



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 SÍSMICA – GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE PIURA

Lima - Perú

2019

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Sísmica y Geofísica de la Ciudad de Piura

Juan Carlos Gómez

Caracterización Geológica y Geotécnica de la Ciudad de Piura

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Pilar Vivanco/ Mariana Vivanco/

Equipo de Evaluación Sísmica y Geofísica: Fabiola Rosado / Henry Salas / Wilfredo Sulla Liliana Torres / Javier Oyola / Kelly Parí / Luz Arredondo / Jesús Huarachi / Jorge Salas

Personal de apoyo: Augusto Cárdenas / Roberth Yupanqui

Personal administrativo: Marisol Enríquez

Este Informe ha sido producido por:

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

**ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DE LA
CIUDAD DE PIURA**

Distrito de Piura – Provincia de Piura – Región Piura

RESUMEN

En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” obteniéndose como resultado final, la Zonificación Sísmica - Geotécnica de las áreas urbanas de las ciudades/localidades de Sechura y C.P. Parachique (distrito de Sechura), Piura (distrito de Piura), Castilla (distrito de Castilla), Sullana (distrito de Sullana), Paita (distrito de Paita), Chulucanas (distrito de Chulucanas) y Catacaos (distrito de Catacaos). 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 Sísmica – Geotécnica de los suelos de la ciudad de Piura”, 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.

El presente informe está constituido por tres (3) partes, en la primera se realiza la presentación de las características del área de estudio, las conclusiones y recomendaciones generales obtenidas en el presente estudio. En la segunda parte, se presenta el desarrollo del estudio realizado para la caracterización geológica y geotécnica y en la tercera, la caracterización geofísica: En ambos casos, para la ciudad de Piura. Finalmente, en un DVD se adjunta toda la documentación y mapas temáticos generados durante la realización del presente estudio.

ÍNDICE

RESUMEN

ÍNDICE

PARTE 1: Presentación

1. Introducción

1.1. Objetivo

1.2. Historia

1.3. Accesibilidad y clima

1.4. Economía

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 de la ciudad de Piura.

PARTE 3: Caracterización Sísmica y Geofísica de la ciudad de Piura.

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS: Documentos y Anexos se adjuntan en un DVD.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del Programa Presupuestal por Resultados N°068 “**Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres**”, el Instituto Geofísico del Perú ejecutó durante el año 2018 el Proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**” y como parte del mismo, la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrollo la Actividad “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana de las siguientes ciudad es (Figura 1):

- **Piura**, distrito de Piura, provincia de Piura, región de Piura.
- **Castilla**, distrito de Castilla, provincia Castilla región de Piura.
- **Sullana**, distrito de Sullana, provincia de Sullana, región de Piura.
- **Paita**, distrito de Paita, provincia de Paita, región de Piura.
- **Chulucanas**, distrito de Chulucanas, provincia de Morropón, región de Piura.
- **Catacaos**, distrito de Catacaos, provincia Catacaos, región de Piura.
- **Sechura y Parachique**, distrito de Sechura provincia de Sechura, región de Piura.

De acuerdo a la historia sísmica del Perú, la región norte ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de 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.

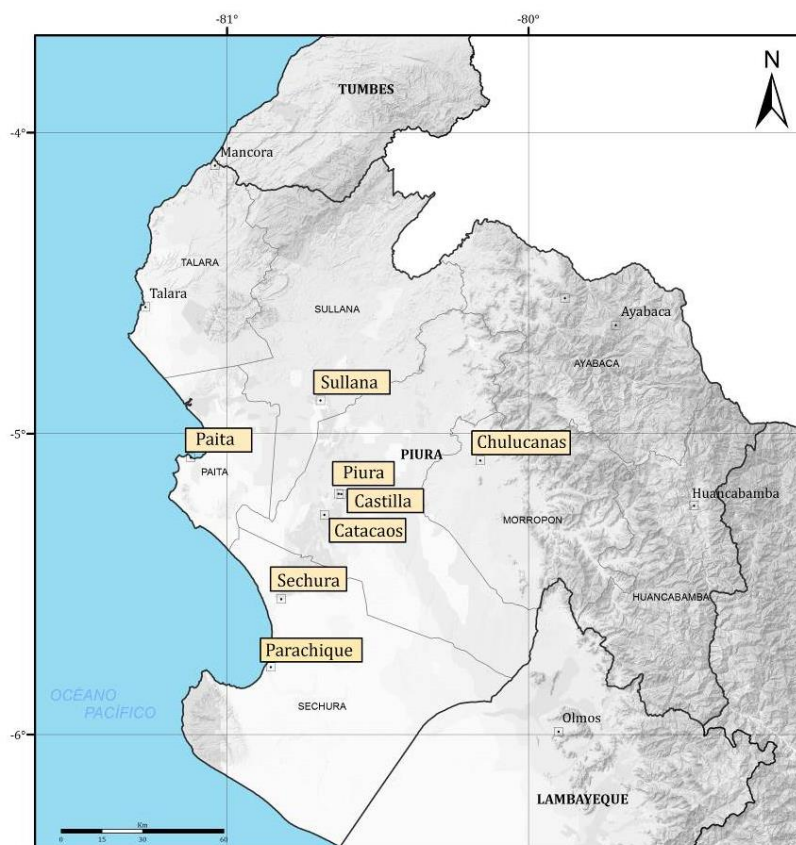


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades intervenidas durante el año 2018: Zonificación Sísmica– Geotécnica de suelos.

Los estudios de Zonificación Sísmica – 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, 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 localidad de Piura 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 Sísmica – 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 Sísmica – 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 Sísmica - Geotécnica para la ciudad de Piura, provincia y región de Piura, a partir de la integración de los resultados obtenidos con diferentes métodos sísmicos, 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.

El distrito de Piura es uno de los diez distritos que conforman la provincia y región Piura, presenta una extensión de 621.2 km², con una densidad poblacional de 255 hab/km². Limita por el norte con el distrito de Sullana y Tambogrande, al este con el distrito de Castilla; al sur y suroeste con el distrito de Catacaos y Veinteseis de Octubre; y por el oeste con el distrito de Paita. Dentro de la división eclesiástica de la Iglesia católica del Perú, forma parte de la Arquidiócesis de Piura (Figura 2).

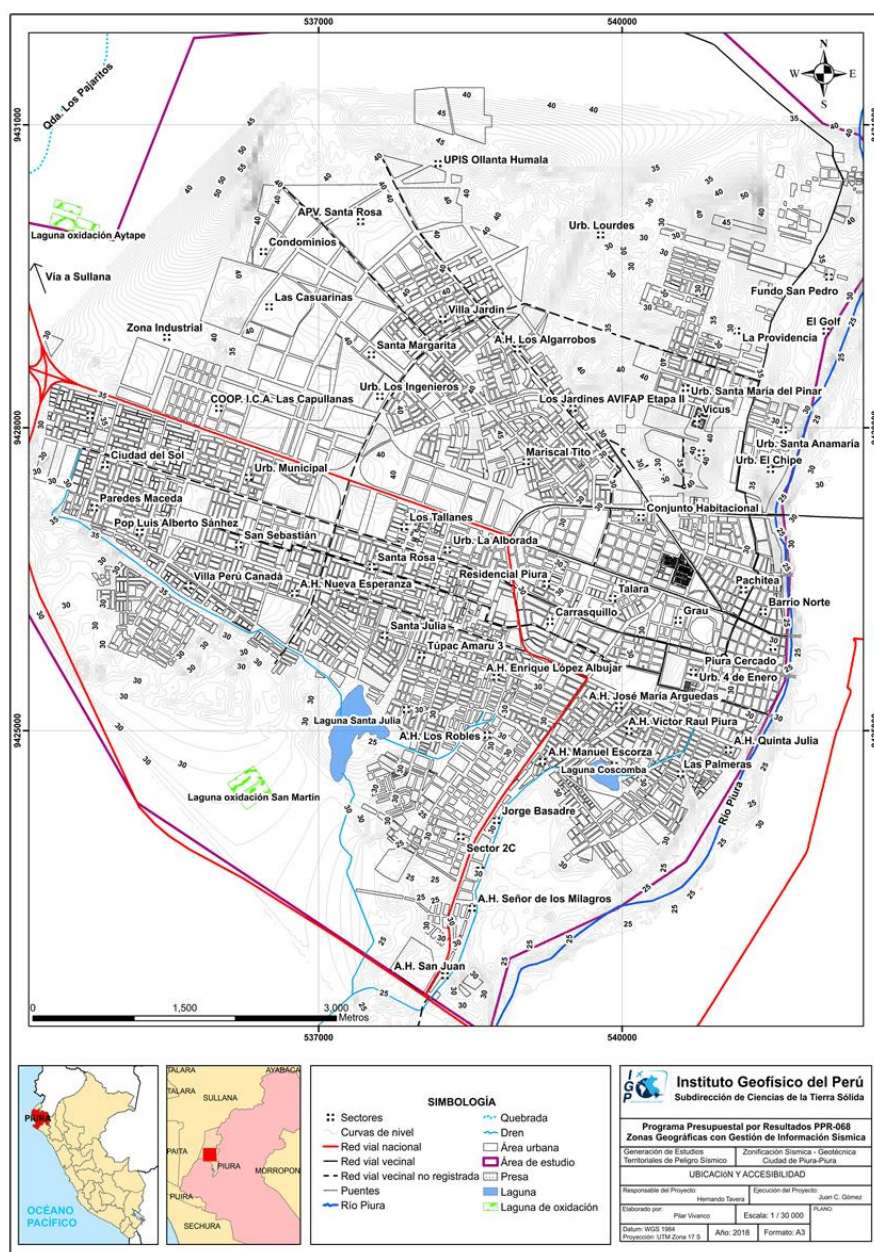


Figura 2: Mapa de ubicación geográfica de la ciudad de Piura.

1.2. Historia

Piura es la primera ciudad fundada por los españoles en Sudamérica en el año 1532, conocida también como Feria de Integración Fronteriza Peruano-Ecuatoriana. El nombre de Piura deriva de la palabra quechua "Pirhua" que significa granero o depósito de abastecimiento. En tiempos remotos, Piura era una base de abastecimiento de los pobladores quechuas. La ciudad se convirtió entre 1535 y 1570 en un núcleo de cierta relevancia que acogió a visitantes ilustres y pudo ensayar una planificación urbana completa. La ciudad tuvo Iglesia Matriz, Convento de Mercedarios y Casas del Cabildo, alcanzando hacia mediados del siglo XVI un centenar de vecinos.

Durante la época de la colonia, y en su último asiento, la vida en Piura transcurrió en paz y tranquilidad, llegando a ser puerta y paso obligado desde España hacia Lima, ya que por aquel entonces, el puerto de Paita ofrecía las mejores ventajas para los barcos que venían de la metrópoli. Cada uno de los virreyes ingresaba por mar al Perú, por Paita, luego llegaba a Piura, continuando su viaje por tierra a la capital. En la ciudad se erguían las casonas de los propietarios de tierras agrícolas y de estancias, así como las viviendas de los funcionarios y de personas que desarrollaban actividades conexas y de servicios. Se producían los afamados cordobanes, todo tipo de cueros y jabones, en curtiembres y en las denominadas tinas ubicadas en la parte norte de la ciudad, su primera zona industrial, artículos que formaban parte del torrente de exportación e intercambio comercial desde la región hacia el interior del país y hacia Guayaquil, Loja y Cuenca, a los que se aunaban cecina y sebo de la estancia de Tagarará, toyo salado y sal de Colán y Sechura, respectivamente, papa, maíz y trigo de Huancabamba, papa y subproductos de la caña de azúcar de Ayabaca, y algodón de Catacaos (Figura 3).

Actualmente, según el censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el 2017, el distrito de Piura registró un total de 158,495 habitantes establecidos en 38,816 viviendas, de las cuales el 35% se encuentran expuestas a inundaciones, ver Anexo.



Figura 3: Plaza principal de la ciudad de Piura.

1.3. Accesibilidad y Clima

El acceso a la ciudad de Piura se realiza por la carretera Panamericana Norte, vía asfaltada en regular estado de conservación desde la ciudad de Lima, Piura se encuentra a 987 km., de distancia. Por vía aérea, desde Lima el tiempo de viaje es de 01:30 horas.

Para determinar las condiciones climáticas en la ciudad de Piura, se ha tomado los datos referenciales de la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). La estación San Miguel está ubicada en las coordenadas geográficas; Latitud: 5°14'46.33", Longitud: 80°41'3.69", cota 24 m.s.n.m. y a 8 km al suroeste del centro urbano. Según la información registrada en esta estación (período 2013-2017), la ciudad presenta un clima seco con temperatura media mensual, que durante los meses de verano oscila entre 33 y 35°C, mientras que, en invierno, desciende hasta 17 °C (Figura 4 y Tablas 1 y 2).



Figura 4: La Estación meteorológica San Miguel se ubica a 8 km al suroeste del centro urbano de Piura.

Tabla 1: Temperaturas máximas y mínimas medias mensuales (2013-2017), recopilados de la estación meteorológica San Miguel. SENAMHI, 2018. Dónde: SD Sin datos.

Departamento: Piura		Estación: San Miguel 000247		Provincia: Piura		Distrito: Catacaos						
Latitud: 5°14'46.33"		Longitud: 80°41'3.69"		Altitud: 24 m.s.n.m.								
Temperaturas máximas y mínimas promedios registradas en la estación San Miguel durante el período 2013-2017												
Variable	MESES											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
T° Max. Promedio (°C)	34.93	35.56	35.01	33.67	31.74	30.65	30.05	30.10	31.02	30.98	31.39	33.27
T° Min. Promedio (°C)	21.90	22.84	22.95	20.73	20.27	18.58	17.01	17.01	17.36	17.81	17.31	19.41

Tabla 2: Precipitaciones mensuales periodo (2013-2017), recopilados de la estación meteorológica San Miguel. SENAMHI, 2018. Dónde: SD Sin datos.

Precipitaciones promedios registradas en la estación San Miguel durante el período 2013-2017												
AÑO	MESES											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2013	0.5	3.5	42	0.8	3	0	0	0	0	1.2	0	0
2014	0	9.6	5.3	2.1	0.4	0.2	0.1	0	0	1.6	0	0.5
2015	0	0.6	20.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0.6	26.9	25.35	5.6	0	0	0	0	0	0	0	1.1
2017	84	84.4	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

1.4. Economía

La principal actividad económica del distrito de Piura, es el comercio (INEI, 2007), seguido por el sector inmobiliario, construcción y sector transporte.

La población económica activa (PEA) es de 100,252 pobladores constituye el 39 % de la población.

La PEA de la ciudad de Piura tiene una mayor proporción en vendedores y comerciantes con un 48%, siendo el segundo lugar para los empleados sector inmobiliario y construcción (14%) y en tercera ubicación los empleados del sector transporte (11%), por lo que son las 3 principales actividades económicas de la localidad.

1.5. Estudios previos

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

- Mapa de Estimación de zonas inundables (CONIDA, 2017). La agencia espacial CONIDA, delimitó zonas inundables durante los meses de marzo-abril del 2017, a lo largo del cauce del río Piura y que afectaron a los distritos de Piura y Castilla. Delimitaron 7 zonas inundables que comprenden: Peligro Alto: Catacaos, Cumbibirá, Simbilá, La Legua, Susana Higucchi y Piura Cercado y Peligro Muy Alto: Urbanización Quinta Julia.

- Estudio Geológico-Geotécnico para el Expediente Técnico del Proyecto: Mejoramiento de los Servicios deportivos en el AA.HH. Túpac Amaru – sector II, Distrito Veintiséis de Octubre-Piura, Piura (Ingeniería Mecánica de Suelos, 2017). El área deportiva, se construirá en el área urbana de la ciudad de Piura, sobre la llanura de inundación aluvial del río Piura. El área está cubierta por depósitos eólicos constituidos por arenas acarreadas por el viento de dirección sur-oeste a nor-este. En cuanto a los fenómenos de geodinámica externa, la mayor actividad corresponde a los procesos de erosión e inundación de las zonas depresivas durante los períodos extraordinarios de lluvias, relacionadas con el Fenómeno “El Niño”; así como la deposición de arenas eólicas transportadas de sur a norte.

- Además, en este estudio se realizó, el Análisis de Licuación de Arenas donde se evidencio la presencia del nivel freático a profundidades entre 2.30 a 2.50 m.; por lo que, se recomienda realizar el mejoramiento por debajo de la cimentación para evitar este fenómeno.

- Estudio de mecánica de suelos para el proyecto: “Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal en el AA.HH. Las Dalias del distrito Veintiséis de Octubre-distrito y provincia de Piura (JNCL Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos-Municipalidad distrital de Veintiséis de Octubre, 2016)”. El estudio indica que se realizaron 15 calicatas y los resultados indican que las condiciones Geológico-Geotécnicas del área de estudio, corresponden a terrenos constituidos por arenas limosas y arcillas limosas de grano fino a lo largo del tramo a pavimentar. Es poco probable que se presente fenómenos de licuación de arenas. Los resultados de los ensayos muestran valores de un índice plástico bajo o nulo; por tanto, no es necesario realizar mejoramientos con capas de material granular como aislante.

- Estudio de suelos con fines de mejoramiento del parque infantil en la UPIS Villa Hermosa del distrito Veintiséis de Octubre, provincia de Piura, departamento de Piura, (Municipalidad distrital de Veintiséis de Octubre, 2015). En este estudio se realizaron dos prospecciones o pozos de exploración a cielo abierto. En la zona de la edificación se encuentran horizontalmente suelos de tipo limo de baja comprensibilidad. Los suelos presentan contenido de sales solubles y cloruros de valores bajos, mostrando agresividad leve del suelo al concreto; sin embargo, debido a la presencia de humedad natural se recomienda el uso del

cemento tipo MS. La profundidad de desplante Df ó nivel de fundación de las zapatas será tomada a una profundidad mínima de 1.50 m. a partir del terreno natural y según las condiciones de diseño proyectados. Es recomendable el uso de zapatas con anchos no menores de 1.50 m.

