los eventos geodinámicos, con el área urbana de la localidad, se reconocieron las infraestructuras de interés social (viviendas) expuestas a peligros (Figura 18).

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los suelos son materiales no consolidados conformados por minerales, materia orgánica, agua y aire entre sus poros. Estos son generados a partir de la alteración de la roca madre transportada y depositada en las partes bajas de las cuencas hidrográficas y sobre los cuales se asientan las áreas urbanas. La Figura 19, muestra el diagrama del origen de los suelos en una determinada área.

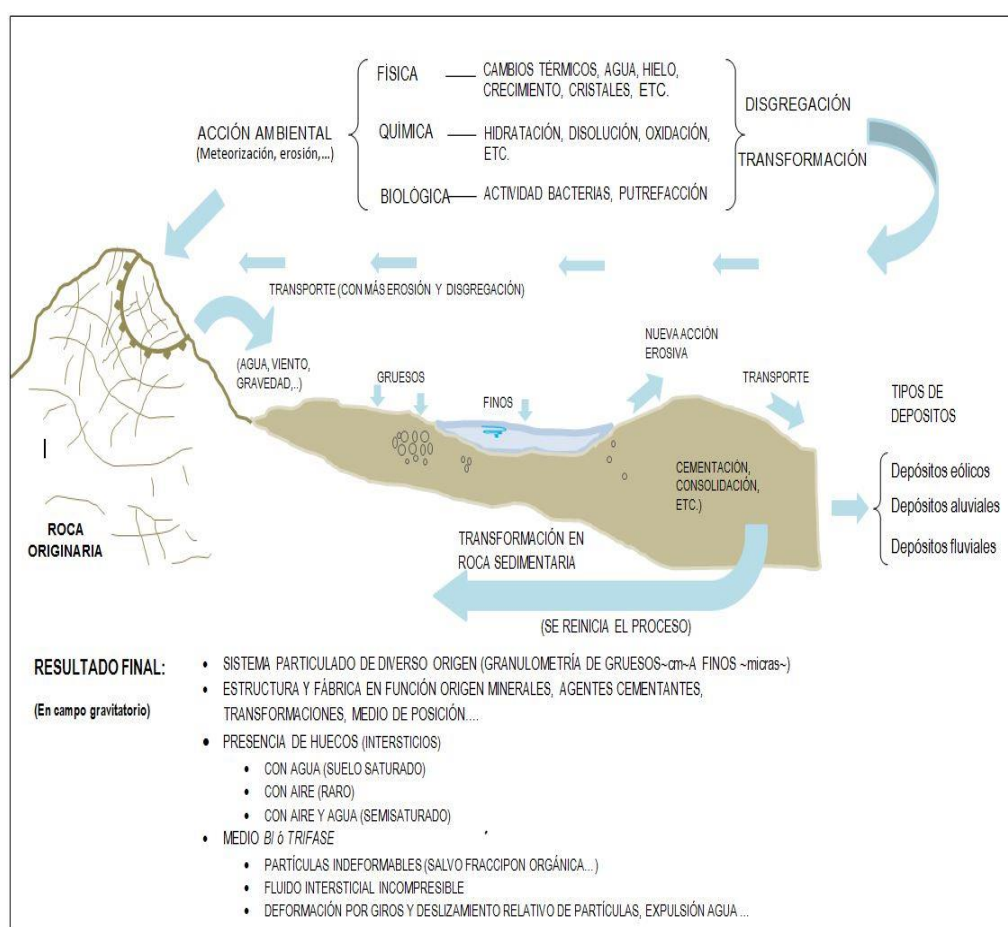


Figura 19: Diagrama del origen de los suelos (Vallejo 2002).

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, cimentación, 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 importante para la elaboración de modelos geotécnicos y el diseño de cimentaciones en un terreno específico.

La clasificación, geotécnica de suelos se realizó en base al 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 el distrito de La Unión, se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de 8 calicatas, 8 densidades de campo, 10 posteos y 10 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y cuya distribución espacial de muestra en la Figura 20. Las muestras extraídas se analizaron en el laboratorio de mecánica de suelos del Instituto geofísico del Perú (IGP) con la finalidad de determinar la composición granulométrica, plasticidad, corte directo y realizar el cálculo de la capacidad portante de los suelos de cimentación.

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

Es un método de exploración directa que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación y descripción del suelo. Estas exploraciones se realizaron hasta 3 m de profundidad a fin de describir los estratos que lo conforman; además de extraer muestras disturbadas para ser analizadas y almacenadas en bolsas herméticas (fichas de descripción se adjuntan en los Anexos). Las excavaciones fueron realizadas en puntos cuyas coordenadas UTM se detallan en la Figura 20 y Tabla 6.

5.1.1. 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. Se busca obtener una relación entre la masa del suelo y el volumen que ocupa la arena del cono (arena calibrada).

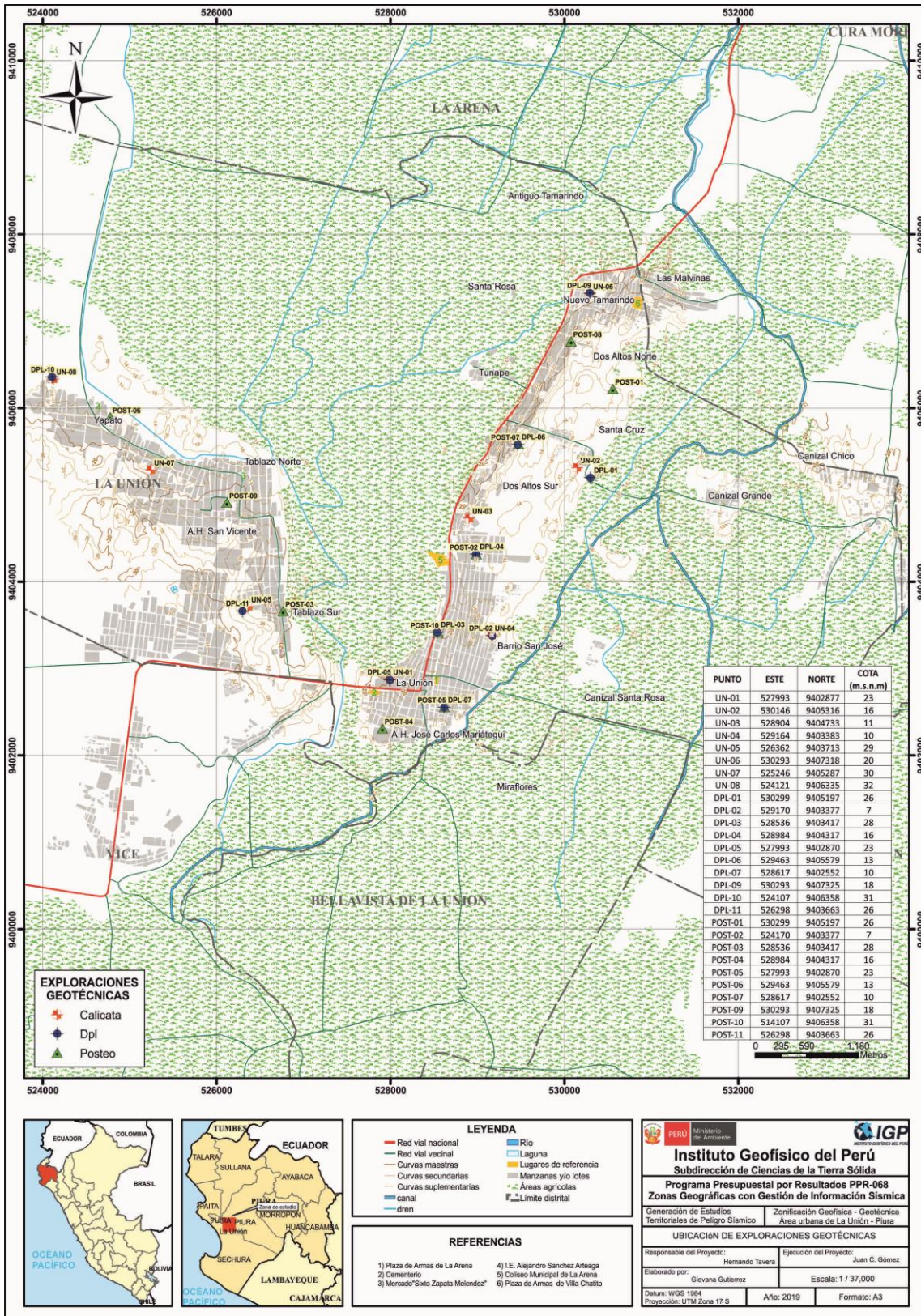


Figura 20: Mapa de distribución de calicatas, posteos y DPL en el área urbana de La Unión y alrededores

Tabla 6: Ubicación de las 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.

En cada exploración (estrato muestreado) se realizó un ensayo de densidad de campo haciendo uso del método del cono de arena y así conocer el grado de compacidad o consistencia y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales. Esta información es necesaria para desarrollar los ensayos de corte directo a las muestras de suelo (en su estado inicial); aunque no es aplicable en suelos que contengan clastos o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm). En la Tabla 7, se presenta los resultados obtenidos para las densidades in situ de las calicatas elaboradas para el área de estudio y sus fichas se adjunta en los Anexos.

Tabla 7: Resultado de densidades in – situ

CÓDIGO DE CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	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, los suelos de cimentación en el área urbana de La Unión presentan rangos de densidad húmedas entre 1.17 a 1.92 gr/cm³; mientras que, las densidades secas oscilan entre 1.20 y 1.68 gr/cm³. Los materiales identificados en las calicatas corresponden a arenas muy sueltas, sueltas a medio densas.

5.2. 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) para extraer muestras hasta una profundidad de 5 a 6 m. En cada perforación se realizó la descripción de los tipos de suelos encontrados. Las muestras extraídas se obtienen trituradas y completamente alteradas; sin embargo, sirven para conocer el tipo de suelo y su contenido de humedad.

Estas exploraciones fueron distribuidas entre los puntos de las calicatas con la finalidad de obtener mejor caracterización de los suelos en el área de estudio. En la Tabla 8, se muestran los resultados obtenidos y el registro de cada perforación se adjunta en los Anexos.

Tabla 8: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS (NP=no presenta).

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	N.P.
Post_04	527907	9402309	20	1.80	SP	N.P.
Post_05	528618	9402558	10	1.40	SP	N.P.
Post_06	524775	9405894	13	1.40	CL	N.P.
Post_07	529472	9405583	13	1.70	SP	N.P.
Post_08	530077	9406768	25	1.70	CL	N.P.
Post_09	526119	9404910	29	1.20	SP-SM	N.P.
Post_10	528545	9403417	29	2.40	SP	N.P.

5.3. Ensayo de penetración dinámica ligera DPL (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 que 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 de la varilla con la finalidad de estimar el ángulo de fricción de suelos específicos y así, calcular mediante fórmulas empíricas la capacidad portante (resistencia al corte) de los suelos de cimentación en Kg/cm² y conocer las propiedades de compacidad de los suelos.

Esta instrumentación es muy práctica y de fácil transportación; 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. Los ensayos DPL se realizaron en las inmediaciones de una o dos calicatas donde se tiene suelos conocidos y así, conocer la resistencia al corte de los distintos estratos.

En la Tabla 9, se indica las coordenadas UTM de los ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL) realizados en las inmediaciones en el área urbana 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:

Φ = Ángulo de fricción interna

Dr = Densidad relativa

Tabla 9: 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	S ₆₀
	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

En ese estudio, el total de los ensayos realizados alcanzaron profundidades de hasta 3.30 m. y mínimos de 1.60 m, debido a que el suelo está constituido por arenas mal graduadas, arenas limosas y arena mal graduada con arenas limosas y arcillas.

5.4. Clasificación de suelos SUCS

En base a la información geotécnica obtenida de las calicatas, posteos y DPL realizadas en el área urbana de La Unión; así como los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y plasticidad han permitido identificar, de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), la existencia de 4 tipos de suelos detallados en la Tabla 10 y Figura 21.

Suelos tipo SM: Están conformados por arenas limosas con contenido de humedad de 0.62 %. Constituyen suelos de compacidad baja (suelta) y no presentan plasticidad. Este tipo de suelo se ha identificado en el sector Yapato (calicata UN-07).

