



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 DEL AREA URBANA DE LA ARENA Provincia y Región Piura

Lima - Perú

2020

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

Autores

Juan Carlos Gómez

Caracterización Geológica y Geotécnica del área urbana de La Arena

Isabel Bernal

Caracterización Sísmica y Geofísica del área urbana de La Arena, área urbana La Arena

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Segundo Ortiz / Pilar Vivanco / Víctor Alarcón/ Mariana Vivanco/ Héctor Lavado/ Giovana Gutiérrez/ Belinia Baez.

Equipo de Evaluación Sísmica y Geofísica: Kelly Pari /Liliana Torres /Fabiola Rosado/ Luz Arredondo/Wilfredo Sulla / Javier Oyola /Jorge Salas.

Personal de apoyo: Augusto Cárdenas / Roberth Yupanqui

Personal administrativo: Marisol Enríquez/ Esther Campos

Este Informe ha sido producido por:

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

**ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA
DEL AREA URBANA DE LA ARENA**

Provincia y 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 Sísmico” obteniéndose como resultado final, la Zonificación Sísmica - Geotécnica de las áreas urbanas de las ciudades/localidades de La Arena (área urbana La Arena), La Unión (área urbana de Unión), Morropón (área urbana de Morropón), Máncora (área urbana de Máncora), Talara (área urbana de Talara), Querecotillo (área urbana de Querecotillo), Las Lomas (área urbana de Las Lomas) y Tambo Grande (área urbana Tambo Grande). Estos estudios permiten conocer el Comportamiento Dinámico de los Suelos a partir de la recolección de datos de campo utilizando técnicas geofísicas, sísmicas, geológicas y geotécnicas.

El análisis e interpretación de los datos obtenidos permiten tener como resultado la “Zonificación Geofísica – Geotécnica de los suelos del área urbana de La Arena”, 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. Historia

1.3. Accesibilidad y clima

1.4. Hidrografía

1.5. Estudios previos

2. Condiciones locales de sitio

2.1. La Norma Técnica E.030

Conclusiones y Recomendaciones

PARTE 2:

Caracterización geológica y geotécnica del área urbana de La Arena

PARTE 3:

Caracterización geofísica del área urbana de La Arena

Bibliografía

ANEXOS: Documentos y Mapas se adjuntan en un CD.

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 2020 el Proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**” y como parte del mismo, la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrolló la Actividad “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para las áreas urbanas de las siguientes áreas urbanas (Figura 1):

- **La Arena**, área urbana La Arena, provincia y región Piura.
- **La Unión**, área urbana La Unión, provincia y región Piura.
- **Morropón**, capital del área urbana y provincia de Morropón, región Piura.
- **Máncora**, área urbana de Mancora, provincia de Talara, región Piura.
- **Talara**, área urbana de Pariñas, provincia de Talara, región Piura.
- **Querecotillo**, área urbana de Querecotillo, provincia de Sullana, región Piura.
- **Las Lomas**, área urbana Las Lomas, provincia y región Piura.
- **Tambo Grande**, área urbana de Tambo Grande, provincia y región Piura.

De acuerdo a la historia sísmica del Perú, la región norte ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de intensidad, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en la región de Piura

(Silgado, 1978; Tavera et al. 2016). Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que, en el futuro, las mismas ciudades y/o áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones.

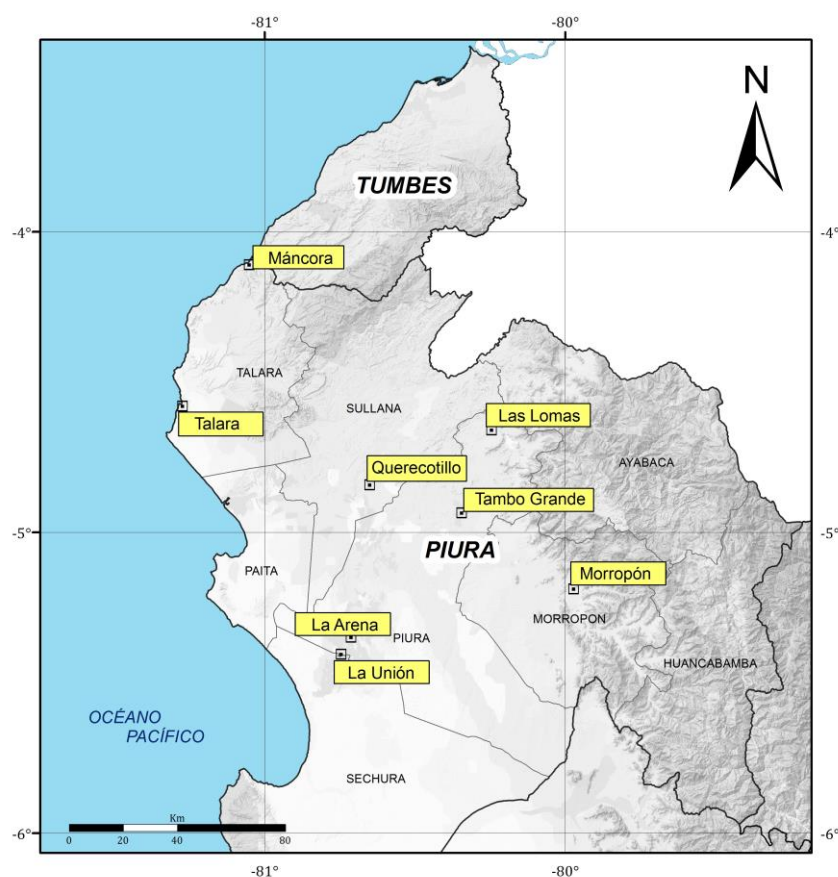


Figura 1: Distribución espacial de los área urbanas intervenidos durante el año 2020.

Los estudios de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo), permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del suelo sobre el cual se levantan las ciudades y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran datos sísmicos, geofísicos, geológicos 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 Arena 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 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 el área urbana de La Arena, área urbana La Arena, provincia y región Piura (Figura 2), a partir de la integración de los resultados obtenidos con los estudios 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.



Figura 2: Plaza principal de La Arena, área urbana La Arena.

Actualmente, La Arena es uno de los diez área urbanas que conforman la provincia de Piura y región Piura; además presenta una superficie de 160.22 km² y una densidad poblacional de 241,76 hab/km².

1.2. Historia

El origen del nombre de la Comunidad La Arena encuentra su razón de ser en la naturaleza arenosa de su suelo, característica que aún muestra en la actualidad. Durante muchos años La Arena estuvo anexada a la Comunidad de Catacaos, cuyos primeros pobladores obligados a buscar nuevas tierras de cultivo y de expansión tuvieron que enfrentarse a los inmensos arenales que hacían difícil la construcción de sus viviendas. Los primeros pobladores decidieron establecerse definitivamente en ese desierto de arena, conocido en la actualidad como Área urbana de La Arena.

De acuerdo a la ley que reconoce políticamente al Área urbana de La Arena se aprobó como capital del área urbana a la Villa del mismo nombre.

Además, La Arena comprendería los caseríos de Nuevo Montegrande, Vichayal, Pampa de los Silvas, Casaraná, Alto de los Castillos, Penal, Chato Chico, Chato Grande, Río Viejo, Casa Grande, Loma Negra, Alto de la Cruz, Alto de los Mores y las haciendas y demás predios que les corresponda.

El mismo año que se reconoció La Arena como área urbana y se instaló el primer Concejo Distrital, siendo su primer alcalde Don Sixto Zapata Meléndez quien estuvo a cargo de la comuna durante un periodo de tres años (1920 - 1923). Como muchos lugares, La Arena tiene destacados personajes, unos nacidos en estas tierras y otros foráneos, siendo llamados sus hijos por haber sido sus benefactores. Estas personas son Sixto Zapata Meléndez, Celina Vallejos, Josefa Silva de Vega y Eduardo Riofrio.

El primer alcalde, Sixto Zapata, obsequió el terreno del actual mercado municipal (el mismo que lleva su nombre), apertura de la calle Trujillo y el terreno para la construcción de la capilla Cruz del Centro. Celina Vallejos fue la primera educadora de nuestro área urbana y forjadora de varias generaciones de areneños. Josefa Silva de Vega donó 5000 m² de terreno para la construcción del actual local escolar N°14121 (Ex C.E. 36). Eduardo Riofrio donó el terreno para la construcción del local escolar N°14123.

El área urbana fue creado mediante Ley N° 4134 del 15 de junio de 1920, en el gobierno de Augusto Leguía. Ley N° 4134: Dividendo los Área urbanas de Catacaos y Sechura, de la Provincia de Piura. El área urbana de La Arena está ubicada en la Costa norte del Perú, a una altitud promedio de 29 m.s.n.m. Limita por el norte con el área urbana de Catacaos, por el este con el área urbana de Cura Mori, por el sur con el área urbana de la Unión y al oeste con el área urbana de la Huaca (Figura 3).

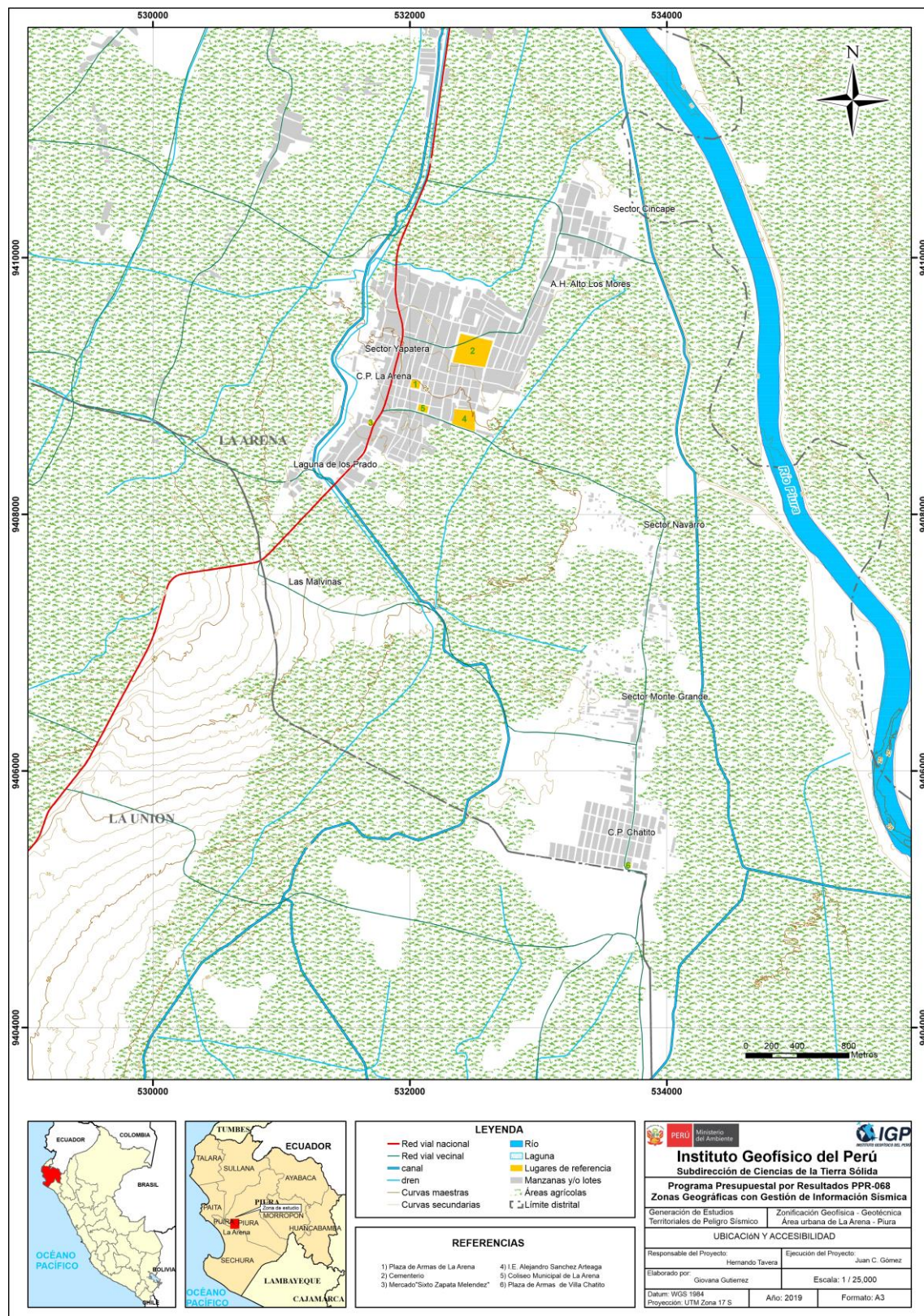


Figura 3: Mapa de ubicación geográfica del área urbana de La Arena.

1.3. Accesibilidad y Clima

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

Por otro lado, la estación meteorológica Montegrande se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas 5° 21' 1" S y 80° 42' 1" O a una altura de 13 m.s.n.m. en el área urbana de La Arena (Figura 4). Esta estación no cuenta con datos disponibles actuales en la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), por lo que se recurrió a otras fuentes como el Climate.data. En la ciudad de La Arena las temperaturas máximas registradas es de 27.2 °C en el mes de febrero y las mínimas de 15.2 °C en el mes de julio (Tabla1).

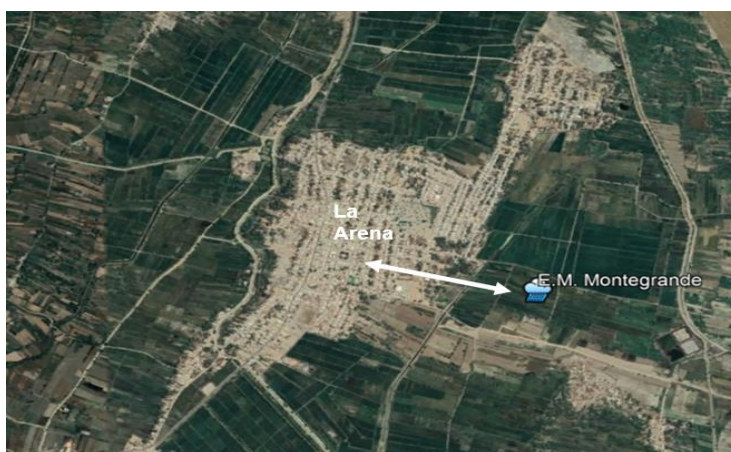


Figura 4: Ubicación de estación meteorológica Montegrande.

Tabla 1: Registro de temperaturas en la ciudad de La Arena

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	26.1	27.2	27.2	26	24.1	22.4	21.1	21.1	21.3	21.9	22.7	24.4
Temperatura mín. (°C)	19.9	21.1	21	19.7	18.2	16.6	15.4	15.2	15.2	15.7	16.4	18
Temperatura máx. (°C)	32.4	33.4	33.5	32.3	30.1	28.2	26.9	27	27.5	28.2	29.1	30.9
Temperatura media (°F)	79.0	81.0	81.0	78.8	75.4	72.3	70.0	70.0	70.3	71.4	72.9	75.9
Temperatura mín. (°F)	67.8	70.0	69.8	67.5	64.8	61.9	59.7	59.4	59.4	60.3	61.5	64.4
Temperatura máx. (°F)	90.3	92.1	92.3	90.1	86.2	82.8	80.4	80.6	81.5	82.8	84.4	87.6
Precipitación (mm)	4	8	17	3	0	0	0	0	0	1	0	1

1.4. Hidrografía

La cuenca más próxima a La Arena es la del río Piura, que según datos del Ministerio de Agricultura, presenta una longitud de cauce de 280 km que se inicia a los 3600 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 recorre en dirección sureste a noreste hasta la localidad de Ocoto donde cambia su dirección final de noreste a suroeste hasta su desembocadura.

1.5. Estudios previos

Para el área urbana de La Arena, se ha recopilado la información sobre estudios previos de geología, geotécnica, sísmica y geofísica realizados por diversos investigadores e instituciones a fin de ser consideradas para los objetivos del presente estudio. Entre los principales documentos técnicos consultados, se tiene:

- Guzmán (1994) – “Estudio geodinámico de la cuenca del río Piura”. La ciudad de La Arena se asienta sobre gruesos mantos de arena eólica pobremente diagenizada y estabilizados por la vegetación. Morfológicamente se constituye por colinas disectadas por una red fluvial dendrítica. Las arenas son de grano fino anguloso, cuarzoso con alto contenido de ferromagnesianos y calcitas. Los principales problemas que afectan a La Arena están relacionados con las fuertes precipitaciones, donde las áreas depresionadas se colman formando grandes aguajales que afectan a las casas y campos de cultivos emplazados en su lecho.
- Cenepred (2018) – “Informe de evaluación de riesgo por inundación pluvial en los centros poblados Chatito-Canizal chico, área urbana de La Arena, provincia de Piura, departamento de Piura”. Se evalúa el

riesgo en base a las unidades geomorfológicas reconocidas en el centro poblado de Chatito – La Arena, asentado sobre un manto de arena que se ha formado por la acumulación de arenas eólicas. La temperatura máxima presenta ligeras fluctuaciones a lo largo del año, con valores oscilantes entre valores de 27,2 °C a 33,9 °C, con mayores valores en los meses de verano y la precipitación diaria máxima durante El Niño Costero 2017 fue de 126,1 mm el 21 de marzo.

- Palacios (1994) –“Geología de los Cuadrángulos Paita 11-A, Piura 11-B, Talara 10-A, Sullana 10-B, Lobitos 9-A, Quebrada Seca 9-B, Zorritos 8-B, Tumbes 8-C y Zarumilla 7-C. Serie A: Carta Geológica Nacional. Boletín N° 54. Geología – Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico-INGEMMET”. En el boletín se describen las unidades litológicas aflorantes a escala 100,000 en el área de estudio, cuyas edades son Cuaternario Reciente, donde se describe que están conformados por rocas arenas eólicas (acarreadas por el viento) que formaron dunas y depósitos aluviales conformados por conglomerados, arenas y arcillas, que dan lugar a terrazas que se ubican alejadas del curso actual de un régimen fluvial (río Piura). Ver Figura 5.
- CENERPRED, (2017). “Informe de evaluación del riesgo por inundación pluvial en el centro poblado La Arena, área urbana La Arena, provincia de Piura, departamento de Piura”. Se generaron mapas de peligro medio a muy alto y del área de impacto por el Fenómeno de El Niño (FEN-2017), determinando que el centro poblado La Arena, se encuentra en una zona de medio a alto riesgo ante inundación pluvial, identificando un nivel de peligro de Muy Alto a Alto ante la inundación pluvial. De acuerdo con la geomorfología se presentan planicies inundables, terrazas aluviales y mantos de arena. Respecto a la hidrología, el área urbana La Arena constituye parte de la cuenca del río Piura, corresponde al sistema hidrográfico de los valles medio y

- Instituto Nacional de Recursos Naturales, (2004). “Inventario de fuentes de agua subterránea en el valle medio y bajo Piura”. En este estudio se identifican 19 pozos tubulares y 08 pozos a tajo abierto en las áreas urbanas La Unión y La Arena, son los más explotados y la cota fluctúa de 13 a 6 m.s.n.m.

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, sísmicas 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 Sísmica - 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 de las sacudidas sísmicas 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, 2002), ver Figura 6.

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.

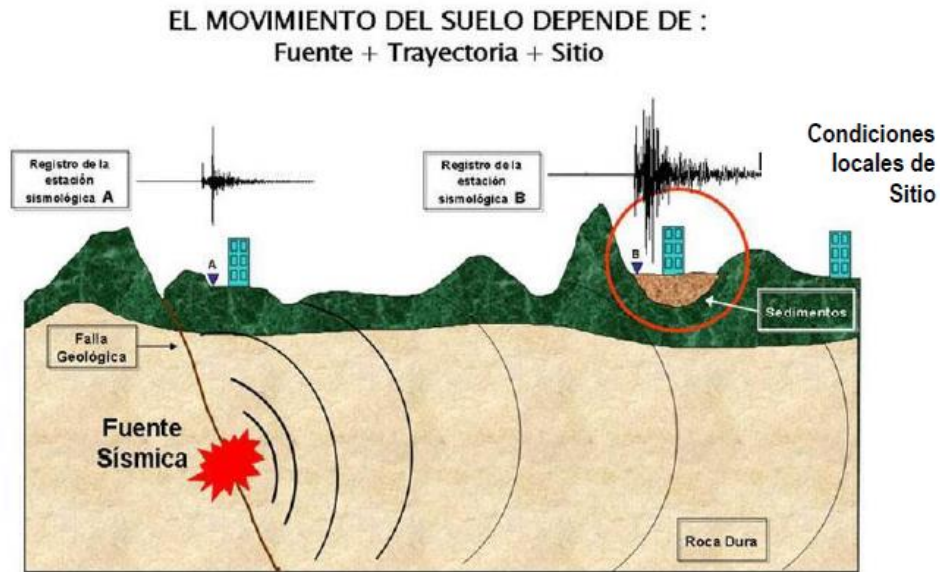


Figura 6: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

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

- **Perfil Tipo S_0 : Roca Dura**, corresponde a las rocas sanas con velocidades de propagación de ondas de corte (V_s) mayor a 1500 m/s.
- **Perfil Tipo S_1 : Roca o Suelos Muy Rígidos**, a este tipo corresponden rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte V_s entre 500 y 1500 m/s.
- **Perfil Tipo S_2 : Suelos Intermedios**, son suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte V_s entre 180 y 500 m/s (Tabla 2).

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

- **Perfil Tipo S_3 : Suelos Blandos**, corresponden suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte V_s menor o igual a 180 m/s.
- **Perfil Tipo S_4 : Condiciones Excepcionales**, corresponde a suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Será determinado con un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).