Por tanto, el Sistema de Inversiones Urbanas es la fuente de programas, proyectos de inversión pública (PIP), que permitirán contar, de manera organizada y sistemática, con un conjunto de planeamientos que respondan a los objetivos estratégicos de la propuesta integral de desarrollo urbano en el centro de Piura, Castilla y Catacaos. Las futuras zonas de expansión urbana corresponden a los caseríos La Mariposa y Ejidos de Huan con áreas de 16.68 y 10.30 Ha respectivamente.

- Riesgo Geológico en la Región Piura (Vílchez, et al, 2013). Los autores indican que, la frecuencia de peligros en la región Piura, teniendo en cuenta la variabilidad del clima, fenómeno El Niño y la complejidad geológica-geomorfológica, está marcada principalmente por las inundaciones y erosión fluvial. Entre las inundaciones históricas registradas en Piura y que ocasionaron graves daños a la infraestructura agrícola y vial ocurrieron en los años 1971-72, 1982-83, 1997-98 y 2001.
- Proyecto SEDI/AICD/AE/306/07 Programa de Reducción de Desastres para el Desarrollo Sostenible en las ciudades de Piura (Perú) y Machala (Ecuador). Estudio mapa de peligros de la ciudad de Piura (2008-2009). En este estudio se elaboraron 50 exploraciones superficiales (calicatas) y 87 ensayos de penetración dinámica ligera DPL hasta una profundidad máxima de 3.0 m. En la ciudad de Piura fueron 30 calicatas y 56 DPL.

En este proyecto se concluye que los suelos son de 6 tipos: Arenas mal graduadas (SP), arenas arcillosas (SC), arenas limosas (SM), arenas con limos y gravas (SP-SM), arcillas (CL) y limos (ML). Aproximadamente el 80% de la ciudad de Piura se encuentra emplazada sobre suelos cuya capacidad portante para una profundidad de cimentación igual a 1.20 m., está comprendida entre 0.50 a 0.75 Kg/cm². Estos suelos son predominantemente arenas mal graduadas con algo de limo (SP, SP-SM, SM) y en algunos casos arcillas de baja plasticidad o arenas arcillosas (CL, SC). Los alrededores de las Lagunas Santa Julia y Coscomba se encuentran emplazadas sobre suelos

permanentemente saturados y predominantemente arenosos pobremente graduados con algo de limo (SP, SP-SM), cuya capacidad portante para una profundidad de cimentación igual a 1.20 m., es menor o igual a 0.50 Kg/cm^2 . En el sector noroeste de la ciudad de Piura se presentan afloramientos conspicuos de arenisca alterada que originan suelos arenosos de media a alta compacidad (SP, SP-SM) y cuya capacidad portante para una profundidad de cimentación igual a 1.20 m., se encuentran entre 1.00 a 1.50 Kg/cm^2 . Las zonas con alto potencial de licuación se encuentran localizadas en los alrededores de la Laguna Santa Julia y Laguna Coscomba que se encuentran cubiertas por suelos arenosos pobremente graduados, sueltos y saturados en forma permanente a partir de una profundidad de 0.50 a 1.0 m., En estas zonas, la licuación puede llegar hasta los 3.0 m., ya que la compacidad del suelo, hasta esta profundidad es muy suelta (NSPT menor a 5) y el nivel freático se encuentra a menos de 1.0 m., de profundidad. El lecho del Río Piura también tiene un alto potencial de licuación por presencia de suelos arenosos saturados permanentemente.

Asimismo, se realizaron investigaciones de prospección geofísica: 6 líneas sísmicas y 6 de tipo MASW, de las cuales 8 fueron realizadas en la ciudad de Piura (LS-03, LS-04, LS-05, LS-06, MASW-03, MASW-04, MASW-05 y MASW-06) y los resultados obtenidos indican la existencia de 3 estratos:

En la zona Polvorines: Fueron analizadas las líneas sísmicas LS-03 y LS-04 y arreglos MASW-03 y MASW-04. Según el perfil sísmico obtenidos los suelos están constituidos por tres estratos; en el primero se halló un material con una velocidad de onda entre: $V_p = 383$ y 398 m/seg y $V_s = 183$ y 248 m/seg ; tiene un espesor variable de menor a 4.00 m., y está compuesta por arena eólica de compacidad suelta. Debajo de éste, se encontró un segundo estrato de arenas de compacidad firme, con una velocidad de onda entre: $V_p = 733$ y 765 m/seg y $V_s = 257$ y 330 m/seg , la potencia del estrato varía de 4.00 a 9.00 m. Finalmente, en el último estrato, las ondas alcanzan una velocidad entre $V_p = 1753$ y 1862 m/seg y $V_s = 277$ y 383 m/seg ., estando los suelos conformados por material arenoso de compacidad muy firme y saturada. En la zona de Salida a Sullana se analizaron las líneas sísmicas LS-05 y LS-06 y los arreglos MASW-05 y MASW-06. En este caso el perfil sísmico indica la presencia de tres estratos: en el primero la velocidad de onda varía entre $V_p = 395$ y 401 m/seg y $V_s = 214$ y 283 m/seg ; tiene un espesor variable menor a 4.00 m., y compuesto por arena

eólica de compacidad suelta. Debajo de ésta capa existe arenas de compacidad firme, con una velocidad de onda entre: $V_p = 674$ y 693 m/seg y $V_s=280$ y 362 m/seg; siendo la potencia del estrato 4.00 a 13.00 m. El último estrato, alcanza una velocidad de onda entre $V_p = 1660$ y 1769 m/seg y $V_s=314$ y 361 m/seg., estando posiblemente compuesta por arena de compacidad muy firme y saturada.

- Autoridad Autónoma Cuenca Hidrográfica Chira, (2007) - Plan de Defensa Ribereñas y Encauzamiento de Ríos. Resumen del Diagnóstico Situacional. Autoridad Autónoma Cuenca Hidrográfica Chira – Piura. Comité Interinstitucional, 2007. El estudio indica que la zona aledaña al puente Cáceres es muy vulnerable a ser inundada, relacionada a la erosión del cauce, caudales del orden de 3000 m³/s podrían sumergir el tablero del puente e inundar la ciudad de Piura.

El río Piura no tiene un sistema de control de avenidas en la cuenca alta. La represa Los Ejidos no tiene capacidad reguladora y sólo transporta los mismos caudales que llegan de la parte alta. Por lo tanto concluye, que un pico de crecida mayor que 2500 m³/s causa inundaciones y daños en el tramo bajo del río Piura. Descargas mayores de 3500 m³/s crearán una situación crítica en las ciudades de Piura y Castilla.

- El Proyecto de Mapa de Peligros de Piura – (Apoyo INDECI, 2002), plantea que “Los fenómenos de geodinámica externa, como las precipitaciones pluviales, son los que más afectaran la ciudad de Piura y de ellos, las inundaciones, sobre todo en zonas donde las cotas son menores a 25 m.s.n.m. En el caso del fenómeno “El Niño” son de carácter cíclico y en periodos de recurrencia de 12 años de promedio; aunque no siempre de la misma intensidad (en los últimos años el período de recurrencia se redujo considerablemente a menos de 6 años).

Asimismo, se menciona que, se debe tener en cuenta la acción erosiva de las aguas provenientes de los drenes Sullana, Gullman, Cesar Vallejo, Marcavelica, Nueva Esperanza y Petro-Perú que discurren por los sectores depresivos, produciendo inundaciones cuando se incrementa el caudal, así como, la existencia de innumerables depresiones pequeñas que forman microcuencas donde se acumulan aguas provenientes de las precipitaciones pluviales”.

Finalmente, indica que los fenómenos de licuefacción de arenas y de amplificación de ondas sísmicas, se pueden presentar en casi la totalidad de la zona de estudio debido a que el suelo predominante está constituido por arenas limosas (SM) y arenas de grano fino (SP) poco compactas con presencia de nivel freático en Prolongación Av. Sullana, entre los terrenos de la UDEP y las Urb. Lourdes y Los Jardines de la FAP a la profundidad de 0.80 m. y 1.60 m (respectivamente), Av. Andrés Avelino Cáceres (Caseta de Bombeo) a la profundidad de 2.00 m. Esquina Prolongación Av. Grau – Av. Sullana a la profundidad de 6.00 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 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 del sacudimiento sísmico varía considerablemente a distancias cortas y áreas pequeñas. Diversos estudios muestran, que los suelos ante la incidencia de ondas sísmicas asociadas a movimientos débiles y/o fuertes, responden de acuerdo a sus condiciones locales, pudiendo estos modificar el contenido frecuencial de las ondas y/o generar amplificaciones de las ondas sísmicas (Hartzell, 1992; Beresnev et al., 1995; Bard 1995; Lermo y Chávez-García, 1993, 1994 a, b; Bard y Sesame, 2004; Bernal, 2002), ver Figura 5.

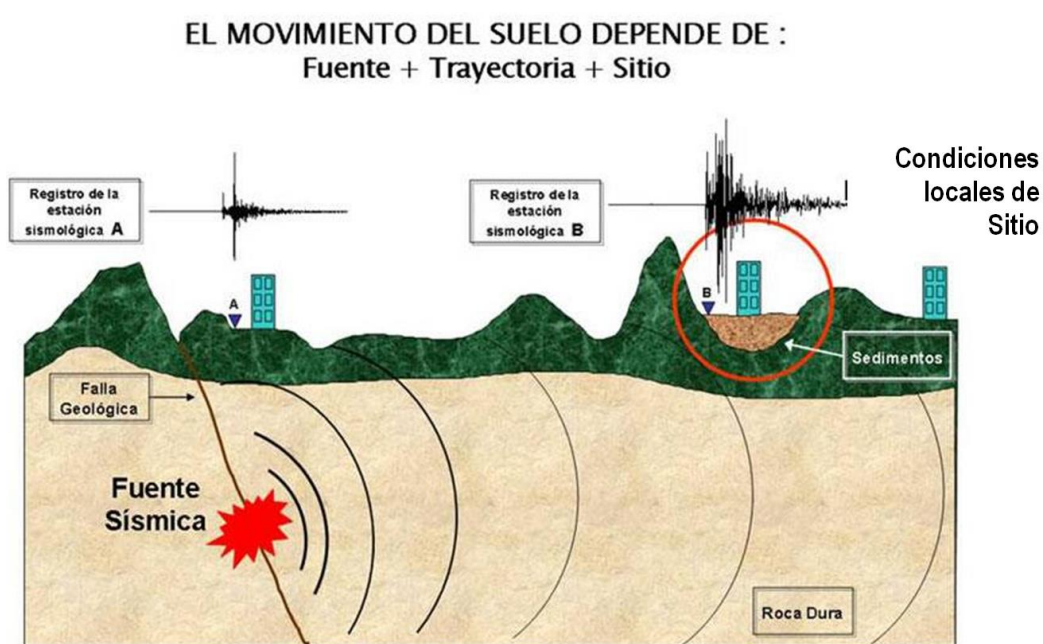


Figura 5: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

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

En conclusión, los efectos que produce cada tipo de suelo sobre la propagación y amplitud de las ondas sísmicas, permiten tipificar los suelos y estimar su comportamiento dinámico. El resultado final es el Mapa de Zonificación 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 la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, modificada según Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda. Básicamente, esta norma considera los perfiles de suelos en función de sus propiedades físicas, tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, o alternativamente, para suelos granulares, considera el promedio ponderado de los N_{60} obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada S_u para suelos cohesivos. Se estable 5 perfiles (Tabla 3).

- **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 3: Clasificación de los perfiles de suelo según la norma E.030

Perfil	V_{S30} (m/s)	Descripción
S₀	> 1500	Roca dura
S₁	500 a 1500	Roca o suelo muy rígido
S₂	180 a 500	Suelo medianamente rígido
S₃	< 180	Suelo blando
S₄	Clasificación basada en el EMS	Condiciones Excepcionales

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

La velocidad de propagación de ondas de corte para los primeros 30 metros (V_{S30}) se determina con la siguiente fórmula:

$$V_{S30} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{di}{V_{Si}}\right)}$$

Dónde:

di = espesor de cada uno de los estratos n.

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

En general, para cualquier estudio se deberá considerar el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de cada zona de interés. Para este estudio, la Zonificación 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: Zona conformada por estratos de grava coluvial-eluvial que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene comportamiento rígido con periodos de vibración natural determinados por las mediciones de microtrepidaciones (registros de vibración ambiental) que varían entre 0.1 y 0.3 s, con velocidad de las ondas de corte (V_s) varía entre 500 y 1500 m/s. Corresponden a suelos Tipo S1 de la norma sismorresistente peruana.

ZONA II: En la zona se incluye las áreas de terreno conformado por estratos superficiales de suelos granulares finos y suelos arcillosos con espesores que varían entre 3.0 y 10.0 m., subyaciendo a estos estratos se tiene grava eluvial o grava coluvial. Los periodos predominantes del terreno, determinados por las mediciones de microtrepidaciones, varían entre 0.3 y 0.5 s, con velocidades de las ondas de corte (V_s) que varía entre 180 y 500 m/s, correspondiendo a suelos Tipo S2 de la norma sismorresistente peruana.

ZONA III: Zona conformada, en su mayor parte, por depósitos de suelos finos y arenas de gran espesor que se encuentra en estado suelto. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos varían entre 0.5 y 0.7 s, por lo que su comportamiento dinámico ha sido tipificado como suelo Tipo S3 de la norma sismorresistente peruana. En la zona la velocidad de las ondas de corte (V_s) fluctúa alrededor de los 180 m/s.

ZONA IV: Zona conformada por depósitos de arena eólicas de gran espesor, depósitos fluviales, depósitos marinos y suelos pantanosos. Su comportamiento dinámico ha sido tipificado como suelo Tipo S4 de la norma sismorresistente peruana (Según la Norma E.030, es un caso especial y/o condiciones excepcionales).

ZONA V: Zona constituida por áreas puntuales conformadas por depósitos de rellenos sueltos correspondientes a desmontes heterogéneos que han sido colocados en depresiones naturales o excavaciones realizadas en el pasado con espesores entre 5 y 15 m. En esta zona se incluye también a los rellenos sanitarios que en el pasado se encontraban fuera del área urbana y que, en la actualidad, han sido urbanizados. El comportamiento dinámico de estos rellenos es incierto por lo que requieren de estudios específicos.

-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, desmonte 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 Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Para la Ciudad de Piura se ha identificado, según las características dinámicas del suelo, sus propiedades mecánicas y el procesamiento establecido en la Norma de construcción Sismorresistente E-030, la existencia de tres (3) zonas sísmicas correspondientes a suelos Tipo S2, S3 y S4:

- **ZONA II:** Considera los suelos más consolidados del área de estudio, constituido por estratos de arenas de origen marino (depósitos eólicos) desde el nivel superficial, solo en los sectores próximos al río Piura (margen derecha) se identificaron depósitos aluviales y pluviales constituidos por arenas y gravas de origen sedimentario. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte V_s de 240 m/s para la capa superficial y de hasta 460 m/s a la profundidad investigada de 30 metros. El periodo de vibración natural varía entre 0.3 y 0.4 segundos, tiene un comportamiento medianamente rígido y es considerado como suelos Tipo S2 según la norma sismorresistente peruana; presenta suelos con capacidad de carga admisible menor a 1.0 Kg/cm^2 hasta un metro de profundidad. Esta zona comprende el 80 % del área de estudio, y se emplaza desde el río Piura hacia el oeste.

Las líneas inclinadas en negro, delimitan áreas de muy baja amplificación ubicado en el sector oeste del área de estudio (G.H. Micaela Bastidas), sugiriendo que los suelos superficiales muestran mayor consistencia y por lo tanto menor el sacudimiento durante la ocurrencia de un evento sísmico.

- **ZONA III:** Conformada por suelos consolidado, constituido por estratos de arenas con limos y arcillas. Presenta velocidades de ondas de corte V_s de 240 m/s para la capa superficial y de hasta 400 m/s a la profundidad investigada de 30 metros.

Tiene un comportamiento medianamente rígido, pero el periodo de vibración natural varía entre 0.5, 0.6 y 0.8 segundos, el nivel freático es superficial (3 metros) y según por el tipo de material explicado anteriormente, se clasifica como suelos Tipo S3 de acuerdo a la norma sismorresistente peruana; además; presenta suelos con capacidad de carga admisible menor a 1.0 Kg/cm^2 hasta un metro de profundidad. Esta zona comprende el A.H. Los Algarrobos, entre el

A.H. Nuevo Amanecer y la Urb. Loma Linda, el A.H. Santa Rosa, el sector de Nueva Esperanza, al sur del A.H. Villa Perú Canadá y los sectores próximos a las lagunas Santa Julia y Coscobamba.

- **ZONA IV:** Esta zona corresponde a suelos cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales, por lo que su comportamiento comprende a suelos Tipo S4 de la norma sismorresistente peruana; se subdivide en:

- **Zona IVa:** Constituida por depósitos fluviales y aluviales con alto contenido de humedad y en algunos sectores constituidos por limos, se encuentran emplazados próximo al río Piura. Esta zona se extiende desde el noreste (Los Ejidos del Norte), representada con una franja delgada, que conforme se dirige hacia el suroeste abarca mayor área (sector de cultivo). Esta zona presenta baja capacidad de carga admisible ($< 1.0 \text{ Kg/cm}^2$), asimismo, puede generarse procesos geodinámicos externos como inundaciones, procesos de licuación y mayores sacudimientos del suelo durante la ocurrencia de un evento sísmico.