Suelos tipo SP: Están conformados por arenas mal graduadas y contenido de humedad entre 1.53 % y 15.94 %. Constituyen suelos con

Tabla 10: Clasificación SUCS de los suelos del área urbana 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	2.2	N.P.	1.45	0	97.7	3.01	-	-	-	SP	Arena mal graduada
UN-02	2.4	2.4	7.99	0	96.5	3.55	-	-	-	SP	Arena mal graduada
UN-03	0.75	0.7	12.78	0	96.5	3.45	-	-	-	SP	Arena mal graduada
UN-04	0.85	0.85	13.57	0	96.3	3.7	-	-	-	SP	Arena mal graduada
UN-05	2.1	N.P.	1.16	0	91.8	8.2	17.89	-	N.P.	SP-SM	Arena mal graduada con arena limosa
UN-06	2.2	2.2	25.55	0	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	80.3	19.71	-	-	-	SM	Arena limosa
UN-08	2	N.P.	22.19	0	47.24	52.76	37.76	24.47	13.29	CL	Arcilla inorgánica de baja compresibilidad

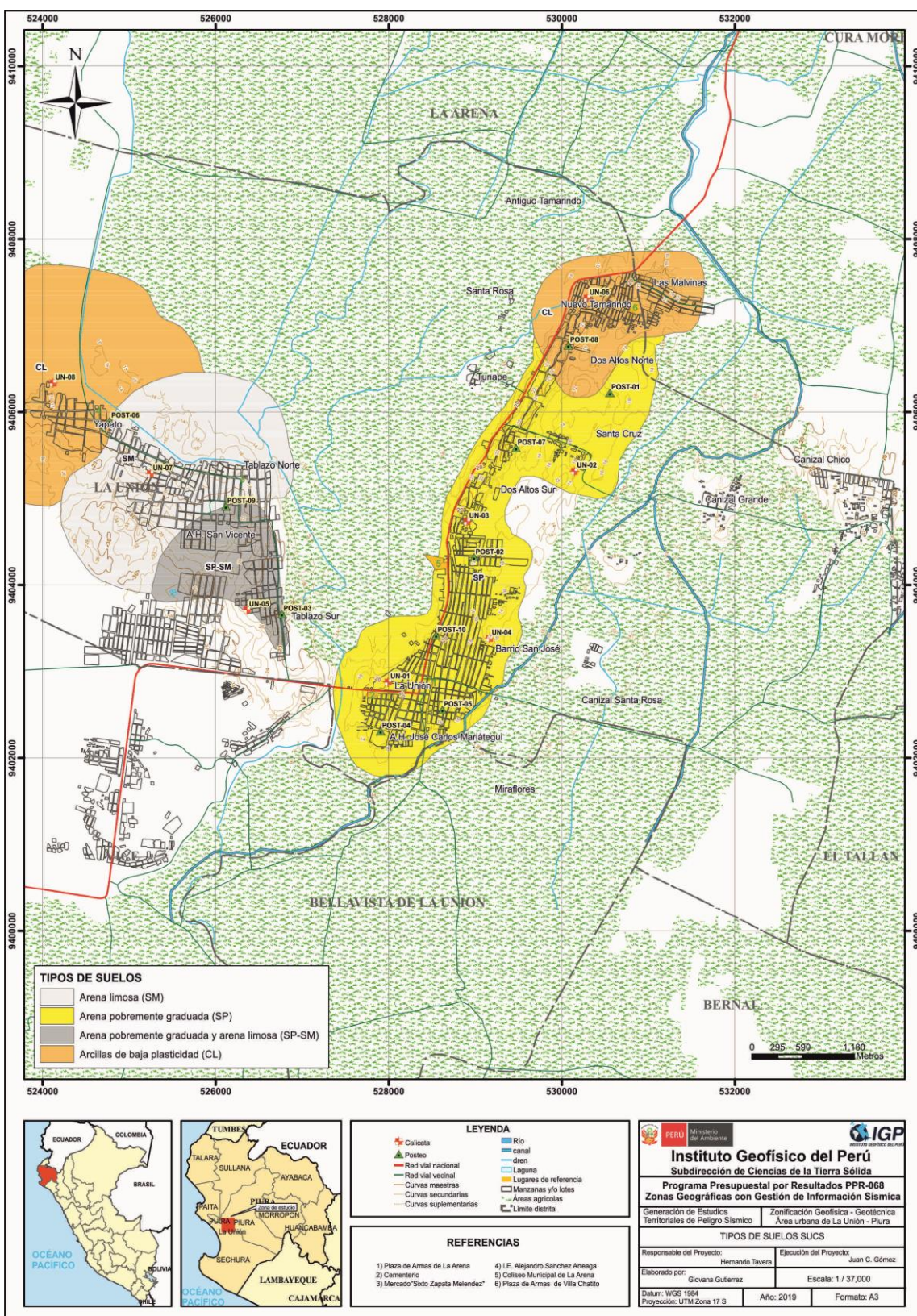


Figura 21: Mapa de clasificación SUCS para los suelos de La Unión y alrededores.

grado de compactación suelta y no presentan plasticidad. Estos suelos se han identificado en la zona urbana de La Unión y corresponden a las calicatas UN-01, UN-02, UN-03 y UN-04 respectivamente, así como a los posteos P-01, P-02, P-04, P-05, P-07 y P-10.

Suelos tipo SP-SM: Están conformados por arenas mal graduada y arenas limosas con contenido de humedad de 1.16%. Constituyen suelos con grado de compactación suelta a media, no presentan plasticidad. Estos suelos se han identificado en el Centro poblado Tablazo sur, correspondiente a la calicata UN-05 y en el posteo P-03.

Suelos tipo CL: Están conformados por arcilla inorgánica con contenido de humedad de 25.55 % y 22.19%. Constituyen suelos con grado de compactación baja a media y presentan plasticidad de 8.42 % y 13.29%. Estos suelos se han identificado en las calicatas UN-06 y UN-08, así como en los posteos P-06 y P-08, en el sector de Nuevo Tamarindo y Yapato.

5.5. Ensayo de corte directo (Norma ASTM D - 3080)

La finalidad de este ensayo es determinar la resistencia al esfuerzo de corte de una muestra de suelo sometida a fatigas y/o deformaciones (esfuerzos verticales y horizontales) que simulen lo 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 Unión, están basados en datos de laboratorio de mecánica de suelos, corroborados con datos teóricos de los parámetros de ángulo de fricción y cohesión de Terzaghi e información de DPL realizados en campo y para ello, se hace uso de las fórmulas de falla general o local según el tipo de suelo.

5.5.1. 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 obtenidos para la capacidad de carga portante de 8 muestras de suelos extraídas en La Unión se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11: Capacidad de carga portante de las muestras extraídas en La Unión.

CÓDIGO DE MUESTRA	Capacidad de carga última (Tn/m ²)	Capacidad de carga portante (Kg/cm ²)	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		

Según los valores del ángulo de fricción corregido a partir de la correlación de "N" del DPL en función al del SPT y los datos de cohesión de los suelos obtenidos mediante el corte directo, se determinó las capacidades portantes de los suelos investigados solo para los DPL y que en general, alcanzaron una profundidad de cimentación de 1 m. (Tabla 12).

De acuerdo a los resultados obtenidos, se ha determinado que la zona urbana de La Unión, en su mayoría, ha sido construida con cimentaciones de hasta 1 m de profundidad.

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

CÓDIGO DE DPL	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga portante (Kg/cm ²)	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		

5.5.1.1. Tipos de capacidad de carga portante

En el area urbana de La Unión se han identificado los siguientes tipos de capacidad de carga portante para los suelos (Figura 22):

- **Capacidad de carga portante muy baja:** Comprende rangos de capacidad de carga portante menores a 1 kg/cm², correspondiendo a suelos como: Arena mal graduada (SP), y arcillas (CL). Estos suelos estan presentes en el casco urbano y en los sectores de Nuevo Tamarindo, Dos Altos Sur, Santa Cruz, Barrio San José y Yapato
- **Capacidad de carga portante baja:** Comprende rangos de capacidad de carga portante entre 1.00 a 2.00 kg/cm² representados por arenas mal graduadas (SP) y arenas limosas

(SM). Estos suelos están presentes en AH. José Carlos Mariátegui y Tablazo Norte.

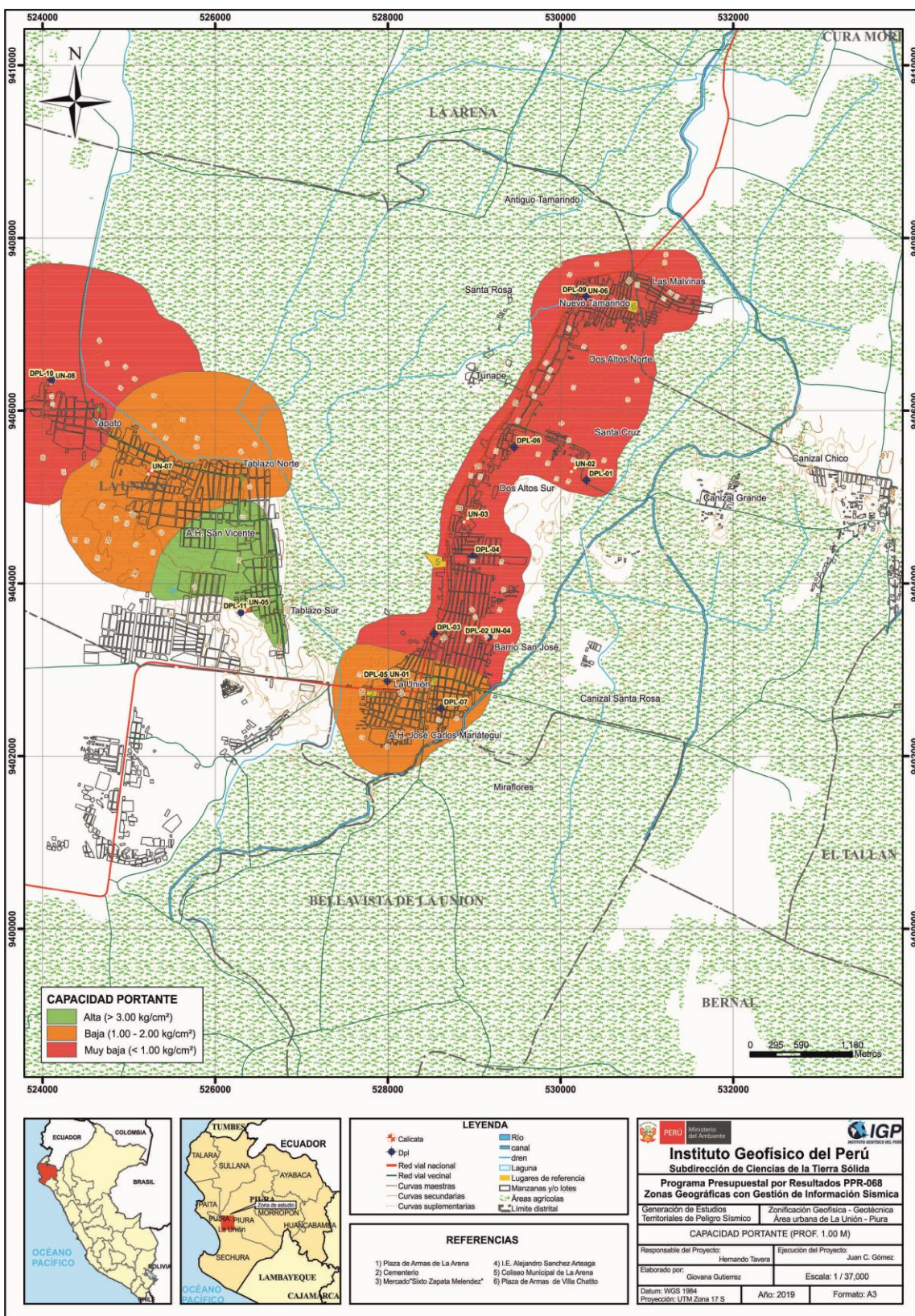


Figura 22: Mapa de capacidad de carga admisible para La Unión y alrededores.

- **Capacidad de carga portante Alta:** Comprende rangos de capacidad de carga portante mayor a 3.00 kg/cm² representado por arenas pobremente graduada y arenas limosas (SP-SM). Esto suelos han sido identificados principalmente en el sector Tablazo Sur y AH San Vicente.

CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DE LOS SUELOS EN EL ÁREA URBANA DE LA UNIÓN

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

1.1. Método de Razones Espectrales (H/V)

1.1.1. Adquisición y Procesamiento

1.2. Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)

1.2.1. Adquisición y Procesamiento

1.3. Método de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

1.3.1. Adquisición y Procesamiento

2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

2.1. Razones espectrales H/V

2.1.1. Frecuencia predominante

2.1.2. Periodos dominantes

2.2. Perfiles de MASW

2.3. Perfiles de Tomografía Eléctrica

3. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA

3.1. Integración de resultados

3.2. Mapa de Zonificación Geofísica

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

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

1.1. Método de Razones Espectrales (H/V)

El método de razones espectrales (H/V) descrito por Nakamura (1989), permite caracterizar la respuesta dinámica del sitio y estimar la amplificación sísmica del suelo. El método hace uso de registros de vibración ambiental con 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.

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.