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

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

Dónde:

d_i = espesor de cada uno de los estratos n .

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

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 Sísmica – 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, cuyo periodo predominante varía entre 0.1 y 0.3 segundos.

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

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

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

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

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

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

Esta zonificación condiciona el tipo de estructura que se debe construir; es decir, 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 Sísmica - Geotécnica para el área urbana de la ciudad La Arena, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- La Arena se caracteriza por presentar tres unidades geomorfológicas: llanuras, depresiones y dunas, las dos primeras conformadas por materiales aluviales (arenas, limos, arcillas) y la restante constituida por arenas eólicas sobre el cual se asienta el área urbana de La Arena.
- En base a los resultados de los ensayos geotécnicos y del laboratorio de suelos se ha determinado que los tipos de suelos presenten en la ciudad de La Arena son cuatro (4): arenas mal graduadas (SP), arenas limosas (SM), arena mal graduada con arena limosa (SP-SM) y limo inorgánico (ML), los cuales presentan compacidad baja (muy sueltas a sueltas) y capacidad de carga portante muy baja ($<1.00 \text{ kg/cm}^2$) a baja ($1.00 - 2.00 \text{ kg/cm}^2$).
- De los resultados obtenidos con el método sísmico, se identificó dos tipos de suelo; el primero caracterizado por: suelos blandos con velocidades de corte (V_s) que varían entre 163 a 169 m/s y espesores entre 11 a 15 metros que se distribuyen en el sector Yapatera y por el I.E. Alejandro Sánchez Arteaga. Asimismo, suelos moderadamente rígidos con velocidades que varían entre 189 y 244 m/s con espesores entre 13 y 25 metros. En profundidad se incrementa el grado de rigidez.
- Los resultados obtenidos para el área urbana La Arena a partir de sus características físicas y dinámicas del suelo, han permitido identificar, de acuerdo con las consideraciones indicadas en la Norma de

Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S2 y S3(Figura 7).

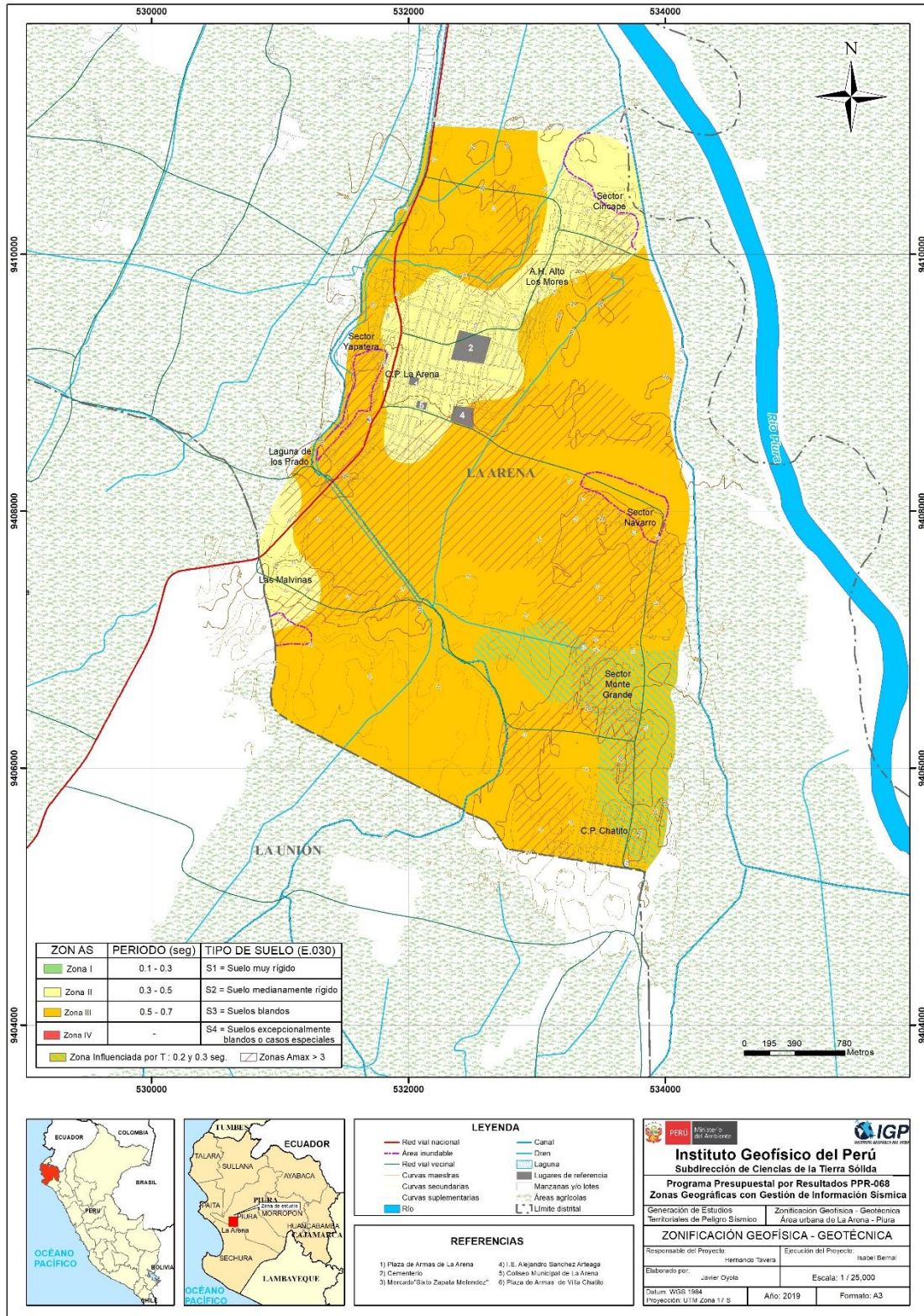


Figura 7: Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica para el área urbana de La Arena.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA
DEL AREA URBANA DE LA ARENA**

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

2. GEOMORFOLOGÍA

2.1. Modelo digital de elevación (MDE)

2.2. Pendientes

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:

3. GEOLOGÍA

3.1. Geología local

3.1.1. Depósitos Cuaternarios

4. GEODINÁMICA

4.1. Geodinámica Superficial

4.1.1. Inundación

4.1.2. Elementos expuestos

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

5.1. Exploraciones a cielo abierto

5.1.1. Densidad del suelo in-situ

5.2. Exploraciones con posteadora

5.3. Ensayo de penetración dinámica ligera - DPL

5.4. Clasificación de suelos SUCS

5.5. Ensayos de corte directo

5.5.1. Capacidad de carga portante

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

Para realizar la caracterización geológica y geotécnica de los suelos en el área urbana de La Arena se ha seguido la siguiente metodología:

- **Gabinete:** Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales WorlView-2 con resolución 0.5 m del servidor Digital Globe (año 2010), con la finalidad de delimitar la zona de estudio. Asimismo, se procedió con la recopilación de información geológica-geotécnica regional y local existente (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).
- **Campo:** Se realizó el cartografiado de las unidades geomorfológicas y litológicas aflorantes a escala 1:25,000, utilizando la ortofoto del área de estudio obtenida, a través del RPAS. Asimismo, se realizaron exploraciones geotécnicas que incluye la ejecución de 7 calicatas, 7 densidades de campo, 12 DPL y 10 auscultaciones manuales (posteos). Las muestras extraídas fueron analizadas en el laboratorio de mecánica de suelos para determinar humedad natural, límites de Atterberg, granulometría y corte directo para obtener parámetros de cohesión y ángulo de fricción de los suelos que sirven para el cálculo de la capacidad portante.
- Finalmente, con la información recopilada en gabinete, campo y resultados de laboratorio, se procesó y analizó para la elaboración del presente informe.

2. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología estudia las diferentes formas de relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan, este relieve es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como creadoras de grandes elevaciones y depresiones producidas fundamentalmente por movimientos en masa de componente vertical, mientras que, las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado, estos últimos llamados procesos de geodinámica externa se agrupan en la cadena meteorización-erosión, transporte y sedimentación (Gutierrez, 2008). El estudio de la geodinámica externa se efectúa en un sistema proceso-respuesta, siendo el primero el agente creador (origen) y el segundo la geoforma resultante. El término geoforma es un concepto genérico que designa todos los tipos de formas de relieve independientemente de su origen y dimensión (Zinck, 1988; Zinck & Valenzuela, 1990). En este capítulo se describen las características físicas de las geoformas existentes en el área urbana de La Arena, en relación a su origen.

Previamente, en base al levantamiento fotogramétrico realizado y mediante herramientas computacionales SIG, se han elaborado los planos: Modelo Digital de Elevación (MDE) y Pendientes con el fin de delimitar las características geomorfológicas del terreno (geoformas), éstas fueron verificadas y validadas durante el trabajo de campo, a través del cartografiado y delimitación de las unidades geomorfológicas en el área urbana de La Arena.

2.1. Modelo digital de elevación (MDE)

Los MDE son representaciones gráficas de la superficie del terreno, conformado por un número de puntos con información altimétrica y planimétrica. Por su naturaleza digital, permite ser utilizados para realizar

mapas de pendientes, acumulación de horas de radiación, parámetros morfométricos, entre otros (Felicísimo, 1994).

Para la elaboración del MDE para el área urbana de La Arena, se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel obtenidas a partir de la ortofoto, obteniendo como resultado la representación digital de la superficie del terreno de la localidad. Ver Figura 1.

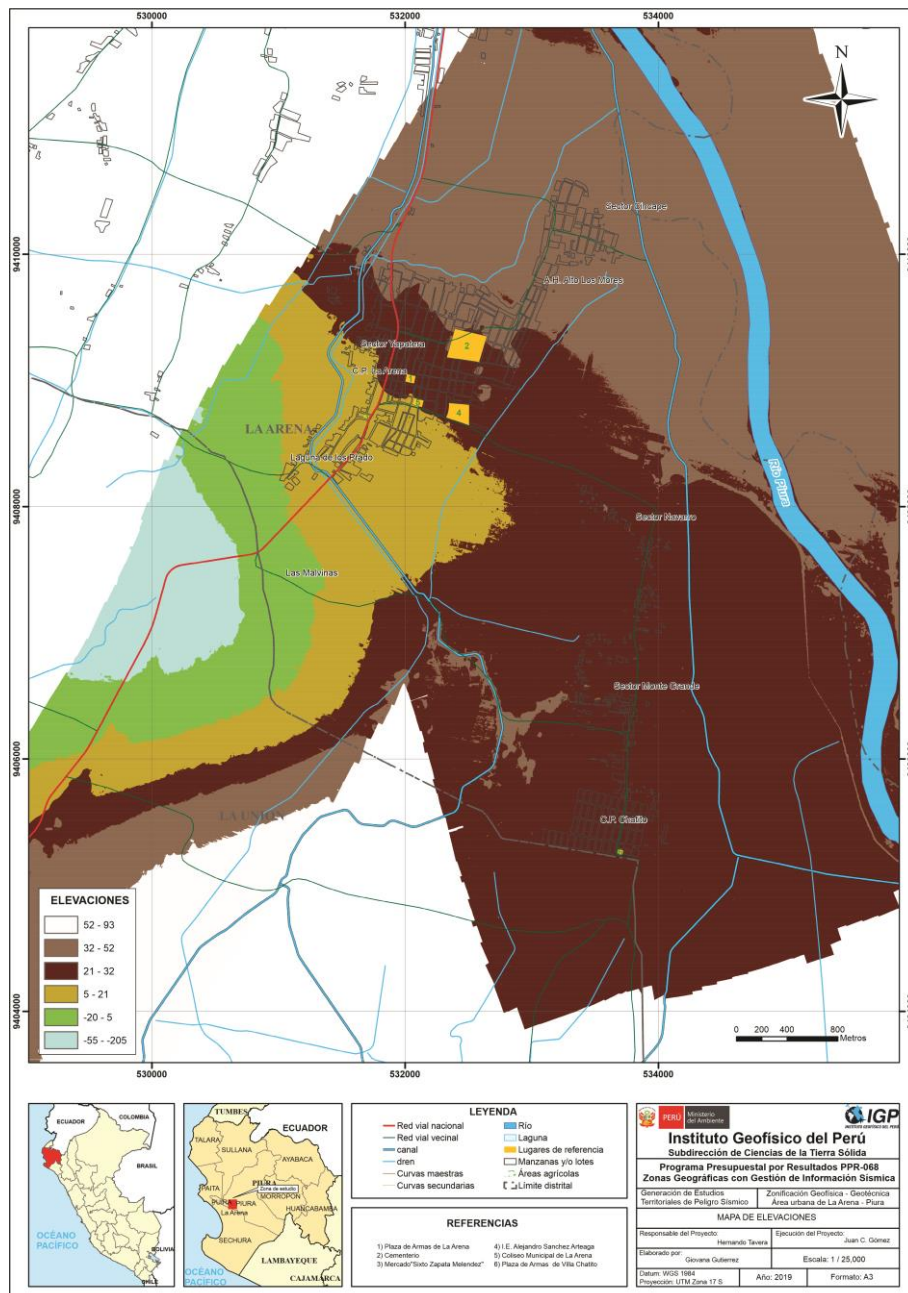


Figura 1: Mapa de modelo digital de elevación para el área urbana de La Arena y alrededores.

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

2.2. Pendientes

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

El diseño de mapa de pendientes para el área urbana de La Arena fue desarrollado a partir del MDE elaborado anteriormente, haciendo usos de herramientas de geoprocésamiento (área de influencia, construcción de modelos, análisis espacial, etc.) para diferenciar gráficamente los ángulos de inclinación del relieve en el área de estudio (Figura 2).

2.2.1 Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó como base el informe: “Estudio de riesgos geológicos del Perú de Fidel, et. al. (2006), ver Tabla 1:

Tabla 1: Rangos de pendientes del terreno (Fidel et al, 2006)

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

La mayor parte del área urbana de La Arena se encuentra asentada sobre una llanura con pendientes menores $<5^\circ$, sin embargo, hacia el noreste del centro urbano de la localidad (Alto los Mores y Sincape), se observan relieves con pendientes $> 15^\circ$.

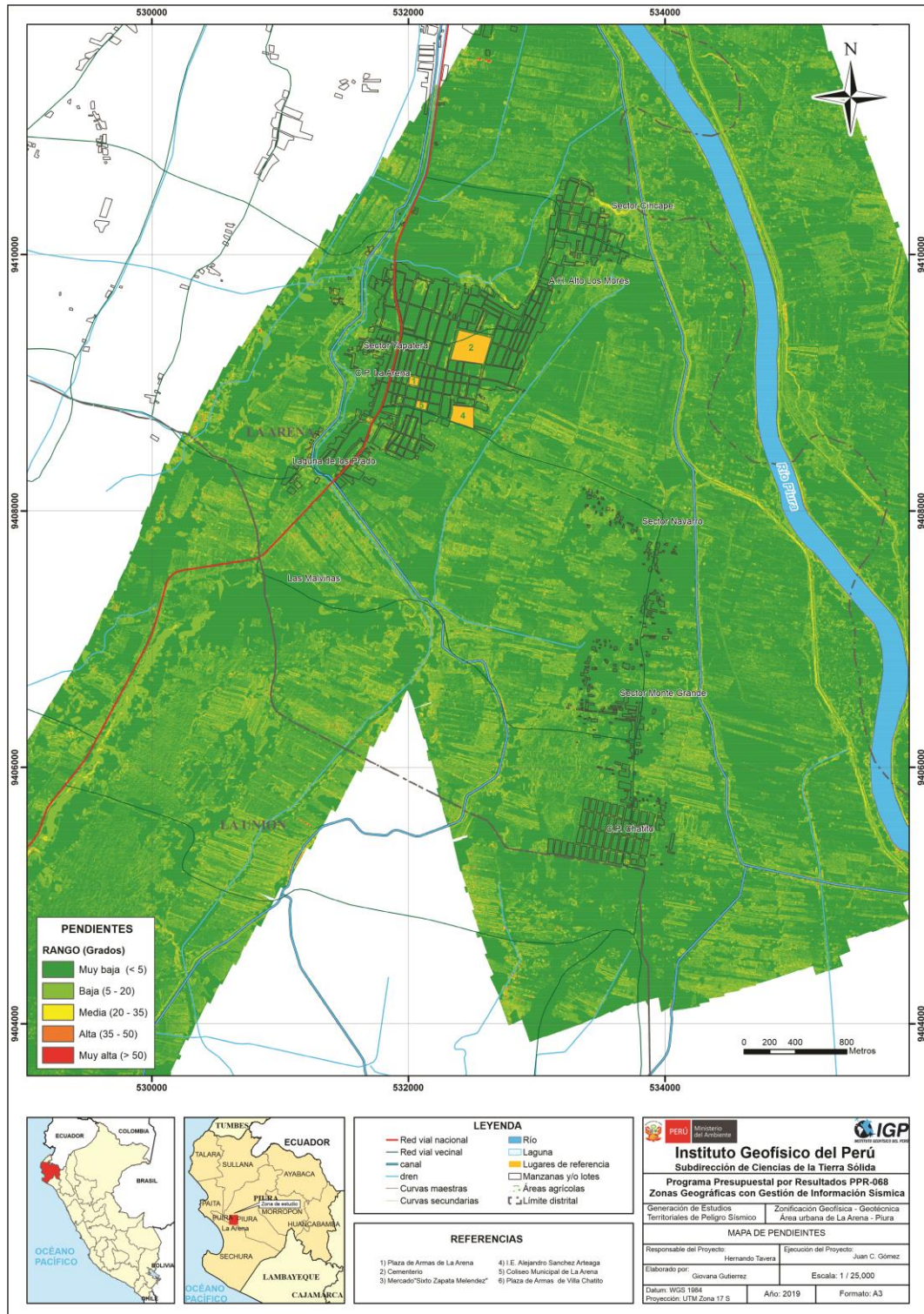


Figura 2: Mapa de pendientes del terreno para el área urbana de La Arena y alrededores.

2.3. Unidades geomorfológicas

Estas unidades con ciertas características físicas son generadas por procesos morfogenéticos de carácter endógeno (procesos internos) y exógenos (procesos externos) para formar relieves positivos y negativos.

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

En base a las características físicas de las geoformas y su origen, en el área urbana de La Arena, se cartografiaron 3 unidades (Figura 3): dunas, llanuras y depresiones. Las características físicas de estas unidades se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2: Determinación de geoformas del área urbana La Arena en base a sus características físicas y su origen

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

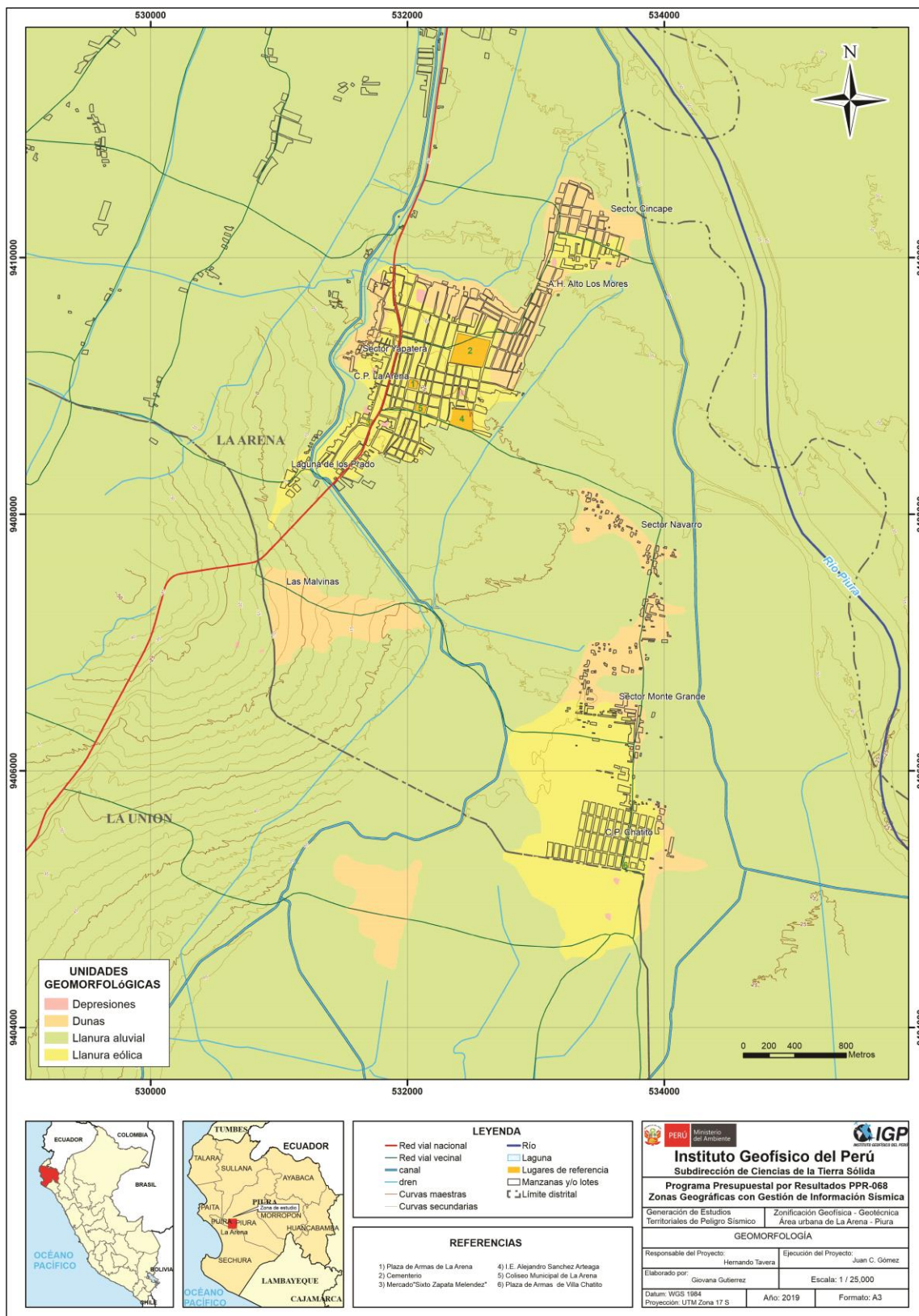


Figura 3: Mapa geomorfológico para el área urbana de La Arena y alrededores.