En las zonas II y III, las líneas inclinadas en rojo delimitan áreas donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 3 veces, sugieren que los mayores sacudimientos se presentan de manera puntual por la Urb. Nueva Providencia, al sur del Club Country de Piura, por el A.H. Nuevo Amanece, por el sector Quinta Julia y por las lagunas Santa Julia y Coscobamba (Figura 6).

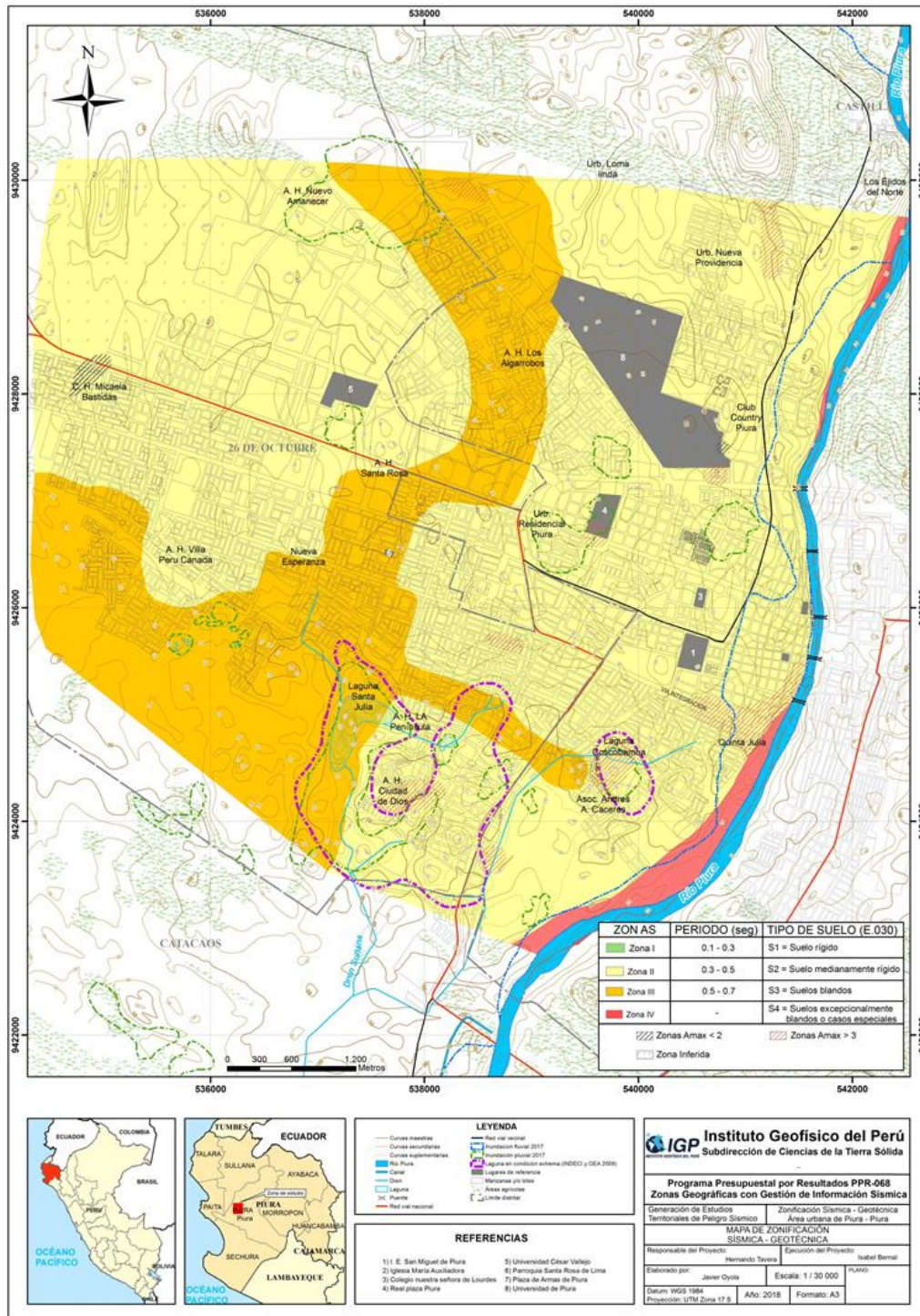


Figura 6: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para la ciudad de Piura.

Recomendaciones

- Debido a la recurrencia de las inundaciones fluviales y pluviales se deben realizar adecuadas medidas estructurales como drenajes pluviales en calles, vías de acceso, así como, reforzar las defensas riberas y muros del malecón (margen derecha del río Piura) con la finalidad de evitar el ingreso de las aguas del río Piura hacia el casco urbano.
- Realizar un adecuado mantenimiento de los drenes que evacuan las aguas del casco urbano, pues se ha evidenciado que éstos presentan en su interior desechos antrópicos y material orgánico.
- Se debe tener en cuenta que los suelos en la ciudad de Piura presentan dos características importantes, la primera es que están conformados por arenas mal graduadas y arenas limosas de compacidad relativa sueltas a muy sueltas, la segunda es la presencia de nivel freático superficial (Urb. Mariscal Tito) a 2.80 m.. Ambos factores podrían contribuir a la ocurrencia de licuación de suelos y asentamientos.
- Para suelos de cimentación con capacidad de carga admisible muy baja, es decir, menor a 0.5 kg/cm^2 se debe considerar un mejoramiento de éstos mediante la aplicación de mezcla aglomerante, sustitución y compactación dinámica (modificación de la humedad del suelo). En suelos arenosos con presencia de nivel freático y zonas de inundación que podría reforzar con columnas de gravas para mitigar el problema de licuación y asentamientos.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA
DE LA CIUDAD DE PIURA**

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

1.1. Levantamiento Fotogramétrico

2. GEOMORFOLOGIA

2.1. Modelo Digital de Elevación (MDE)

2.2. Pendiente

2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

2.3. Unidades geomorfológicas

2.3.1. Colina

2.3.2. Lecho fluvial

2.3.3. Llanura de inundación

2.3.4. Terraza aluvial

2.3.5. Duna

2.3.6. Cuencas ciegas o depresiones

3. GEOLOGÍA

3.1. Geología regional

3.1.1. Geología histórica

3.2. Geología local

3.2.1. Formación Zapallal (Ts-za):

3.2.2. Depósitos Cuaternarios:

3.2.3. Depósitos aluviales (Qh-al):

3.2.4. Depósitos eólicos (Qh-e):

4. GEODINÁMICA

4.1. Procesos de geodinámica interna

4.2. Procesos de geodinámica externa

4.2.1. Inundación

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

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

5.1.1.- Descripción de calicatas

5.2. Densidad de suelo in situ (Norma ASTM D1556)

- 5.3. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D 1452)
- 5.4. Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL, norma DIN4094)
 - 5.4.1. Correlación entre el “N” DPL y el “N” SPT (ASTM D1586)
- 5.5. Clasificación SUCS para suelos
- 5.6. Ensayo de corte directo (Norma ASTM D - 3080)
- 5.7. Capacidad de carga admisible ($q_{ad} = \frac{q_u}{F_s}$)
 - 5.7.1. Carga última (q_u)
 - 5.7.2. Capacidad de carga admisible muy baja

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

El estudio de cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico y de exploraciones geotécnicas realizadas en la ciudad de Piura, se desarrolló en tres fases, descritas a continuación:

- ✓ **Gabinete I:** Recopilación e interpretación de imágenes satelitales de la zona de Piura, del servidor Perú SAT-1 (2017), con la finalidad de reconocer geoformas y la ubicación del área de estudio.

Revisión de información geológica regional de la zona contenida en el Boletín A N° 54 del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 1994).

Elaboración de mapas temáticos preliminares de Ubicación, geología y geomorfología para los trabajos de campo a escala gráfica 1:30000.

- ✓ **Campo I:** Se realizó el reconocimiento y delimitación de unidades geomorfológicas, geológicas y eventos geodinámicos como: inundaciones fluviales (desborde del río Piura sobre la margen derecha) que afecta a las Urb. El Chipe, Quinta Julia, Malecón Eguiguren y Coscomba; así como pluviales (acumulación de las aguas de escorrentía en zonas de depresión) en los AA.HH. Los Algarrobos, sector Cinco Esquinas, etc. Elaboración de mapas a escala gráfica 1:30000 sobre las ciudades se identificaron zonas libres y accesibles para ejecutar las exploraciones geotécnicas (calicatas, DPL y posteos).
- ✓ **Campo II:** Ejecución de ensayos geotécnicos: Calicatas, DPL, posteos y de ensayos de densidad natural in situ mediante el método del cono de arena.

En el área de estudio se realizaron un total de 10 calicatas para la extracción de muestras de suelos que se enviaron a laboratorio para el análisis de sus propiedades físico-mecánicas y clasificación SUCS.

Se realizaron 14 ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL), para el cálculo de los parámetros de resistencia al corte en variedades de arenas (ángulo de fricción y cohesión) y 16 auscultaciones manuales de exploración de suelos (posteos).

- ✓ **Laboratorio:** En esta etapa se realizó la ejecución de los ensayos de mecánica de suelos en el respectivo laboratorio: Humedad natural, límites de Atterberg, granulometría y ensayos de corte para obtener los parámetros de cohesión y ángulo de fricción de los suelos parámetros que servirán para calcular la capacidad portante admisible respectiva.

- ✓ **Gabinete II:** Análisis de los resultados obtenidos en campo y del laboratorio de Mecánica de suelos (Anexo de Geotecnia - Resultados de Laboratorio): cálculo de las capacidades portantes de los suelos y registro en fichas geotécnicas (Densidades, logueo de calicatas, clasificación SUCS, etc.).

Digitalización del cartografiado de campo a escala gráfica 1:30000, para obtener los mapas temáticos de geomorfología, geología, geodinámica, ubicación de exploraciones geotécnicas, zonificación de suelos y capacidades portantes.

- ✓ Elaboración del informe técnico final del área de estudio.

1.1. Levantamiento Fotogramétrico

Se realizó el levantamiento fotogramétrico en el área urbana de la ciudad de Piura, con el propósito de obtener topografía base indispensable para los trabajos de cartografiado. Se consideró las áreas de Piura (525 ha), Veintiséis de Octubre (53 ha) y Los Polvorines (257 ha); mientras que, los demás sectores (4715 ha), fueron cubiertos con la base topográfica entregada por la Municipalidad Provincial de Piura. Este trabajo se realizó con el propósito de obtener la representación digital del relieve que conforman las unidades: lecho fluvial, terraza aluvial, colina, llanura de inundación, cuencas ciegas (depresiones).

Para la ejecución del levantamiento, se utilizó un vehículo aéreo no tripulado (VANT), servicio que fue contratado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) a una consultora particular.

Para el levantamiento fotogramétrico se consideró puntos de control geodésicos (GNSS base) y puntos premarcados con el sistema GNSS-RTK para la georeferenciación y ajuste de vuelo. La configuración, planificación de vuelo y procesamiento de datos en gabinete se realizó con el software Postflight Terra 3D. El

modelo digital del relieve y fotos aerogramétricas (Ortofoto), permitieron obtener un plano topográfico a escala 1:25 000 con curvas de nivel equidistante a 0.5 m., (Figura 1).



Figura 1: Ortofotos a) Veintiséis de Octubre, b) Los Polvorines y c) Piura cercado, generada con fotogrametría a partir de un VANT.

2. GEOMORFOLOGIA

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 la ciudad de Piura, en relación a su origen. Previamente, para la digitalización del plano geomorfológico se han elaborado los planos: Modelo Digital de Elevación (MDE) y Pendientes (Figuras 2 y 3) mediante herramientas computacionales SIG, que permiten caracterizar y delimitar las unidades geomorfológicas del terreno (geoformas), éstas fueron verificadas y validadas durante el trabajo de campo en la ciudad e Piura (Figura 4).

2.1. Modelo Digital de Elevación (MDE)

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

Para la elaboración del MDE de la ciudad de Piura, se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel diseñadas anteriormente, obteniendo como resultado la representación digital de la superficie del terreno de la localidad, que cubre un área de 5550 ha (55.5 km²) (Figura 2).

En base al MDE elaborado de la ciudad de Piura se ha reconocido que hacia el noroeste (Condominios, Las Casuarinas, APV. Santa Rosa, Santa Margarita, Urb. Los Ingenieros y AA.HH. Los Algarrobos) se ubican las mayores elevaciones entre 32.46 y 42.51 m.s.n.m., la parte central urbana se asienta sobre los 28.41 y los 32.45 m.s.n.m.; mientras que, hacia el sureste (AA.HH. Los Robles, Manuel Escorza, Laguna Azul, Jorge Basadre, Señor de los Milagros, Susana Higuacchi, San Juan y sector 2C).

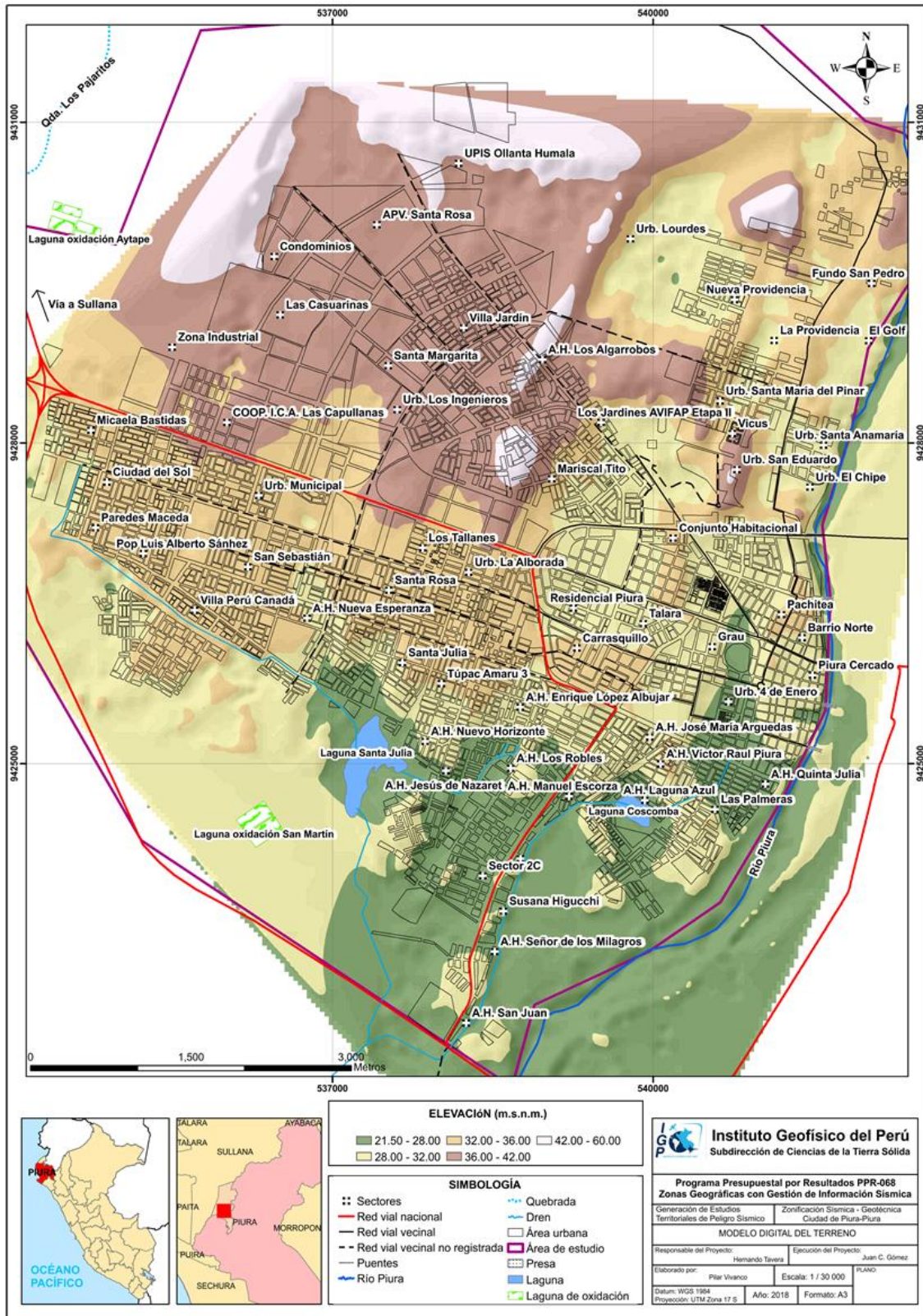


Figura 2: Mapa de modelo digital del terreno para la ciudad de Piura y alrededores