1.1.1. Adquisición y Procesamiento

La adquisición de datos en campo se realizó utilizando sensores Lennartz y registradores CityShark II, llegándose a obtener un total de 180 registros de vibración ambiental (Figura 1). Los puntos en donde se

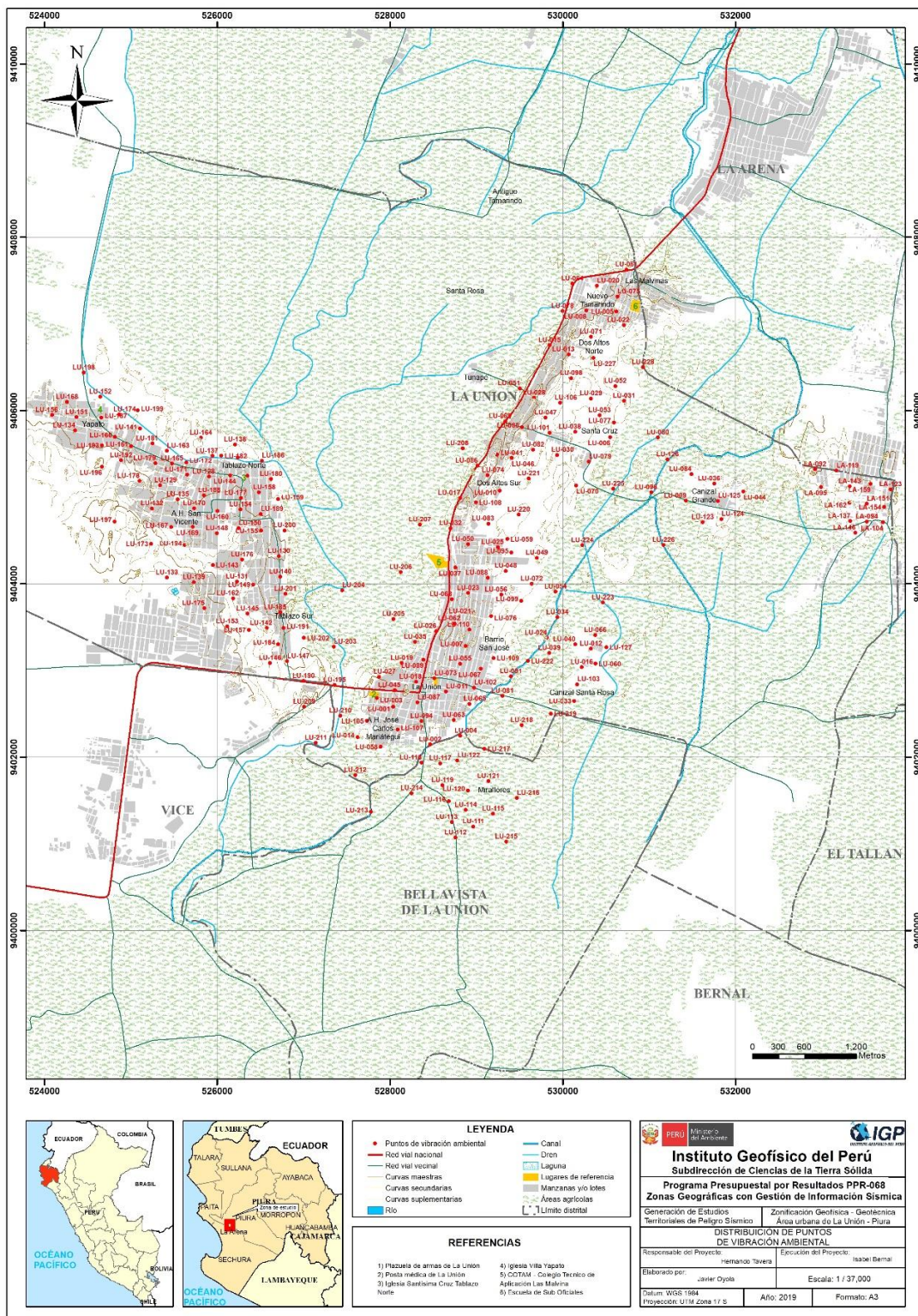


Figura 1: Distribución espacial de los puntos de registros de vibración ambiental del área urbana La Unión.

recolectaron los 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.

La Figura 2, muestra la disposición del equipo sísmico al momento del registro de información, además de ejemplos de registros de vibración ambiental para sus tres componentes (vertical, E-O y N-S). La señal registrada en el punto LU-35 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en LU-52, presenta diversidad de pulsos de variada amplitud, que, al momento de su análisis, pueden ser filtrados, para no afectar a la información a utilizarse en este estudio.

Asimismo, en la Figura 3, se muestra un ejemplo del procesamiento y resultado obtenido para el punto LU-73. 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.

Para la interpretación de la información sísmica se debe considerar los siguientes criterios: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1 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, 2004; Bernal, 2006). Asimismo, se evalúa la correspondencia de los parámetros físicos-dinámicos encontrados con los aspectos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos que domina a la zona de estudio.

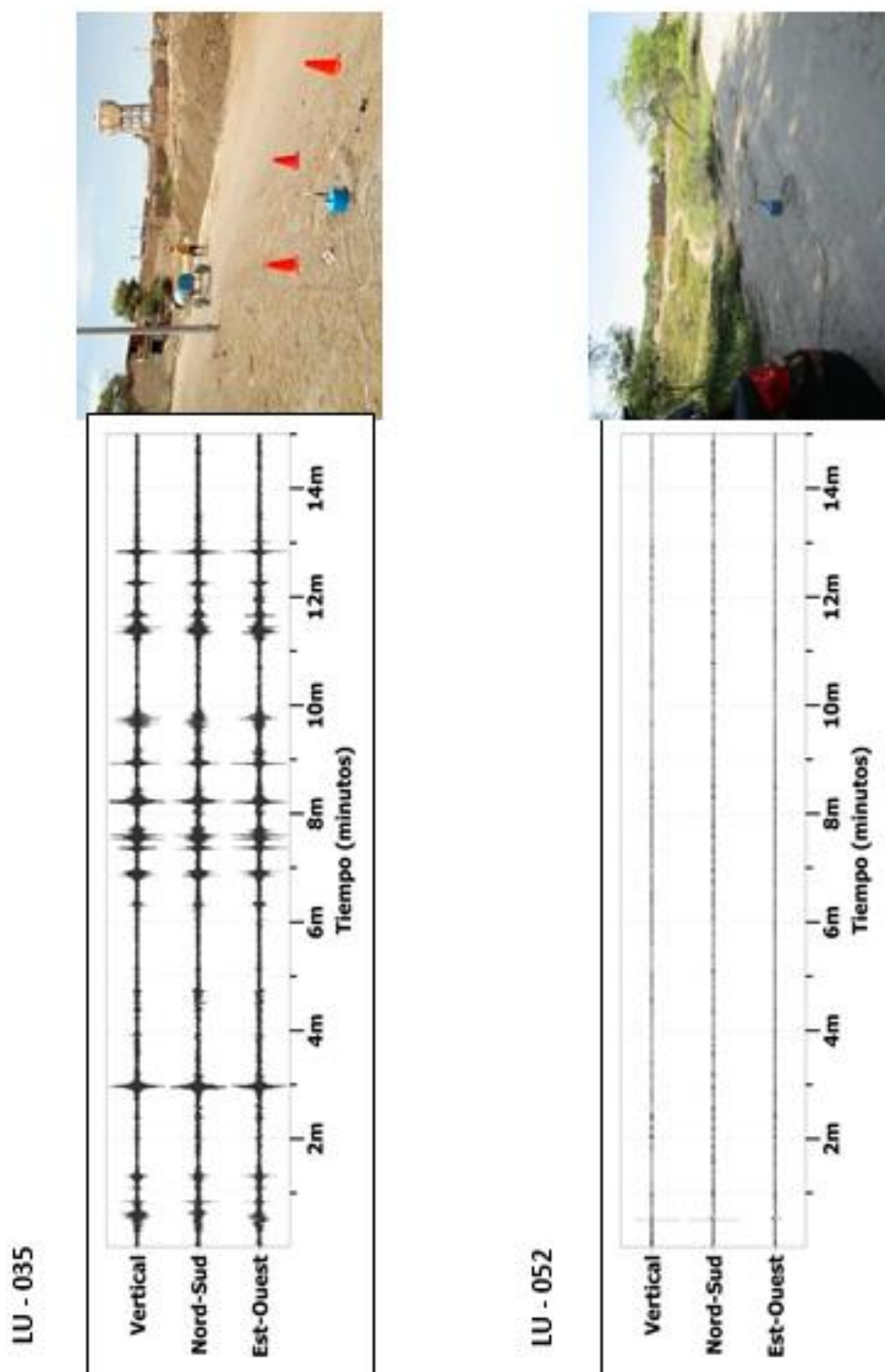


Figura 2: Disposición del equipo sísmico para la adquisición de los registros de vibración ambiental. Ejemplos de registros obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (LU-035) y otro con ruido de fondo constante (LU-052). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

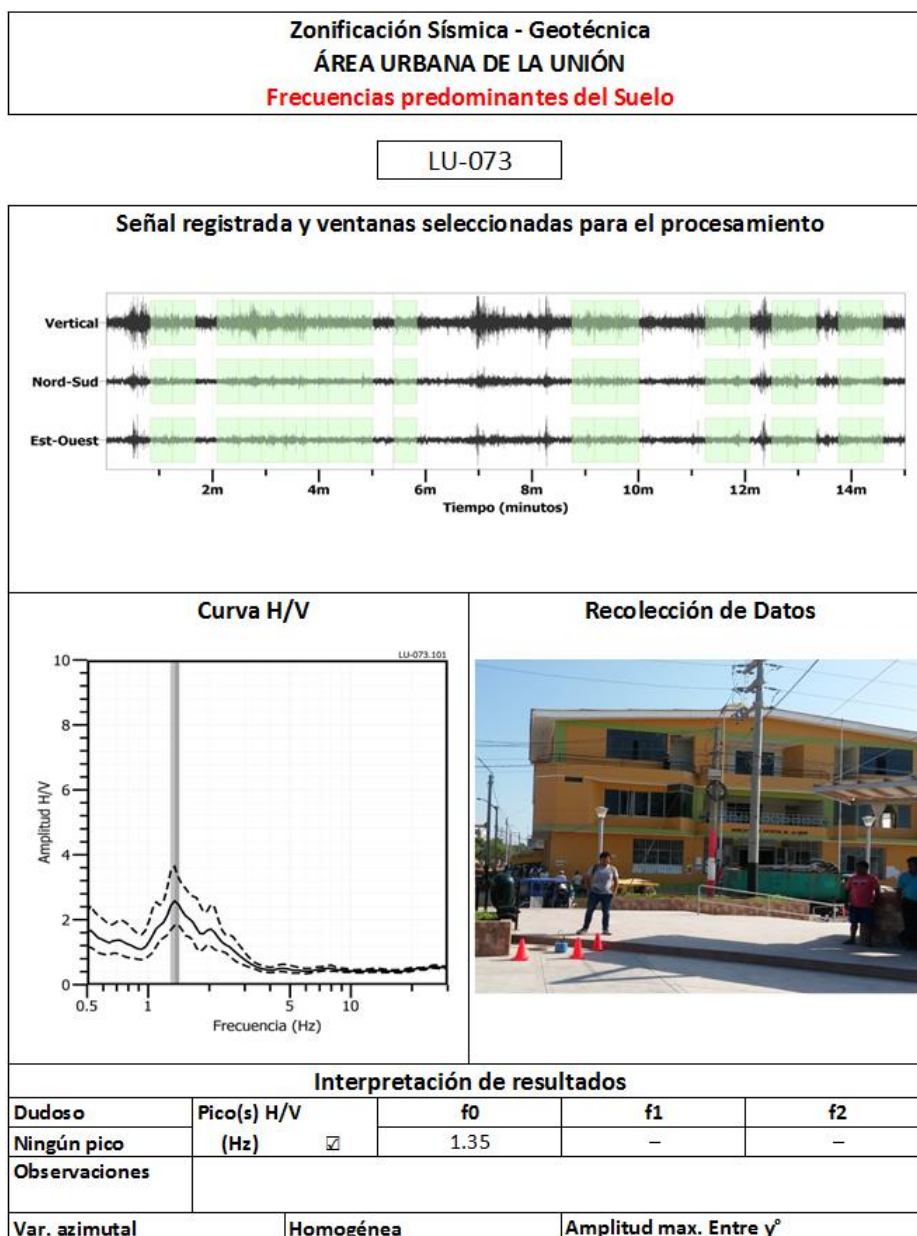


Figura 3: Ejemplo de la ficha H/V para el punto LU-073 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas y Abajo resultados.

1.2. Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)

El método de arreglo lineal MASW permite a partir del análisis de la dispersión de ondas superficiales (ondas Rayleigh), generados por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de sensores sísmicos, determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto; conocer los espesores de las capas y la velocidad de propagación de las ondas de corte Vs en el subsuelo.

1.2.1. Adquisición y Procesamiento

La recolección de los datos MASW se ha realizado utilizando 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 debido a la geomorfología de la zona de estudio y la accesibilidad a los puntos seleccionados.

En el área urbana La Unión se realizaron 10 arreglos lineales MASW codificados como: LS01-LU, ...LS10-LU y cuyas coordenadas (UTM - WGS84) se muestran en la Tabla 1, así como su distribución espacial en la Figura 4.

Tabla 1. Coordenadas y características de los arreglos lineales MASW.

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		

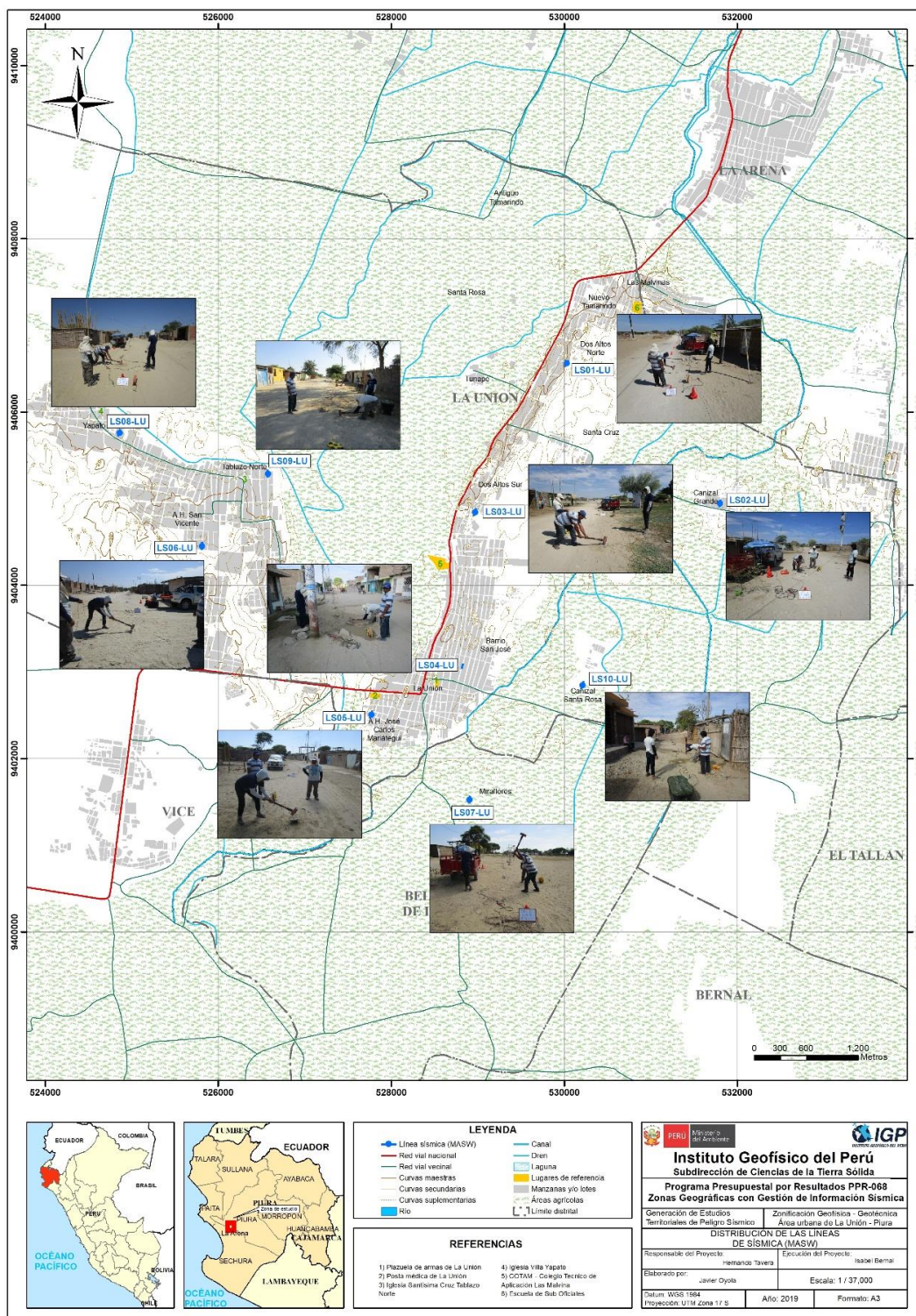


Figura 4: Distribución espacial de los ensayos MASW codificadas como LS01-LU,..., LS10-LU en el área urbana de La Unión.