2.3.1. Dunas

Son acumulaciones de arenas finas de origen depositacional, esto ocurre por la acción erosiva del viento que transporta partículas finas provenientes de una roca preexistente. Comúnmente se forman en las zonas costeras por la actividad del viento, por lo que estas presentan capas suaves y uniformes. En la zona de estudio se observó que esta geoforma abarca 158 Has, donde se asientan los sectores urbanos de Alto Los Mores, Sincape, Montegrande y Malvinas (Figura 4).



Figura 4: Localización de Duna en el sector Alto Los Mores del área urbana de La Arena.

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

Llanura eólica: es un área con relieve pequeño o nulo, constituido por la acumulación de sedimentos medianos y finos acarreados por el viento. Este tipo de geoforma se presenta en climas áridos y semiáridos.

En La Arena abarca un área de 310 Has donde se asientan el centro urbano de la localidad, el centro poblado Chatito y Montegrande (Figuras 5 y 6).



Figura 5: Localización de llanura eólica en el sector Chatito del área urbana de La Arena.



Figura 6: Localización de llanura en el centro urbano del área urbana de La Arena.

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



Figura 7: Localización de Llanura aluvial en el área urbana de La Arena. de Llanura en el centro urbano del área urbana de La Arena.

2.3.3. Cuencas ciegas: Formadas por la acción hídrica en los suelos, es decir, la energía de flujo manifestada en el arranque y desgaste del material que conforma el suelo. En el área urbana se han identificado 13 depresiones localizadas en los sectores urbanos de Alto Los Mores, Montegrande y Chatito (Figura 8).



Figura 8: Localización de una Cuenca Ciega en el caserío Nuevo Montegrande.

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 (procesos 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 dejan espacios por donde el agua sigue penetrando y acelerando el proceso de desintegración. La roca se vuelve porosa, después, se descompone en fragmentos cada vez más pequeños, hasta que, al ser transportada y depositada se convierte en suelo. Los procesos químicos son complejos y dependen de los diversos minerales que constituyen las rocas lo que determina también su dureza y fragilidad. Por ejemplo: la sílice (SiO_2) en forma de cuarzo es estable en climas templados, pero en climas ecuatoriales, las altas temperaturas y las precipitaciones pluviales contribuyen a su descomposición; 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 del suelo, dando como resultado las geoformas que componen el relieve, los factores condicionantes como la litología, pendiente, hidrología, etc; así como, los detonantes: sismos y precipitaciones pluviales ocasionan movimientos en masa (deslizamientos, flujos, caída de rocas).

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

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

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

3.1. Geología local

La zona de estudio está conformada por depósitos eólicos y aluviales, descritos en los siguientes subcapítulos. En la Tabla 3 se describen las unidades geológicas y en la Figura 9 se presenta el mapa de geología local elaborado con los datos obtenidos en campo:

Tabla 3: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio

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

3.1.1. Depósitos Cuaternarios

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

Depósitos eólicos (Qh-e): Conformados por la acumulación de arenas cuarzosas de grano medio a fino de color amarillento, por acción de los vientos que forman dunas gigantes o llanuras de arena. Sobre este tipo de depósitos se asienta la población de la ciudad de La Arena (Figuras 10 y 11).

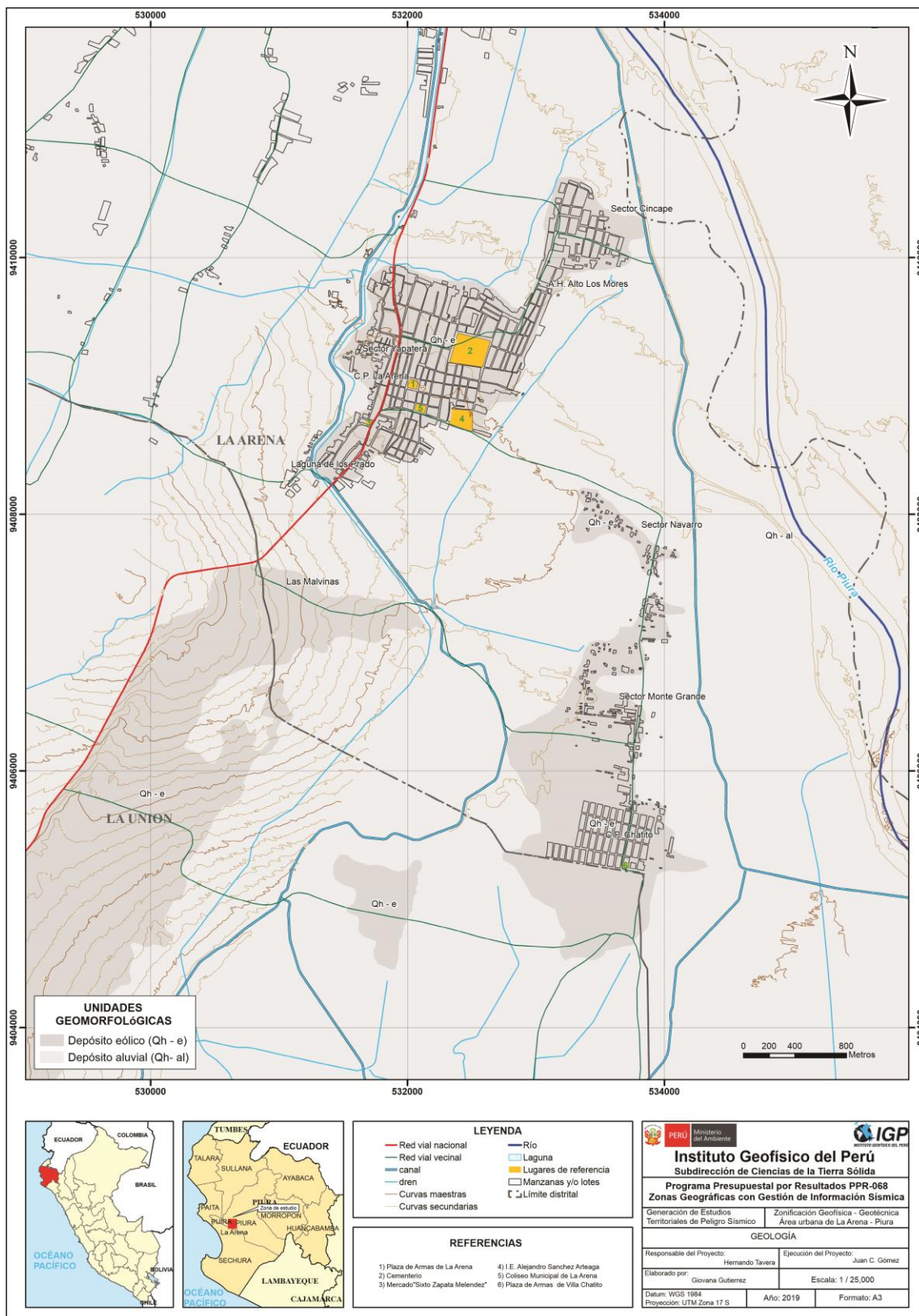


Figura 9: Mapa geológico del área urbana de La Arena y alrededores.



Figura 10: Depósito eólico localizado en el centro urbano de La Arena conformado por arenas sueltas.



Figura 11: Depósito eólico identificado en el sector Alto Los Mores.

Depósitos aluviales (Qh-al): Conformados por arenas y limos, que fueron depositados y transportados por la dinámica del río Piura. Sobre este tipo de depósitos se desarrolla exclusivamente la actividad agrícola de la ciudad de La Arena.

4. GEODINÁMICA

4.1. Geodinámica Superficial

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

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

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

En la ciudad de La Arena se ha identificado un tipo de evento geodinámico (Figura 12).

4.1.1. Inundación

Están Las intensas precipitaciones pluviales que recaen en periodos ENSO (126,1 mm el 21 de marzo del 2017 – El Niño Costero), sobre las 13 depresiones reconocidas en los sectores urbanos de Alto Los Mores, Sincape, Alto de Los Castillos, Nuevo Montegrande, Montegrande, Malvinas, San Pedro II etapa, Chatito y el centro urbano de La Arena, ocasionan la saturación de estas geoformas, cuyo nivel máximo de inundación alcanzan

los 0.60 m, afectando a las distintas infraestructuras establecidas en las zonas próximas a estas depresiones (Figuras 13, 14 y 15).

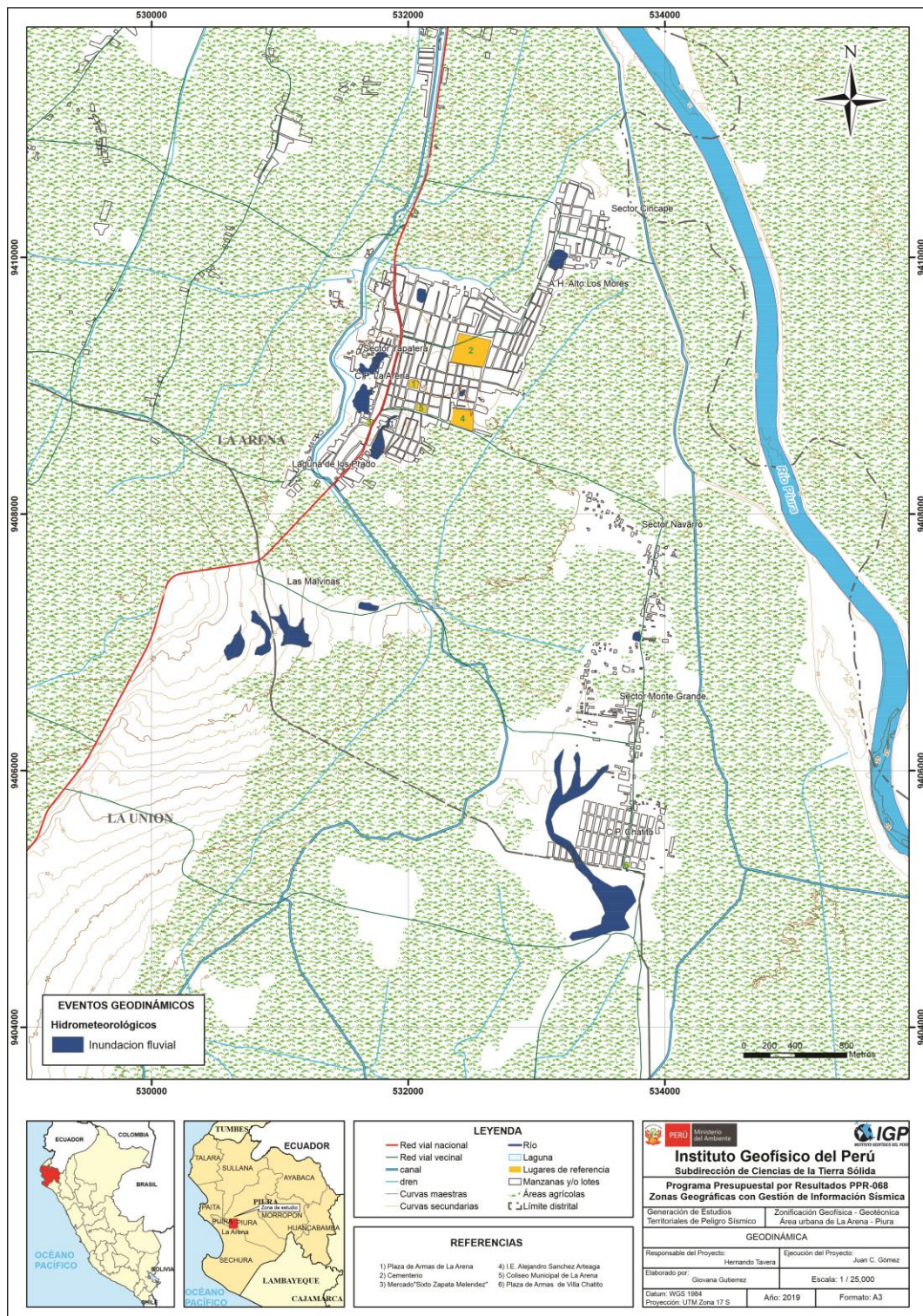


Figura 12: Mapa de geodinámica del área urbana de La Arena y alrededores.

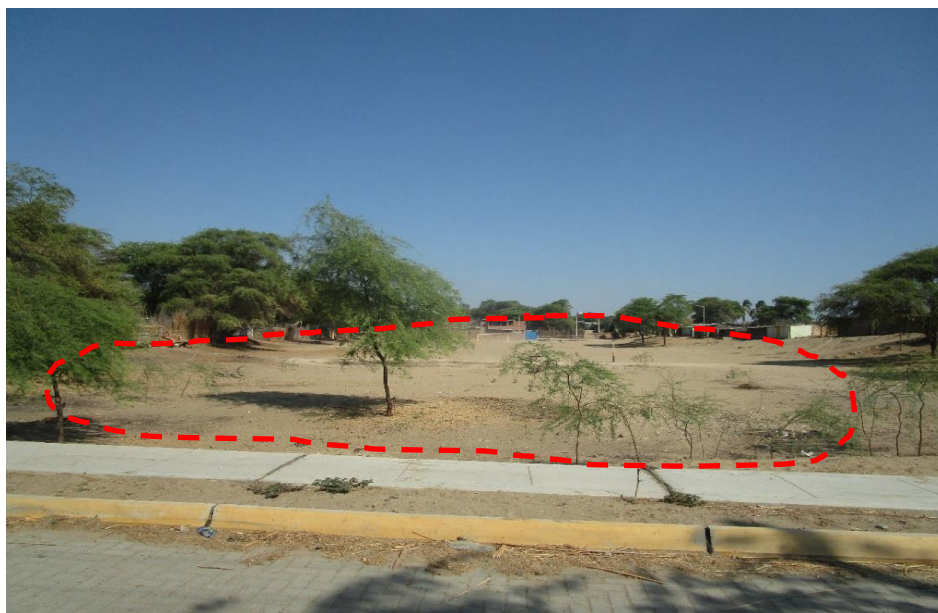


Figura 13: Zona de depresión e inundable en el sector Montegrande (interlineado rojo).



Figura 14: Zona inundable en el centro urbano de La Arena (Estadio).



Figura 15: Zona de depresión e inundable en el sector Alto de Los Castillos.

4.1.2. Elementos expuestos

En el área de estudio del área urbana de La Arena se encuentran los elementos expuestos a nivel social susceptibles ante el impacto del peligro por ocurrencia de inundaciones, delimitado en el capítulo de geodinámica, los cuales son la población y vivienda. Las cantidades de estos elementos son estimaciones resultantes de la relación entre el área de influencia del peligro en mención y la ocupación del sector urbano (Tablas 4 y 5).

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)

EVENTO GEODINÁMICO	VIVIENDAS EXPUESTAS
Inundaciones	350

Haciendo uso de la superposición del área de influencia de los eventos geodinámicos delimitados anteriormente, con el área urbana de la localidad, se reconocieron las infraestructuras de interés social (viviendas), expuestas al evento indicado (Figura 16).

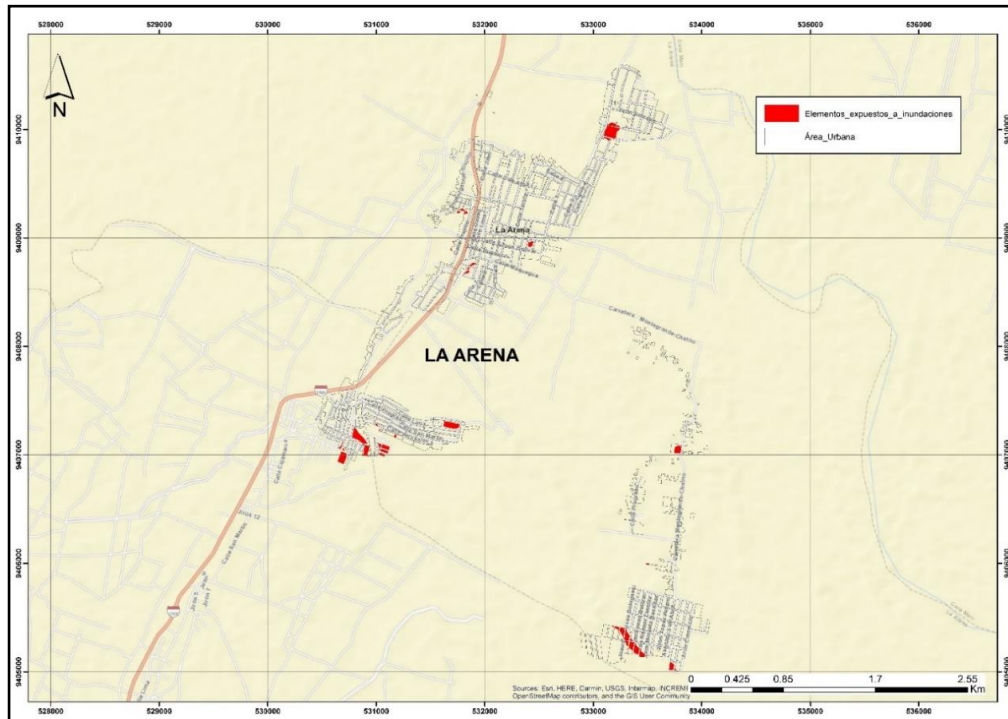


Figura16: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de inundaciones en la localidad de La Arena.

5.- ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los suelos son materiales inconsolidados conformados por minerales, materia orgánica, agua y aire entre sus poros, que se generan a partir de la alteración de la roca madre por agentes atmosféricos, erosionándola y formando una cobertura de variado espesor de sedimentos, que posteriormente han sido transportados y redepositados en las partes bajas de las cuencas hidrográficas, sobre los cuales se asientan las áreas urbanas. En geotecnia para clasificar los tipos de suelos se hace uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) para determinar las características granulométricas y los límites plásticos, mientras que, la capacidad de carga admisible de los materiales (arcillas, limos, arenas, gravas y clastos) se encuentra condicionada a las características litológicas de las rocas pre-existentes y la dinámica con que fueron depositados. En el diagrama líneas abajo se indica el origen de los suelos (Figura 17).

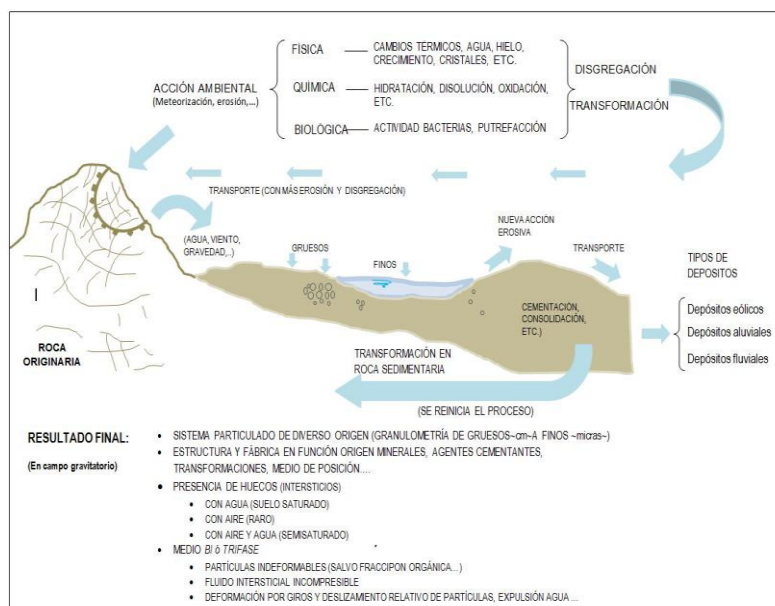


Figura 17: Formación de suelos, (Adaptado de Gonzáles, 2002).

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

perforaciones, ensayos de DPL, SPT, etc.); por ello la clasificación del suelo es de suma importancia para la elaboración de modelos geotécnicos y el diseño de cimentaciones en un terreno específico (Figura 18).