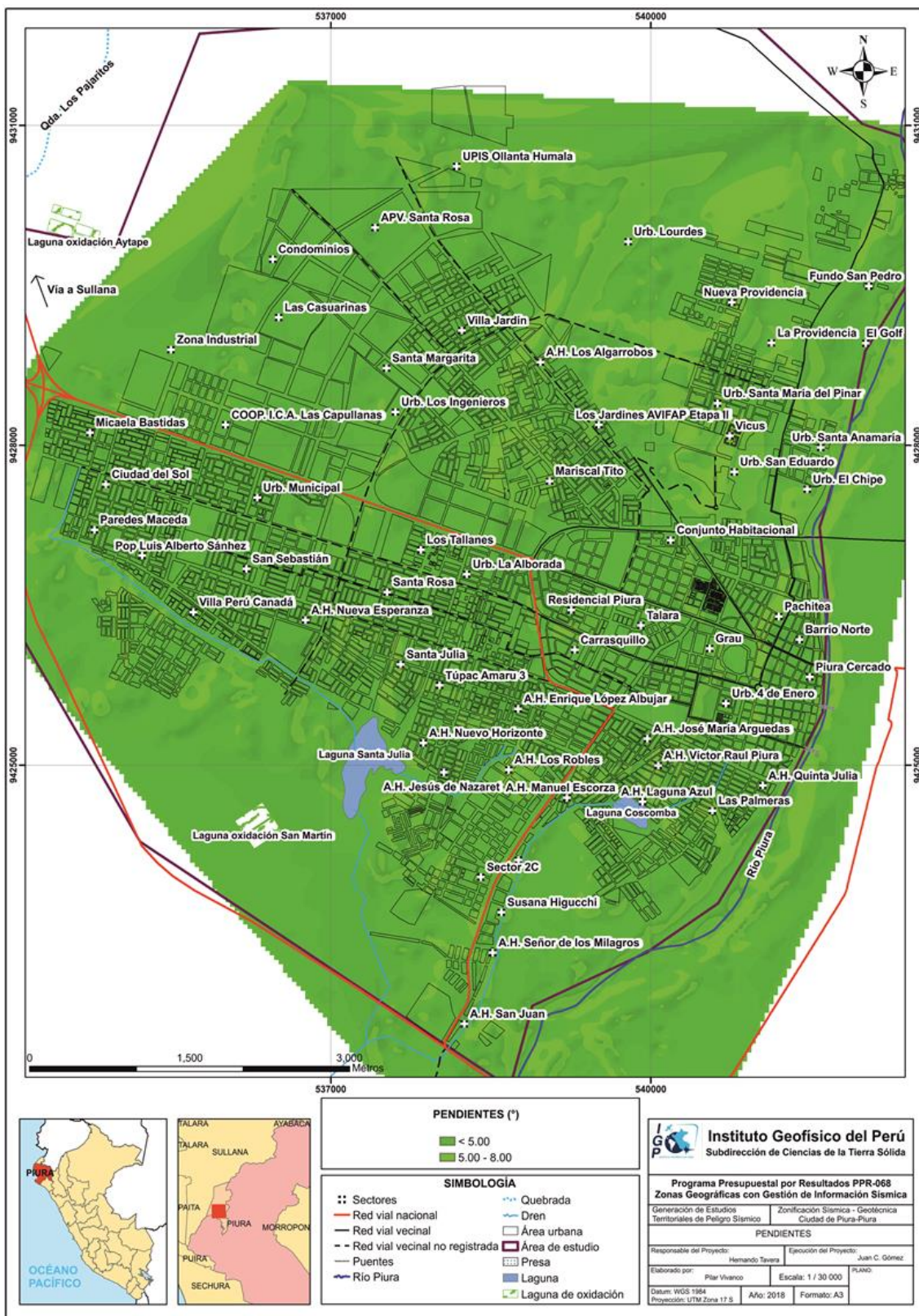


Figura 3: Mapa de pendientes del terreno para la ciudad de Piura y alrededores

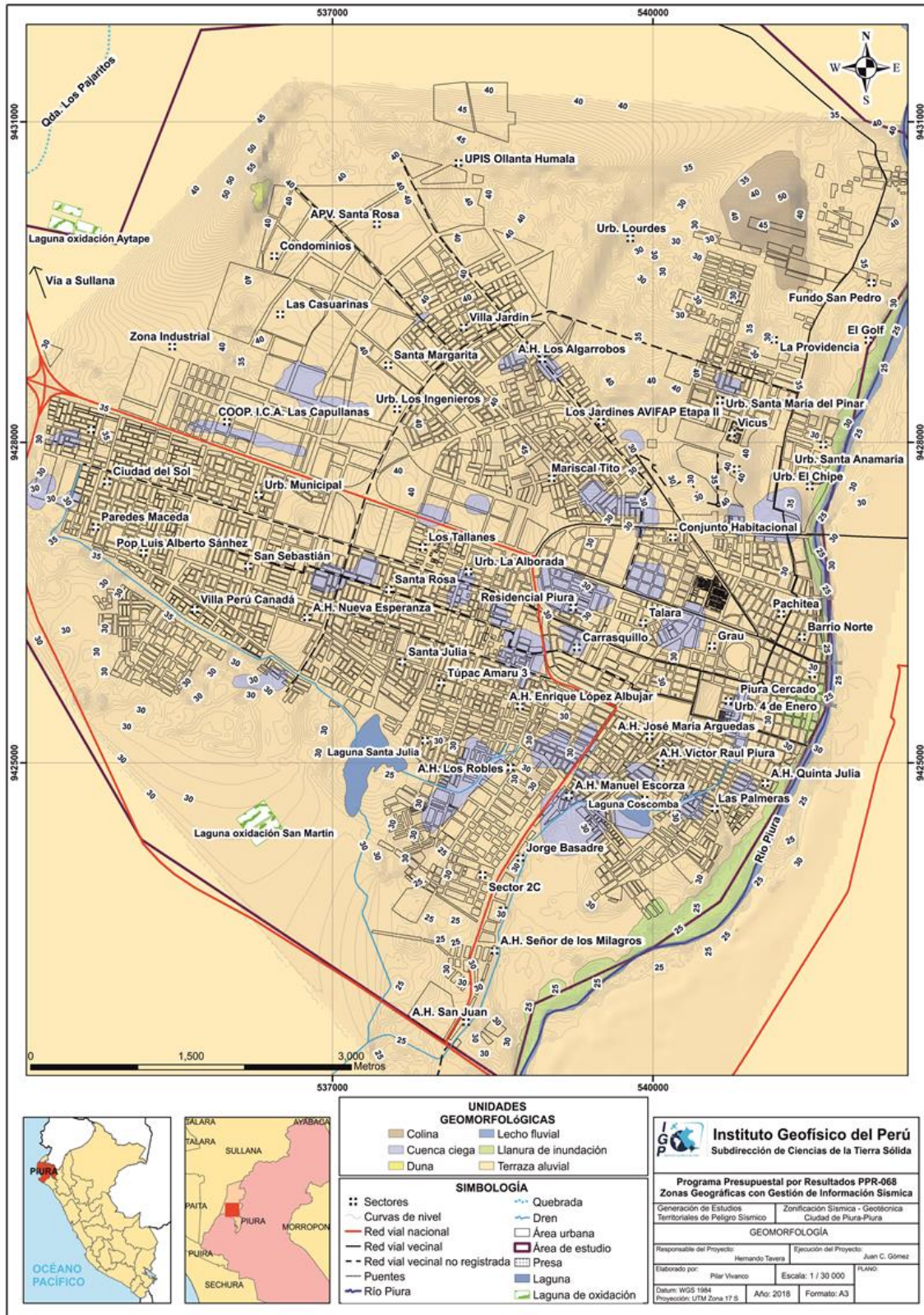


Figura 4: Mapa geomorfológico para la ciudad de Piura y alrededores

2.2. Pendientes

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 del mapa de pendientes de la ciudad de Piura, 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.

2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó la hipótesis de Fidel (2006), ver Tabla 1.

Tabla 1: Rangos de pendientes del terreno.

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

La mayor parte de la ciudad de Piura se encuentra asentada sobre una terraza aluvial que presenta pendientes menores a 1.84°; sin embargo, hacia el norte de la ciudad se han identificado zonas con pendientes que varían entre 1.85° y 8.12°.

2.3. Unidades geomorfológicas

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

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

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

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

En base a las características físicas de las geoformas y su origen en la ciudad Piura se cartografiaron la estructura de seis unidades: lecho fluvial, terraza aluvial, colinas, duna, llanura de inundación y cuencas ciegas (depresiones en el terreno), (Tabla 2 y Figura 4).

Tabla 2: Determinación de geoformas en la ciudad de Piura en base a las características físicas y su origen.

GEOMORFOLOGÍA PATRÓN			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		PROCESO	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
Pendiente	< 35°	Denudacional	Colina
Altura	< 100°		
Geometría	redondeada		
Drenaje	dentrítico		
Pendiente	20° - 25°	Denudacional	Lecho fluvial
Altura	0 - 100 m		
Geometría	alargada		
Drenaje	dentrítico		
Pendiente	< 5°	Depositacional	Llanura de inundación
Geometría	irregular		
Drenaje	paralelo		
Pendiente	< 5°		
Geometría	redondeada	Depositacional	Terraza aluvial
Pendiente	5° - 10°		
Altura	1 - 2m		
Geometría	semicircular		
Pendiente	< 5°	Erosional	Cuenca Ciega (depresión)
Geometría	irregular		
Drenaje	paralelo		

2.3.1. Colinas

Elevaciones topográficas de altura menor a 100 m. cuyo relieve presenta pendientes menores de 35° , que se caracterizan por tener forma redondeada. Abarca un área de 286.69 ha; es decir, el 2% del are total (Figura 5).



Figura 5: Colina ubicada en la zona Veintiséis de Octubre – Piura.

2.3.2. Lecho fluvial

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

El lecho fluvial del río Piura se desplaza con dirección este – oeste, en el trayecto que colinda con la ciudad de Piura y con pendientes menores a 1° , el ancho del cauce llega a 111 m. y 306 m. aproximadamente con la presencia de islotes en la parte central. Abarca un área de 90.62 ha; es decir el 1% del área total (Figura 6).



Figura 6: Lecho fluvial en el río Piura.

2.3.3. Llanura de inundación

El agua de escorrentía forma llanuras de inundación en las que se construyen las ciudades (Modificado de Morisawa, 1968). En la zona de estudio, esta unidad ha sido formada por la acción del río Piura que erosiona, transporta y deposita grandes volúmenes de sedimentos en la parte media y baja de la cuenca. Esta unidad está conformada por material aluvial, con una longitud promedio de 250 m., desde la margen derecha del río Piura hacia el centro urbano, A.H. Coscomba, Urb. Quinta Julia y El Chipe. Esta unidad abarca un área 146 ha, que representa el 1% del área total (Figura 7).

2.3.4. Terraza aluvial

Son superficies horizontales o ligeramente inclinadas, cuyo relieve presenta pendientes menores a 7°. Generalmente se encuentran conformadas por materiales heterogéneos (clastos subangulosos a subredondeados envueltos en una matriz areno-limosa) y capas delgadas de limos.

Sobre esta unidad se asienta el casco urbano de Piura. Abarcando un área de 9770 ha; es decir, el 71% del área total (Figuras 8 y 9).



Figura 7: Parte de la llanura de inundación, sector Coscomba al sur de Piura.



Figura 8: Terraza aluvial, margen derecha del río Piura.



Figura 9: Terraza aluvial, vista desde el sector oeste y sobre la cual se asienta los condominios de Piura.

2.3.5. Dunas

Es resultante de la sedimentación de partículas transportadas por el viento dando origen a depósitos de arena y polvo. Presentan un espaciamiento entre 50 y 500 m., e implica una sedimentación local que se produce por un descenso de la velocidad de transporte. La acumulación inicia con las irregularidades de la superficie; es decir, la presencia de vegetación o bloques (Kocurek et al, 1992).

En la ciudad de Piura, se ha identificado estas unidades en proceso de iniciación o desarrollo; es decir, dunas crecientes de 1-2 m. de altura, con una inclinación de 5 a 10°, en dirección suroeste-noreste. Abarca un área de 3.28 ha que representa el 0.20% del área total, (Figura 10).



Figura 10: Duna en proceso de formación en el A.H. Ángeles de Temple.

2.3.6. Cuencas ciegas o depresiones

Estas unidades han sido originadas por acción hídrica en los suelos; es decir, la energía de flujo manifestada en el arranque y desgaste del material que conforma el suelo.

En los últimos 40 años se han identificado 47 cuencas ciegas en Piura. De estas, en el sector noroeste de Piura se encuentran “Cinco Esquinas” (A.H. Las Dalías), “Dos grifos” (A.H. Los Olivos, A.H. Ignacio Merino y la urb. El Chilcal). Se debe, resaltar que, estas cuencas aparecen con precipitación promedio de 30 m^3 (Figuras 11 y 12) sobre un área de 330.44 ha que representa el 2.5% del área total.



Figura 11: Cuenca ciega o depresión “Cinco Esquinas”, A.H. Las Dalías.



Figura 12: Cuenca ciega en el A.H. Los Olivos.

3. GEOLOGÍA

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

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

Para entender el comportamiento dinámico del terreno, es necesario conocer los procesos geológicos externos (meteorización, erosión, transporte y sedimentación) en las rocas y los suelos que provienen de las mismas.

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

3.1. Geología regional

El marco geológico regional de una ciudad es importante para comprender los procesos y eventos geológicos que ocurrieron a gran escala. Es así que, se recopiló la información geológica regional del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 1994) a escala 1:100,000. En esta, se describen las unidades litológicas aflorantes cuyas edades se encuentran desde el Terciario Superior (66 M.a) hasta el Cuaternario Reciente.

3.1.1. Geología histórica

Según, Palacios (1994), la historia geológica empieza con la depositación de sedimentos de facies pelíticas en una cuenca, luego estos serían sometidos a una serie de procesos tectónicos, metamórficos e intrusiones. Sobre un relieve labrado en rocas Precámbricas, se desarrolla la cuenca Paleozoica que está constituida por una secuencia lutácea y areniscas cuarcíticas, seguida de una secuencia de depósitos continentales como consecuencia del fallamiento. Durante el Cretácico las cuencas alcanzan un gran desarrollo (secuencia clástica y carbonatada), epirogénicos seguidos de erosión en forma cíclica, lo que permite la depositación de conglomerados cubiertos por areniscas, limolitas y argilitas.

A fines del Cretácico y comienzos del Terciario, con el levantamiento de Los Andes, se producen en el noroeste movimientos epirogénicos seguidos de erosión en forma cíclica, lo que permite la depositación de conglomerados cubiertos por areniscas, limolitas y argilitas. En el Eoceno Superior, el mar alcanzó su máxima extensión entre Paíta y Sullana e ingresando a la cuenca Sechura y en el Oligoceno se produce la transgresión de norte a sur. A fines del Mioceno un nuevo levantamiento reactiva fallas y fracturas ubicadas al noroeste y norte, dando lugar a la regresión del mar y erosión intensa. Nuevamente en el Plioceno los mares ingresan al continente por el norte y sur, depositando una secuencia clástica arcillo-arenosa, proceso que continuó hasta el Plio-Pleistoceno, formándose los tablazos a manera de terrazas.

3.2. Geología local

La geología local, consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de Piura a escala 1:25,000, sobre un área

de 137.49 km² aproximadamente (Figura 13). En la Tabla 3 se describen estas unidades.

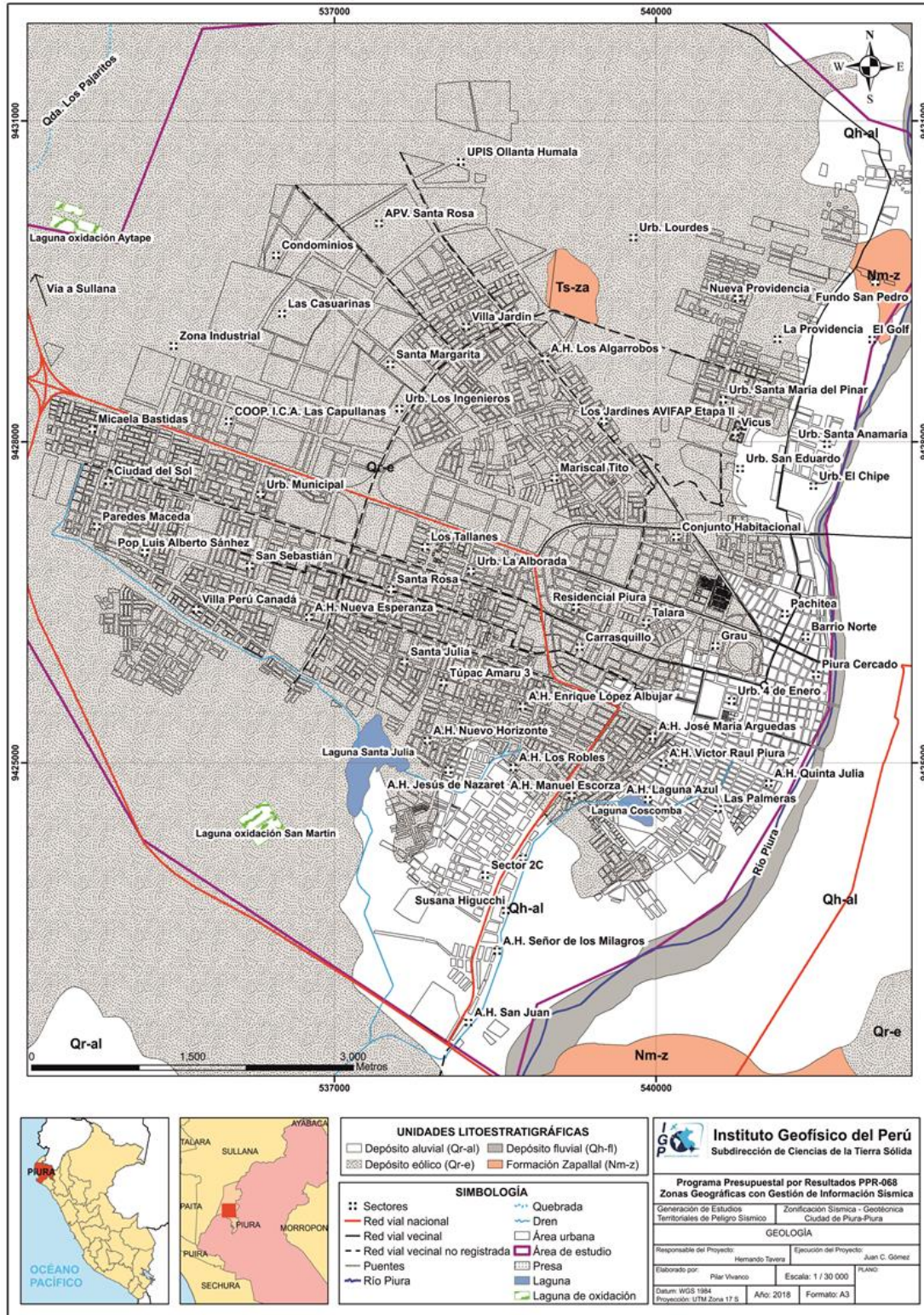


Figura 13: Mapa de geología local para la ciudad de Piura y alrededores.