Durante los trabajos de campo, los datos y/o sismogramas son visualizados, para verificar la calidad del registro y los niveles de ruido de fondo. En la Figura 5, se muestra como ejemplo el registro obtenido considerando un golpe de martillo a 3 metros al final del arreglo lineal.

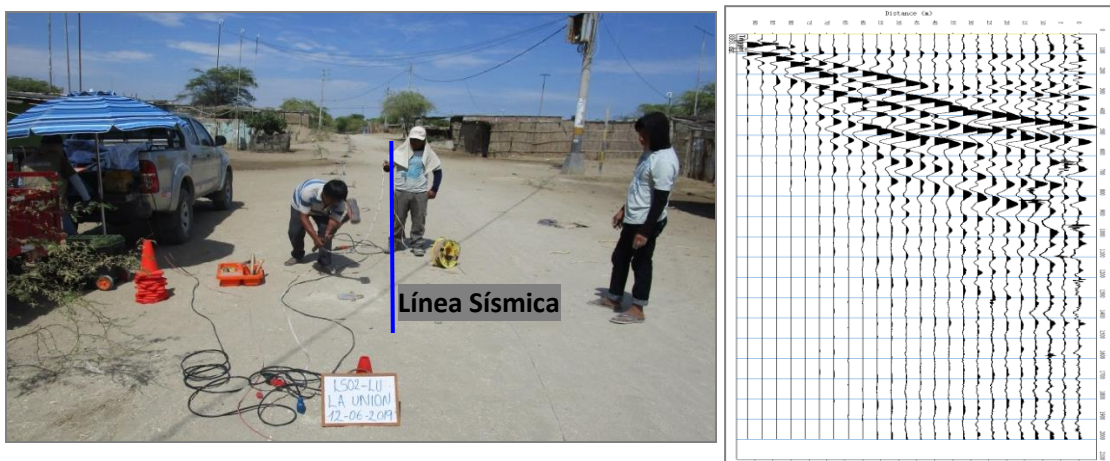


Figura 5: Disposición del equipo de adquisición de registro sísmico.

Para el procesamiento de datos MASW 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 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 V_s en una dimensión (1D), tal como se muestra en la Figura 6.

Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en este estudio se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030; es decir, la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte para los 30 metros superiores (V_{s30}). En este estudio, las velocidades de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen a fin de considerar dos clasificaciones adicionales (Tabla 2). Asimismo, los valores de perfiles de velocidad son representados en colores, para una mejor interpretación de los resultados obtenidos.

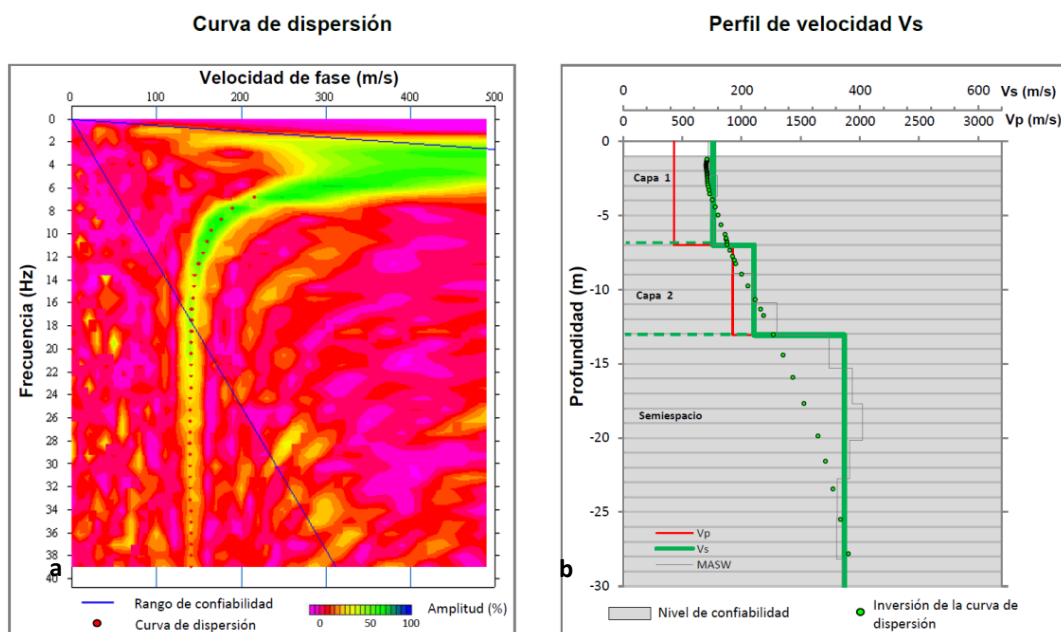


Figura 6: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir de la técnica de MASW.

Tabla 2: Clasificación de perfiles de suelo, a partir de la norma E.030.

Clasificación de los perfiles de Suelo				
Nº	Vs	Norma E.030		Descripción
1	< 180 m/s	S ₃	Suelo blando	Suelo blando
2	180 m/s a 350 m/s	S ₂	Suelo medianamente rígido	Suelo moderadamente rígido
3	350 m/s a 500 m/s			Suelo rígido
4	500 m/s a 800 m/s	S ₁	Roca o suelo muy rígido	Suelo muy rígido o roca blanda
5	800 m/s a 1500 m/s			Roca moderadamente dura
6	> 1500 m/s	S ₀	Roca dura	Roca dura

1.3. Método de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

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

1.3.1. Adquisición y Procesamiento

Los datos recolectados en campo corresponden al registro de valores de resistividad obtenidos en 7 líneas de ERT distribuidas en la zona de estudio. El instrumental utilizado en campo corresponde a un Equipo de Resistividad / IP Syscal Pro de marca Iris Instruments. En Tabla 3 se muestra las coordenadas UTM (WGS84) y en la Figura 7 su distribución espacial de los puntos de líneas eléctricas y LE01-LU..., LE07-LU

Tabla 3: Coordenadas y características del ensayo ERT realizados en el área urbana de La Unión.

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

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.

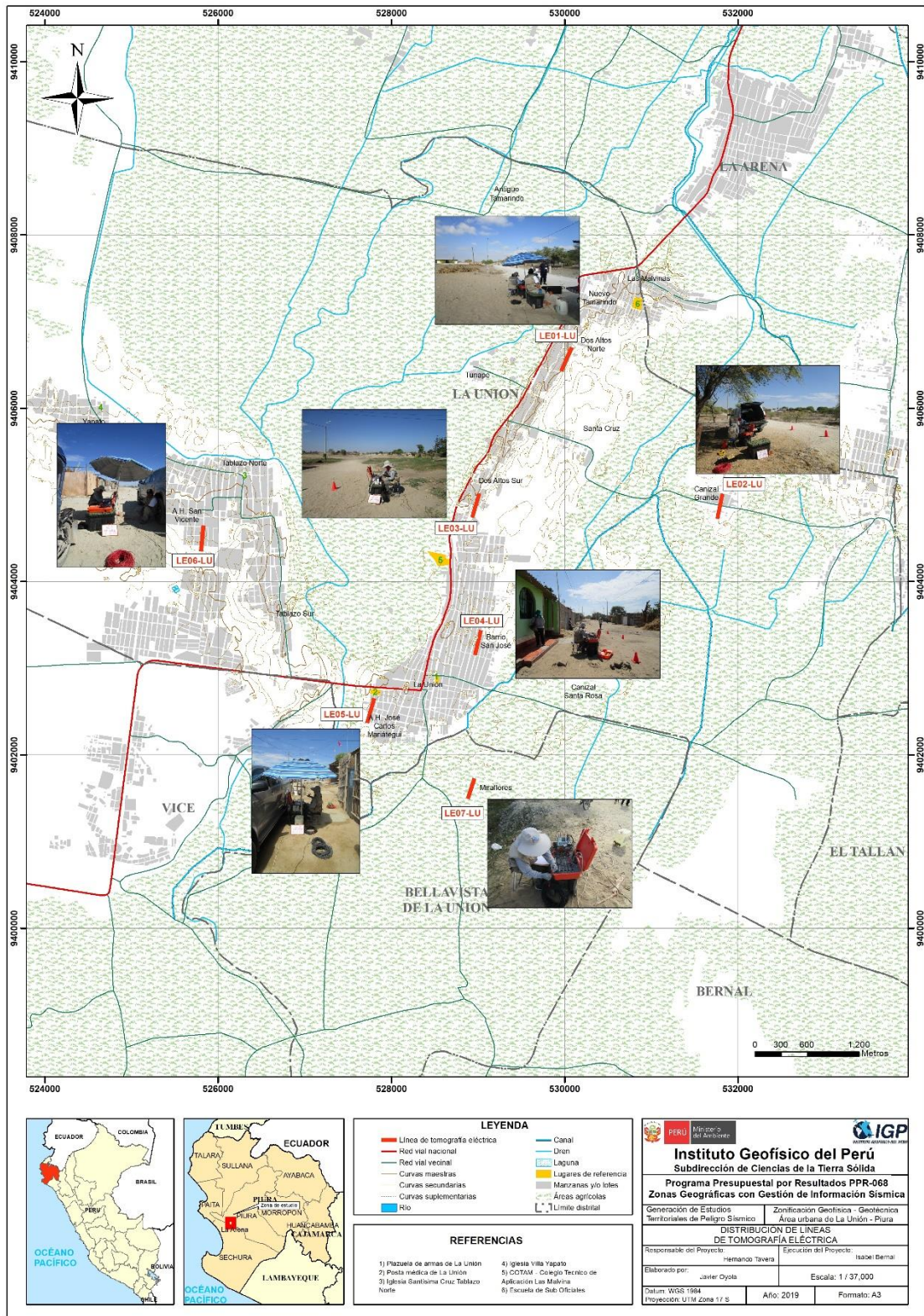


Figura 7: Distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-LU, ... LE07-LU en el área urbana La Unión.

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 4, se muestran algunos valores de Resistividad relacionados a los distintos tipos de suelos y rocas.

Tabla 4: Valores de resistividad de suelos y rocas presentes en la naturaleza (UNC, 2000).

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

2. ANALISIS E INTERPRETACIÓN

En este estudio se ha realizado la aplicación de métodos geofísicos como: razones espectrales (H/V), análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) y tomografía de resistividad eléctrica (ERT) para conocer las propiedades físicas y dinámicas del subsuelo (periodos dominantes, velocidades sísmicas, resistividades del subsuelo, etc.). A continuación, se describen los resultados obtenidos con cada método y su correlación para construir el mapa de zonificación geofísica y geotécnica de suelos para el área urbana de La Unión.

2.1. Razones espectrales H/V

En el área urbana de La Unión los suelos responden a frecuencias predominantes (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 de estudio.

2.1.1. Frecuencias predominantes

.- La frecuencia predominante F_0 : En la Figura 8, se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de F_0 , con el predominio de valores entre 1.2 a 2.8 Hz, los cuales se distribuyen de manera uniforme en toda el área de estudio.