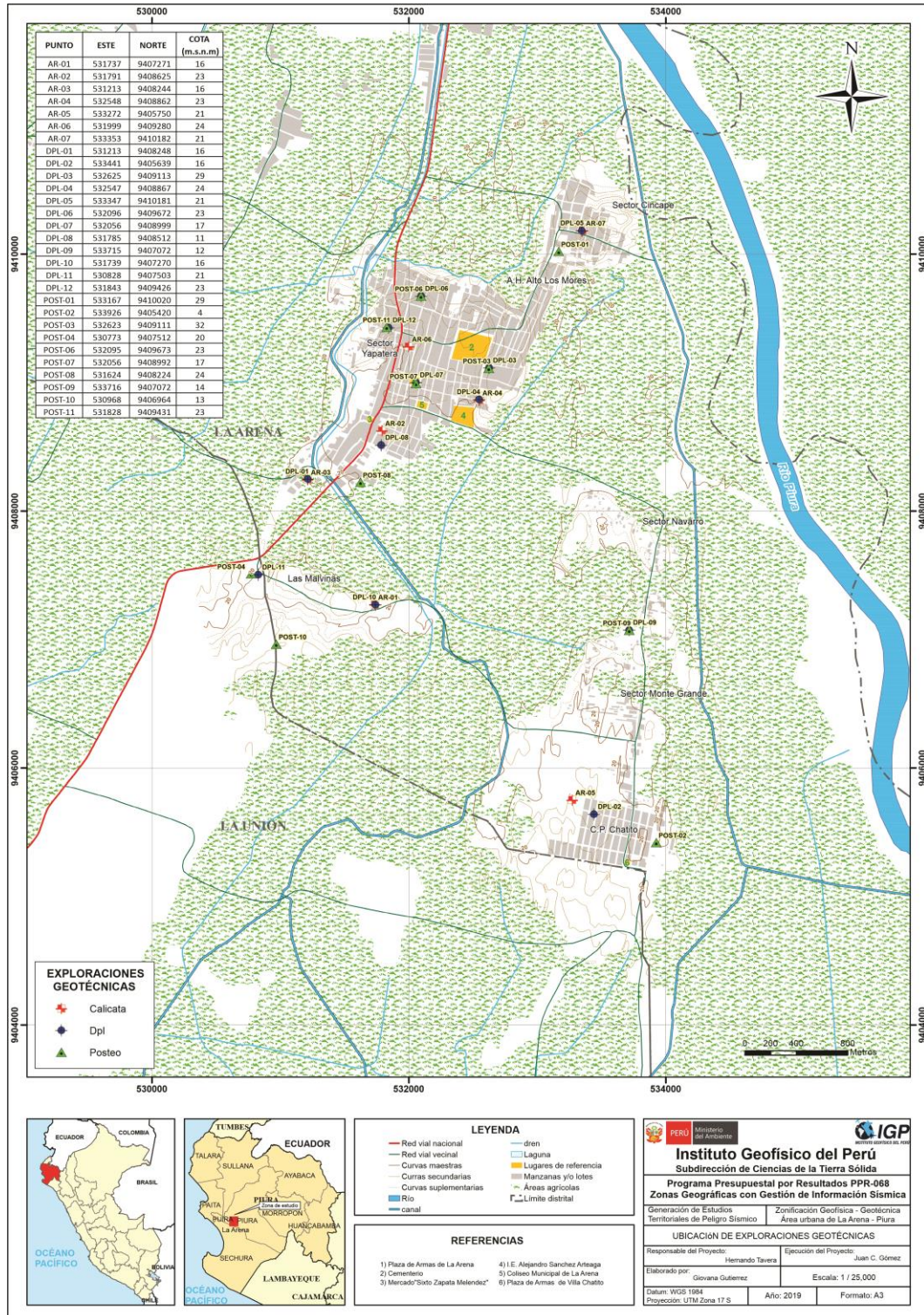


Figura 18: Mapa de ubicación de exploraciones geotécnicas para el área urbana de La Arena y alrededores.

En el área urbana de La Arena se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de siete (07) calicatas, siete (07) densidades de campo, diez (10) posteos y doce (12) ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), indicados en la figura anterior (Figura 19). Las siete (07) muestras extraídas se analizaron en el laboratorio de mecánica de suelos del IGP y para validar los resultados, tres (03) muestras representativas se enviaron a un laboratorio certificado, con la finalidad de determinar la composición granulométrica, plasticidad, corte directo y realizar el cálculo de la capacidad portante de los suelos de cimentación. A continuación, se detallan las técnicas de exploración geotécnica:

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

Es un método de exploración directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo a cierta profundidad (aproximadamente 3.00 m.), a fin de describir los estratos que lo conforman, así como, extraer muestras en bolsas herméticas con capacidad de 5 Kg. en promedio, para la realización de ensayos y análisis (Tabla 6).

Tabla 6: Coordenadas UTM para las calicatas realizadas en el área urbana de La Arena (NP= No presenta)

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

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 a 12 cm de profundidad, realizado en el interior de la calicata, a fin de obtener una relación entre la masa de éste y el volumen conocido que ocupa la arena calibrada del cono de densidad.

En cada estrato muestreado se debe llevar a cabo un ensayo de densidad de campo, haciendo uso del método del cono de arena, a fin de obtener el grado de compacidad o consistencia y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales, en otros casos para obtener el grado de compactación. Esta información es necesaria para desarrollar los ensayos de corte directo, sin embargo, este ensayo no es aplicable en suelos que contengan cantidad excesiva de roca o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm).

A continuación, en la Tabla 7 se presenta los resultados obtenidos para los valores de las densidades para las siete (07) calicatas elaboradas para el área de estudio. Las fichas se encuentran en los Anexos.

Tabla 7: Resultados obtenidos del ensayo de densidades in – situ

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

Según los resultados obtenidos, los suelos en el área urbana de La Arena se presentan rangos de densidad húmedas entre 1.46 a 1.75 gr/cm³, mientras que las densidades secas oscilan entre 1.31 y 1.56 gr/cm³, es decir,

los materiales identificados en las calicatas corresponden a arenas muy sueltas a sueltas.

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) hasta una profundidad de 6 m., a fin de obtener muestras del suelo. Las muestras extraídas se obtienen trituradas y completamente alteradas; sin embargo, sirven para conocer el tipo de suelo y contenido de humedad que presenta. Se hace mención, que la posteadora presenta restricciones en suelos con presencia de gravas y gravillas (la cuchara saca muestra se entrapa en este tipo de suelos).

Estas exploraciones fueron realizadas entre los puntos de las calicatas, tratando de cubrir el área de estudio, con la finalidad de obtener una mejor zonificación de los suelos del área urbana de La Arena. A continuación se muestran los resultados obtenidos y ubicación geográfica (Tabla 8).

Tabla 8: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS. (N.P= No Presenta).

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

5.3. Ensayo de penetración dinámica ligera - LDPT (Norma DIN 4094)

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

La ventaja del instrumento es que es un equipo muy práctico y se puede transportar fácilmente. Por otro lado, este ensayo es aplicable a terrenos arenosos, areno-arcillosos y limo arenosos, no recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos. En la Tabla 9 se indica la ubicación de los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizados en las inmediaciones del área urbana de La Arena. Asimismo, el número de golpes y el ángulo de fricción interna es calculado en base a los parámetros de compacidad (correlación del valor de N) establecida por Terzaghi y Peck 1973 y densidad relativa según la fórmula de Meyerhof (1956)

$$\Phi = 25^{\circ} + 0.15 * D_r$$

Dónde: Φ = Ángulo de fricción interna y D_r = Densidad relativa

5.4. Clasificación de suelos SUCS

El Sistema SUCS abarca suelos granulares y finos, diferenciados por la cantidad de material que pasa la malla N° 200 (Juárez & Rico, 2005),

mientras que entre los granulares se encuentran dos grupos tales como gravas y arenas.

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

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos y DPL, realizados en el área urbana de la Arena, y realizados en ensayos granulométricos y de plasticidad, se han identificado 04 (cuatro) tipos de suelos, que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). En la Figura 20 se muestra el mapa clasificado de suelos y en la Tabla 10 los valores obtenidos para los parámetros físicos que definen cada tipo de suelo.

- **Suelo tipo SM:** Está constituido por arenas limosas con contenido de humedad entre 24.97 % y 11.48 %, constituyen suelos de compacidad baja (suelta a muy suelta), no presentan plasticidad y se identificaron en los sectores Las Malvinas, Yapatera y parte del AA. HH Alto de los Mores. Se identificaron en las calicatas (CAR-01 y 06), así como en los posteos (Post-04, 06, 07, 10, 11).

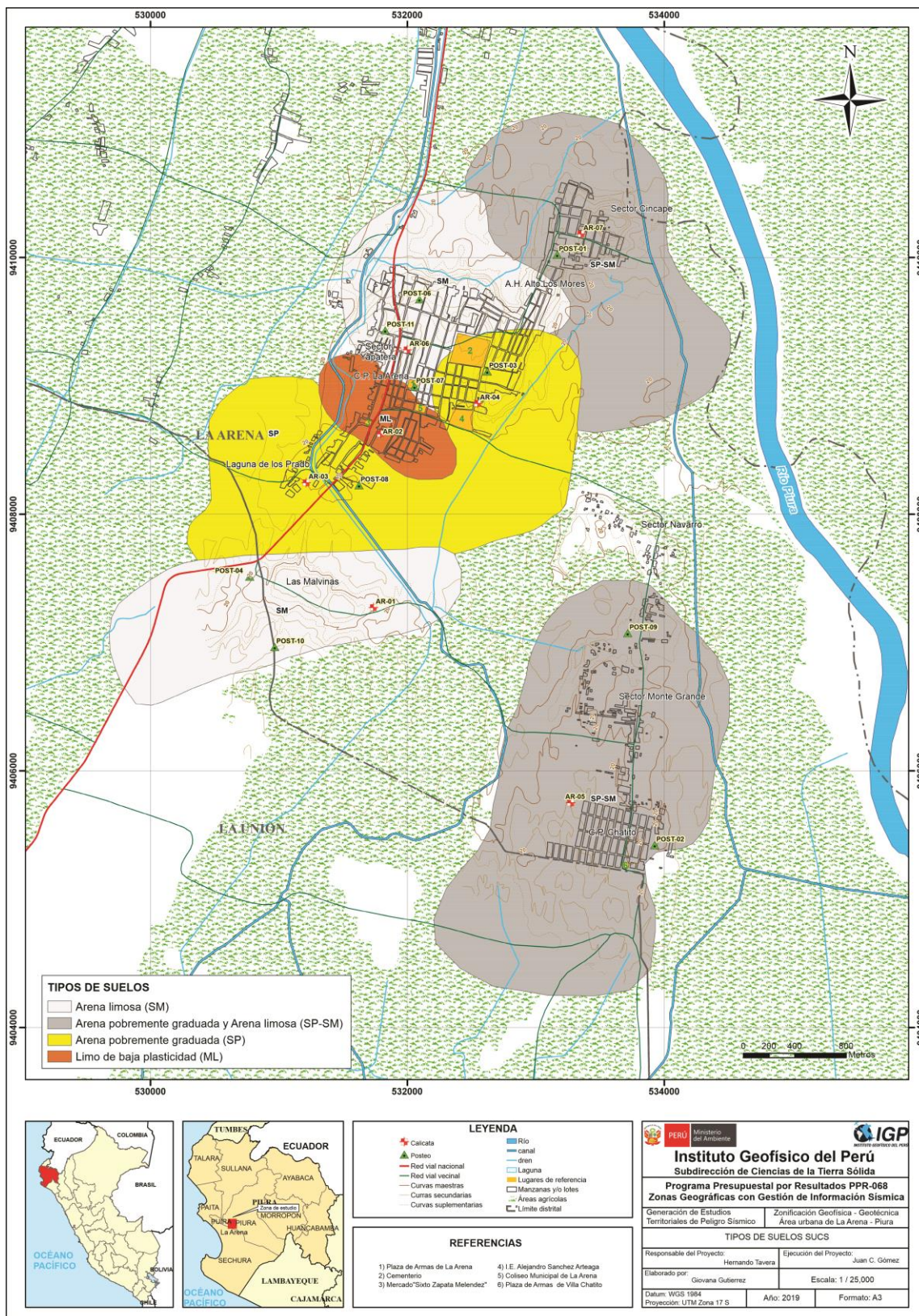


Figura 19: Mapa de tipos de Suelos (SUCS) para el área urbana de La Arena y alrededores.

Tabla 10: Clasificación SUCS de los suelos de las ocho (07) calicatas elaboradas en el área urbana de La Arena. N.P=No presenta.

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

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

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 la que existe o existiría en el terreno producto de la aplicación de una carga. Esta resistencia al corte en los suelos se debe a dos componentes: la cohesión (comportamiento plástico que presentan las partículas finas de una muestra) y el ángulo de fricción interna (rozamiento que existe en las partículas granulares).

Los valores finales de la capacidad portante de los suelos en la ciudad de La Arena están basados en datos de laboratorio de Mecánica de Suelos,

corroborados con datos teóricos de los parámetros de ángulo de fricción y cohesión de Terzaghi e información de DPL realizados en campo, haciendo uso de las fórmulas de falla general o local según el tipo de suelo.

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

Se define como el esfuerzo máximo que puede ser aplicado a la masa de suelo, de tal forma que se cumplan los requerimientos básicos establecidos por la relación, entre la carga última y un factor de seguridad de 3, a la Norma Técnica peruana para el Diseño de Cimentaciones E.050). En las Tabla 11 y Figura 20 se presenta los resultados obtenidos para la capacidad de carga portante para las siete muestras de suelos analizadas.

Tabla 11: Capacidad de carga portante para el área urbana de La Arena.

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

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

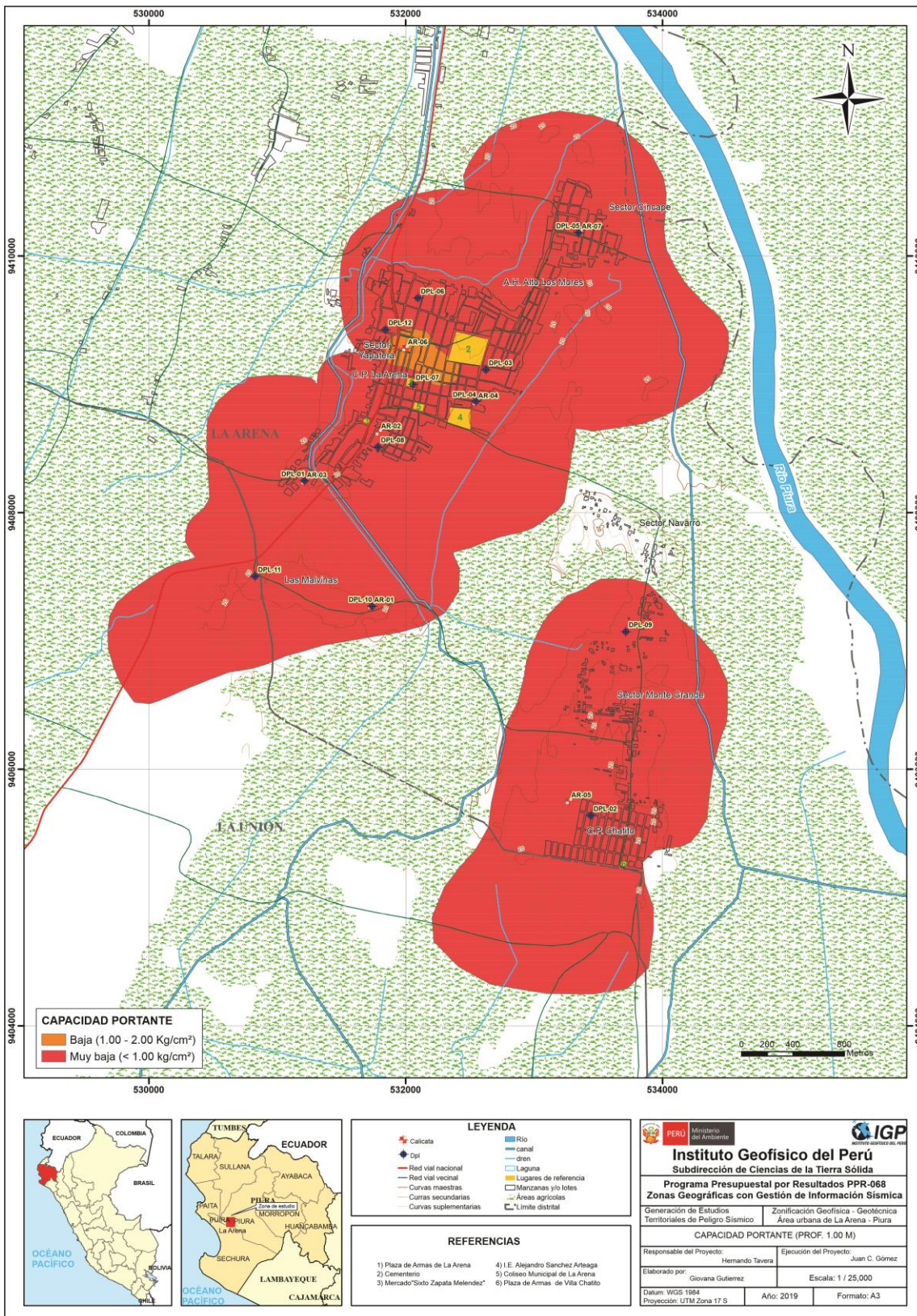


Figura 20: Mapa de capacidad portante para el área urbana de La Arena y alrededores.

Tabla 12: Capacidad de carga portante para las muestras extraídas en el área urbana de La Arena en base al ángulo de fricción corregido del N del DPL vs SPT y cohesión obtenida del ensayo de corte directo

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

De los resultados citados anteriormente, se ha determinado que el área urbana La Arena en su mayoría ha sido construida con cimentaciones de 1 m de profundidad. Ante ello, se ha clasificado los suelos con la siguiente capacidad de carga portante.

Tipos de capacidad de carga portante

En el área urbana de La Arena se han identificado los siguientes tipos de capacidad de carga portante:

- **Capacidad de carga portante muy baja:** Comprende rangos de capacidad de carga admisible menores a 1.00 kg/cm². se encuentran representado suelos arena mal graduada (SP), arena mal graduada con limos (SP-SM), arena limosa (SM) y limos (ML). Abarcan el casco urbano y la periferia de los suelos de cimentación de la ciudad de La Arena y se han identificado principalmente en el sector Sincape, AA.HH. Alto de los Mores, Las Malvinas, Centro poblado Chatito.

- **Capacidad de carga portante baja:** Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 1.00 - 2.00 kg/cm². Se encuentran representado por arenas limosas (SM), se han identificado principalmente en el sector Yapatera (casco urbano de La Arena).

6. CONCLUSIONES

- Es área urbana de La Arena se caracteriza por presentar tres unidades geomorfológicas: llanuras, depresiones y dunas, las dos primeras conformadas por materiales aluviales (arenas, limos, arcillas) y la restante constituida por arenas eólicas sobre el cual se asienta el área urbana de La Arena.
- Los eventos geodinámicos reconocidos en la zona de estudio fueron las inundaciones suscitadas por la saturación en zonas de depresiones a causa de las intensas precipitaciones en periodos ENSO (126,1 mm el 21 de marzo del 2017 – El Niño Costero), que afectan los sectores urbanos de Alto Los Mores, Sincape, Alto de Los Castillos, Nuevo Montegrande, Montegrande, Malvinas, San Pedro II etapa, Chatito y el centro urbano de La Arena.
- En base a los resultados de los ensayos geotécnicos y del laboratorio de suelos se ha determinado que los tipos de suelos presenten es la ciudad de La Arena son cuatro (4): arenas mal graduadas (SP), arenas limosas (SM), arena mal graduada con arena limosa (SP-SM) y limo inorgánico (ML), los cuales presentan compacidad baja (muy sueltas a sueltas) y capacidad de carga portante muy baja ($<1.00 \text{ kg/cm}^2$) a baja ($1.00 - 2.00 \text{ kg/cm}^2$).

**CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA
DEL ÁREA URBANA DE LA ARENA**

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

1.1. Razones Espectrales H/V

1.1.1. Adquisición de datos

1.1.2. Procesamiento de datos

1.1.3. Análisis y resultados

1.2. Análisis Multicanal de ondas Superficiales MASW

1.2.1. Adquisición de datos

1.2.2. Procesamiento de datos

1.2.3. Análisis y resultados

1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica ERT

1.3.1. Adquisición de datos

1.3.2. Procesamiento de datos

1.3.4. Analisis y resultados

2. ZONIFICACIÓN DE SUELOS

2.1. Integración de resultados

2.2. Mapa de Zonificación Sísmica

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

El estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica para el área urbana de La Arena se ha realizado con información geológica, geotécnica y con la aplicación de las metodologías que a continuación se describen:

1.1. 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. Para la aplicación de esta técnica se obtiene registros de vibración ambiental y se procede a construir las razones espectrales H/V que consiste en obtener el cociente de los espectros de Fourier de las componentes horizontales entre la vertical (Nakamura, 1989), a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones máximas relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio.

Estas características son definidas por las condiciones geológicas y geomorfológicas de las 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, propiedad que es utilizada para conocer las características físicas y dinámicas del suelo.

1.1.1. Adquisición de datos

La adquisición de datos en campo se realizó durante 3 días del mes de marzo del 2019. Durante este periodo se recolectaron 180 registros de vibración ambiental utilizando sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 1). Los puntos de adquisición de datos se distribuyen espacialmente en toda 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.