Tabla 3: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPÓSITOS ALUVIALES	Qh-al	GRAVAS SUB-REDONDEADAS Y SUB-ANGULOSAS EN MATRIZ ARENO-LIMOSA
			DEPÓSITOS EÓLICOS	Qh-e	ARENAS DE GRANO FINO A MEDIO
	TERCIARIO	SUPERIOR	FORMACIÓN ZAPALLAL	Ts-za	ARENAS CON INTERCALACIONES DE LIMOS Y ARCILLAS

3.2.1. Formación Zapallal (Ts-za): Constituida por una secuencia de rocas de origen marino como son areniscas cuarzosas, de grano medio, meteorizadas, presencia de oxidaciones color gris amarillento e intercalaciones de delgadas capas de arena, limos y arcillas. Esta unidad se observa en las inmediaciones de la presa Los Ejidos (margen derecha del río Piura), así como a la altura del Puente Cáceres (Figura 14).

3.2.2. Depósitos Cuaternarios: Suprayaciendo al sustrato rocoso conformado por rocas marino sedimentaria, se encuentran los depósitos Cuaternarios de edad Holocena. Entre los que mayor predomina en la zona de estudio son los depósitos aluviales y eólicos.

3.2.3. Depósitos aluviales (Qh-al): Están constituidos arenas de grano grueso y medio a fino, color beige a blanquecina, con presencia de clastos subredondeados de 2" de diámetro y capas delgadas de limoarcillosas. Estos materiales fueron acarreados por el río Piura provenientes del frente Occidental así como, de los materiales depositados por antiguas quebradas (actualmente convertidos en drenes), sobre los cuales se asienta la parte noreste de la ciudad de Piura (Urb. Los Ejidos, El Chipe, Santa Anamaría y fundo San Pedro) (Figura 15).

Asimismo, en otras zonas se han identificado éstos depósitos con intercalaciones de capas delgadas de limos (0.20 m.) y vetillas de arenisca, sobre los cuales se asientan AA.HH. Micaela Bastidas, Villa Canadá, Paredes Maceda, Santa Rosa y San Martín (Figuras 16 y 17).

3.2.4. Depósitos eólicos (Qh-e): Están conformados por arenas de grano medio a fino, color gris a beige. Éstos han sido transportados por la acción de los vientos. Se han identificado al noroeste y suroeste de Piura, en algunos casos estos constituyen dunas o colinas (Figura 18).



Figura 14 Afloramiento de la Formación Zapallal



Figura 15: Depósitos aluviales constituidos por arenas de grano fino con limos, al sur de la Universidad Privada Antenor Orrego (Urb. La Providencia).



Figura 16: Depósitos aluviales constituidos por arenas de grano fino con intercalaciones de capas delgadas de limo y vetillas de arenisca.



Figura 17: Depósitos eólicos conformados por arena de grano medio a fino, A.H. Ángeles de Temple.

4. GEODINÁMICA

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

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

4.1. Procesos de geodinámica interna

Son transformaciones de la estructura interna de la Tierra en relación con los agentes (magmáticos, sísmicos y tectónicos). El territorio peruano está sometido a una constante actividad sísmica, debido a la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana, considerada como la principal fuente sismogénica en el Perú, produciendo los eventos de mayor magnitud conocidos hasta el presente. Otra fuente, la constituye la deformación de la zona continental, que ha dado origen a la formación de fallas de diversas longitudes con la consecuente ocurrencia de magnitudes menores (Cahill & Isacks, 1992; Tavera & Buforn, 2001).

4.2. Procesos de geodinámica externa

Son fases sucesivas de un evento geodinámico externo complejo, que origina un cambio o transformación física y química debido a los agentes atmosféricos (agua, viento, gases, gravedad, temperatura, etc.) que actúan meteorizando de manera física (fracturan la roca) o química (oxidación, silicificación, caolinificación, etc.) el relieve, para posteriormente erosionar (desgaste natural del suelo o roca) y transportar los materiales hasta ser depositados por gravedad o por alguna corriente fluvial, eólica o marina, formando nuevos relieves. Asimismo, estos procesos tienen como factores condicionantes: geomorfología (formas de relieve), litología (tipos de rocas y/o suelos), estructuras geológicas (pliegues y disposición de estratos) que interactúan con los factores detonantes como sísmicos (sismicidad de la zona), climatológicos (incremento de las precipitaciones) y antrópicos (urbanismo, usos del suelo y construcción de vías de comunicación).

La acción, por separado o en conjunto, de los factores que dan origen a los procesos externos, favorecen a la ocurrencia de los eventos geodinámicos, los cuales se dividen, según su origen, en fluvio-aluvial e hidrogravitacional, ver Figura 18.

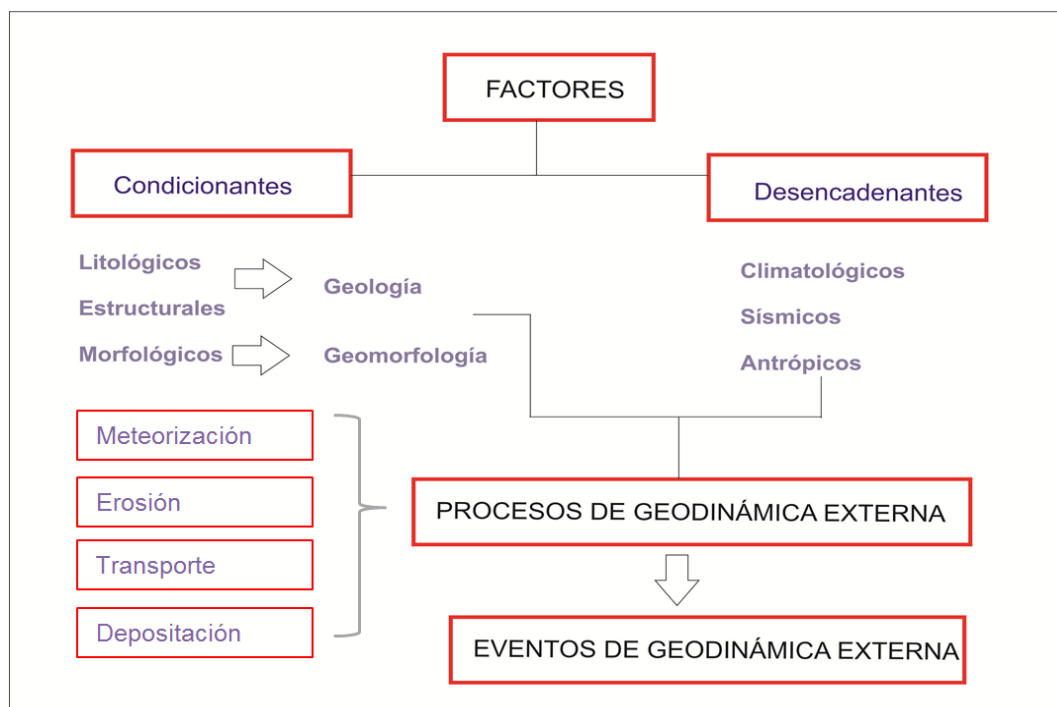


Figura 18: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

Los eventos de geodinámica superficial se dividen según su origen en Hidrometeorológico e hidrogravitacional, siendo sus características las siguientes:

a) Hidrometeorológico: Entre estos se encuentra la inundación pluvial, fluvio-aluvial y costera. La primera se genera directamente de las precipitaciones pluviales; es decir, sin que el aporte de agua llegue a alguna escorrentía superficial. Las aguas se acumulan en hondonada o depresiones naturales y su proceso de infiltración puede tardar días.

La inundación fluvio-aluvial, producto del desborde de río o quebradas en períodos de precipitaciones extremas, afectan extensiones de terreno adyacentes a la fuente de agua. Finalmente, la zona costera se afecta por tsunamis y mareas generadas por vientos.

Otras causadas para la actividad antrópica son la falta de infraestructuras hidráulicas, que originan la retención del flujo hídrico hasta llegar al colapso e inundar zonas urbanas ubicadas aguas abajo (CENAPRED, 2004).

b) Hidrogravitacional: Representados por los movimientos en masa (MM) donde interviene el agente erosivo (carcaveo, incisión y desgaste laminar) y la gravedad. Se presentan en laderas de los valles y en las partes bajas de las vertientes. Estos eventos son todos aquellos movimientos en masa ladera debajo de una masa de rocas, detritos o tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991). Para la descripción de los MM, se ha tomado en cuenta la clasificación de Varnes (1958, 1978) y Hutchinson (1968, 1988), la cual se basa en dos elementos: tipo de movimiento (desprendimientos o caídas, volcamientos, deslizamientos, avalanchas, desplazamientos laterales, flujos y movimientos complejos), y tipo de material, ya sean rocas y/o suelos (divididos en detritos y tierras).

Según su origen los eventos geodinámicos que afectan a la ciudad de Piura son: Inundaciones fluviales y pluviales.

4.2.1. Inundaciones

Son flujos relativamente altos que sobrepasan el canal natural por el cual discurre la escorrentía (Chow, 1956, 1994). Es el resultado del comportamiento de la cuenca hidrográfica en un período de incremento de precipitaciones. Es la ocupación ocasional de terreno por el agua de un río o una quebrada. Puede ocurrir en zonas litorales debido a tsunamis o la superposición de oleaje y las mareas, pero lo más frecuente son las inundaciones en el interior de los continentes, producidas por las aguas de escorrentía superficial (ríos, arroyos y torrentes); es decir, atribuida al incremento brusco del volumen de agua, denominado crecida, (Adaptado de CENEPRED, 2013). Las inundaciones pueden ser consecuencia de varios factores naturales y humanos (Tarbuck, 2005).

Las inundaciones fluviales se producen en valles o llanura de inundación como el resultado del desbordamiento de las márgenes del canal o de diques artificiales, pueden intensificarse por factores asociados con la cuenca de drenaje, los canales y su red (Patton, 1988) o a la duración e intensidad de la precipitación, que por lo regular exceden a la capacidad de infiltración del terreno, por ello la escorrentía aumenta rápidamente. Las inundaciones producen la mayor parte de las pérdidas humanas y materiales (Burton et al, 1978).

Cuando las lluvias superan el promedio normal de precipitación (mayor al 50%) de una zona, se le denominan lluvias extraordinarias o tormenta extrema. Estas al

desarrollarse generan crecidas causando inundaciones de las áreas circundantes al río, esta anomalía es conocida como un evento hidrometeorológico (Figura 19).

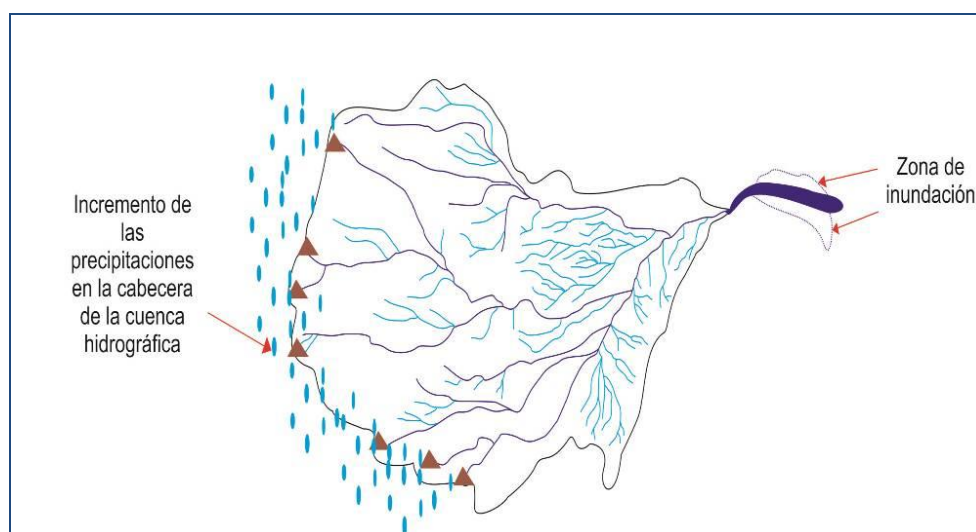


Figura 19: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica.

Cuando el caudal de una corriente llega a ser tan grande que supera la capacidad de su cauce, se desborda hacia sus márgenes. Estas se describen en términos de intervalo de recurrencia o período de retorno; es decir, la inundación puede repetirse en 30, 50 y 100 años. Un ejemplo, es el caudal de inundación que tiene un 1 por ciento de probabilidades de ser superado en un año cualquiera se denomina una inundación de 100 años. Las inundaciones pueden ser consecuencia de varios factores naturales y humanos (Tarbuck, 2005).

En la ciudad de Piura, se han identificado dos tipos de inundaciones:

- **Inundaciones fluviales:** Se producen por el desborde del río Piura sobre un margen derecha (Ca. Lima y Moquegua, Malecón Francisco Eguiguren, 6 de Setiembre y Los Ejidos), (Figura 20). El nivel de inundación fluvial es de 0.35 m. hasta 1.20 m., evidenciándose en la afectación a infraestructuras (edificio de la municipalidad provincial de Piura, I.E. Proyecto Pontificio), así como, en las viviendas ubicadas en las calles Moquegua y Lima (Figuras 21, 22, 23 y 24).

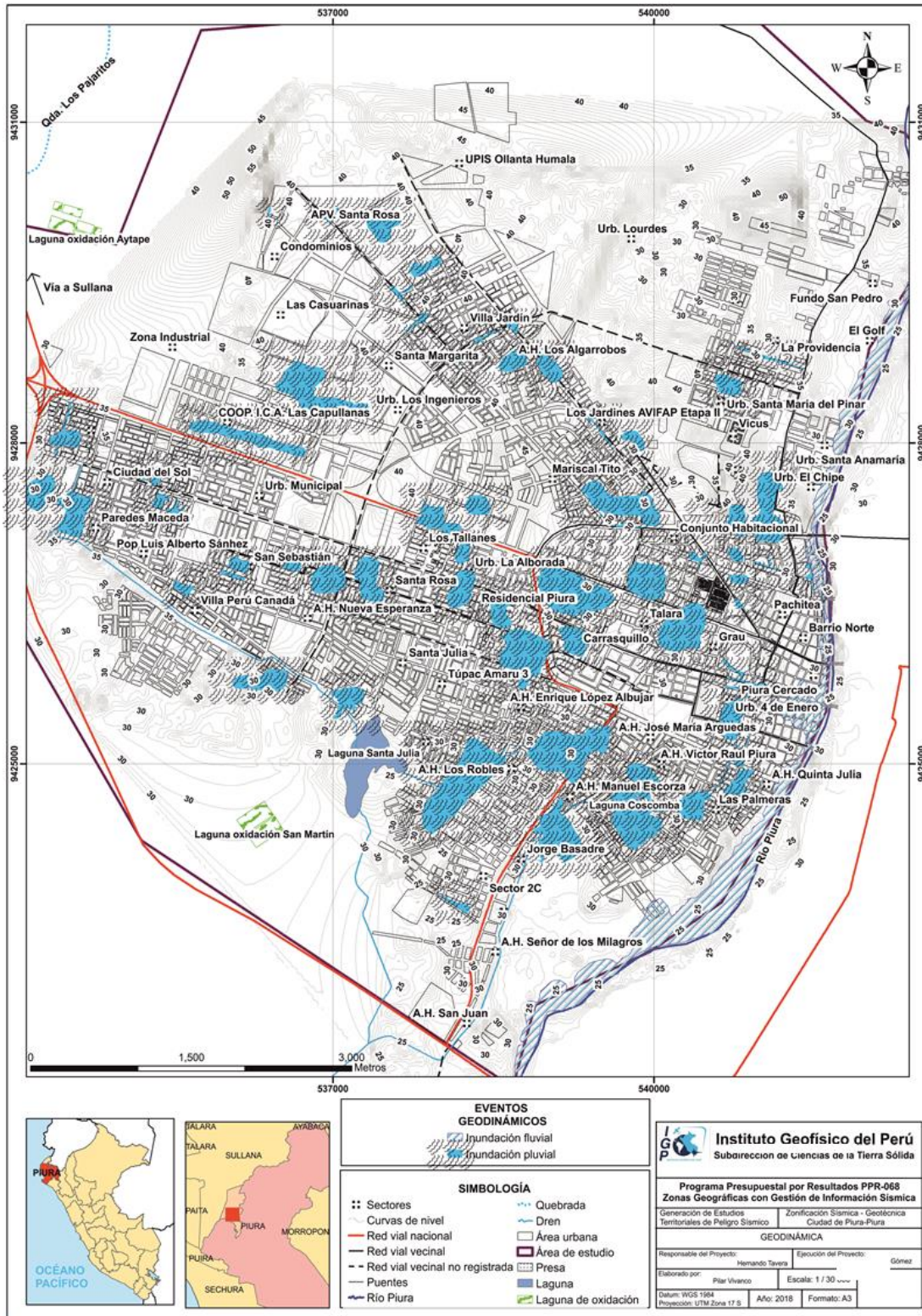


Figura 20: Mapa Geodinámico de la ciudad de Piura y alrededores.



Figura 21: Zona de inundación fluvial, malecón Francisco Eguiguren, Piura cercado.



Figura 22: Nivel de inundación fluvial 2017 (1.20 m. con respecto a la calzada), registrada en el frontis de la pared de la municipalidad provincial de Piura (línea amarilla).