En la Figura 9, se muestra ejemplos de razones espectrales característicos para distintas zonas del área de estudio. En la zona céntrica, próximos a Plaza de Armas, Barrio San José, A.H. Dos Altos Sur y Miraflores (puntos LU-07A, LU-49B y LU-120E) sobresalen frecuencias a 1.6, 1.7 y 1.7 Hz con amplificaciones de 2.3, 3.6 y 3.0 veces respectivamente. Hacia el extremo NE del área de estudio, las razones espectrales obtenidas para los puntos LU-71(C), LU-79(D) y LU-123(F),

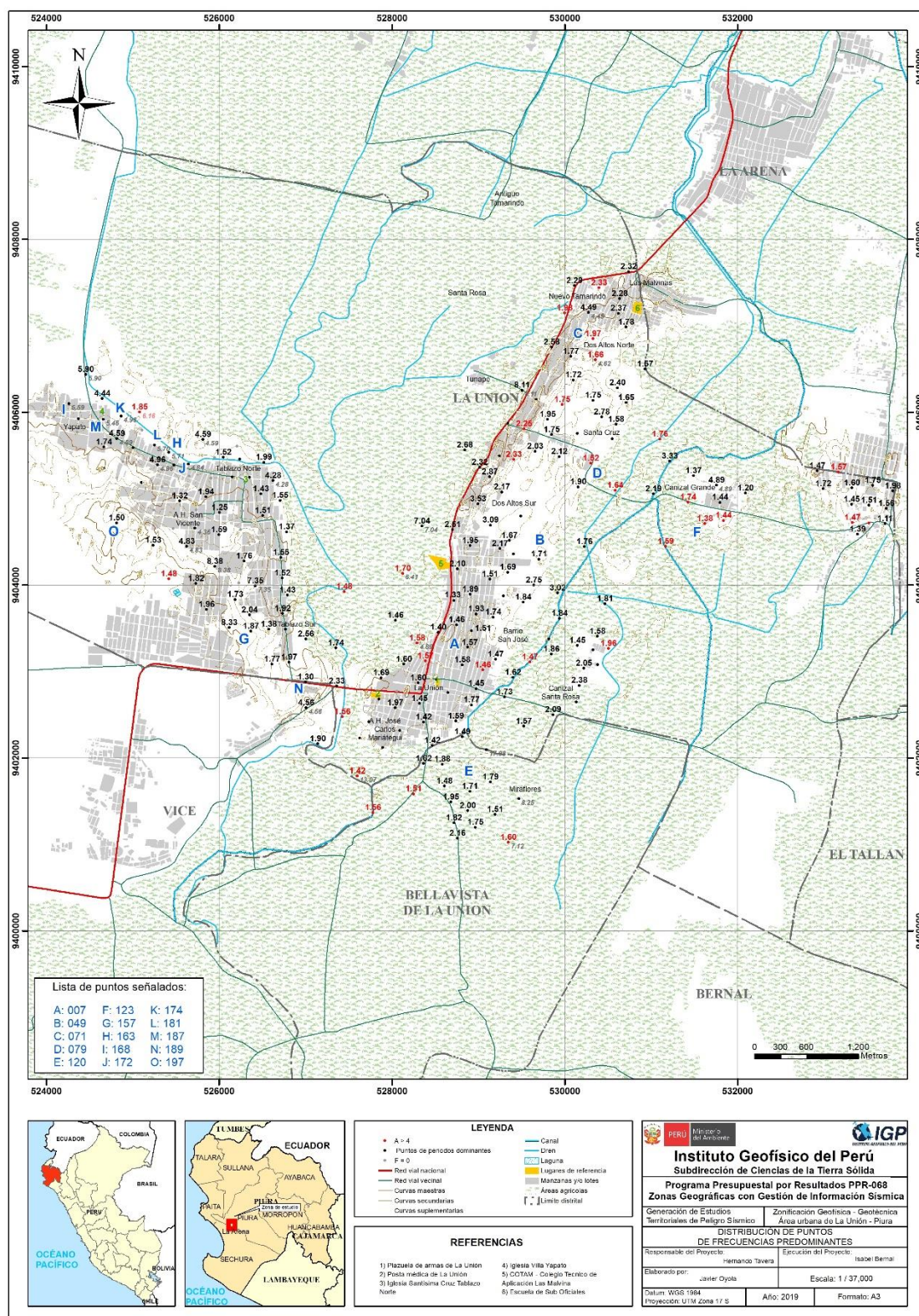
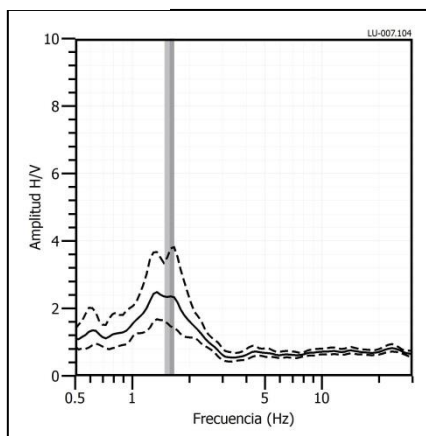
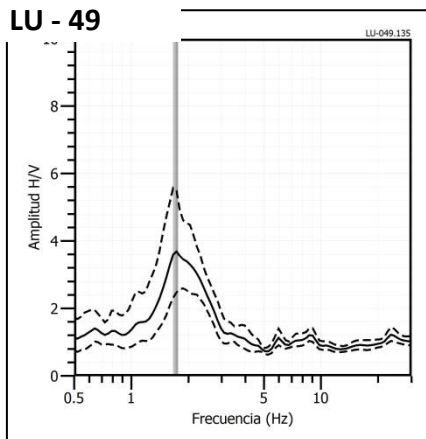


Figura 8: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_0 . Los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 3 veces.

LU - 07



LU - 49



LU - 120

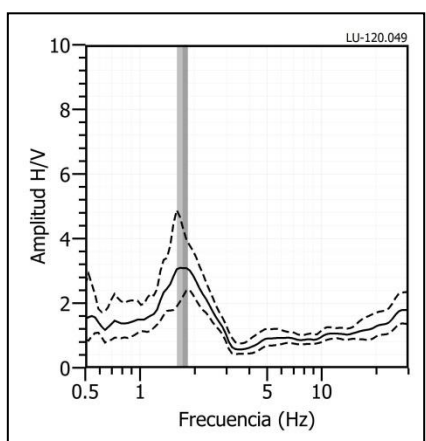


Figura 9: Ejemplos de razones espectrales (H/V): puntos LU-07(A), LU-49 (B) y LU-120(E), ubicados por el Barrio San José, al sur del A.H. Dos Altos Sur y próximo a Miraflores, respectivamente. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

próximos a los AA.HH. Dos Altos Norte, Santa Cruz y Cañizal Grande, presentan un pico bien definido con rango de frecuencias de F_0 : 1.9, 1.5 y 1.4 Hz, con la diferencia que los valores de amplificación del suelo se duplican (4.5, 4.9 y 5.5 veces). Estos resultados evidencian que los suelos ubicados hacia el extremo NE del área de estudio son más blandos que en la zona céntrica del distrito.

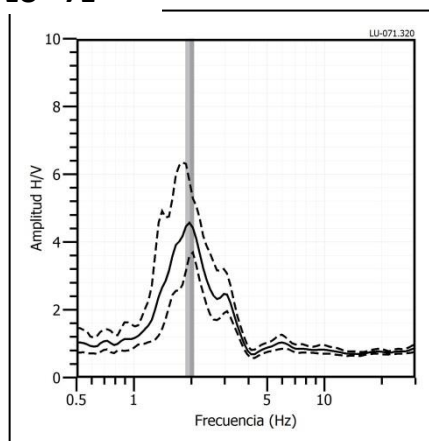
Particularmente, se observa que hacia el extremo Oeste de la zona céntrica del área de estudio, existe otra área pequeña donde se identifican tres diferentes tipos de suelo:

- .- 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).
- .- 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.
- .- 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 sobresalen dos picos de frecuencias, 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.

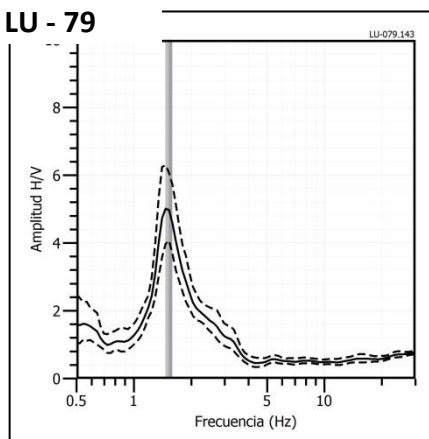
Los valores de bajas frecuencias se asocian a estratos del suelo de gran espesor y los factores de amplificación mayores a 4 veces, sugieren que estos suelos presentan baja consistencia. Los dos picos de frecuencia

evidencian la presencia de suelos heterogéneos, cuya respuesta dinámica ante la ocurrencia de un sismo es compleja.

LU - 71



LU - 79



LU - 123

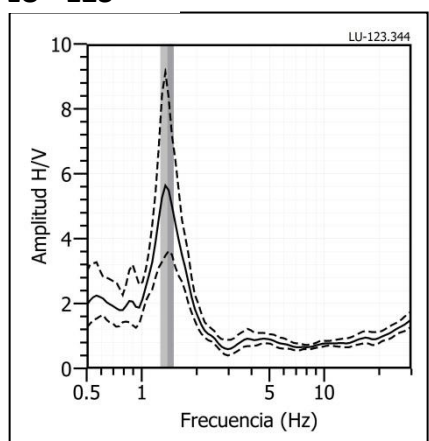
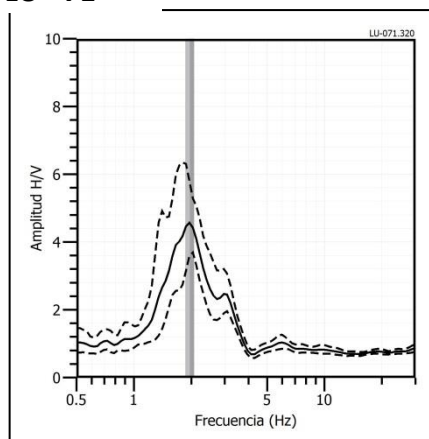
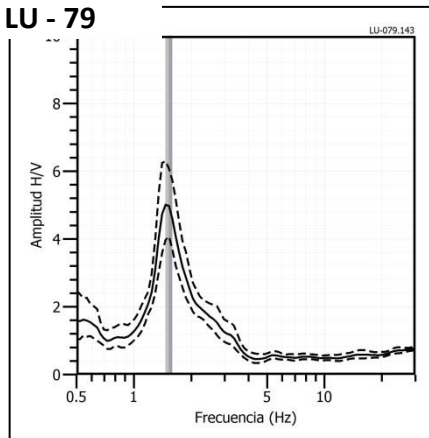


Figura 9: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos LU-71(C), LU-79(D) y LU-123(F), realizadas próximos a los AA.HH. Dos Altos Norte, Santa Cruz y Cañizal Grande, respectivamente. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

LU - 71



LU - 79



LU - 123

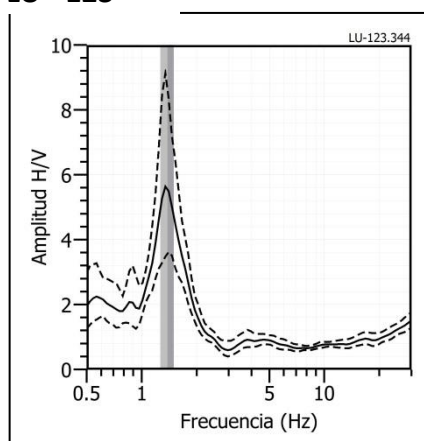
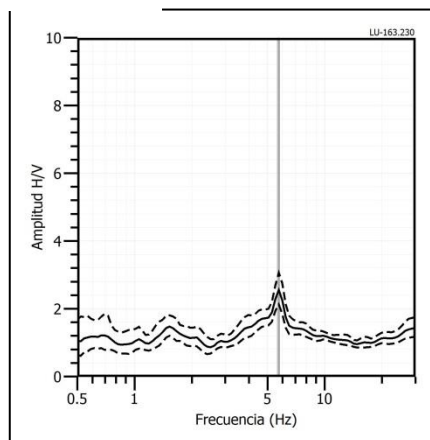
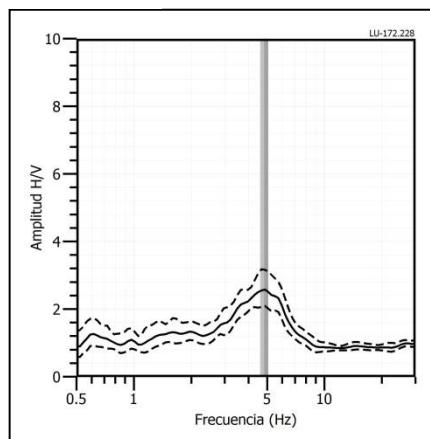


Figura 9: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos LU-71(C), LU-79(D) y LU-123(F), realizadas próximos a los AA.HH. Dos Altos Norte, Santa Cruz y Cañizal Grande, respectivamente. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

LU - 163



LU - 172



LU - 181

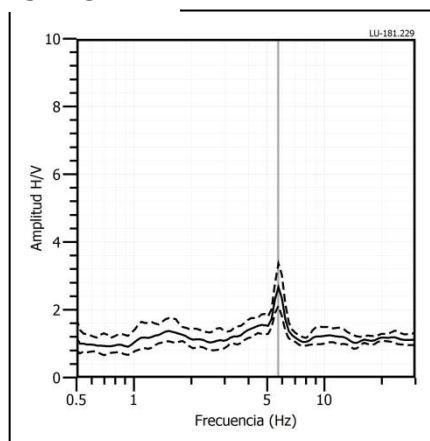
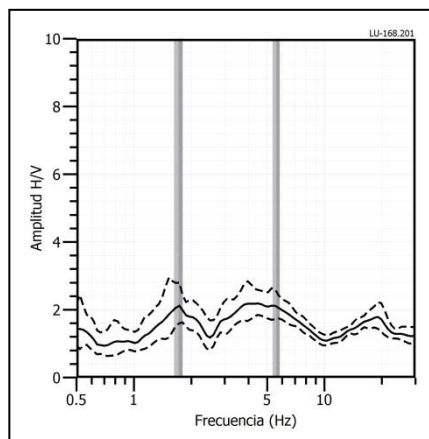
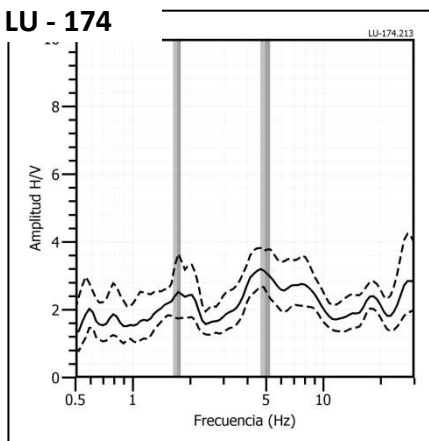


Figura 9: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos LU-163(H), LU-172(J) y LU-181(L), ubicados al oeste, entre Yapato y Tablazo norte. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

LU - 168



LU - 174



LU - 187

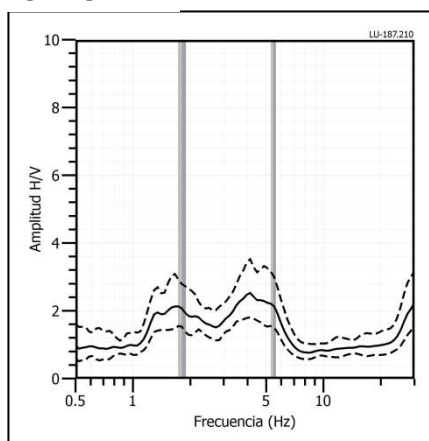


Figura 9:.. Continuación../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos LU-168(I), LU-174(K) y LU-187(M), ubicados en Yapato. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

2.1.2. Periodos dominantes

Los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes a fin de construir el mapa de isoperiodos. En la Figura 10 se muestra la distribución espacial de los periodos (T_0) de respuesta del suelo y en ella se observa que en el área de estudio, los periodos varían entre 0.2 y 0.7 segundos. En la misma figura, los valores con números en rojo representan a puntos con amplificaciones mayores a 4 veces y los puntos en gris, aquellos que no mostraron ningún periodo. Los $T_0 > 0.4$ segundos se distribuyen de manera uniforme sobre toda el área de estudio y los valores de $T_0 = 0.2$ y 0.3 segundos, de forma aleatoria hacia el extremo Oeste del área, principalmente en los sectores Yapato, Tablazo Norte y A.H. San Vicente.