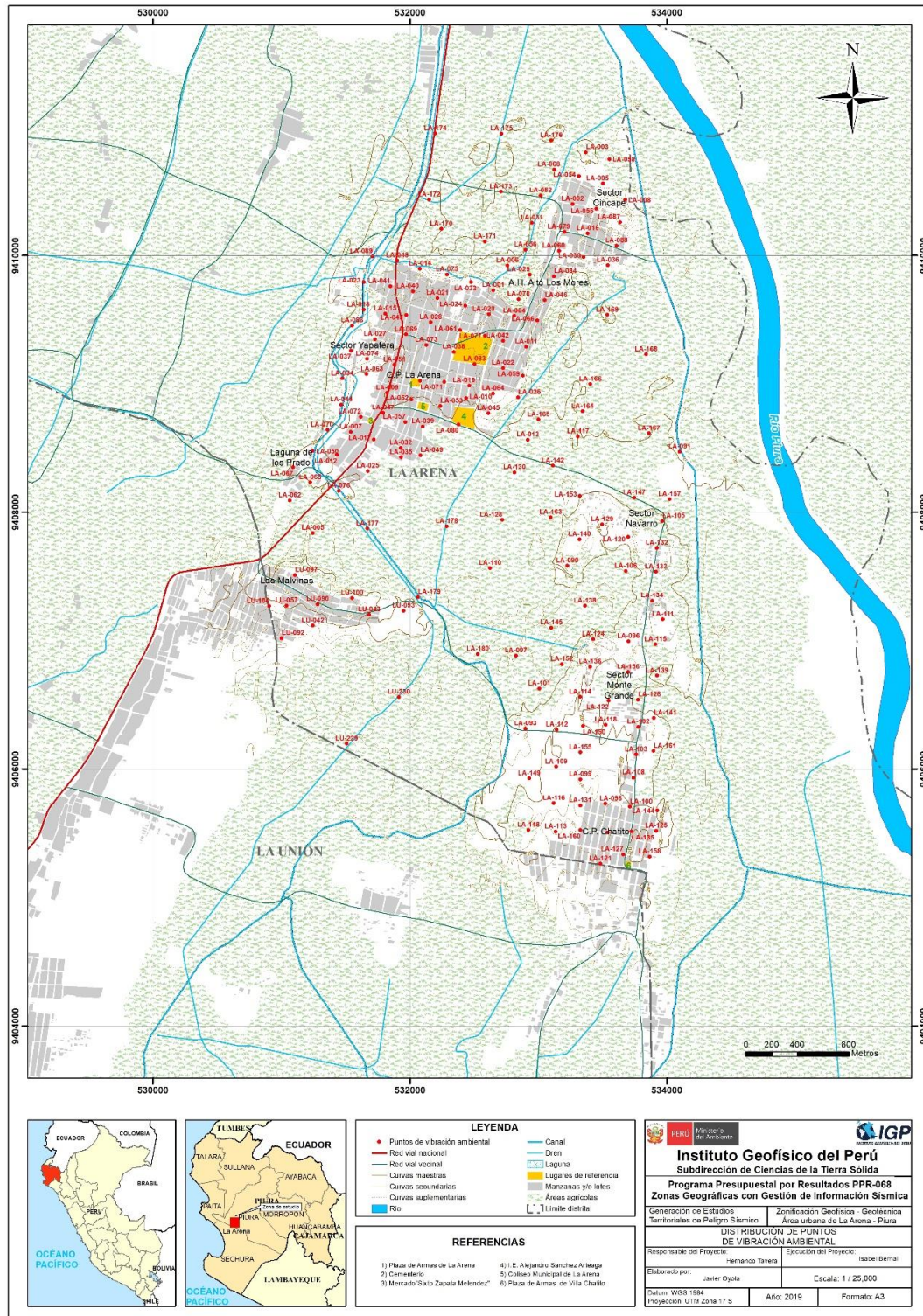


Figura 1: Distribución espacial de los puntos de registros de vibración ambiental del área urbana La Arena.

En la Figura 2, se muestra la disposición del equipo sísmico durante el registro de información, además de ejemplos de registros de vibración ambiental para sus tres componentes (vertical, E-O y N-S).

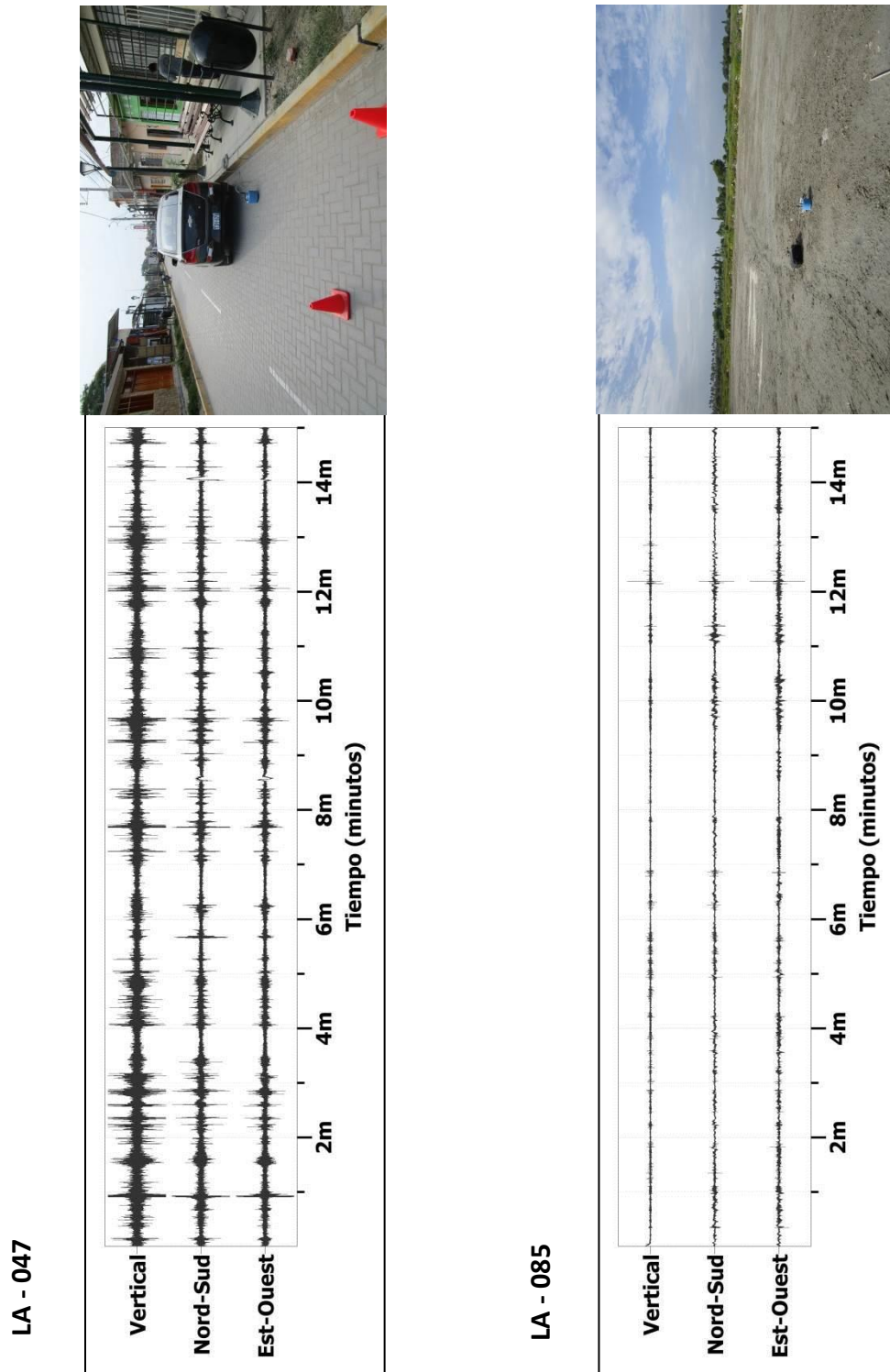


Figura 2: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (SU-77) y otro con ruido de fondo constante (SU-232). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

Para aplicar la técnica de razones espectrales H/V, se calcula la Transformada Rápida de Fourier para cada componente de registro a fin de obtener los cocientes espectrales y relacionar ambas componentes horizontales con la vertical (E-O/V; N-S/V). Finalmente, en cada espectro se procede a identificar la frecuencia predominante, para ello se considera picos y/o rangos con amplificaciones relativas de al menos 2 veces y que fluctúe en el rango de interés entre 0.5 a 20 Hz (Figura 3).

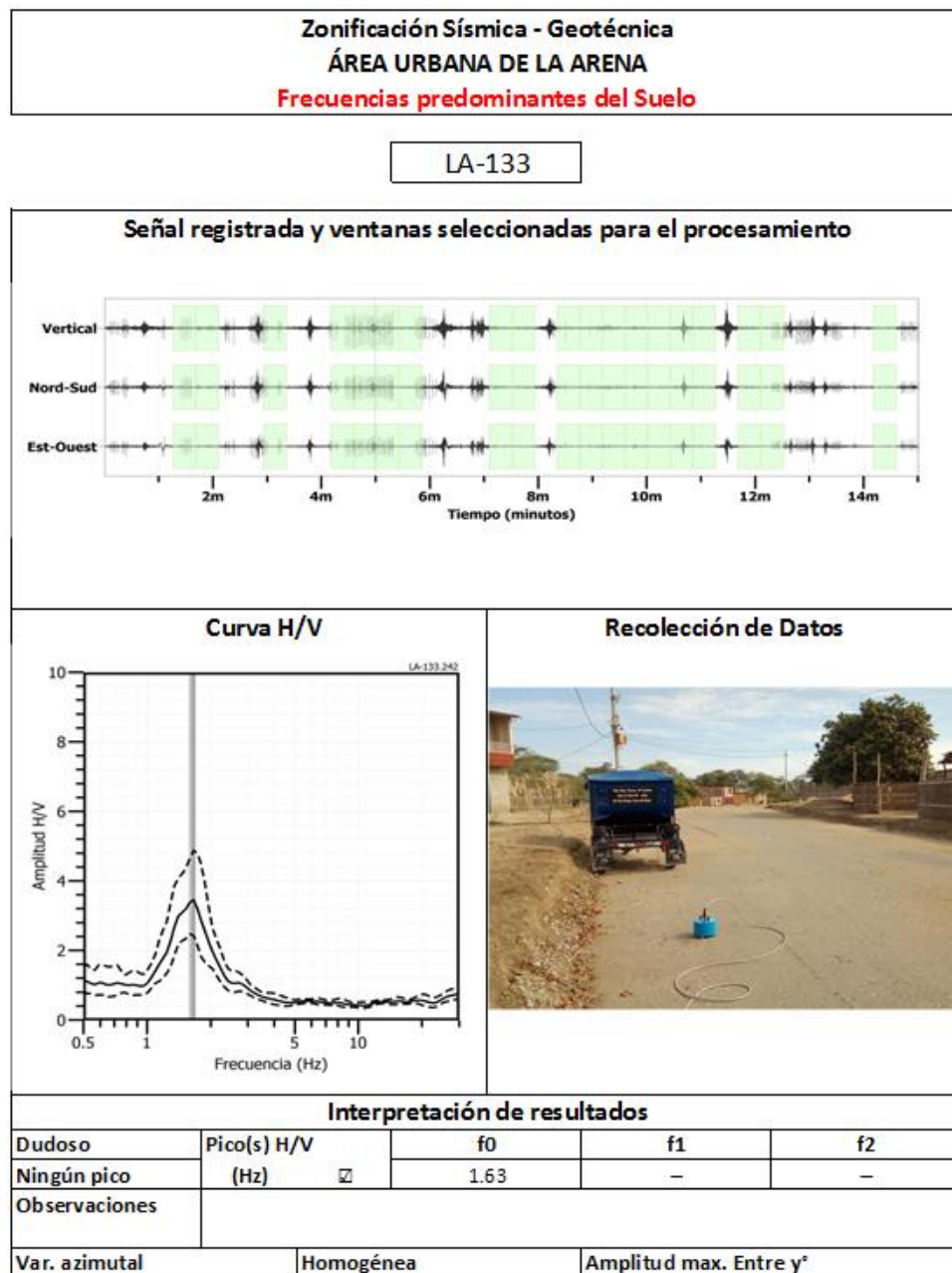


Figura 3: Ejemplo de la ficha H/V para el punto LA-133 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas y Abajo resultados.

1.1.2. Procesamiento de datos

Para el análisis de los datos sísmicos se ha considerado los siguientes criterios:

- Las frecuencias predominantes menores a 1.0 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos).
- Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos.
- Los Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2006; Bernal, 2006).

En la Figura 3 se mostró un ejemplo del análisis, procesamiento y resultados obtenidos para el punto LA-133. En el ejemplo, el registro fue 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.

1.1.3. Análisis y resultados

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

Frecuencias Predominantes

-La frecuencia predominante F_0 : según la Figura 4, las frecuencias fluctúan principalmente entre 1.1 a 2.8 Hz, valores que se distribuyen de manera uniforme en el área de estudio.

En la Figura 5, se muestra ejemplos de razones espectrales característicos para los puntos LA-009(A), LA-046(C) y LA-081(D), ubicados en el extremo norte del área de estudio, próximos a la Plaza de Armas, A.H. Alto los Mores y cementerio, donde se identifica un pico a frecuencias de 1.9, 2.2 y 2.0 Hz respectivamente, y con amplificaciones menores a 2 veces; valores que evidencian la presencia de suelos consistentes en este sector.

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

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

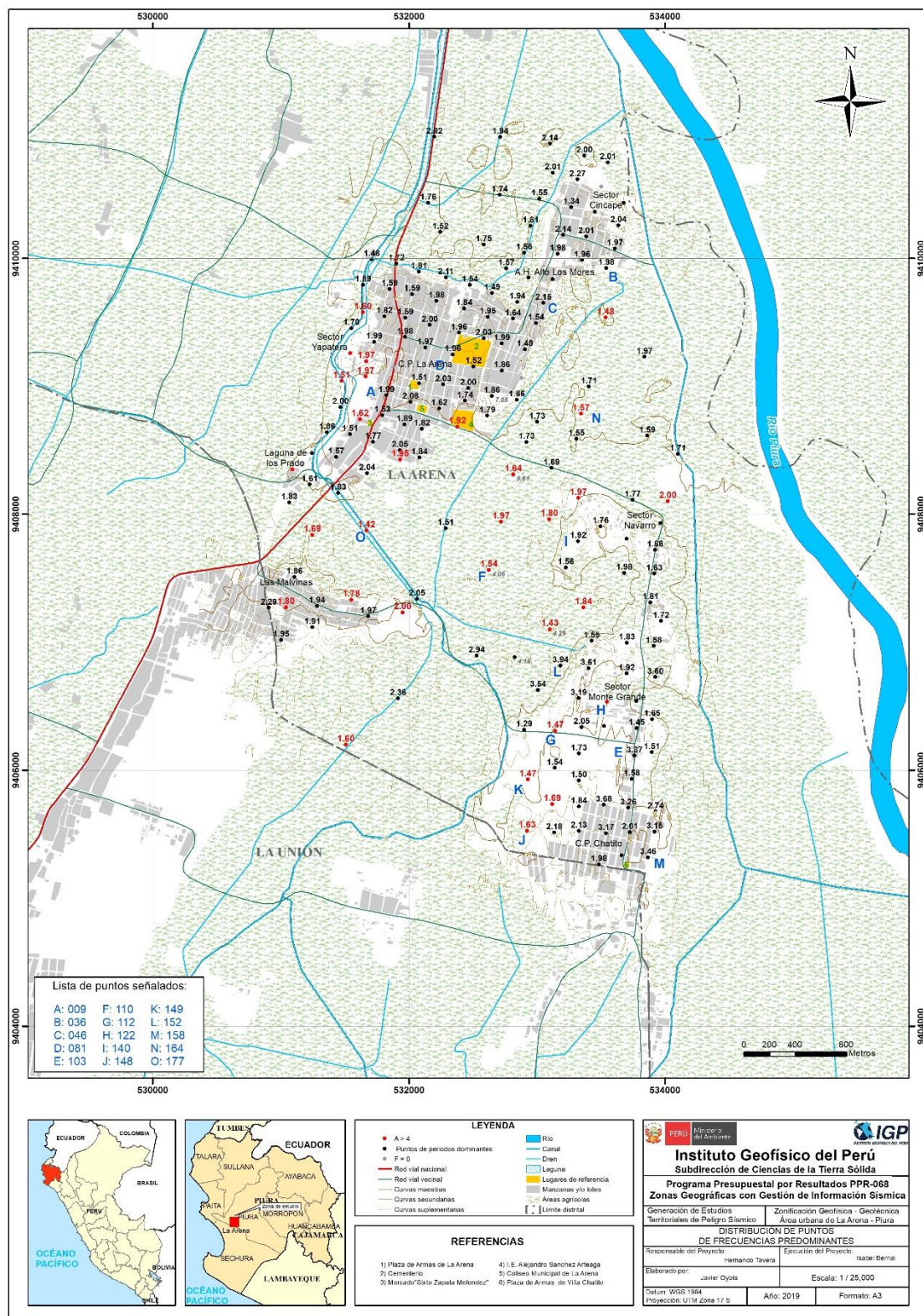
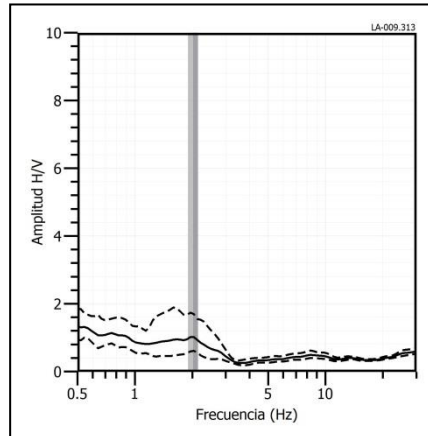
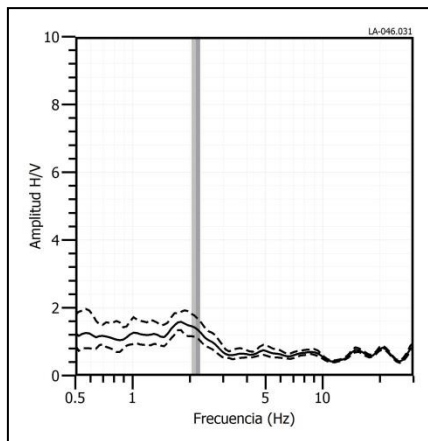


Figura 4. Distribución espacial de las frecuencias predominantes (F_0). Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 4 veces. Las letras corresponden a los puntos cuyas razones espectrales son analizadas en el informe.

LA - 009



LA - 046



LA - 081

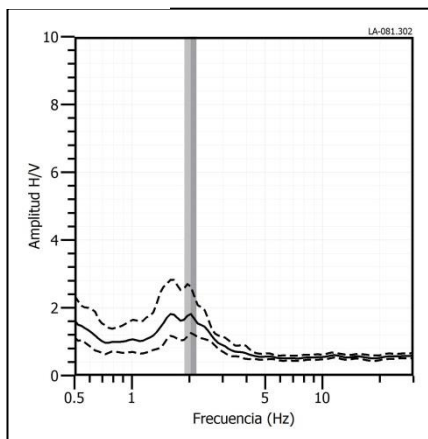
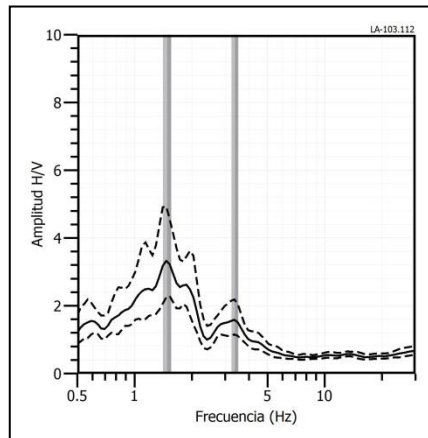
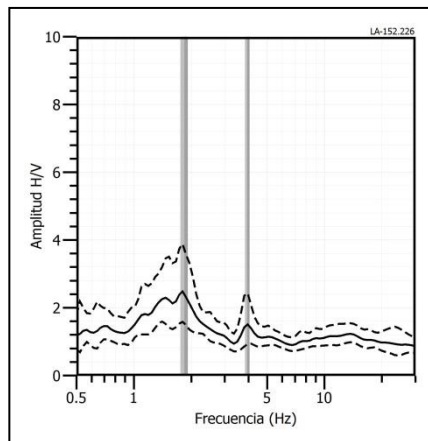


Figura 5. Ejemplos de razones espectrales (H/V): puntos LA-09(A), LA-46 (C) y LA-81 (D), ubicados en el centro de la ciudad, por la plaza de armas y el cementerio. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

LA - 103



LA - 152



LA - 158

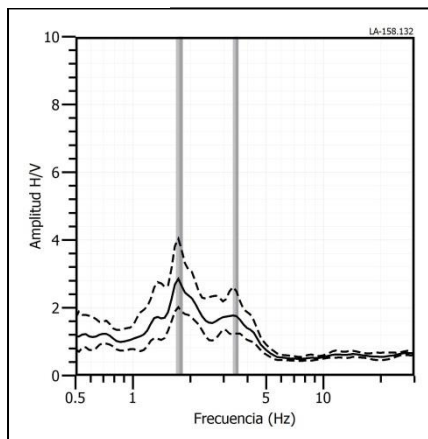
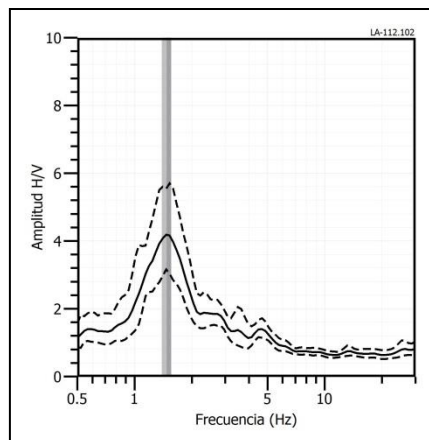
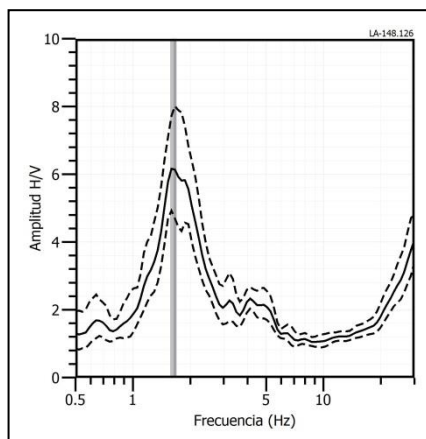