Figura 23: El nivel de inundación alcanzó 0,35 m. en la calle Moquegua cruce con Arequipa con respecto a la acera.



Figura 24: Calle Lima - I.E. Proyecto Pontificio, el nivel de inundación alcanzó de 1.00 m. con respecto a la acera.

- **Inundación pluvial:** Es la acumulación en forma de laguna, del agua proveniente de las precipitaciones o por el desborde de los drenes. Se genera en las zonas que presentan depresiones como en AA.HH. Los Algarrobos- Ca. Las Dalias, Av. Grau, Urb. San Ramón (Hostal Tierra del Sol), Ignacio Merino (II Etapa-Mza A, ferretería Oro Negro, Hospedaje Roma - ca. Las Azucena y Av. Cáceres, Los Jardines de AVIFAP (entre las calles Los Claveles y Las Cucardas), Zona Industrial, urb. El Chilcal, Los Cocos del Chipe, Av. Loreto – Bolognesi (Figuras 25, 26 y 27). La altura de inundación fue de 0.60 m. a 1.00 m.

Adicionalmente, a la fecha de realización de los trabajos de campo se pudo evidenciar zonas inundadas con una precipitación de 4 mm registrada en la estación Miraflores-Castilla (Fuente: SENAMHI), ver Figuras 28, 29, 30 y 31.



Figura 25: Urbanización Ignacio Merino II Etapa cruce con Andrés A. Cáceres, zona afectada por inundación pluvial.



Figura 26: La altura de inundación fue de 0.60 m., Los Jardines de AVIFAP (entre las calles Los Claveles y Las Cucardas).



Figura 27: Zona de inundación pluvial, límite Urb. Ignacio Merino y Mariscal Tito, referencia Hospedaje Roma – ca. Las Azucenas.



Figura 28: Zona Industrial inundada, referencia puesto de seguridad ciudadana (serenazgo) de Piura.



Figura 29: Av. Loreto – Av. Grau, óvalo Grau - cercado de Piura



Figura 30: Av. Loreto con Av. Bolognesi, zona de inundación pluvial.



Figura 31: Inundación pluvial en la urb. San Ramón mza. A, referencia (Hostal Tierra del Sol).

Además, en la ciudad de Piura existen 6 drenes como son: Sullana, Gullman, César Vallejo, Marcavelica, Nueva Esperanza y PetroPerú, los cuales discurren de norte a sur y que son los principales colectores de aguas pluviales provenientes de las urbanizaciones, A.H. y UPIS, asentados. Las microcuencas son: UDEP, Country Club, Vicús, Micaela Bastidas, Las Capullanas, PetroPerú, San Sebastián, Entel Perú, Santa Rosa, Los Ficus, Loreto Norte, urb. Piura, López Albuja, San José, Ignacio Merino, Tallanes, La Alborada, Las Mercedes, Los Sauces, Santa Ana, Santa Isabel, San Felipe, Seminario, AA.HH. San Pedro, Fátima, Sullana, AVIFAP y Solgas.

Es por ello que el desborde de los drenes y el incremento de su cauce provocado por precipitaciones extraordinarias, causan inundaciones en zonas aledañas y en zonas de depresión como son: AA.HH. Almirante Grau, Ex Polvorines y Aledaños Kurt Beer. Estos causas se incrementan por la falta de mantenimiento (limpieza de drenes) (Figuras 32 y 33).

Otro problema es el colapso de la red de desechos antrópicos (desagües) en el A.H. Nueva Esperanza y la proliferación de enfermedades debido al estancamiento de las aguas en el cauce de los mismos (Figura 34).



Figura 32: Acumulación de desechos antrópicos en el cauce del dren Almirante.



Figura 33: Acumulación de desechos antrópicos en la desembocadura del dren de la calle. Japón – Turquía.



Figura 34: Aguas estancadas en el cauce del dren ubicado en el A.H. Manuel Escorza.

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, 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 35).

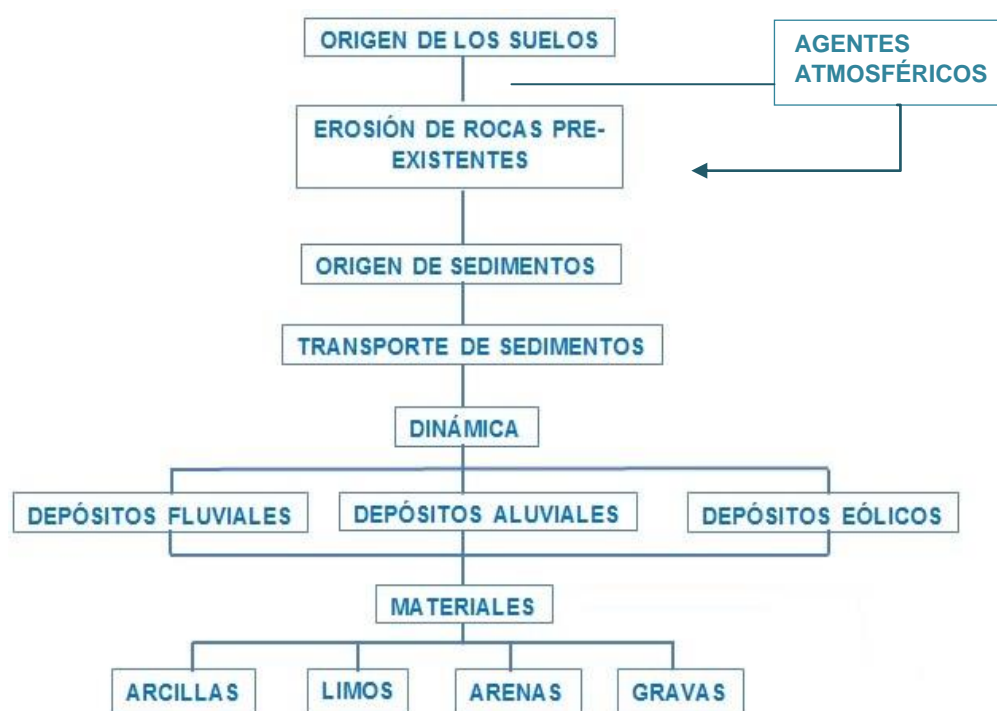


Figura 35: Diagrama del origen de los suelos. (IGP, 2018).

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 en condiciones estáticas mediante la aplicación de técnicas de exploración (calicatas, auscultaciones, perforaciones, ensayos de DPL, SPT, etc.) y del análisis de suelos en laboratorio.

En la ciudad de Piura, se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de calicatas, densidad de campo, posteos y ensayos de penetración dinámica ligera (DPL).

Asimismo, de las calicatas se extrajeron diez (10) muestras de las cuales tres (03) fueron enviadas al laboratorio de suelos y las otras siete (07), se analizaron en el Instituto Geofísico del Perú. Este proceso permite conocer la granulometría, plasticidad, corte directo y cálculo de la capacidad portante de los suelos.

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. Estas exploraciones se realizaron a aproximadamente 3.00 m. de profundidad, para describir los estratos que lo conforman, así como, extraer muestras para la realización de ensayos y análisis (Figura 35).

Reconocimiento de la zona de estudio: Las exploraciones se ubicaron de tal manera que se distribuyan de forma geométrica uniforme en la ciudad de Piura. Para esto se consideró el análisis visual de las características del terreno, accesibilidad y lugares apropiados donde realizar las calicatas.

Excavaciones: Estas tuvieron las siguientes dimensiones: 1.5 x 1.5 m. y aproximadamente 3.00 m. de profundidad en promedio.

Muestreo: Proceso de extracción de dos muestras alteradas de suelo en bolsas herméticas con capacidad de 5 kg aproximadamente.

5.1.1.- Descripción de calicatas

Una vez terminada la excavación de la calicata, se procede a describir el perfil estratigráfico del subsuelo, usando fichas de descripción de calicatas (Anexo). Las coordenadas de las excavaciones realizadas se muestran en la Tabla 4 y Figura 36.

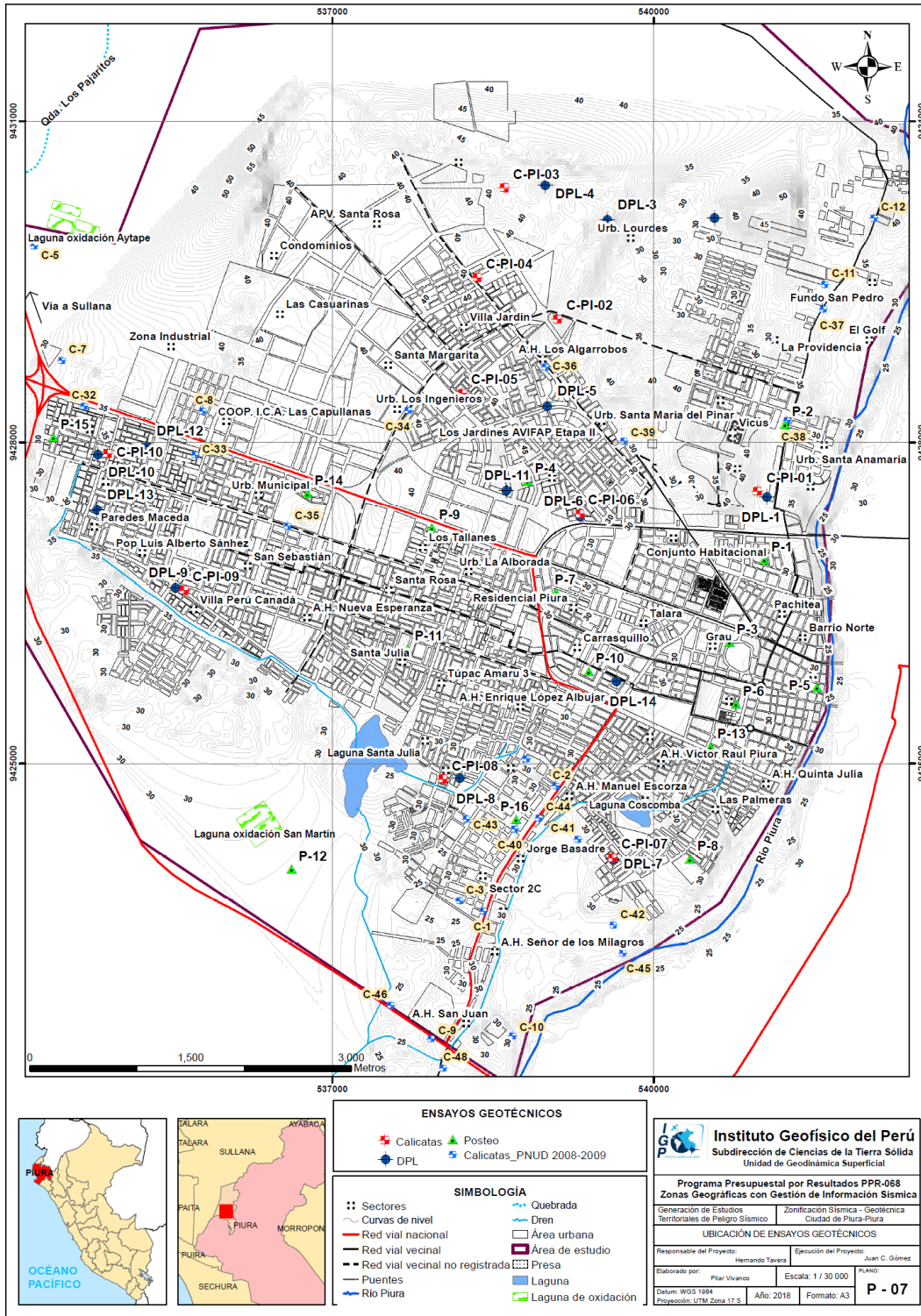


Figura 36: Mapa de distribución de calicatas, posteos y DPL en la ciudad de Piura y alrededores

Tabla 4: Ubicación de calicatas (NP, no presenta nivel freático)

CALICATA	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
C-PI-01	540970	9427541	45	2.5	N.P.
C-PI-02	537979	9430341	52	2.5	N.P.
C-PI-03	538606	9430376	46	3.1	N.P.
C-PI-04	538353	9429538	47	3	N.P.
C-PI-05	538218	9428403	51	2	N.P.
C-PI-06	539313	9427334	42	2.8	2.8
C-PI-07	539616	9424119	39	2.6	N.P.
C-PI-08	538033	9424857	37	2.8	N.P.
C-PI-09	535616	9426619	41	2.6	N.P.
C-PI-10	534903	9427895	42	2.5	N.P.

Cabe mencionar que, la profundidad de investigación promedio fue de 2.60 m., debido a que se encontraron arenas mal graduadas con nivel freático superficial, como es el caso de la calicata C-PI-06 y arenas muy sueltas que impidieron continuar con la excavación.

5.2. Densidad de suelo in situ (Norma ASTM D1556)

Este método permite conocer la densidad o peso unitario de los suelos in situ con cierto grado de compactación natural. Consiste en extraer material del suelo, a través de un orificio de 10 cm de profundidad realizado en el interior de la calicata, a fin de obtener una relación entre la masa de éste y el volumen conocido que ocupa la arena calibrada del cono de densidad.

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 compactación 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), así como en suelos saturados; sino más bien, en suelos que presentan cierta cohesión, tales como: arenas limosas y arenas arcillosas con contenido de gravas inferiores a 38 mm de diámetro.

A continuación, en la Tabla 5, se presenta los resultados obtenidos para las densidades de diez (10) calicatas elaboradas para el área de estudio (datos obtenidos a través del método del cono de arena). En los Anexos se adjunta sus fichas.

Tabla 5: Resultado de densidades in – situ

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	CONTENIDO DE HUEMIDAD (%)
C - PI - 01	DC-PI- 01	2.5	1.49	1.47	1.16
C - PI - 02	DC-PI- 02	2.5	2.03	2	1.29
C - PI - 03	DC-PI- 03	1.8	1.75	1.72	2.31
C - PI - 04	DC-PI- 04	3	2.33	2.27	2.42
C - PI - 05	DC-PI- 05	2	2.2	2.14	2.29
C - PI - 06	DC-PI- 06	1.1	1.22	1.18	6.4
C - PI - 07	DC-PI- 07	2.6	1.46	1.42	2.78
C - PI - 08	DC-PI- 08	1.3	1.98	1.95	1.2
C - PI - 09	DC-PI- 09	1.4	2.37	2.26	2.18
C - PI - 10	DC-PI- 10	1.2	1.53	1.51	2.33

Según los resultados obtenidos, los suelos de la ciudad de Piura presentan rangos de densidad entre 1.22 – 2.27 gr/cm³; y según la Tabla 6, corresponden a arenas pobremente graduadas muy sueltas.

Tabla 6: Valores típicos de densidad de suelos (CISMID, 2016).

MATERIALES		DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
ARENA Y GRAVA	MUY SUELTA	1.70 – 1.80	1.30 – 1.40
	SUELTA	1.80 – 1.90	1.40 – 1.50
	MEDIO DENSA	1.90 – 2.10	1.50 – 1.80
	DENSA	2.00 - 2.20	1.70 – 2.00
	MUY DENSA	2.20 – 2.30	2.00 – 2.20
ARENA	POBREMENTE GRADUADA (SP)	1.70 – 1.90	1.30 – 1.50
	BIEN GRADUADA (SW)	1.80 – 2.30	1.40 – 2.20
	MEZCLA DE ARENA (SW Y SP)	1.90 – 2.30	1.50 – 2.20
ARCILLA	LODO NO CONSOLIDADO	1.60 – 1.70	0.90 – 1.10
	BLANDA, AGRIETADA	1.70 – 1.90	1.10 – 1.40
	TÍPICA (CONS. NORMAL)	1.80 – 2.20	1.30 – 1.90
	MORRENA (SOBREC.)	2.00 – 2.40	1.70 – 2.20
SUELOS ROJOS TROPICALES		1.70 – 2.10	1.30 – 1.80

5.3. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D 1452)

Se define posteadora como un barredor manual en forma de “T” que permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta una profundidad de 5 a 6 m., a fin de obtener muestras del suelo. Las muestras extraídas se obtienen trituradas y completamente alteradas, sin embargo, sirven para conocer el tipo de suelo y contenido de humedad que presenta. (la cuchara saca muestras, se entrampan con este tipo de suelos).

Estas exploraciones fueron realizadas entre los puntos de las calicatas, tratando de cubrir el área de estudio o en los lugares donde no existía información geotécnica para obtener una mejor zonificación de los suelos de la ciudad de Piura.

En la Tabla 7, se muestran los resultados obtenidos y para detalle, en los Anexos se presenta sus fichas.

Tabla 7: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS (NP, no presenta datos).

POSTEO	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	NIVEL FREÁTICO ENCONTRADO A (m)
P-1	541032	9426903	39	2.40	SP-SM	N.P.
P-2	541225	9428169	40	1.30	SP	N.P.
P-3	540708	9426134	38	1.80	SP-SM	N.P.
P-4	538823	9427638	47	3.50	SP	N.P.
P-5	541524	9425713	39	4.20	SP	N.P.
P-6	540768	9425554	36	2.10	SP	1.6
P-7	539088	9426596	44	2.40	SM	N.P.
P-8	540339	9424109	27	0.60	SP	N.P.
P-9	537928	9427200	50	2.30	SM-SC	N.P.
P-10	539393	9425859	46	2.10	SP-SM	N.P.
P-11	537702	9426071	46	3.20	SP	N.P.
P-12	536619	9424015	38	1.60	SP	1.6
P-13	540529	9425155	27	1.60	SP-SM	N.P.
P-14	536768	9427522	44	0.80	SP	N.P.
P-15	534396	9428047	40	1.00	SP	N.P.
P-16	538716	9424478	34	1.00	SP	1

5.4. Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL, norma DIN4094)

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/cm^2 , además, se puede tener las propiedades de compacidad de los suelos.