En general, 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 la presencia de una capa superficial con espesores entre 30 a 40 metros; estando la capa de mayor espesor hacia el extremo Este del área urbana de La Unión.

2.2.- Perfiles de MASW

En el área de estudio se realizaron 10 líneas sísmicas aplicando la técnica MASW para identificar las velocidades de las ondas de corte (V_s) hasta los 30 metros de profundidad (ver Figura 4). El resultado obtenido para la línea LS01-LU se muestra en la Figura 11 y para los demás perfiles, ver Anexos.

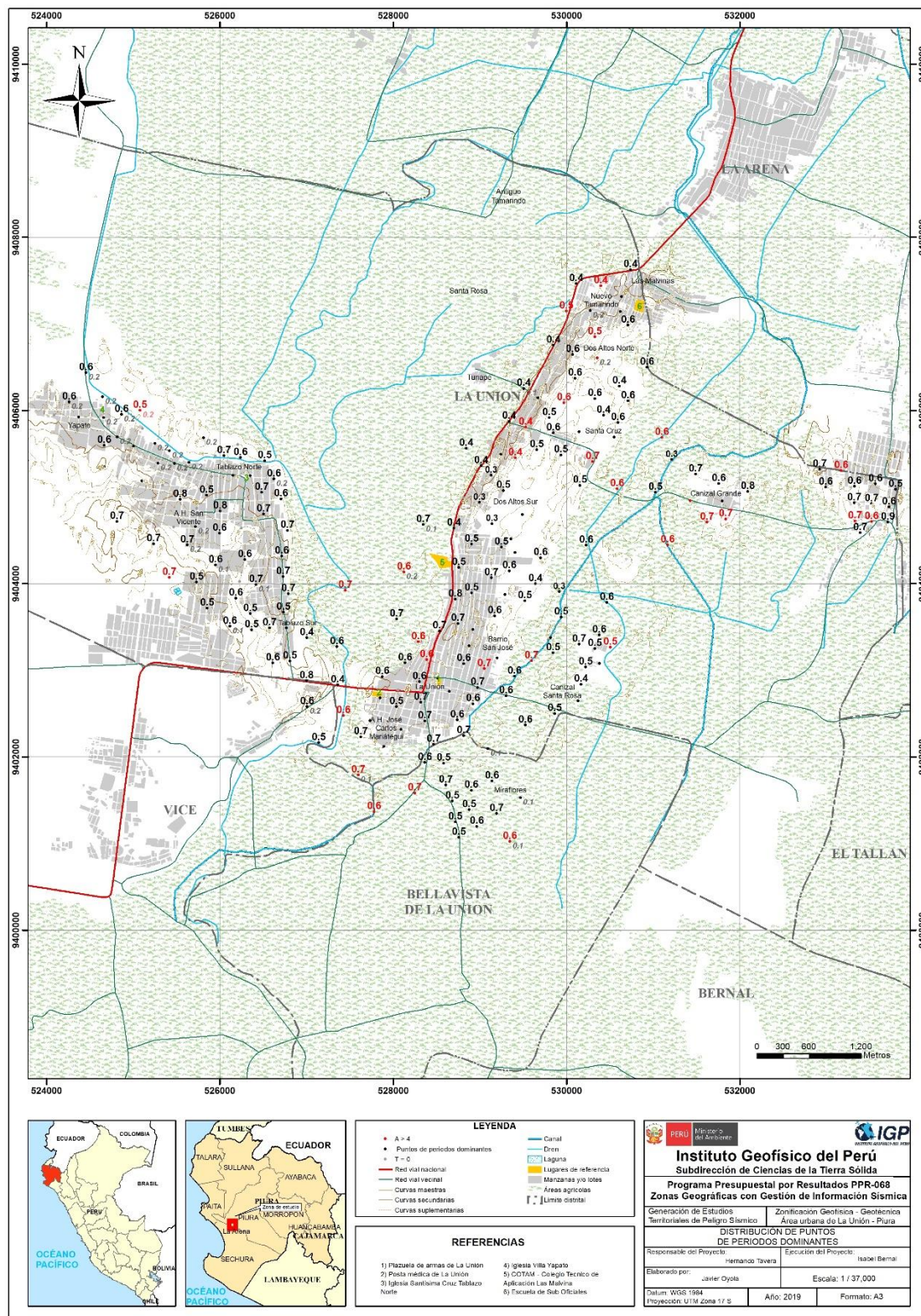


Figura 10: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

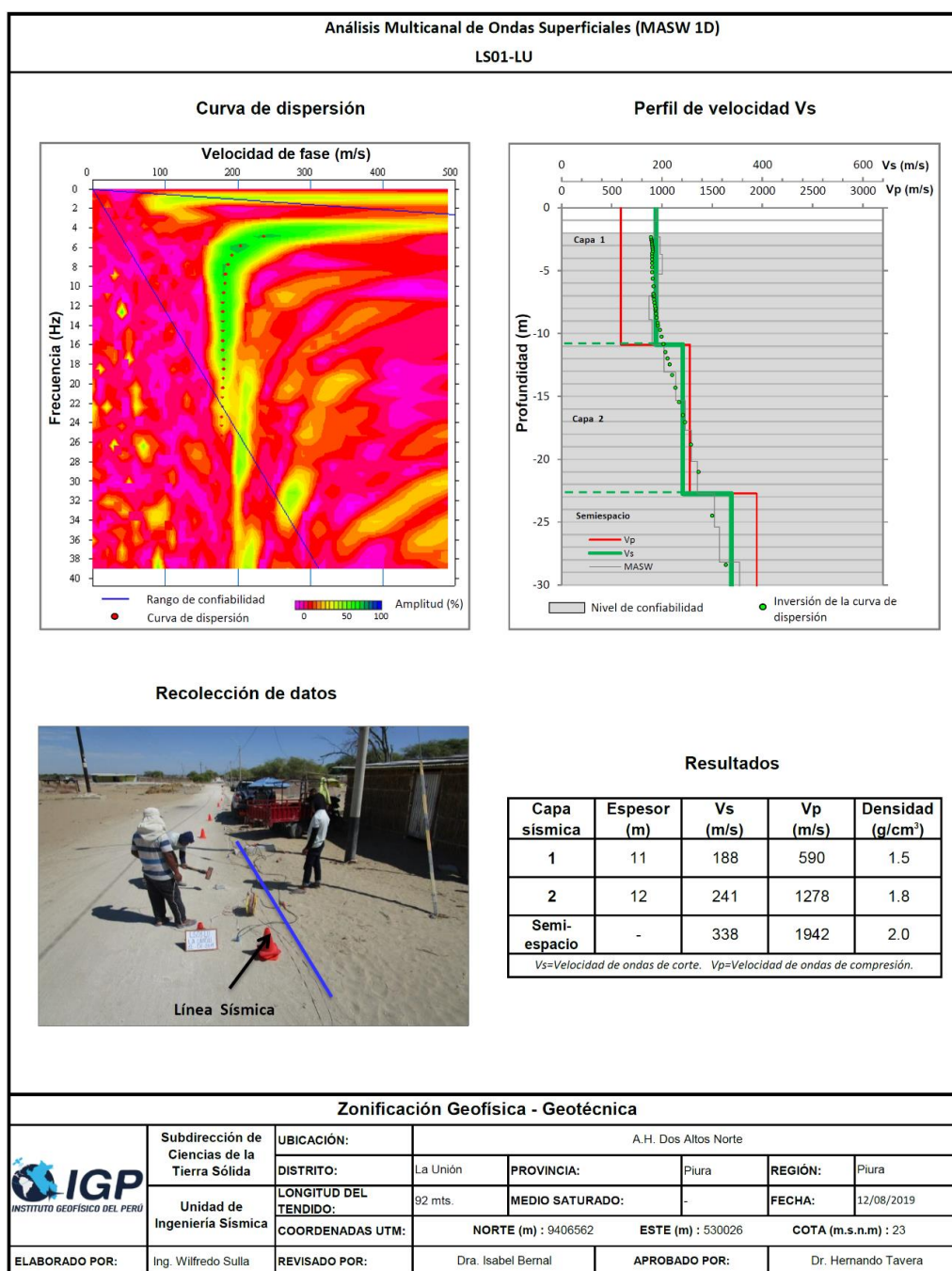


Figura 11: Resultado obtenido con el método MASW para el arreglo lineal LS01-LU.

Línea sísmica LS01-LU: Realizada al Norte del área urbana de La Unión, en el A.H. Dos Altos Norte. Aquí se identifica la presencia de dos capas sísmicas: la primera de 11 metros de espesor y velocidades Vs de 188 m/s; la segunda, con un espesor de 12 metros y velocidades Vs de 241 m/s. El semi-espacio, presenta velocidades Vs > 338 m/s. De

acuerdo con los resultados obtenidos, hay un predominio de suelos moderadamente rígidos.

Línea sísmica LS02-LU: Realizada al noreste del área de estudio en el C.P. Canizal Grande. Aquí, se identifica la presencia de dos capas sísmicas: la primera de 5 metros de espesor con velocidades V_s de 235 m/s; la segunda, con espesores de 15 metros y velocidades V_s que disminuyen hasta 189 m/s. El semi-espacio, presenta velocidades $V_s > 273$ m/s.

Línea sísmica LS03-LU: Realizada en el extremo Norte del distrito, en el A.H. Dos Altos Sur. Aquí se identifica la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 7 metros de espesor y velocidades V_s de 152 m/s correspondiendo a suelos blandos. La segunda, con espesor de 6 metros y velocidades V_s de 221 m/s. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 373$ m/s.

Línea sísmica LS04-LU: Realizada en la zona céntrica del distrito, en el barrio San José. Aquí, se identifica la presencia de una capa de 18 metros de espesor y velocidades V_s de 218 m/s. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 319$ m/s. De acuerdo con los valores de velocidad, la capa sísmica y el semi-espacio corresponden a suelo moderadamente rígidos.

Línea sísmica LS05-LU: Realizada al suroeste del área de estudio, en el A.H. José Carlos Mariátegui. Aquí se identifica la presencia de dos capas sísmicas: la primera de 11 metros de espesor con velocidades V_s de 196 m/s; la segunda con un espesor de 12 metros y V_s de 235 m/s; y el semi-espacio con velocidades $V_s > 347$ m/s.

Línea sísmica LS06-LU: Realizada al Oeste del área de estudio, en el A.H. San Vicente (sector Tablazo). Aquí se identifica la presencia de dos capas sísmicas: la primera de 4 metros de espesor y velocidades V_s de

231 m/s que corresponde a suelos moderadamente rígidos; la segunda con espesor es de 7 metros y velocidades V_s de 357 m/s; y el semi-espacio con velocidades $V_s > 456$ m/s. Estos últimos (segunda capa y semi-espacio) corresponden a suelos rígidos.

Línea sísmica LS07-LU: Realizada al Sur del área de estudio, en el Anexo Miraflores - distrito de Bellavista. Aquí se identifica la presencia de dos capas sísmicas: la primera de 5 metros de espesor con velocidades V_s de 233 m/s; la segunda, con espesor de 8 metros y velocidades V_s de 195 m/s; correspondiendo ambas capas a suelos moderadamente rígidos. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 368$ m/s equivalente a suelos rígidos.

Línea sísmica LS08-LU: Realizada al Oeste del área de estudio, en el Sector Yapato (Tablazo). Aquí se identifica la existencia de una capa de 11 metros de espesor con velocidades V_s de 232 m/s, lo cual sugiere la presencia de suelos moderadamente rígidos. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 423$ m/s, correspondiendo a suelos rígidos.







Línea sísmica LS09-LU: Realizada al oeste del área de estudio, C.P. 19 de Agosto (sector Tablazo). Aquí se identifica la existencia de dos capas: la primera de 4 metros de espesor con velocidades V_s de 292 m/s; la segunda con espesor es de 9 metros y velocidades V_s de 347 m/s, ambas corresponden a suelos moderadamente rígidos. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 417$ m/s correspondiendo a suelos rígidos.