Figura 5. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): puntos LA-103(E), LA-152 (L) y LA-158 (M), ubicados al sur, por Monte Grande y el centro poblado El Chatito. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

LA - 112



LA - 148



LA - 149

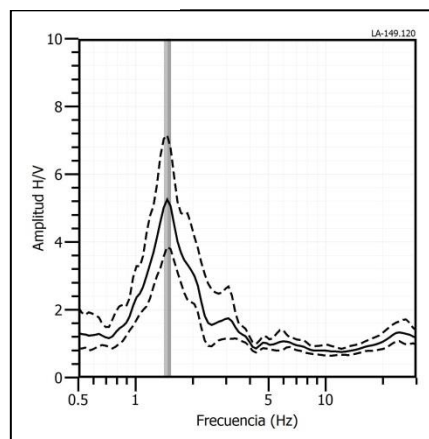
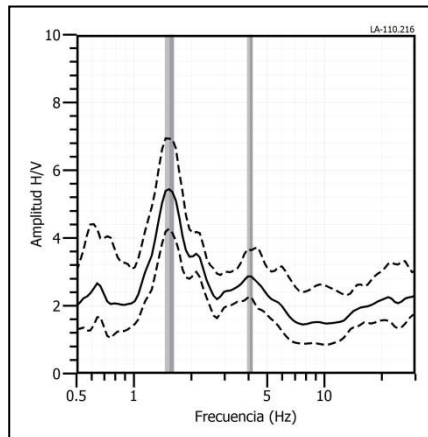
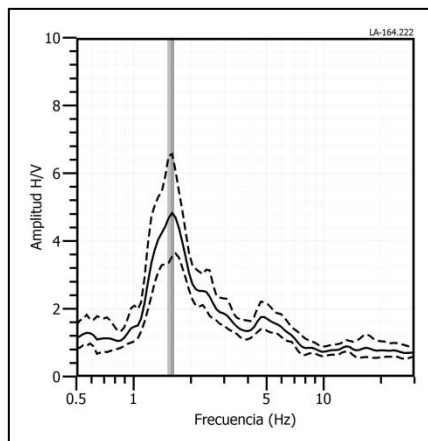


Figura 5. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): puntos LA-112(G), LA-148(J) y LA-149(K), ubicados en al oeste del C.P. El Chatito. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

LA - 110



LA - 164



LA - 177

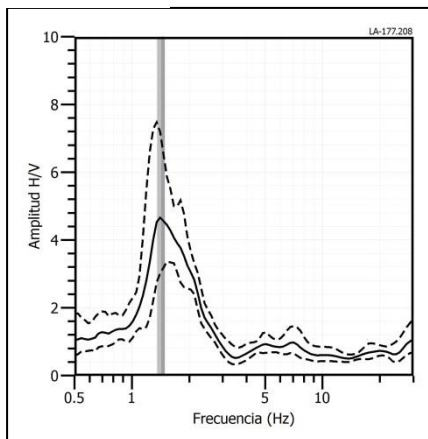


Figura 5. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): puntos LA-110(F), LA-164 (N) y LA-177(O), ubicados al oeste del sector Navarro. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

- Periodos dominantes

Los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes a fin de construir el mapa de isoperiodos. En la Figura 6, se muestra la distribución espacial de los periodos (T_0) de respuesta del suelo que varían entre 0.2 y 0.7 segundos, los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 4 veces. Hacia el extremo sur del área de estudio, se identificó picos secundarios, en el centro poblado El Chatito y el sector Monte Grande.

Los periodos dominantes se encuentran relacionados con las condiciones físicas del suelo, a través de la relación $T_0=4H/V_s$, donde T_0 es el periodo dominante, H el espesor del estrato y V_s es la velocidad de onda de corte. Asumiendo velocidades de 250 m/s y 300 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.5 y 0.6 segundos, se estima una capa superficial con espesores de entre 30 a 40 metros. Los resultados de este análisis sugieren que la capa superficial del suelo presenta mayor espesor hacia el extremo sur del área urbana de La Arena.

1.2. Análisis Multicanal de ondas Superficiales MASW

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

1.2.1. Adquisición de datos

Para el registro de datos, según la técnica MASW se sigue el procedimiento y se utiliza un equipo sísmico modelo GEODE de Geometrics con 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Como fuente de

impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas se utiliza un martillo de 20 lb. Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido y el espaciamiento entre geófonos, fueron variables ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio y de la accesibilidad a los puntos seleccionados.

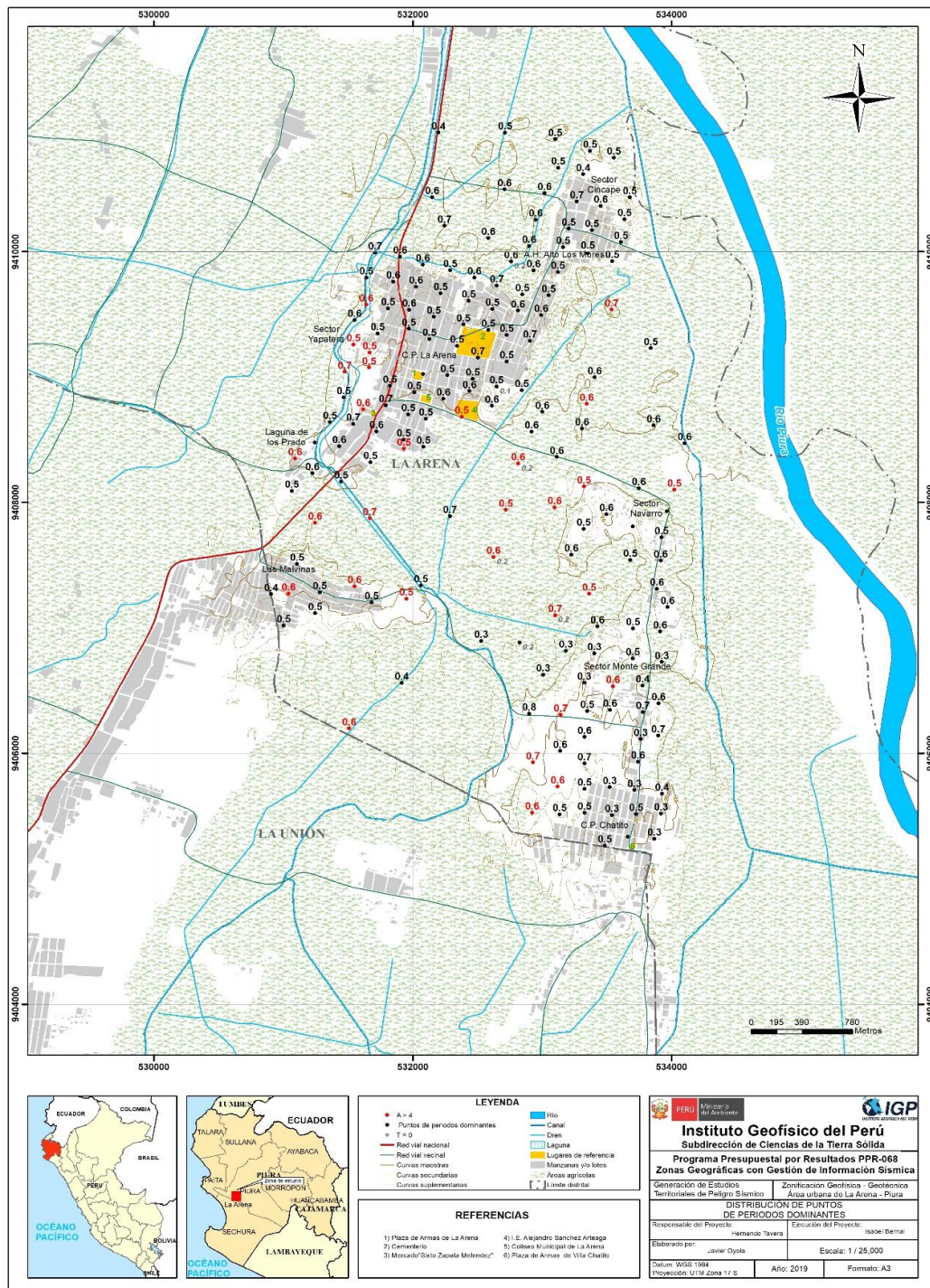


Figura 6. Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

En el área urbana de La Arena se realizaron ocho (08) líneas de MASW codificadas como LS01-LA y LS08-LA (ver Tabla 1). La distribución espacial de estas líneas se muestra en la Figura 7. Durante los trabajos de campo, los datos y/o sismogramas eran visualizados a fin de verificar su calidad de registro y los niveles de ruido de fondo.

Tabla 1. Coordenadas y características de los arreglos lineales MASW realizados en La Arena.

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

En la Figura 8, se muestra como ejemplo el registro obtenido considerando un golpe de martillo a 3 metros al final del arreglo lineal.

1.2.2. Procesamiento de datos

-Procesamiento: Se procedió a aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT) a los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011), para luego tener como resultado, la imagen de dispersión de ondas que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia. Una vez obtenidas las curvas de dispersión, son sometidas de forma individual a un proceso de

inversión, a fin de obtener los perfiles de velocidad Vs en una dimensión (1D), tal como se muestra en la Figura 9.

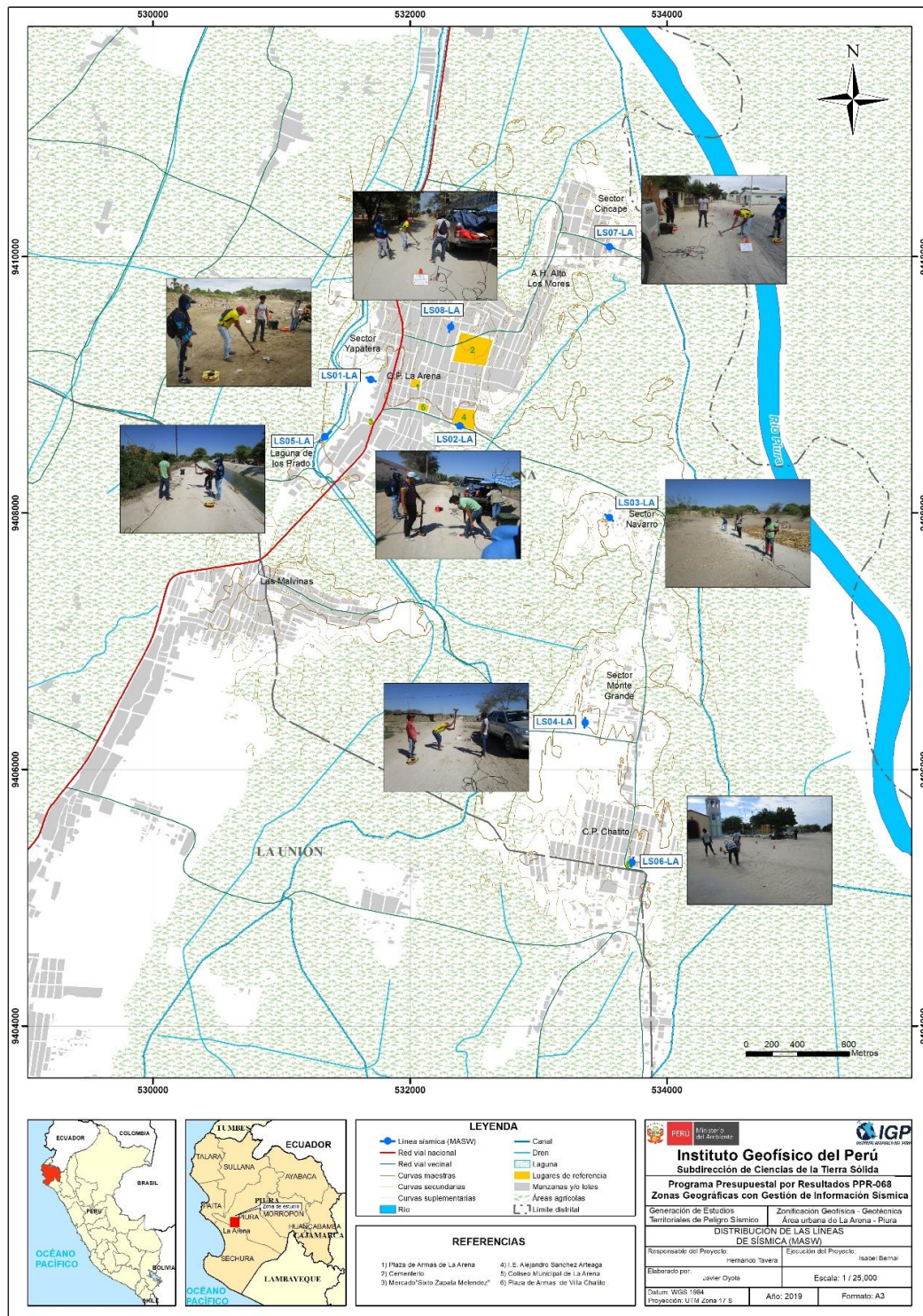


Figura 7: Distribución espacial de los ensayos MASW codificados como LS01-LA, ..., LS08-LA en el área urbana de La Arena

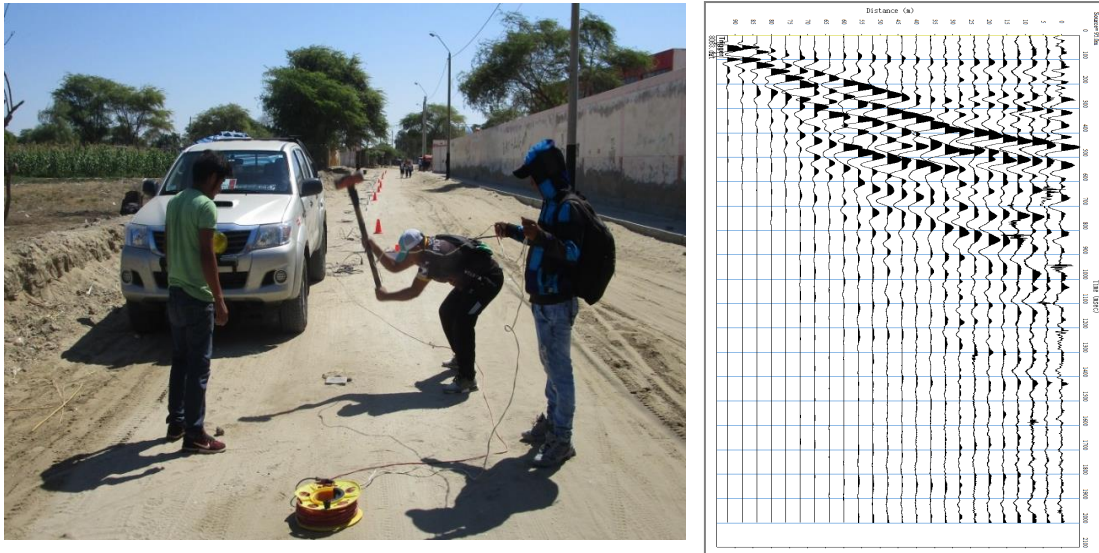


Figura 8: Disposición del equipo de adquisición de registro sísmico.

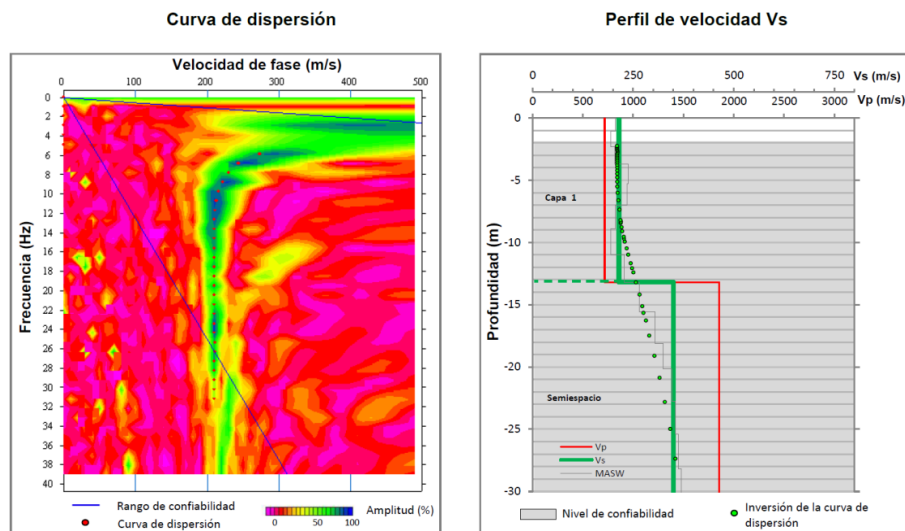


Figura 9: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo MASW.

-Interpretación: Para su análisis, se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030 (2018). En este caso, el rango de velocidades para los perfiles de suelo S1 y S2, se subdividen a fin de considerar dos clasificaciones adicionales, ver Tabla 2. Asimismo, los valores obtenidos son representados con colores a fin de facilitar su interpretación.

1.2.3. Análisis y resultados

Perfiles de MASW: En el área de estudio se realizaron ocho (08) líneas sísmicas aplicando la técnica MASW a fin de identificar velocidades de ondas

de corte V_s confiables hasta los 30 metros de profundidad. En la Figura 10 se muestra los resultados obtenidos para la línea LS01-LA y para el resto de los perfiles, ver Anexos.

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

Clasificación de los perfiles de Suelo					
N°	V_s	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	

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

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

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

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

343 m/s. De acuerdo con los resultados obtenidos, el perfil corresponde a suelos blandos a moderadamente rígido.

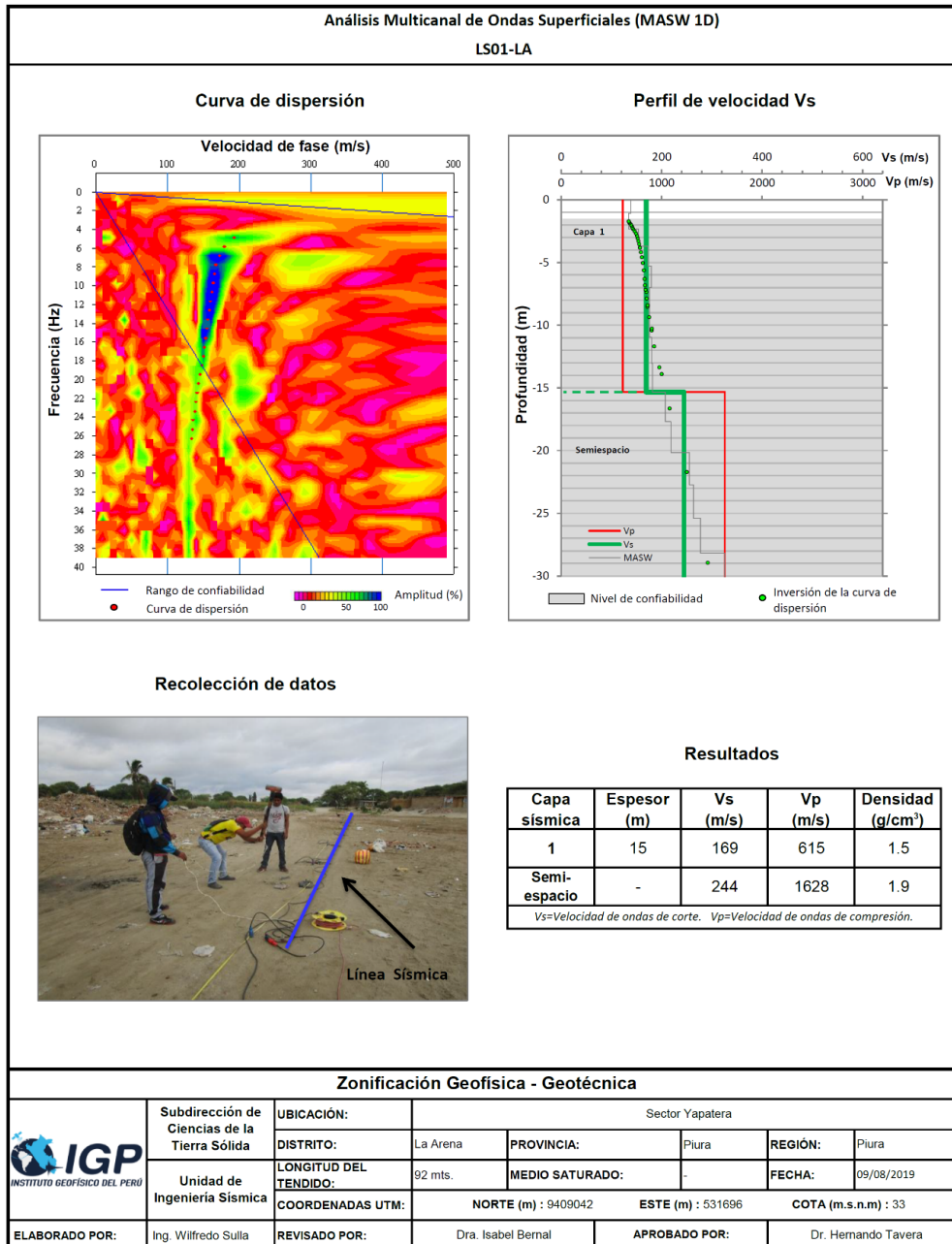


Figura 10. Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS01-LA.