Se hace mención que, este ensayo es aplicable en terrenos arenosos, arenarcillosos y limo arenosos, no recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos. El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

Ubicación de ensayos: Se distribuyeron generalmente al costado y en puntos intermedios a algunas de las calicatas, a fin de obtener mayor información de la resistencia del suelo en el área estudiada.

Ensamble de equipo: Consiste en conectar los accesorios del equipo, la punta cónica va al final de la varilla de penetración, esta se une a la guía que contiene el yunque, posteriormente se ajusta las uniones y finalmente se empieza a hincar el suelo con la caída libre del martillo (acción de la gravedad).

Proceso de toma de datos: Se debe registrar el número de golpes por cada 10 cm que la varilla penetra el suelo; se sigue este procedimiento hasta que el suelo ofrezca resistencia (no exceder los 45 golpes de acuerdo a norma técnica).

En la Tabla 8, se indica la ubicación de los ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL) realizados en las inmediaciones de la ciudad de Piura, registrándose el número de golpes y el ángulo de fricción interna calculado en base a los parámetros de compacidad y densidad relativa según la fórmula de Meyerhof (1956). La ficha del ensayo se adjunta en los Anexos.

En trece ensayos se ha logrado alcanzar una profundidad entre 1.00 y 3.60 m., pero en el DPL-14 sólo se penetró 0.30 m. debido a la presencia de materiales granulares, conformados por clastos subangulosos.

Asimismo, la profundidad alcanzada a través de la elaboración de estos ensayos permitió inferir que los suelos ubicados al norte y noroeste del centro urbano presentan consistencia media a baja (DPL-01, 11, 12, 13 y 14), mientras que, los que se encuentran al sur y sureste poseen compacidad media (DPL-02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09 y 10).

Tabla 8: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetros obtenidos

DPL	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD TOTAL (m)	NÚMERO DE GOLPES	Φ
DPL-01	511055	9427485	32	1.85	11	30.5
DPL-02	540569	9430096	39	3.60	37	36.1
DPL-03	539568	9430075	44	2.60	42	37
DPL-04	538987	9430402	42	2.70	41	36.8
DPL-05	539006	9428336	46	1.20	42	37
DPL-06	539312	9427305	40	1.90	30	30.5
DPL-07	539624	9424103	40	3.20	45	37.6
DPL-08	538191	9424861	32	3.30	30	34.8
DPL-09	535536	9426636	41	1.40	45	37.6
DPL-10	534872	9427978	45	1.90	45	37.6
DPL-11	538625	9427548	46	2.80	17	31.8
DPL-12	535265	9427963	41	1.00	1	25.4
DPL-13	534802	9427368	42	1.90	10	29.7
DPL-14	539652	9425765	46	0.30	11	30.5

5.4.1. Correlación entre el “N” DPL y el “N” SPT (ASTM D1586)

El ensayo DPL no cuenta con correcciones normadas para la obtención del ángulo de fricción interna, es por ello que, los valores obtenidos del número de golpes del ensayo DPL (N_{DPL}) fueron correlacionados con el número de golpes del ensayo de penetración estándar (N_{SPT}), a fin de determinar el ángulo de fricción interna corregido y posteriormente, calcular la capacidad de carga admisible.

Entre los diversos métodos de correlación para el número de golpes del ensayo DPL y SPT, en base a las características del terreno (compacidad, resistencia y deformabilidad), e incluso con las dimensiones de las cimentaciones requeridas, se utilizó una fórmula empírica que relaciona los parámetros de los equipos DPL y SPT, tales como: peso del martillo, altura de caída del martillo, área de la punta cónica, el espesor de la hinca y los número de golpes obtenidos con el DPL, a continuación se detalla dicha relación:

$$N_1 = N_2 \frac{W_1 * H_1 * A_2 * e_2}{W_2 * H_2 * A_1 * e_1}$$

Dónde:

N_1 = Número de golpes equivalente en SPT

N_2 = Número de golpes obtenidos en DPL

W_1 = Peso del martillo del DPL

W_2 = Peso del martillo SPT

H_1 = Altura de caída de DPL

H_2 = Altura de caída del SPT

A_1 = Área de la punta cónica del DPL

A_2 = Área de la punta cónica del SPT

e_1 = Espesor de la hinca del DPL

e_2 = Espesor de la hinca del SPT

Una vez calculado los valores de golpes con el SPT (N_{SPT}), se realizaron las siguientes correcciones por: nivel freático, eficiencia, longitud y diámetro, para así obtener un nuevo valor de número de golpes por ensayo SPT (N'_{SPT}), con el cual se procede a estimar el ángulo de fricción interna de los suelos.

5.4.2. Cálculo del ángulo de fricción interna a partir del “N” SPT

Para determinar el ángulo de fricción interna de los suelos de cimentación, existen diversas fórmulas empíricas propuestas por diversos autores, por mencionar algunos autores tenemos: Dunham, Osaki (1959), Muromachi (1974), Peck (1974), Das (1995) y Katanaka - Uchida (1996). Para el caso de la ciudad de Piura, se empleó la relación experimental propuesta por OSAKI (1959), debido a que, es la más usada internacionalmente y sus resultados son conservadores, respecto a los otros autores antes mencionados (Tabla 9).

Tabla 9: Cálculo del ángulo de fricción interna, usando valores del N_{SPT} .

ENSAYO	N_{SPT} Corregido	Ángulo de Fricción Interna (ϕ'_{NSPT})	N_{SPT} Corregido	Ángulo de Fricción Interna (ϕ'_{NSPT})
DPL-03	1.27	20°	11.28	30°
DPL-05	7.08	26.9°	8.46	28°
DPL-06	12.6	30.9°	-	-
DPL-08	9.32	28.7°	9.15	28.5°
DPL-10	23.31	36.6°	-	-
DPL-11	3.11	22.9°	18.13	34°
DPL-13	3.63	23.5°	5.18	25.2°
DPL-14	12.78	31°	19.86	34.9°
Profundidad del Ensayo	1.00- 1.20m		1.30-1.50 m	

Tabla 10: Compacidad relativa y consistencia de los suelos con sus respectivos ángulos de fricción interna en base al N_{spt} . (Adaptado de Crespo, V. 2014)

COMPACIDAD RELATIVA DE SUELOS GRANULARES			CONSISTENCIA DE SUELOS COHESIVOS SATURADOS		
Valor de N_{spt}	Compacidad relativa	Ángulo de fricción interna (ϕ)	Valor de N_{spt}	Consistencia	Ángulo de fricción interna (ϕ)
0-4	Muy compacta	< 28°	<2	Muy blanda	0°
4-10	Suelta	28°-30°	2-4	Blanda	0°-2°
10-30	Media	30°-36°	4-8	Media	2°-4°
30-50	Compacta	36°-41°	8-15	Compacta	4°-6°
> 50	Muy compacta	>41°	15-30	Muy compacta	6°-12°
			>30	Dura	>14°

De acuerdo a los datos de las Tablas 9 y 10, los suelos de la ciudad de Piura en su mayoría son arenas mal graduadas con mezcla de arenas limosas, presentando compacidad muy suelta, con ángulos de fricción entre 26.9 °, luego las arenas pobremente graduadas presentan una compacidad suelta a media con ángulo de fricción comprendidos de 29° y 30.9°.

Finalmente, se adjunta en el Anexo de geotecnia, la ficha resumen de cada uno de los ensayos realizados en campo y sus respectivos valores del ángulo de fricción interna (Figura 37).

**ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA
(NORMA DIN - 4094)**

PROYECTO: ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE PIURA

UBICACIÓN: Urb. El Chipe

PROFUNDIDAD (m): 1.85

COORDENADAS (m): 511055 E
9427485 N

FECHA: Junio del 2018

ELABORADO POR: Pilar Vivanco

APROBADO POR: Juan Carlos Gómez A.

RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

ENSAYO: **DPL-01**

HOJA: 1/14

N.F: SI NO presenta nivel freático

Correlación entre DPL y SPT

PROF. (m.)	N _{dpl} (golpes)	N _{spt} (golpes)	C' _{spt} (Tn/m ²)	Ø' _{spt} (°)	Compacidad Relativa
0.00					
0.10	3				
0.20	7	3.97	0.0	23.9	Muy Suelta
0.30	13				
0.40	21				
0.50	26	12.43	0.0	30.8	Media
0.60	25				
0.70	20				
0.80	15	8.12	0.0	27.7	Suelta
0.90	12				
1.00	15				
1.10	16	7.94	0.0	27.6	Suelta
1.20	15				
1.30	9				
1.40	9	4.66	0.0	24.7	Suelta
1.50	9				
1.60	12				
1.70	15	6.56	0.0	26.5	Suelta
1.80	11				
1.85	11				
2.00		1.90	0.0	21.2	Muy Suelta
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					
2.90					
3.00					
3.10					
3.20					
3.30					
3.40					
3.50					
3.60					
3.70					
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					

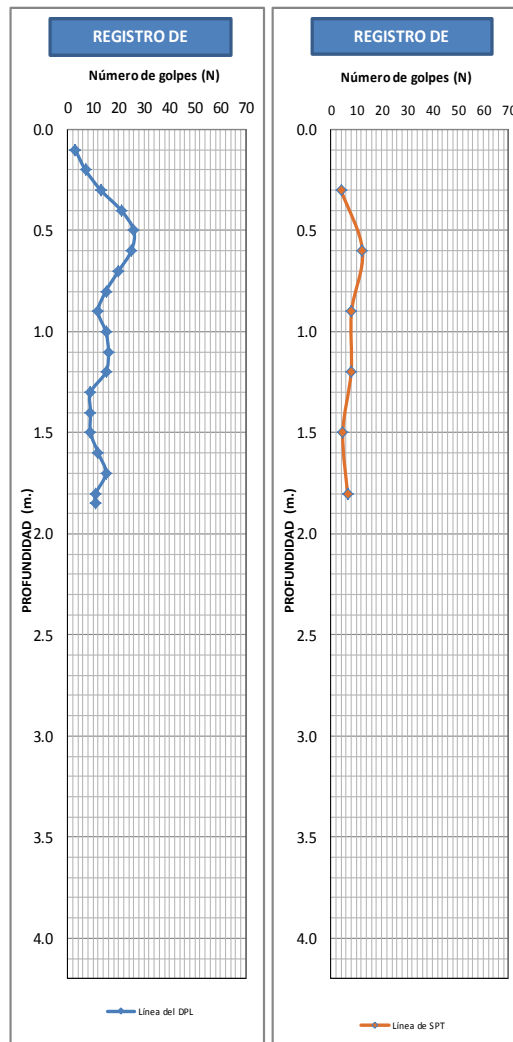


Figura 37: Diagrama de correlación entre el número de golpes del DPL y el número de golpes del SPT y el cálculo de ángulo de fricción interna

5.5. Clasificación SUCS para Suelos

En base a la información geotécnica recopilada de estudios anteriores, así como de las calicatas, posteos y DPL, realizados en la ciudad de Piura, los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad realizados en el laboratorio de Mecánica de Suelos (Anexo de Geotecnia - Resultados de Laboratorio), se ha identificado 4 tipos de suelos, los mismos que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ver Tabla 11 y Figura 38.

Suelo tipo SP: Arena mal graduada con gravas con contenido de humedad entre 1.16 y 2.78 %, constituyen suelos semicompactos, no presentan plasticidad (debido a la escasa presencia de material fino). Abarcan el 50 % de la zona de estudio y se presentan en las calicatas (C-01, C-03, C-06 y C-08), así como en los posteos (P-02, P-04, P-05, P-06, P-08, P-11, P-12, P-14, P-15 y P-16).

Suelo tipo SM: Arena con limo, el contenido de humedad varía de 1.29 a 2.33 %, por lo cual se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es baja, son suelos semicompactos a sueltos, no presentan plasticidad. Estos suelos se presentan en las calicatas (C-02, C-04, C-05, C-07, C-09 y C-10) y posteo (P-07) ocupando el 30 % del área de estudio.

Suelo tipo SC: Arena con arcilla, con contenido de humedad media por lo cual se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es media, son suelos semicompactos, no presentan plasticidad. Este suelo se identifica en el posteo (P-09) ocupando el 10 % del área de estudio.

Suelo tipo SP-SM: Arena con limo y grava, sin contenido de humedad, no se considera que presente capacidad de retención (permeabilidad), son suelos semicompactos a sueltos, no presentan plasticidad. Estos suelos se reconocen en los posteos (P-01, P-03, P-06, P-10 y P-13).

Tabla 11: Clasificación SUCS de los suelos de las diez (10) calicatas elaboradas en la ciudad de Piura.

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)	GRAVAS % (>4.76 mm)	ARENAS % (>0.074 mm, <4.76 mm)	FINOS % (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
C - PI - 01	2.5	N.P.	0	94.4	5.59	N.P.	N.P.	N.P.	1.16	SP	Arena mal graduada
C - PI - 02	2.5	N.P.	0	64.1	35.85	N.P.	N.P.	N.P.	1.29	SM	Arena limosa
C - PI - 03	3.1	N.P.	0	95.3	4.74	N.P.	N.P.	N.P.	2.31	SP	Arenal mal graduada
C - PI - 04	3	N.P.	0	85.9	14.13	N.P.	N.P.	N.P.	2.42	SM	Arena limosa
C - PI - 05	2	N.P.	0	66.4	33.64	N.P.	N.P.	N.P.	2.29	SM	Arena limosa
C - PI - 06	2.8	2.8	0	96.14	3.9	N.P.	N.P.	N.P.	6.4	SP	Arena mal graduada
C - PI - 07	2.6	N.P.	0	80.81	19.2	N.P.	N.P.	N.P.	2.78	SM	Arena limosa
C - PI - 08	2.8	N.P.	0	88.19	11.8	N.P.	N.P.	N.P.	1.2	SP	Arena mal graduada
C - PI - 09	2.6	N.P.	42	34.95	23	N.P.	N.P.	N.P.	2.18	SM	Arena limosa
C - PI - 10	2.5	N.P.	2.2	49.01	48.8	N.P.	N.P.	N.P.	2.33	SM	Arena limosa

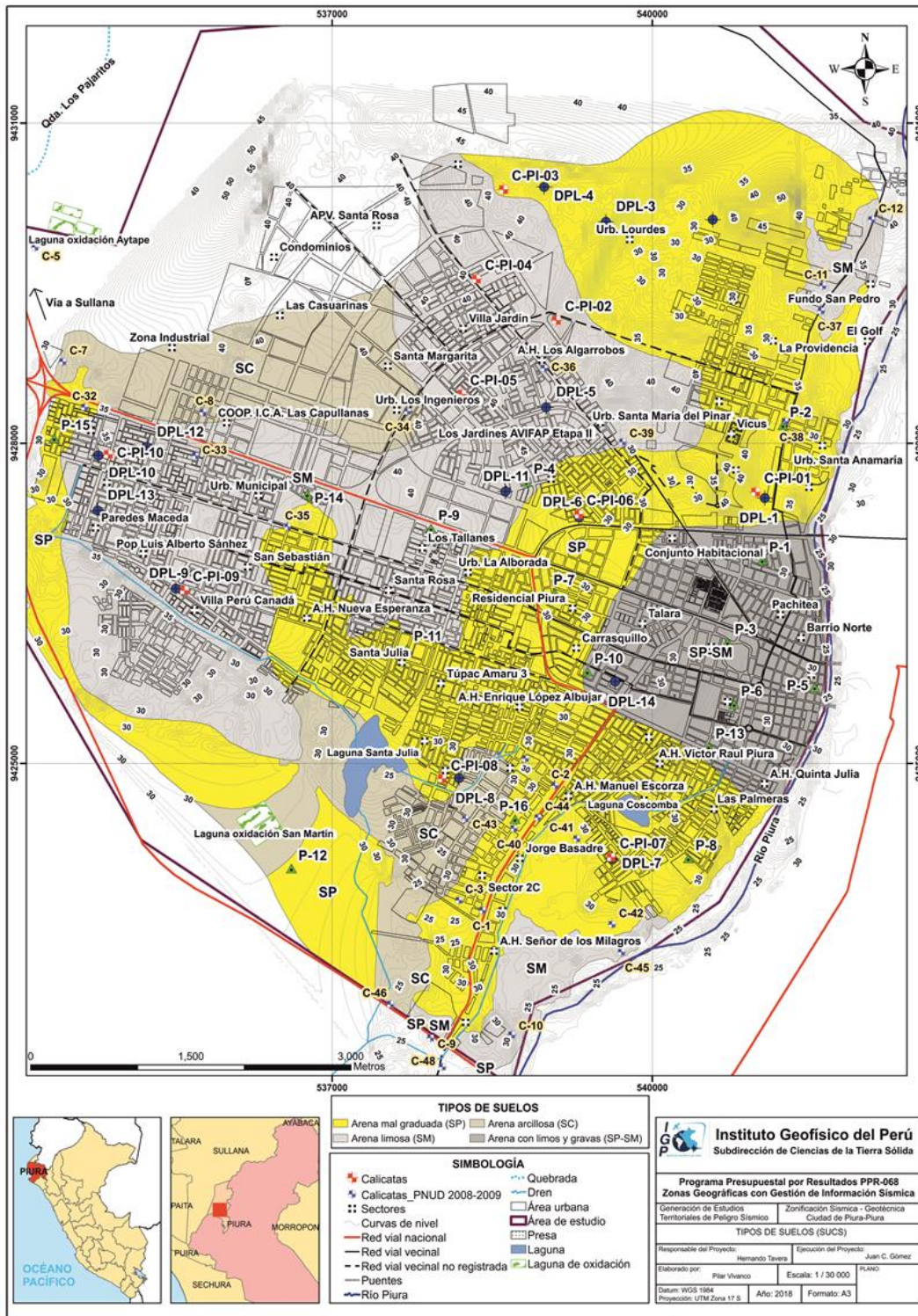


Figura 38: Mapa de clasificación SUCS para los suelos de la ciudad de Piura y alrededores.