Línea sísmica LS10-LU: Realizada al sureste del área urbana, en el Anexo Santa Rosa. Aquí se identifica la presencia de una capa de 11 metros de espesor con velocidades V_s de 156 m/s correspondiendo a la existencia de suelos blandos. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 278$ m/s equivalente a suelos moderadamente rígidos.

En la Tabla 5, se muestra el resumen de los valores de espesor de capas y velocidades de ondas de corte Vs (Vs30).

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

Línea Sísmica	Superficie → Profundidad						VS30 (m/s)
	N° DE CAPA						
	1		2		Semiespacio		
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

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

En general, los resultados obtenidos define que en el distrito La Unión, existen dos tipos de suelo; el primero caracterizado por **suelos blandos** con espesores que varían entre 7 a 11 metros y velocidades menores a 180 m/s, que se distribuyen de forma sectorizada por el A.H. Dos Altos Sur y el Anexo Santa Rosa, ambas áreas se encuentran próximos a zonas de cultivo con presencia de alta humedad (Figura 12). El segundo, **suelos moderadamente rígidos** con velocidades de 200 a 400 m/s y espesores de 4 a 30 metros; los de menor espesor ubicados en sector Yapato y el Tablazo, para luego incrementarse en dirección de El Cercado, A.H. Dos Altos, Anexo Santa Rosa y Canizal Grande.



Figura 12: Variación de espesores de los suelos moderadamente rígidos en el distrito La Unión.

2.3.- Tomografía Eléctrica

Se describe los resultados obtenidos en las 07 líneas de tomografía eléctrica realizados en el área urbana de La Unión, a fin de conocer el grado de saturación del suelo mediante los valores de resistividad (ver Figura 7). En la Figura 13, se muestra el resultado obtenido para la línea LE01-LU y para las demás líneas, ver los Anexos.

A continuación, se describen los resultados obtenidos en cada una de las líneas de tomografía eléctrica realizadas en el área urbana de La Unión.

.- Líneas **LE01-LU**, **LE02-LU**, **LE03-LU** y **LE04-LU**: Realizadas en la zona norte, noreste y centro del área de estudio, 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 observa el predominio de valores muy bajo resistivos ($<20 \Omega.m$), caracterizado por la presencia de arenas limosas; asimismo, 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 (Figura 14).

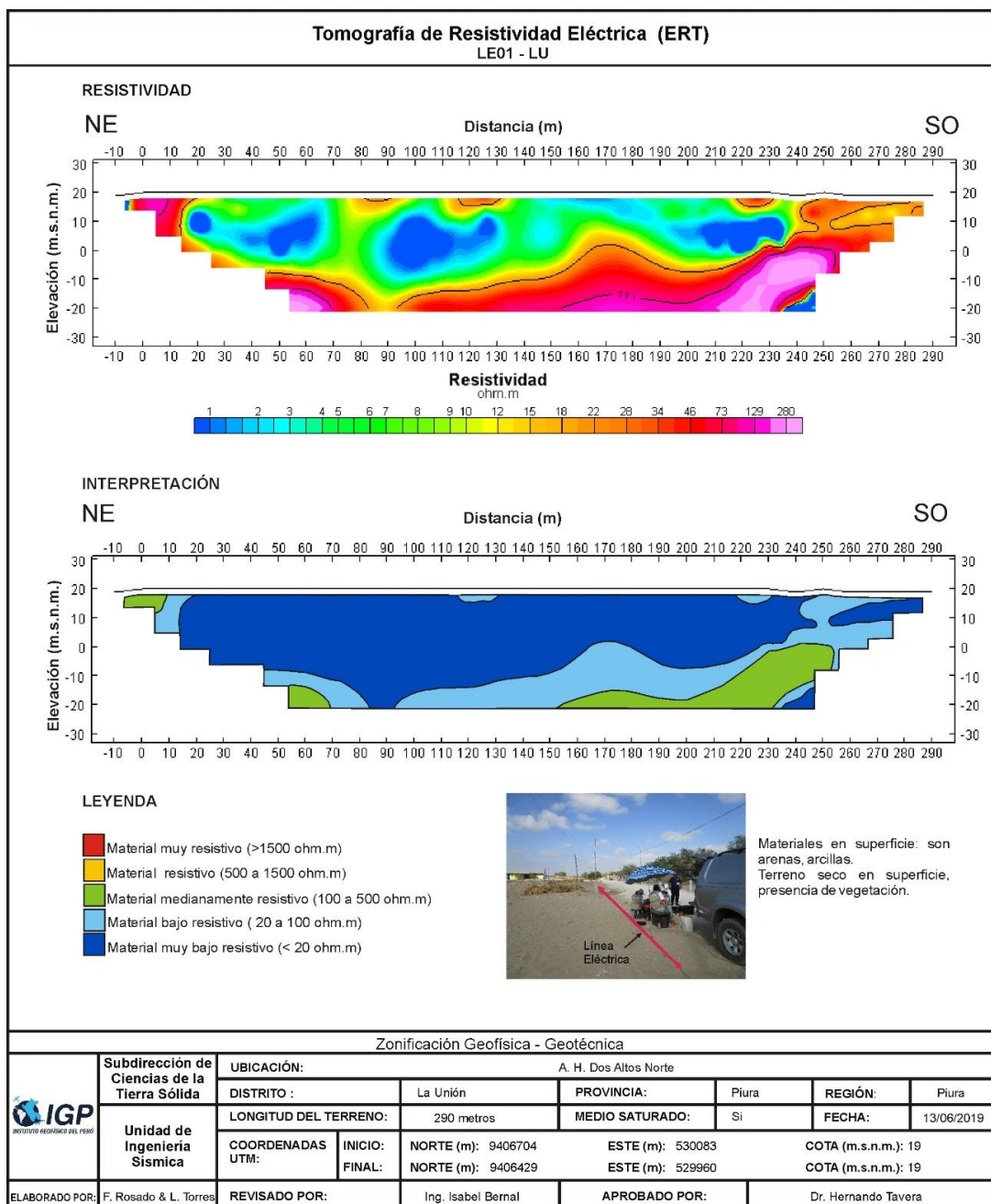


Figura 13: Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-LU.

.- Línea eléctrica **LE05-LU**: Realizada en el extremo sur del área de estudio, en el A.H. José Carlos Mariátegui. Aquí se identifica el predominio de valores bajos resistivos a muy bajos resistivos (<100 Ω.m), con humedad asociada a la presencia de depósitos de arenas de origen marino y a la presencia de terrenos de cultivo (Figura 15).

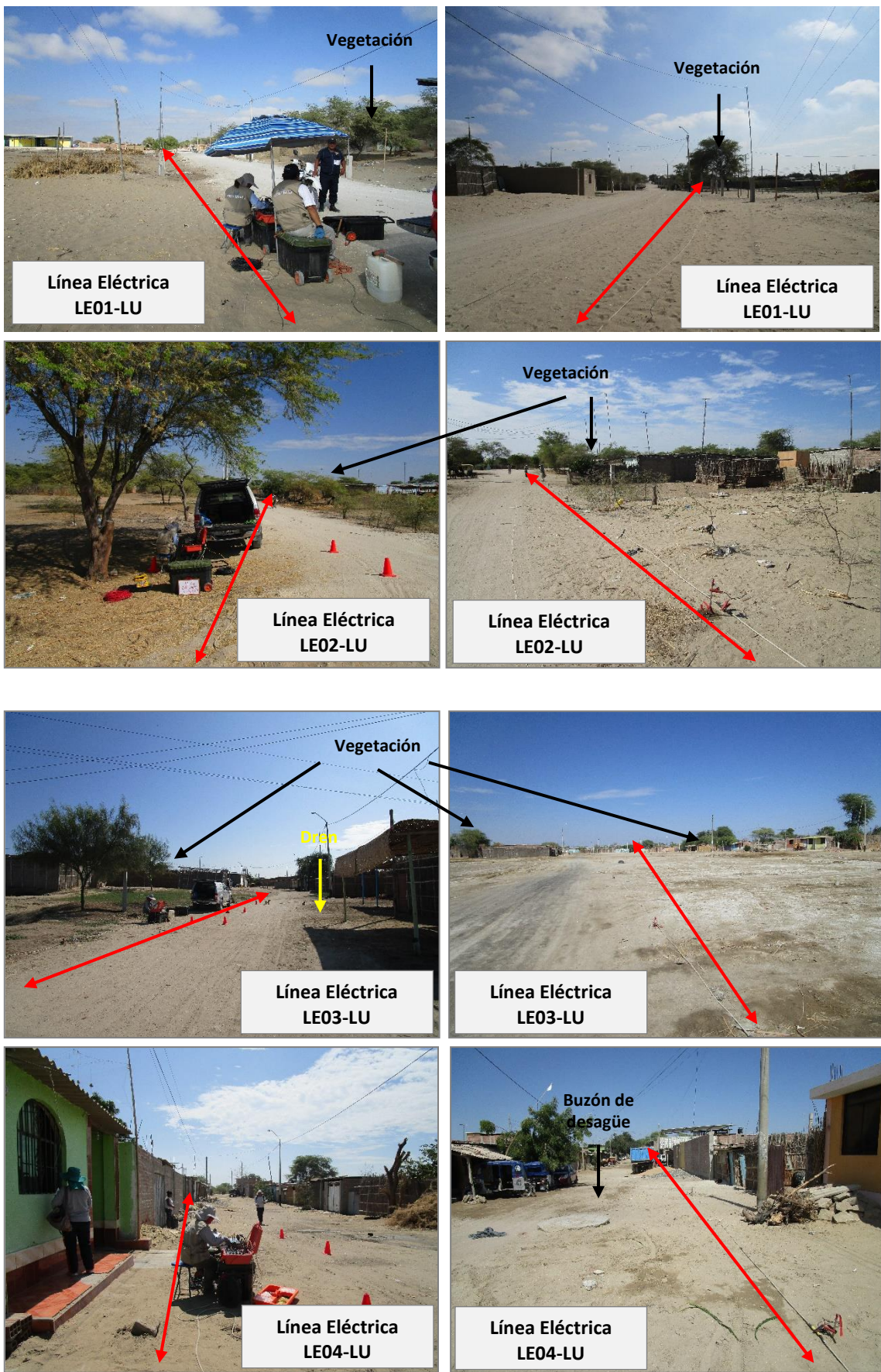


Figura 14: Vista de las líneas eléctricas LE01-LU, LE02-LU, LE03-LU y LE04-LU.



Figura 15: Vista de la línea eléctrica LE05-LU.

.- Línea **LE06-LU**: Realizada al oeste del área de estudio, próximo al A.H. San Vicente/Tablazo. En superficie se observa valores medianamente resistivos (100 a 500 Ω .m) debido a la presencia de una costra sedimentaria caracterizada por depósitos de tablazo (Figura 16). En profundidad, a partir de 15 metros, se identifica el predominio de valores bajos resistivos a muy bajos resistivos (<100 Ω .m), lo que indica que el suelo presenta humedad debido a la existencia de arenas mal gradadas e influenciadas por aguas subterráneas.



Figura 16: Vista de la línea eléctrica LE06-LU.

.- Línea **LE07-LU**: Realizada al extremo sur, en el sector de Miraflores. Aquí se identifica el predominio de valores bajos a muy bajos resistivos (<100 Ω .m), correspondiendo a medios saturados con presencia de arenas y arcillas de origen marino y fluvial (Figura 17).



Figura 17. Vista de la línea eléctrica LE07-LU.

De acuerdo a los resultados obtenidos, hacia el extremo Este del área de estudio los perfiles 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 están presentes desde la superficie hasta una profundidad de 40 metros, debido a la influencia de los canales de regadío, del sistema de dren y los terrenos de cultivo. Asimismo, hacia el extremo Oeste del distrito, se identifica la presencia de un medio parcialmente saturado a partir de los 15 metros de profundidad, principalmente en el A.H. San Vicente, esto es debido a la presencia de terrenos de cultivo, el río Piura, aguas subterráneas y de vegetación.

Finalmente, el suelo del área urbana de La Unión, está caracterizado por la presencia de arenas no consolidadas que permiten el almacenamiento de agua subterránea, lo cual incrementa la posibilidad de producirse licuación de suelo durante la ocurrencia de un evento sísmico.

3. ZONIFICACION GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA

El mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica de suelos se elabora con la integración de los resultados obtenidos de la aplicación de métodos geofísicos y geotécnicos, así como, los aspectos geológicos, geomorfológicos y geodinámicos presentes en la zona en estudio. Finalmente, con estos resultados y de acuerdo a la información contenida en la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente, se delimita las zonas cuyos suelos presentan similares características físicas y dinámicas.

3.1. Integración de resultados

El área urbana de La Unión se encuentra a una altura promedio de 25 m.s.n.m. y presenta una superficie ligeramente ondulada con pendientes suaves, condiciones geomorfológicas que influyen en los resultados obtenidos en este estudio.

Según los resultados obtenidos, el suelo responde a periodos de entre 0.4 y 0.7 segundos (Figura 18) con una distribución variada en toda el área de estudio. Aquí los periodos entre 0.4 y 0.5 segundos están presentes principalmente en los sectores Dos Altos Norte, Dos Altos Sur y Santa Rosa; mientras que, los periodos 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 a un segundo rango de periodos con valores entre 0.2 y 0.3 segundos, evidenciando su heterogeneidad que se ve reflejado en los perfiles de suelo obtenidos con el análisis sísmico. En el área de estudio, se identifica en superficie suelos moderadamente rígidos ($V_s = 188 - 347$ m/s) y 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 los 30 metros. Por debajo, se emplazan los suelos rígidos ($V_s = 357$ a 456 m/s).