Líneas sísmicas LS05-LA y LS08-LA: Ubicadas en el cercado del área urbana, C.P. Laguna de Prados y A.H. 03 de abril, respectivamente. Se identifica una capa sísmica de 16 a 20 metros de espesor y velocidades

Vs que varían entre 205 y 221 m/s, por debajo, el semi-espacio muestra velocidades $V_s > 342$ m/s.

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

En la Tabla 3, se muestra el resumen de la información obtenida, la velocidad de ondas de corte V_s , su espesor y las velocidades V_{s30} .

Tabla 3. Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie → Profundidad							
Línea Sísmica	N° DE CAPA						
	1		2		Semi-espacio		VS30 (m/s)
	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	
LS01-LA	169	15	244	-	-	-	200
LS02-LA	163	11	239	9	348	-	217
LS03-LA	244	4	188	14	257	-	217
LS04-LA	189	18	343	-	-	-	224
LS05-LA	221	20	348	-	-	-	247
LS06-LA	214	13	349	-	-	-	265
LS07-LA	232	25	372	-	-	-	239
LS08-LA	205	16	342	-	-	-	247
Suelo blando ($V_s < 180$ m/s) Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s) Suelo rígido (350 – 500 m/s) Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s) Roca moderadamente dura (800 – 1500 m/s) dura ($V_s > 1500$ m/s)							

Según los resultados obtenidos con el método sísmico (Figura 11), se define la existencia 2 y 3 capas sísmicas, y un semi-espacio hasta una profundidad confiable de 30 metros (Tabla 3). En la primera capa se identifica la presencia de suelos blandos con velocidades de ondas de corte (V_s) que varían entre 163 a 169 m/s y espesores entre 11 a 15 metros; están presentes en el sector Yapatera y por el I.E. Alejandro Sánchez Arteaga; en ambos lugares se observa áreas de cultivo y nivel de saturación superficial. Asimismo, pobladores nativos indican que en el sector Yapatera existió una antigua laguna que desapareció a través de los años, dejando a la fecha solo suelos con humedad y vegetación (Figura 12). La segunda capa compuesta por suelos moderadamente rígidos en capas de 13 y 25 metros de espesor y velocidades de ondas de corte que varían entre 189 y 244 m/s. Estos suelos se distribuyen en gran parte de área de estudio.

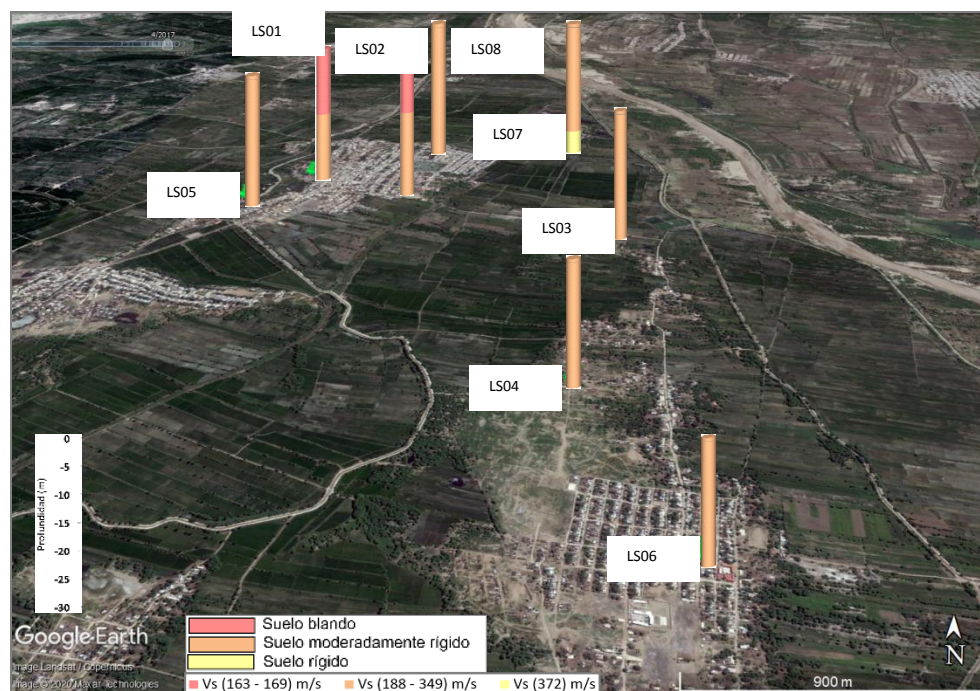


Figura 11. Distribución espacial de los perfiles del suelo sobre la superficie topográfica en el área urbana de La Arena. Los puntos en verde representan la ubicación de los ensayos MASW



Figura 12. Suelos cuya humedad es observada en superficie en el área urbana de La Arena.

1.3. Tomografía Eléctrica ERT: La tomografía eléctrica permite obtener datos sobre las propiedades físicas del subsuelo mediante la evaluación del parámetro de resistividad al paso de la corriente eléctrica. Esta propiedad permite conocer la resistividad del subsuelo asociado a la presencia de capas y superficies con mayor o menor contenido de agua, sales disueltas presentes en las fracturas de las rocas y en la porosidad del suelo.

13.1. Adquisición de datos

Los datos recolectados en campo corresponden al registro de valores de resistividad obtenidos en 10 líneas de ERT distribuidas en la zona de estudio, tal como se observa en la Figura 13. El instrumental utilizado en campo corresponde a un Equipo de Resistividad / IP Syscal Pro de marca Iris Instruments. En la Tabla 4, se detalla las características de las líneas de ERT realizadas en la localidad de Talara. Para la instalación de los equipos y los tendidos de los cables para la adquisición de los datos, en algunos sectores se tuvieron limitaciones de acceso y de espacio.

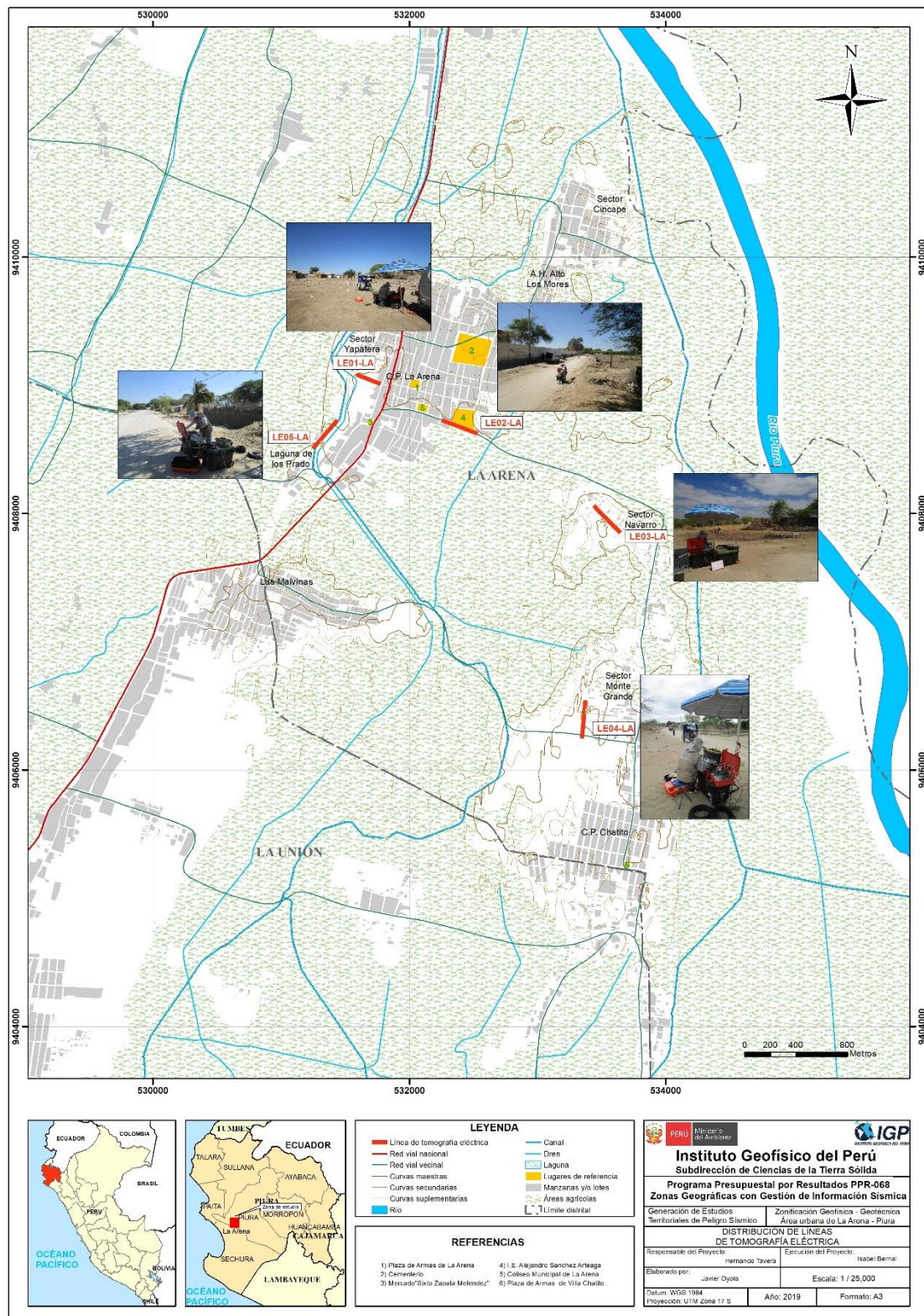


Figura 13. Distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como LE01-LA, LE05-LA del área urbana de La Arena.

Tabla 4: Coordenadas y características del ensayo ERT realizados en La Arena.

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

1.3.2. Procesamiento de datos

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

Para el análisis de los resultados se debe tener en cuenta que son varios los factores que influyen en las características de los suelos (grado de saturación, porosidad y forma del poro, salinidad del fluido, tipo y composición de la roca, temperatura y procesos geológicos que afectan a los materiales); es decir, el incremento de fluidos en el terreno se verá reflejado por una disminución en los valores de resistividad. En la Tabla 5, se presentan algunos valores de Resistividad relacionados a los distintos tipos de suelos y rocas.

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

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

1.4. Análisis y resultados

Se realizaron 05 líneas de tomografía eléctrica en el área urbana La Unión a fin de conocer el grado de saturación del suelo mediante los valores de resistividad. En la Figura 4, se presenta el mapa con la ubicación de las líneas y en las Figuras 14 y 15, las imágenes con la disposición de las diferentes líneas y en la Figura 16, los resultados obtenidos para la línea LE01-LA y para el resto de los perfiles, ver Anexos.

Las líneas LE01-LA, LE02-LA, LE05-LA realizadas en el extremo oeste y noroeste en el sector la Yapatera, frente a la I.E. Alejandro Sánchez Arteaga y al C.P. Laguna de Los Prados, próximos al canal y dren de regadío, muestran el predominio de valores muy bajo resistivos (<20 Ωm) indicando que el suelo presenta gran contenido de humedad por la influencia de los canales de regadío y el dren, además de la presencia de terrenos agrícolas y vegetación a los alrededores de estas líneas (Figura 14).

En la línea eléctrica LE03-LA, realizada al extremo este del área urbana en el sector Navarro. Se identifica el predominio de valores medianamente resistivos (>100 Ωm) desde superficie y aumenta en profundidad. En superficie se presentan valores de bajo resistivos a muy bajo

resistivos ($<100 \Omega.m$), sugiriendo que el suelo presenta alto grado de saturación asociada a la proximidad de zonas de cultivo y al río Piura.

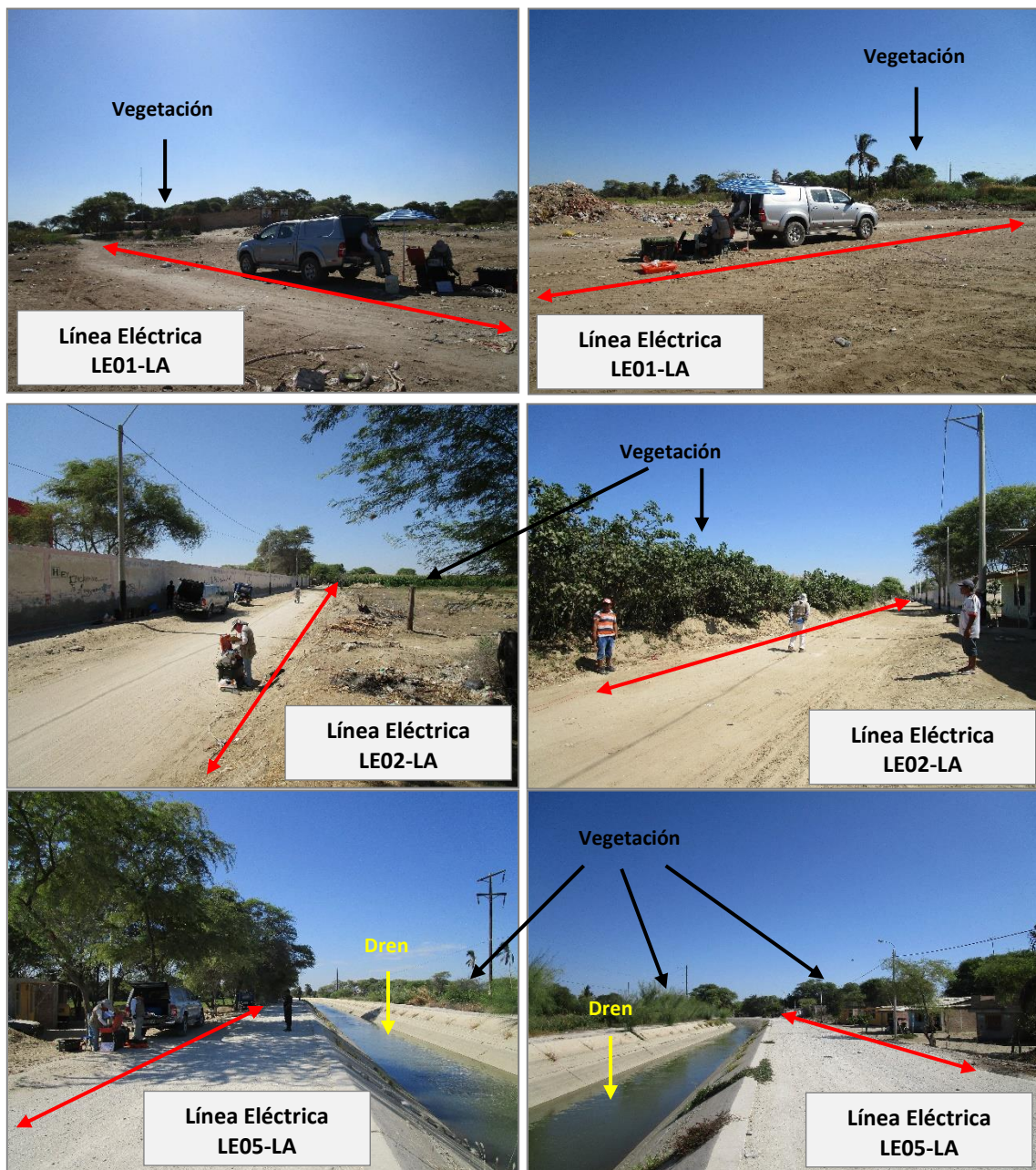


Figura 14. Vista de la línea eléctrica LE01-LA, LE02-LA y LE05-LA.

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

superficie el predominio es de los valores bajo resistivos ($<20 \Omega.m$), correspondiendo a medios saturados.

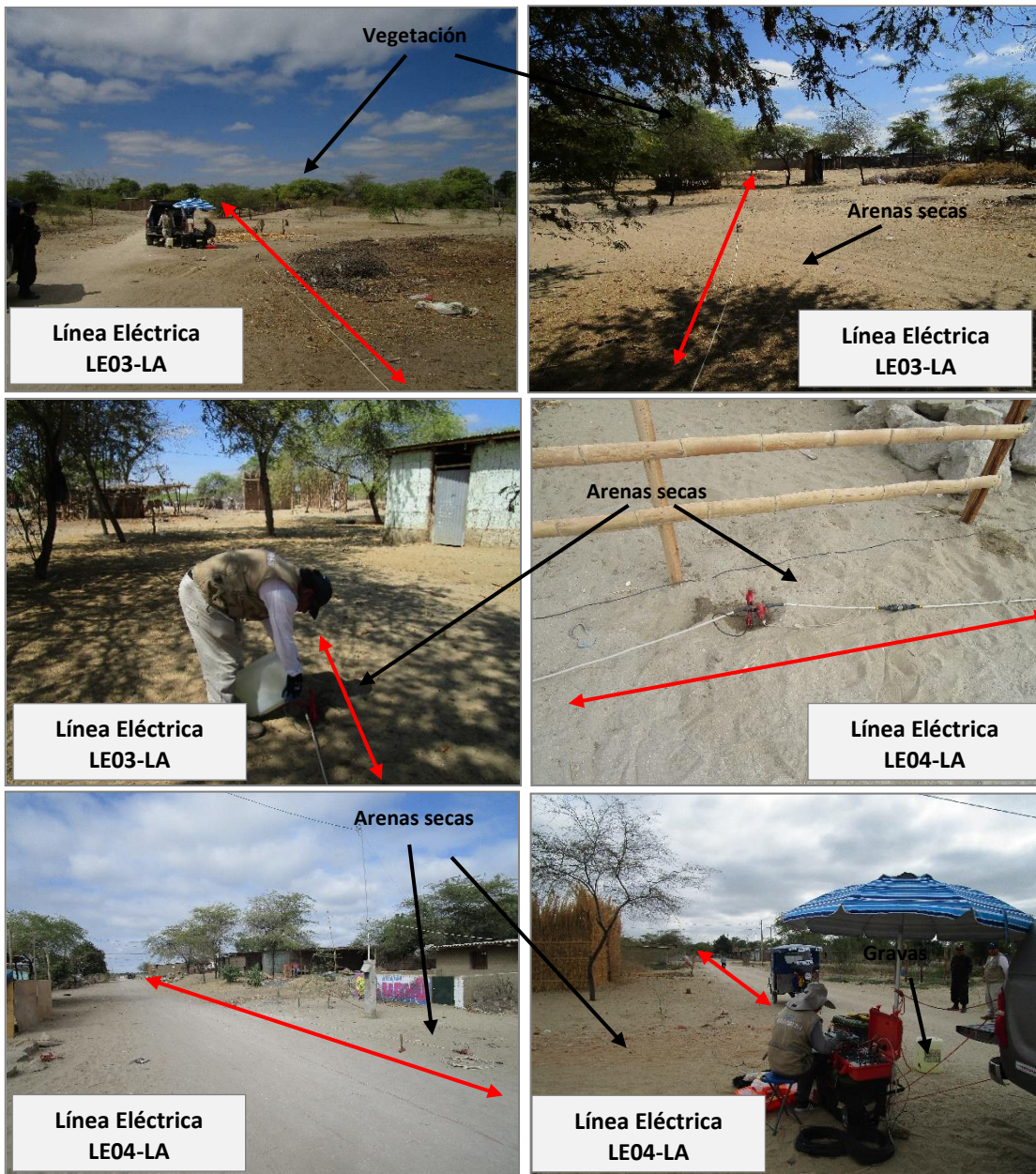


Figura 15. Vista de la línea eléctrica LE03-LA, LE04-LA.

Hacia el extremo oeste del área de estudio, los cortes geoelectricos evidencian la presencia de suelos saturados, principalmente en los sectores de la Yapatera, en los alrededores del I.E. Alejandro Sánchez y en el C.P. Lagunas de los Prados. Los niveles de saturación se presentan desde la superficie, debido a la influencia de los canales de regadío, el sistema de

dren y los terrenos de cultivo, el medio saturado supera los 40 metros de profundidad desde la superficie. El suelo está caracterizado por arenas no consolidadas que permiten el almacenamiento de agua subterránea, esto aumenta la posibilidad de producirse licuación de suelo durante la ocurrencia de un evento sísmico.