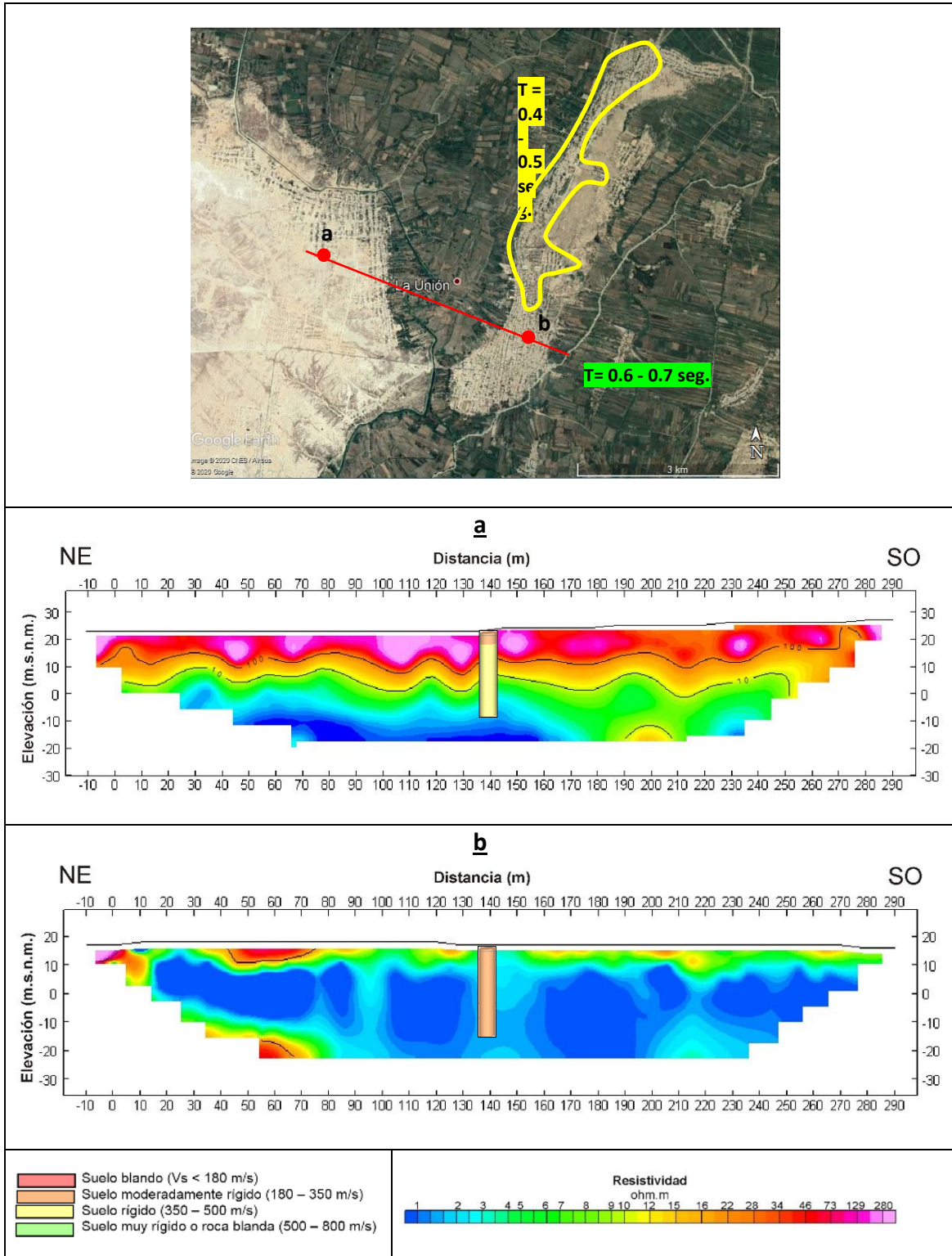


Figura 18: Correlación de los ensayos geofísicos, periodos dominantes, tipo de suelo y grado de saturación.

De manera puntual, en los sectores Dos Altos Sur y Santa Rosa, se identifica la presencia de una capa superficial con espesores entre 7 y 11 metros y velocidades del orden de $V_s = 152 - 156$ m/s, evidenciando la presencia de suelos blandos. Estos suelos corresponden a depósitos eólicos con presencia de niveles freáticos.

Asimismo, en el área de estudio hay predominio de suelos saturados hasta los 3 metros de profundidad, 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. En este último, los suelos saturados están presentes a partir de los 15 metros de profundidad 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. Estas mismas apreciaciones fueron dadas en estudios realizados por CENEPRED (2018) y INRENA (2004).

En el área de estudio, las amplificaciones máximas relativas alcanzan valores de hasta 4 veces, evidenciando la presencia de suelos menos consistentes de manera puntual en los sectores Nuevo Tamarindo, Dos Altos y Canizal Grande; todos ellos influenciados por el grado de saturación.

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

3.2. Mapa de Zonificación Geofísica

El mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica de suelos para el área urbana de La Unión, se elabora en base a la integración de los resultados obtenidos del análisis geofísico y geotécnico. De acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente E.030 y a las características dinámicas del suelo y a sus propiedades mecánicas, en el área de estudio se ha identificado la presencia de suelos Tipo S2 y S3.

Para el área urbana de La Unión, se propone la siguiente Zonificación Geofísica - Geotécnica de suelos (Figura 19):

- **ZONA I:** En el área de estudio no se identificó suelos de Tipo S1.

- **ZONA II:** Considera suelos constituido por estratos de arenas (depósito eólico y de tablazo) que presentan en promedio velocidades de ondas de corte V_s de 220 m/s para la capa superficial y de 456 m/s a la profundidad de 30 metros. Estos suelos presentan periodos de vibración entre 0.2 y 0.5 segundos correspondiente a suelos Tipo S2; es decir, suelos con comportamiento medianamente rígido (NTE.030). Los suelos presentan un moderado nivel de saturados a nivel superficial y una capacidad de carga admisible entre 1.0 y 3.0 Kg/cm² 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.

En la Figura 19, las líneas inclinadas de color verde delimitan áreas que se encuentran influenciadas por un segundo rango de periodos que varían entre 0.2 y 0.3 segundos con bajas amplificaciones. Esta área 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) que presentan en promedio velocidades de ondas de corte V_s de 200 m/s para la capa superficial y hasta 373 m/s a la profundidad de 30 metros. Estos suelos tienen el predominio de periodos de vibración que varían entre 0.6 y 0.7 segundos que evidencian la existencia de suelos Tipo S3; es decir, suelos que superficialmente presentan un comportamiento blando. Estos suelos se presentan saturados a pocos metros de la superficie (3 metros). Esta zona comprende el 65 % del área de estudio y está presente 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.

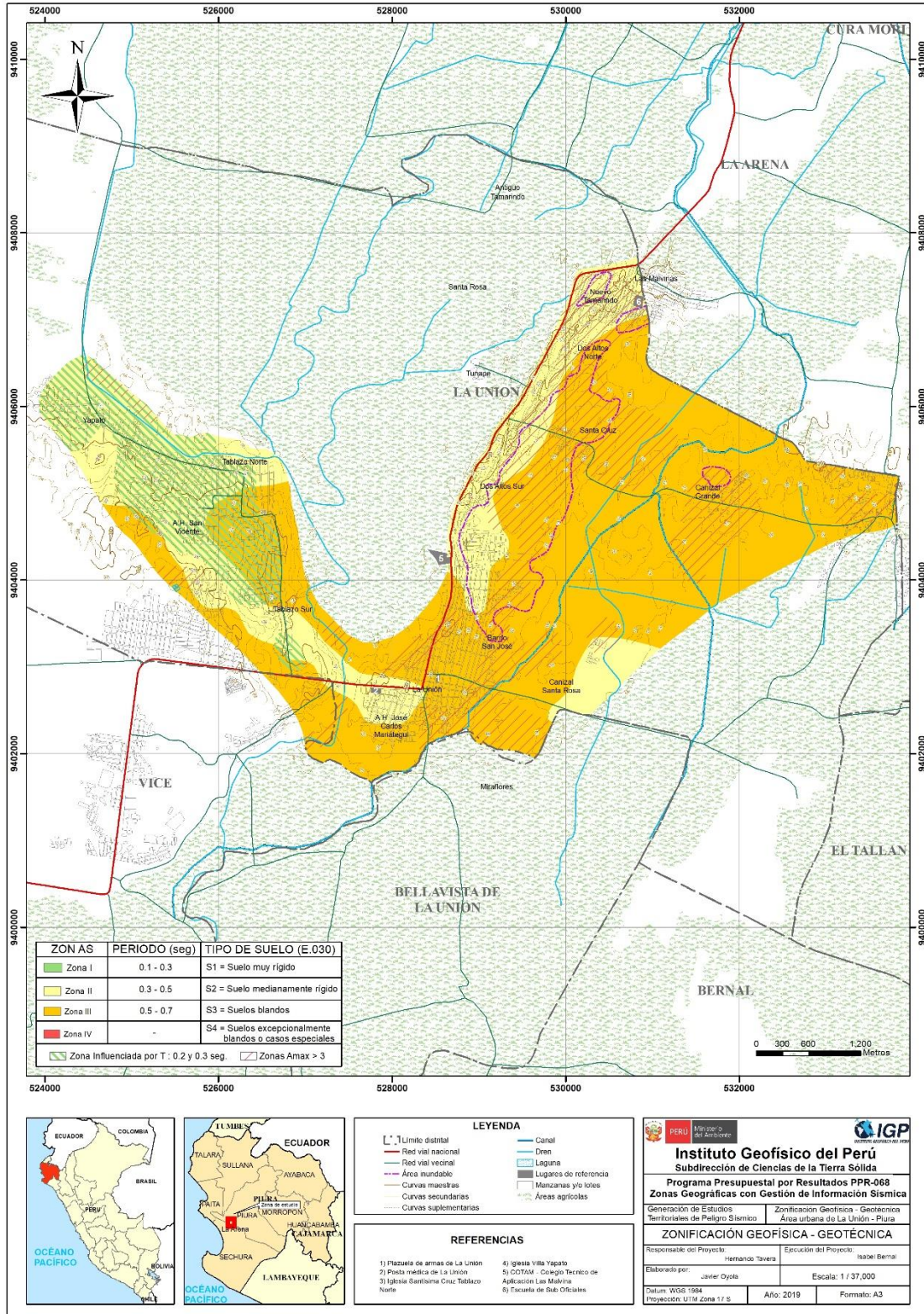


Figura 19: Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica de suelos en el área urbana de La Unión.

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 Niño en el año 2017. Estos sectores corresponden a Nuevo Tamarindo, Dos Altos Sur y Norte, Santa Cruz, Canizal Grande y Barrio San José.

CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Geofísica - Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) de suelos para el área urbana de La Unión y alrededores, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- En base a los resultados de los ensayos geotécnicos se ha identificado 6 tipos de suelos: 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 se caracterizan porque presentan seis unidades geomorfológicas: 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 son las inundaciones provocadas por el ENSO y que ocasionan los desbordes de los canales de regadío y escorrentías afectando los sectores urbanos de Arroyo Mío, 8 de Diciembre, Yapato, San Martín de Létira, Tablazo Norte y Sur. Otros eventos geodinámicos son los flujos de lodo que se originan en la quebrada Létira y desembocan en la zona de expansión urbana de San Martín de Létira.
- Los suelos del área de estudio responden principalmente a frecuencias 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 sugieren 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.

- Los periodos dominantes 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 $T_0 = 0.2$ y 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. Usando 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) con periodos de 0.5 y 0.6 segundos, se estima la presencia en el área de estudio de una capa superficial con espesores 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 de La Unión.
- En el área de estudio, los suelos presentan una capa con espesores entre 7 y 11 metros, y velocidades de ondas de corte (V_s) que varían entre 156 a 209 m/s. Esto suelos blandos se encuentran de manera sectorizada en el A.H. Dos Altos Sur y el anexo Santa Rosa. La segunda capa presenta espesores entre 12 y 22 metros con velocidades que varían entre 211 y 385 m/s. Los espesores de esta capa se incrementa hasta 30 metros hacia El Cercado, A.H. Dos Altos, anexo Santa Rosa y Canizal Grande.
- Al extremo este del área urbana, los suelos están saturados en los sectores Dos Altos Norte, Canizal Grande, Dos Altos Sur, el Barrio San José y Miraflores. Sin embargo, hacia el A.H. San Vicente (extremo oeste), los suelos están parcialmente saturado a partir de los 15 metros de profundidad debido a la influencia de los terrenos de cultivo, el río Piura, aguas subterráneas, canales de regadío y la presencia de vegetación.

- Los resultados obtenidos en este estudio para el área urbana de La Unión, 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.

BIBLIOGRAFIA

- 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 y 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 Cohesionless Soils. Journal of the Soils Mechanics and Foundations División, ASCE, Vol 82 N°SM1, Proc. Paper 886, Jan. 1956, pp-19.
- Ministerio de Economía y Finanzas, (2017) - Informe de seguimiento y Gestión a la Inversión Pública.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) - <http://renac.mtc.gob.pe/inventariovial/default2.aspx>.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30.
- Norma Técnica de edificaciones E.030. 2018. Aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada por Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA.
- Orellana, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.

- 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.

- Romani, 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

ANEXOS

ANEXOS

La documentación del presente Informe Técnico: “Zonificación Geofísica – Geotécnica de suelos en el área urbana de La Unión”, se adjunta en DVD.

1.- Información Geológica Geotécnica:

- Fichas de eventos geodinámicos
- Registros de calicatas
- Densidad de campo
- Fichas de granulometría
- Registro de posteos
- Registro de DPL
- Registro de capacidad de carga admisible
- Mapas temáticos

2.- Información Geofísica

- Perfiles Sísmicos (MASW)
- Secciones Geo eléctricas (ERT)
- Mapas temáticos