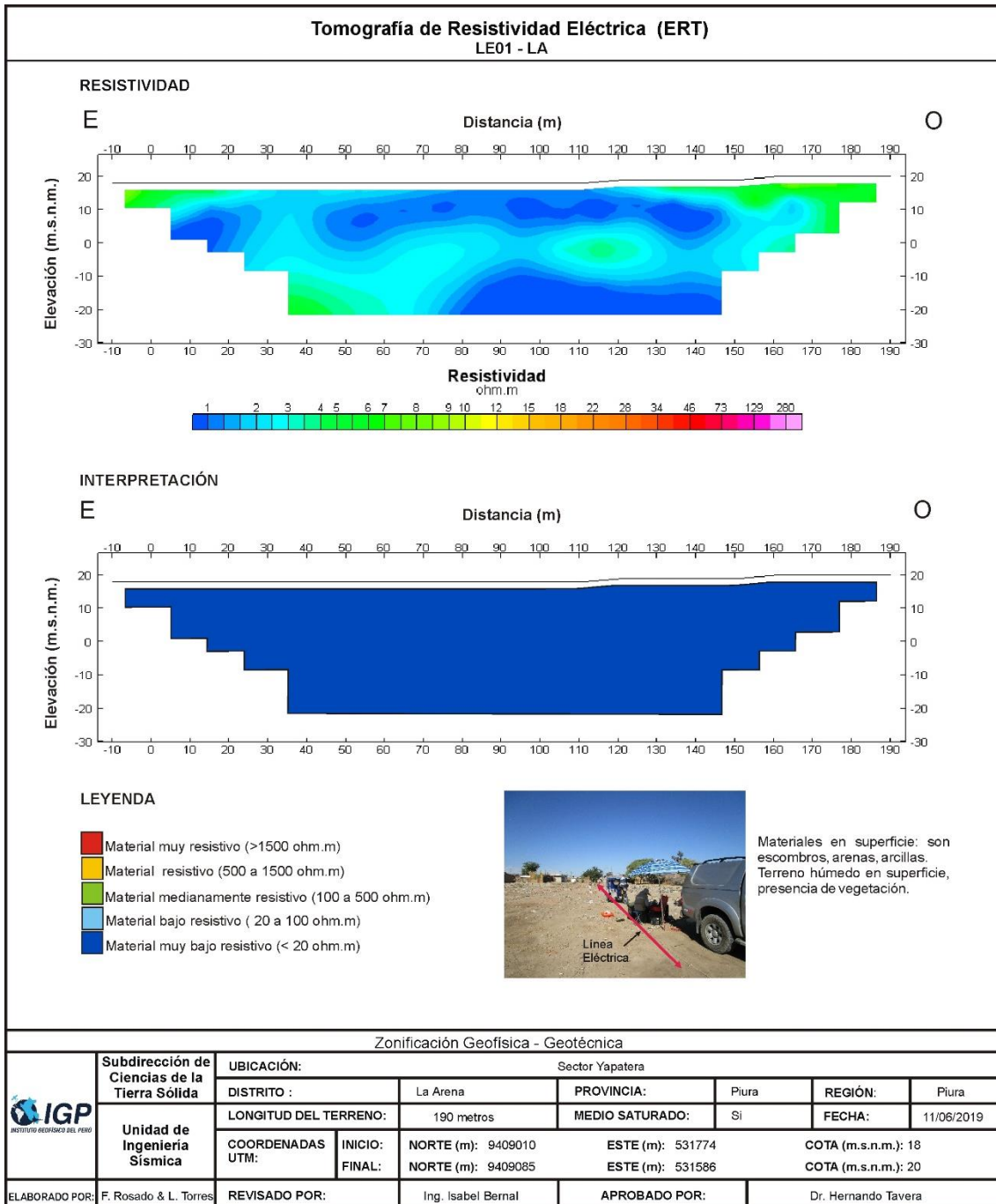


Figura 16. Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-LA.

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

2. ZONIFICACIÓN DE SUELOS

El mapa de zonificación Geofísica y Geotécnica se ha elaborado considerando la correlación de la información generada con la aplicación de las técnicas geofísicas y geotécnicas; así como información geológica, geomorfológica y geodinámica para el área de estudio. Finalmente, con base a los resultados obtenidos y la información contenida en la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente, se delimita zonas cuyos suelos presenten similares características físicas y dinámicas.

2.1. Integración de resultados

El área urbana de La Arena se encuentra a una altura promedio de 25 m.s.n.m., presenta una superficie ligeramente ondulada con pendientes bajas, condiciones geomorfológicas que influyen en los resultados obtenidos. En general, el suelo responde a periodos entre 0.5 y 0.7 segundos agrupados de la siguiente manera (Figura 17): Los periodos de 0.5 segundos se identifican principalmente en el cercado, A.H. Altos los Mores y en el sector Cincapi, y los periodos de 0.6 y 0.7 segundos, de manera homogénea en el resto del área de estudio. De acuerdo al análisis sísmico, predominan en superficie suelos moderadamente rígidos ($V_s = 189 - 349$ m/s) con espesores que superan los 30 metros a excepción del sector norte (A.H. Alto Los Mores), en donde el espesor de la capa superficial es de 25 metros.

De manera puntual, en los sectores de Yapatera y el I.E. Alejandro Sánchez Arteaga, se identifica la presencia de una capa superficial entre 11 y 15 metros de espesor, y suelos que presentan bajas velocidades V_s ($V_s = 163 - 169$ m/s), evidenciando la presencia de suelos blandos. Por otro lado, se ha identificado la presencia de suelos saturados desde niveles próximos a la superficie en áreas próximas al canal de drenaje: sectores Yapatera, Monte Grande y por el I.E. Alejandro Sánchez Arteaga debido a la influencia del río Piura y a la infiltración que se originan durante los periodos de lluvias

intensas y/o el fenómeno de El Niño. Estas mismas observaciones fueron hechas en los estudios realizados por CENEPRED (2017, 2018) e INRENA (2004).

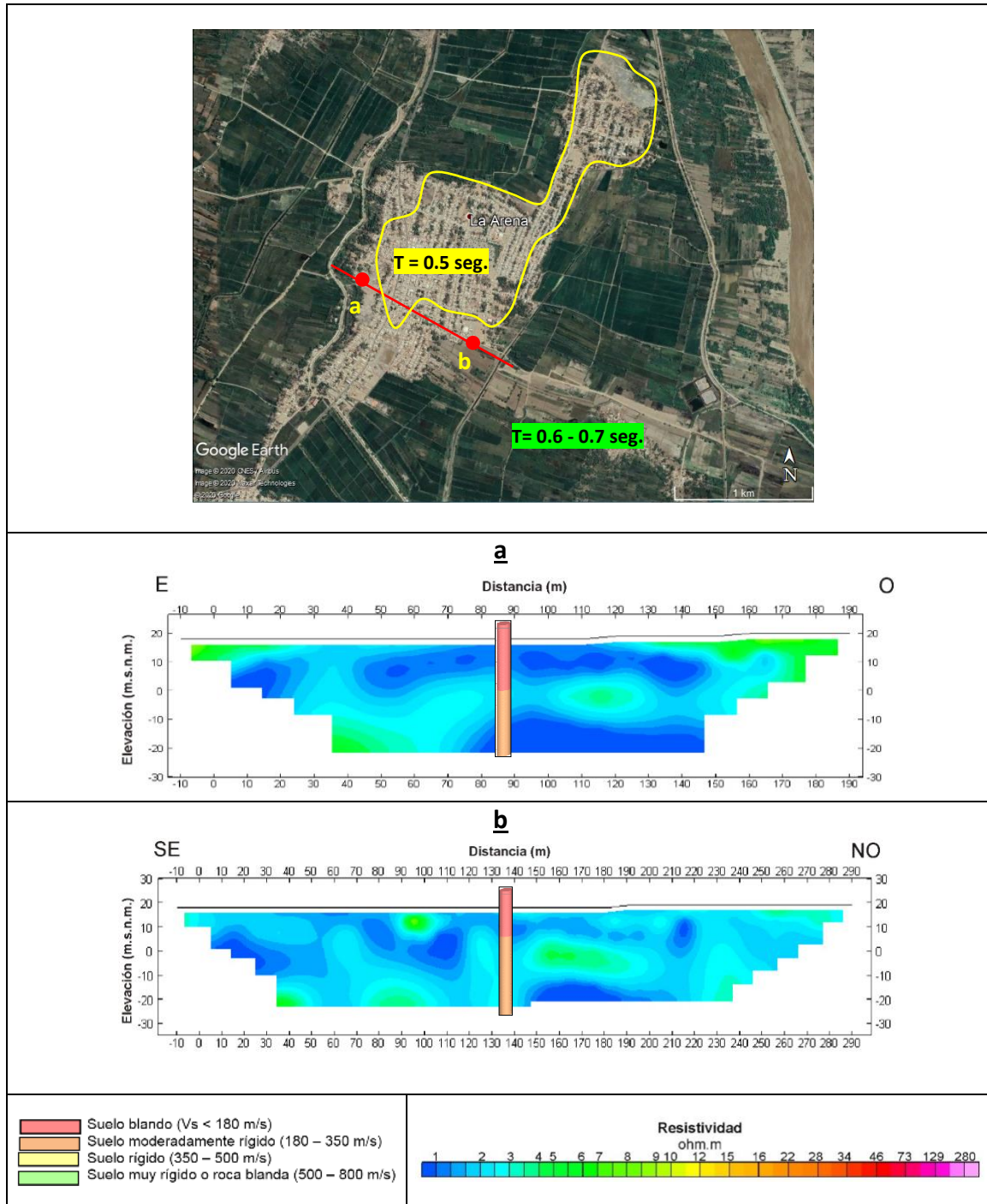


Figura 17: Correlación entre los resultados obtenidos de los ensayos geofísicos, periodos dominantes, tipo y grado de saturación del suelo

En el área de estudio, las amplificaciones máximas relativas alcanzan valores de hasta 4 veces, evidenciando la presencia de suelos menos consistentes y con alto nivel freático, principalmente en los sectores de Yapatera, Las Malvinas y Navarro. En general, los suelos del área urbana La Arena, al estar constituido de arenas y limos, y presentar bajas velocidades para las ondas de corte (V_s) y con un alto grado de saturación, evidencian un alto peligro ante la posible ocurrencia de sismos.

2.2. Mapa de Zonificación Sísmica

El mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana de La Arena, se elabora con la integración de los resultados obtenidos del análisis geofísico, geológico y geotécnico. Del mismo modo, considerando la Norma Técnica de Construcción Sismorresistente E.030, las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas, se ha identificado para el área de estudio la existencia de suelos de Tipo S2 y S3; es decir, Zonas II y III respectivamente. Finalmente, para el área urbana de La Arena, se propone la siguiente Zonificación Geofísica - Geotécnica (Figura 18):

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

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

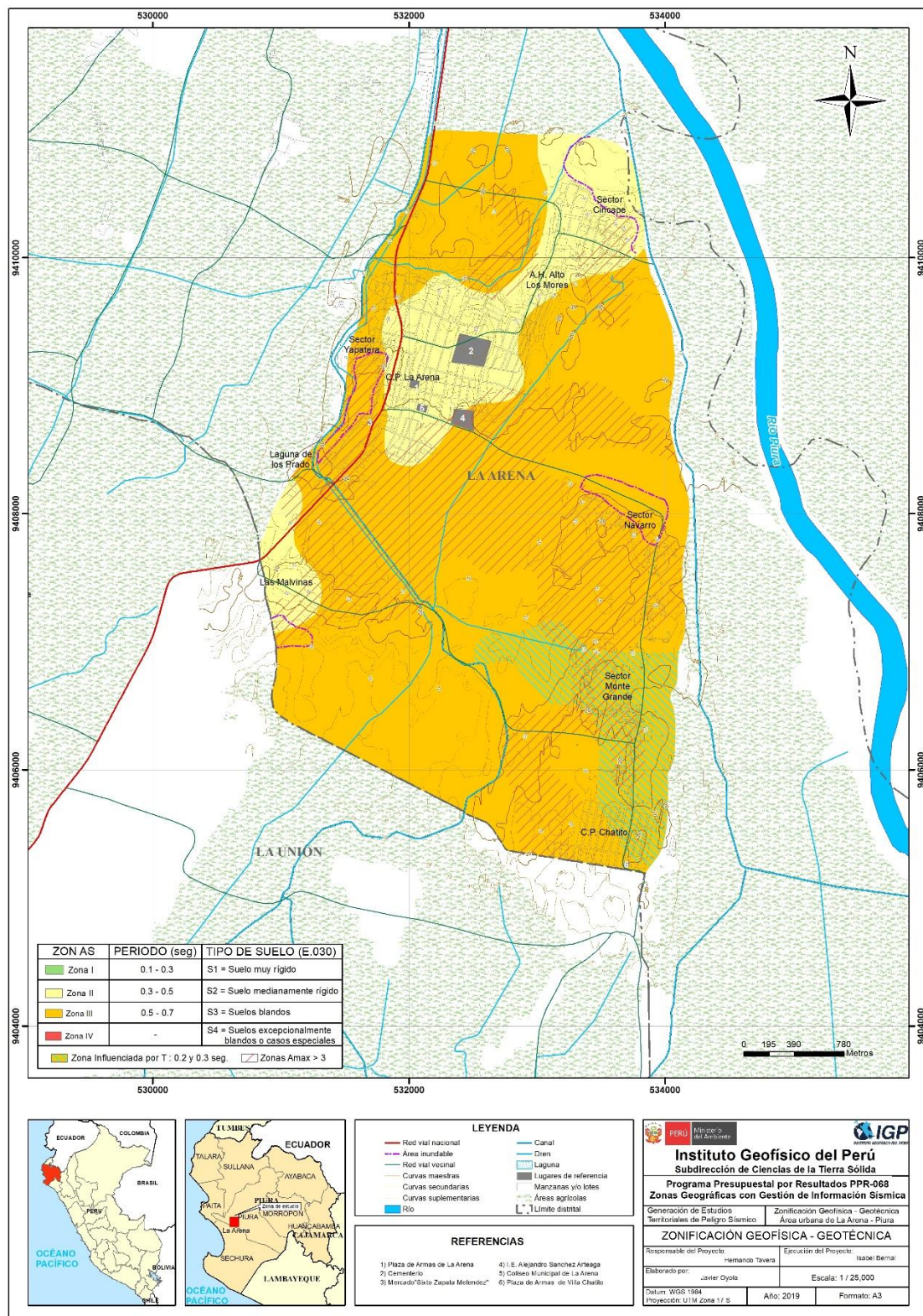


Figura 18: Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica del área urbana La Arena.

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

En la Figura 18, las líneas inclinadas de color verde delimitan áreas que se encuentra influenciadas por un segundo rango de periodos bajos que varían entre 0.2 y 0.3 segundos: sector de Monte Grande y C.P. Chatito. Del mismo modo, en las zonas II y III, las líneas inclinadas en rojo delimitan a las áreas donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 3 veces; por lo tanto, de ocurrir un sismo, los mayores sacudimientos se presentarían en los sectores de Navarro, Yapatera, Las Malvinas y C.P. Chatito. Asimismo, en la Figura 18 se delimita con una línea discontinua, los sectores con niveles de inundación pluvial y fluvial originada por el fenómeno El Niño en el año 2017. Estos sectores corresponden a Cincape, Navarro, Yapatera y las Malvinas.

La Zonificación Geofísica y Geotécnica para el área urbana de La Arena, condiciona el tipo de estructura que se debiera construir a fin evitar que esta experimente el fenómeno de resonancia suelo-estructura y/o una doble amplificación sísmica.

CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Sísmica-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana de La Arena, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Los suelos del área urbana de La Arena responden principalmente a frecuencias entre 1.1 y 2.8 Hz con amplificaciones de hasta 4 veces. Puntualmente, los suelos del sector Monte Grande y el C.P. Chatito, son sensibles a un segundo pico a frecuencias de 3.0 y 4.0 Hz con amplificaciones menores a 2 veces.
- Las altas amplificaciones observadas en los suelos del C.P. Chatito, Monte Grande, Navarro, extremo sur de Cincape, Las Malvinas, Lagunas de los Prados y Yapatera indican menor consistencia. Contrariamente, los suelos entre la Plaza de Armas, el A.H. Alto Los Mores y el extremo norte de Cincape, son más compactos.
- Se identifica la existencia de dos tipos de suelo; el primero con suelos blandos y velocidades de ondas de corte (V_s) que varían entre 163 a 169 m/s y espesores entre 11 a 15 metros: sector Yapatera y por el I.E. Alejandro Sánchez Arteaga. La segunda capa, compuesta por suelos moderadamente rígidos, velocidades que varían entre 189 y 244 m/s y espesores entre 13 y 25 metros.
- Al oeste del área urbana, se identifica la presencia de suelos saturados: sector de la Yapatera, alrededores del I.E. Alejandro Sánchez, C.P. Chatito y C.P. Lagunas de los Prados. Asimismo, conforme se tiende hacia el extremo Este del área de estudio, los suelos están parcialmente saturados.
- Los resultados obtenidos en este estudio para el área urbana de La Arena han permitido identificar la existencia de suelos de Tipo S2 y S3.

BIBLIOGRAFÍA

- Academy Press, Transportation Research Board Special report 176. 9-33 p
Braja Das, (2011) - Principles of Foundation Engineering, Seven Edition, pág. 139-140.
- Bard, P-Y. (1995) Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323
- Bard, P-Y y SESAME (2004) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 16, 2004 Paper No. 2207
- Beresnev, I.A., K.L. Wen, and Y.T. Yeh 1995a, "Nonlinear Soil Amplification: It's Corroboration in Taiwan. Bull, Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 496-515
- Bernal, I. (2006) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, México. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- Bernal, I., Tavera, H., Sulla, W., Arredondo, L., & Oyola, J. (2018). Geomorphology characterization of Ica basin and its influence on the dynamic response of soils for urban seismic hazards in Ica, Peru. International Journal of Geophysics, 2018, article ID 9434251, 12. <https://doi.org/10.1155/2018/9434251>.
- Brusi, D., et al (2013) - Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. ISSN: 1132-9157. Pág. 181-194.
- Cahill & Isacks (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- Cenepred, (2018) – Informe De Evaluación De Riesgo Por Inundación Pluvial En Los Centros Poblados Chatito-Canizal Chico, Área urbana De La Arena, Provincia De Piura, Departamento De Piura
- Crespo V., C., (2004) - Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 5ta edición.
- COEN-INDECI (Informe N° 62), 2017-INFORME N° 855-21/12/2017

- CISMID, (2016) - Densidad de campo. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Laboratorio Geotécnico.
- Chow, V., T., Maidment, D., R., & Mays, L., W., (1994) - Hidrología Aplicada Bogotá, McGrawHill, pág. 584.
- De Marco, Pietro, (2002) - Corrección del índice de resistencia a la penetración. Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2002. 315 p.
- Diario El Comercio, (2015) – Máncora pierde el 70% de su humedal debido a invasiones
- Dorbath, L., Cisternas, A., Dorbath, C. (1990). Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Peru. Bull. Seismol. Soc. Am., 80 (30), 551-576.
- Flores-Estrella, H., Lomnitz, C. y Yussim S. (2004). "Estimación de velocidades de fase a partir del análisis de microtemores con el método SPAC", Geophysics, Vol. 24, N° 3, 438-445
- Gasulla, M.; Jordana, J.; Pallás, R.; Torrents, J.M. (1998). Subsurface resistivity measurements using square waveforms. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 47(1): 74-77.
- GITS-Grupo de Investigación de Transporte de Sedimentos.
- GORE Piura, (2006) – Estudio De Diagnostico Y Zonificación Para El Tratamiento De La Demarcación Territorial En La Provincia De Piura
- Harvey, A., M., 1987. Patterns of Quaternary aggradational and dissectional landform development in the Almeria region, southeast Spain: a dry-region tectonically-active landscape. Die Erde 118, 193-215.
- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. Bull. Seism. Soc. Am. 82, 2308-2327
- Howie D., & Sy, (2003) - A method for correlating large penetration test (LPT) to standard penetration test (SPT) blow counts.
- Hutchinson, J., N., (1968) - Mass Movement. In the 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. 2016. Aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada por Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA.
- Orellana, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Palacios, O, (1994) - Geología de los cuadrángulos Paita 11-a, 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.
- Park, C.B. (2015). Data acquisition. Retrieved 23 June, 2015, from <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>
- Park, C.B. (2014). MASW for geotechnical site investigation. *The Leading Edge*, 32(6):656-662.
- Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW)—active and passive methods. *The Leading Edge*, 26 (1), 60–64.
- Park, C. B., Miller, R. D. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves *Geophysics* 64 800-8.
- Perrone, A., Iannuzzi, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Rizzo, E., and Sdao, F. (2004). Highresolution electrical imaging of the Varco d'Izzo earthflow (southern Italy), *J. Appl. Geophys.*, 5 56, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004
- Pike, R. J., I. S. Evans, and T. Hengl. 2009. *Geomorphometry: A brief Guide*. *Dev. Soil Sci.* 33: 3-30.
- Reynolds, J.M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Romaní, F. et al. (2017). Informe de evaluación de riesgo por inundación pluvial en el centro poblado La Arena, Área urbana La Arena, provincia de Piura, departamento de Piura. Informe técnico. CENEPRED. p 64.
- Romaní, F. et al. (2018). Informe de evaluación de riesgo por inundación pluvial en el centro poblado Chatito – Canizal Chico, Área urbana La Arena, provincia de Piura, departamento de Piura. Informe técnico. CENEPRED. p 69.

- Samouëlian, A., I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand y G. Richard, (2006). Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil Till Res* 83, 173-193
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), (2018). <http://www.senamhi.gob.pe/>
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12: (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.
- Sieberg, A. (1930). Los Terremotos en el Perú. Capítulo VI, Geología del Perú de G. Steinmann, Heidelberg Carl Winster Universitat-Shuchhan-Lunc, p. 406.
- Silgado, E (1978) Historia de sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974) primera edición digital, noviembre 2012.
- Silgado, E. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513 -1974). INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 3, 130 p.
- Tar buck, 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 Bufo rn, E. (2001). Source Mechanism of Earthquakes in Perú, *Journal of Seismology*, 5, 519-539.
- Tavera, H., Agüero, C y Fernández, E. (2016). Catálogo general de isosistas para sismos peruano. Instituto Geofísico del Perú. Pag. 196
- Terzaghi, K. Peck, B., G. & Mesri, G., (1948) – Soil mechanics in engineering practice, New York: Wiley.
- Varnes, D.J., (1958) - Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Washington, D.C. 20-47 p.
- Xia, J., Miller, R.D., and Park, C.B., 1999, Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh wave: *Geophysics*, 64, 691–700.

- Zenteno, E y Sánchez, C. (2004). Inventario de fuentes de aguas subterráneas en el valle medio y bajo de Piura. Informe técnico. INRENA. p 143.
- Zinck, J. & Valenzuela, C., (1990) – Soil geographic database: structure and application examples. ITC Journal, 1990(3), 270-294

ANEXO

La información que se detalla está contenida en el DVD que se adjunta al presente Informe Técnico “Zonificación Geofísica – Geotécnica del área urbana de La Arena”.

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

2.- Información Geofísica

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