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

La finalidad de este ensayo es determinar la resistencia al esfuerzo 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 Piura han sido basados en datos de laboratorio de Mecánica de Suelos (Anexo de Geotecnia - Resultados de Laboratorio), corroborados con datos teóricos de los parámetros de ángulo de fricción y cohesión de Terzaghi e información de DPL realizados en campo, haciendo uso de las fórmulas de falla general o local según el tipo de suelo.

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

Se define como el esfuerzo máximo que puede ser aplicado a la masa de suelo de tal forma que se cumplan los requerimientos básicos y se encuentra establecido por la relación entre la carga última y un factor de seguridad cuyo valor es de 3, de acuerdo a la norma técnica peruana para el diseño de cimentaciones E.050.

Los resultados de capacidad de carga admisible de las 10 muestras de suelos extraídas en la ciudad e Piura se presentan en la Tabla 12.

Según los valores del ángulo de fricción corregido a partir de la correlación del “N” del DPL en función al del SPT y los datos de cohesión de los suelos obtenidos mediante el corte directo realizado en el laboratorio de Mecánica de Suelos, se determinó las capacidades portantes de los suelos investigados solo para los DPL que alcanzaron una profundidad de cimentación de 1.00 m. y 1.50 m. (Tabla13 y Figura 38).

Tabla 12: Capacidad de carga admisible de las muestras extraídas en la ciudad de Piura

MUESTRA	Capacidad de carga última (Tn/m ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)	Capacidad de carga última (Tn/m ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)
C - PI - 01	0.90	0.30	1.24	0.41
C - PI - 02	0.78	0.26	1.12	0.37
C - PI - 03	0.95	0.32	1.41	0.47
C - PI - 04	0.55	0.18	0.81	0.27
C - PI - 05	0.92	0.31	1.31	0.44
C - PI - 06	0.73	0.24	1.02	0.34
C - PI - 07	0.55	0.18	0.80	0.27
C - PI - 08	1.04	0.35	1.48	0.49
C - PI - 09	0.90	0.30	1.30	0.43
C - PI - 10	0.58	0.19	0.80	0.28
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

Tabla 13: Capacidad de carga admisible (Criterio de falla general y local) en base al ángulo de fricción corregido del N del DPL vs SPT y cohesión obtenida del ensayo de corte directo.

ENSAYO	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)	Tipo de corte	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)	Tipo de corte
DPL-01	1.26	0.42	F.L	1.34	0.45	F.L
DPL-02	1.23	0.41	F.L	1.67	0.56	F.L
DPL-03	1.6	0.53	F.L	2.5	0.83	F.L
DPL-04	1.35	0.45	F.L	2.22	0.74	F.L
DPL-05	2.69	0.9	F.L	---	---	
DPL-06	1.6	0.53	F.L	2.49	0.83	F.L
DPL-07	0.97	0.32	F.L	1.29	0.43	F.L
DPL-08	1.55	0.52	F.L	2.14	0.71	F.L
DPL-09	3.93	1.31	F.L	---	---	
DPL-10	0.92	0.31	F.L	1.55	0.52	F.L
DPL-11	0.79	0.26	F.L	1.2	0.4	F.L
DPL-13	1.18	0.39	F.L	1.42	0.47	F.L
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00			Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00		

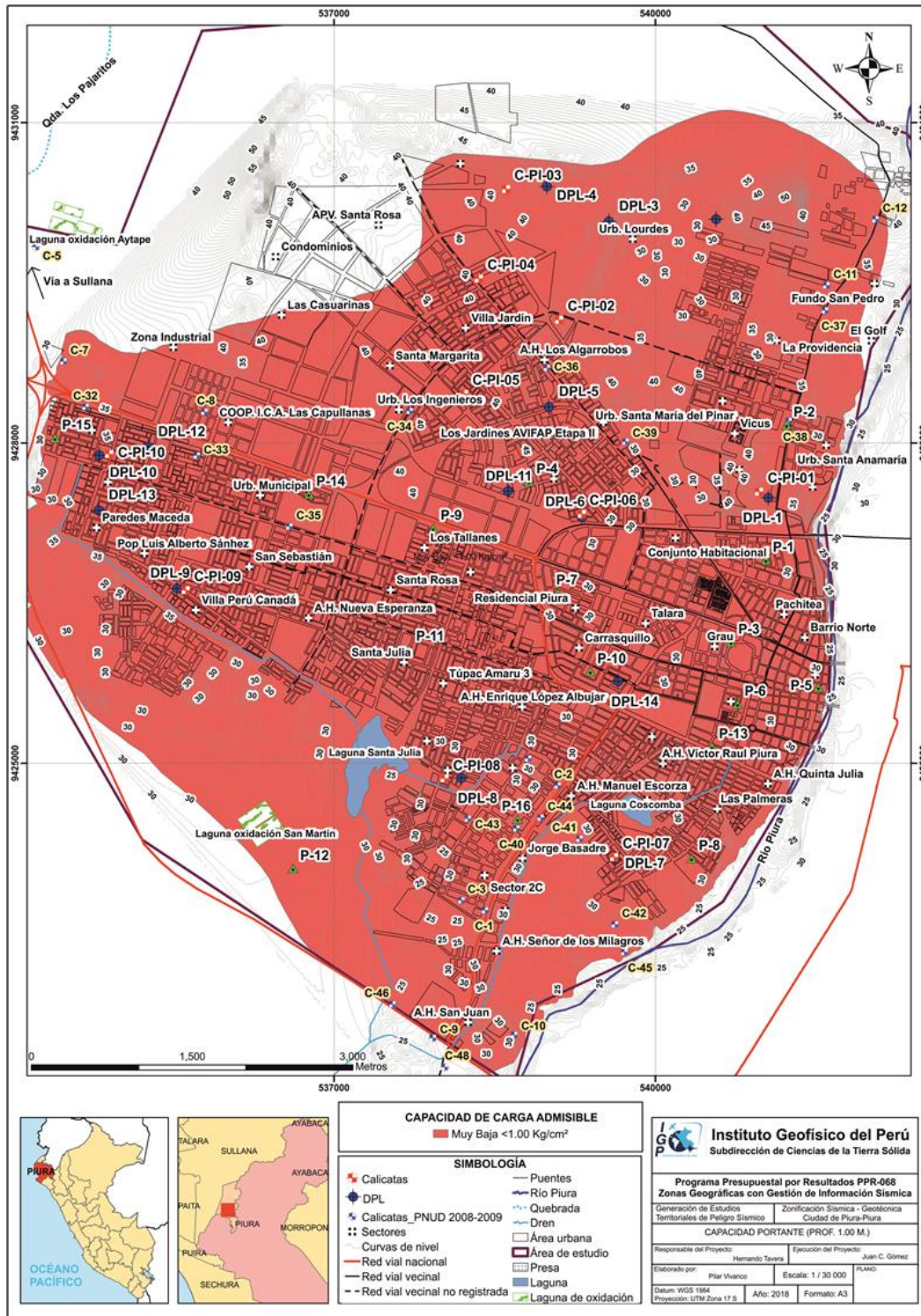


Figura 39: Mapa de capacidad de carga admisible para la ciudad de Piura y alrededores.

De los resultados citados anteriormente y tomando en cuenta los valores de la Tabla 14, se ha determinado que, la zona urbana de la ciudad de Piura en su mayoría ha sido construida con cimentaciones de 1.00 m de profundidad. Ante ello, se ha clasificado los suelos con la siguiente capacidad de carga admisible.

Tabla 14: Rango de capacidad de carga admisible.

CAPACIDAD CARGA ADMISIBLE (kg/cm ²)	DENOMINACION
< 1.0	MUY BAJA
1.0 - 2.0	BAJA
2.0 - 3.0	MEDIA
> 3.0	ALTA

5.7.1. Carga última (qu)

Es la presión última por unidad de área de la cimentación soportada por el suelo, en exceso de la presión causada por el suelo alrededor al nivel de la cimentación (Amézquita, et al). Para determinar la carga última se usaron los resultados de los ensayos de corte directo y en base al N_{SPT} (ángulo de fricción y la cohesión), datos que se usaran con la fórmula general de Terzaghi (1943), a través de la siguiente expresión (Tabla 15):

Formula para falla por corte general:

$$q_u = c \cdot N_c + q \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

Formula para falla por corte local:

$$q_u = \frac{2}{3} \cdot c \cdot N'_c + q \cdot N'_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N'_\gamma$$

C: cohesión

Donde:

C: cohesión

q: carga ($\gamma \cdot D_f$)

N_c , N_q , N_r : Factores de carga, Tabla 15.

Tabla 15: Factores de cohesión, carga y volumen aplicados para la falla por Corte General propuesto por Terzaghi y Kumbhojkar (1993) y para Falla por Corte Local los parámetros Modificado propuestos por Terzaghi.

TERZAGHI (según Kumbhojkar, 1993)				Modificado por TERZAGHI			
Ángulo Fi	Nc	Nq	Ng	Ángulo Fi	Nc	Nq	Ng
0	5.7	1	0	0	5.7	1	0
1	6	1.1	0.01	1	5.9	1.07	0.005
2	6.3	1.22	0.04	2	6.1	1.14	0.02
3	6.62	1.35	0.06	3	6.3	1.22	0.04
4	6.97	1.49	0.1	4	6.51	1.3	0.055
5	7.34	1.64	0.14	5	6.74	1.39	0.074
6	7.73	1.81	0.2	6	6.97	1.49	0.1
7	8.15	2	0.27	7	7.22	1.59	0.128
8	8.6	2.21	0.35	8	7.47	1.7	0.16
9	9.09	2.44	0.44	9	7.74	1.82	0.2
10	9.61	2.69	0.56	10	8.02	1.94	0.24
11	10.16	2.98	0.69	11	8.32	2.08	0.3
12	10.76	3.29	0.85	12	8.63	2.22	0.35
13	11.41	3.69	1.04	13	8.96	2.38	0.42
14	12.11	4.02	1.26	14	9.31	2.55	0.48
15	12.86	4.45	1.52	15	9.67	2.73	0.57
16	13.68	4.92	1.82	16	10.06	2.92	0.67
17	14.6	5.45	2.18	17	10.47	3.13	0.76
18	15.12	6.04	2.59	18	10.9	3.36	0.88
19	16.56	6.7	3.07	19	11.36	3.61	1.03
20	17.69	7.44	3.64	20	11.85	3.88	1.12
21	18.92	8.26	4.31	21	12.37	4.17	1.35
22	20.27	9.19	5.09	22	12.92	4.48	1.55
23	21.75	10.23	6	23	13.51	4.82	1.74
24	23.36	11.4	7.08	24	14.14	5.2	1.97
25	25.13	12.72	8.34	25	14.8	5.6	2.25
26	27.09	14.21	9.84	26	15.53	6.05	2.59
27	29.24	15.9	11.6	27	16.3	6.54	2.88
28	31.61	17.81	13.7	28	17.13	7.07	3.29
29	34.24	19.98	16.18	29	18.03	7.66	3.76
30	37.16	22.46	19.13	30	18.99	8.31	4.39
31	40.41	25.28	22.65	31	20.03	9.03	4.83
32	44.04	28.52	26.87	32	21.16	9.82	5.51
33	48.09	32.23	31.94	33	22.39	10.69	6.32
34	52.64	36.5	38.04	34	23.72	11.67	7.22
35	57.75	41.44	45.41	35	25.18	12.75	8.35
36	63.53	47.16	54.36	36	26.77	13.97	9.41
37	70.01	53.8	65.27	37	28.51	15.32	10.9
38	77.5	61.55	78.61	38	30.43	16.85	12.75
39	85.97	70.61	95.03	39	32.53	18.56	14.71
40	95.66	81.27	115.31	40	34.87	20.5	17.22
41	106.81	93.85	140.51	41	37.45	22.7	19.75
42	119.67	108.75	171.99	42	40.33	25.21	22.5
43	134.58	126.5	211.56	43	43.54	28.06	26.25
44	151.95	147.74	261.6	44	47.13	31.34	30.4
45	172.28	173.28	325.34	45	51.17	35.11	36
46	196.22	204.19	407.11	46	55.73	39.48	41.7
47	224.55	241.8	512.84	47	60.91	44.45	49.3
48	258.28	287.85	650.67	48	66.8	50.46	59.25
49	298.71	344.63	831.99	49	73.55	57.41	71.45
50	347.5	415.14	1072.8	50	81.31	65.6	85.75

Luego, en base a los resultados de la carga última (q_u) se calculó la capacidad admisible de los suelos para una profundidad de cimentación de 1.00 m y ancho de zapata de 1.00 m, así como también para una profundidad de cimentación de 1.50 m y ancho de zapata de 1.00 m. Los resultados de capacidad de carga admisible para los 02 tipos de suelos analizados se presentan en la Figura 39

5.7.2. Capacidad de carga admisible muy baja

Comprende rangos de capacidad de carga admisible menores a 1.00 kg/cm^2 , se encuentran representado por los cuatro tipos de suelos arena mal graduada (SP), arena limosa (SM), arena arcillosa (SC) y arena con grava y limo (SP-SM) hasta una profundidad de 1.00 m. de profundidad. Representan el 100 % de la ciudad de Piura.

CONCLUSIONES

- Piura se caracteriza por presentar seis geoformas: lecho fluvial, terraza aluvial, colinas, duna, llanura de inundación y depresiones en el terreno. La mayor parte de ellas están conformadas por materiales aluviales y eólicos sobre los cuales se asienta la ciudad en mención. Estos depósitos indican que anteriormente estas zonas eran parte de la llanura de inundación del río Piura; por tanto, es un condicionante para la ocurrencia de las inundaciones fluviales (desborde del río Piura), principalmente en las calles Lima, Moquegua y Malecón Eguiguren ubicados en la margen derecha del río Piura. Por otro lado, estos materiales son erosionables, por ello facilitan la formación de hondonadas donde se acumulan las aguas provenientes de las precipitaciones, tal como ocurre en los sectores noroeste (A.H. Los Algarrobos), sector Cinco Esquinas, prolongación Chulucanas, Finalmente, la falta de un sistema de drenaje con la construcción de vías de comunicación favorecen la acumulación de las aguas pluviales tal como se suscita en el centro (óvalo Grau) y sur (Laguna Coscomba).
- En base a los resultados de los ensayos geotécnicos y del laboratorio se ha determinado que los tipos de suelos presentes en la ciudad de Piura son cuatro (4): Arenas mal graduadas (SP) y arenas limosas (SM), Arena arcillosa (SC), Arena con limos y grava (SP-SM), los cuales presentan capacidad de carga admisible muy baja ($<1\text{kg/cm}^2$).
- Se ha identificado que los suelos sobre los cuales se asienta el área urbana de la urb. Mariscal Tito podrían presentar potencial de licuación de suelos ante la ocurrencia de un sismo, al estar constituidos por arenas sueltas y haberse evidenciado la presencia de nivel freático superficial a 2.80 m. de profundidad.

CARACTERIZACIÓN SÍSMICA Y GEOFÍSICA DE LA CIUDAD DE PIURA

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

- 1.1. Razones Espectrales H/V
- 1.2. Análisis Multicanal de ondas Superficiales (MASW)
- 1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

2. RECOLECCIÓN DE DATOS

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

- 3.1. Estudio Sísmico con la Técnica de H/V
- 3.2. Estudio Sísmico con la Técnica de MASW
- 3.3. Estudios Eléctricos con la Técnica ERT

4. ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA

- 4.1. Integración de resultados
- 4.2. Mapa de Zonificación Sísmica

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

El estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica para el área urbana de Piura se ha realizado con información recolectada en campo 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 (Figura 1).

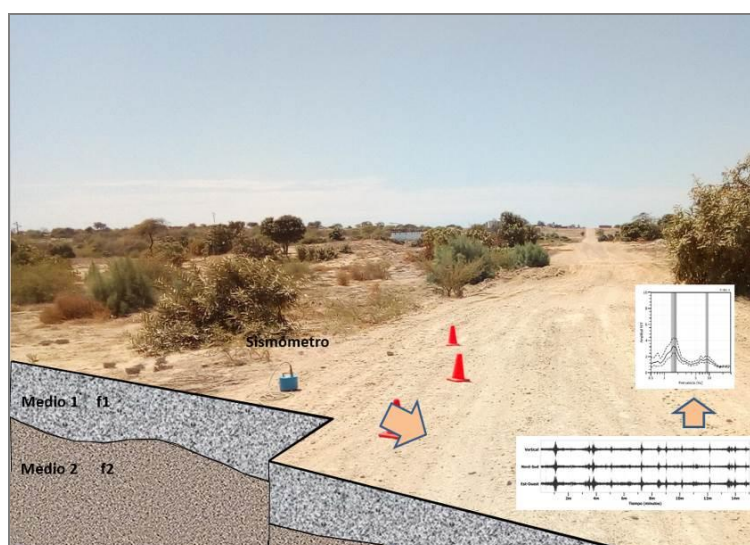


Figura 1: Registro de vibración ambiental.

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.

En la Figura 2, se muestra un ejemplo de registro de vibración ambiental (PI-140). El procedimiento seguido para el total de la información obtenida en campo. El primer recuadro presenta la selección de las ventanas de procesamiento para las tres componentes de la señal registrada (Vertical, N-S y E-O), seguidamente la curva H/V, en la cual la curva continua negra es el promedio del cociente H/V; mientras que, las curvas discontinuas son la desviación estándar, las bandas grises identifican las frecuencias principales. Finalmente, para la presentación de los resultados, las frecuencias son expresadas en periodos dominantes.

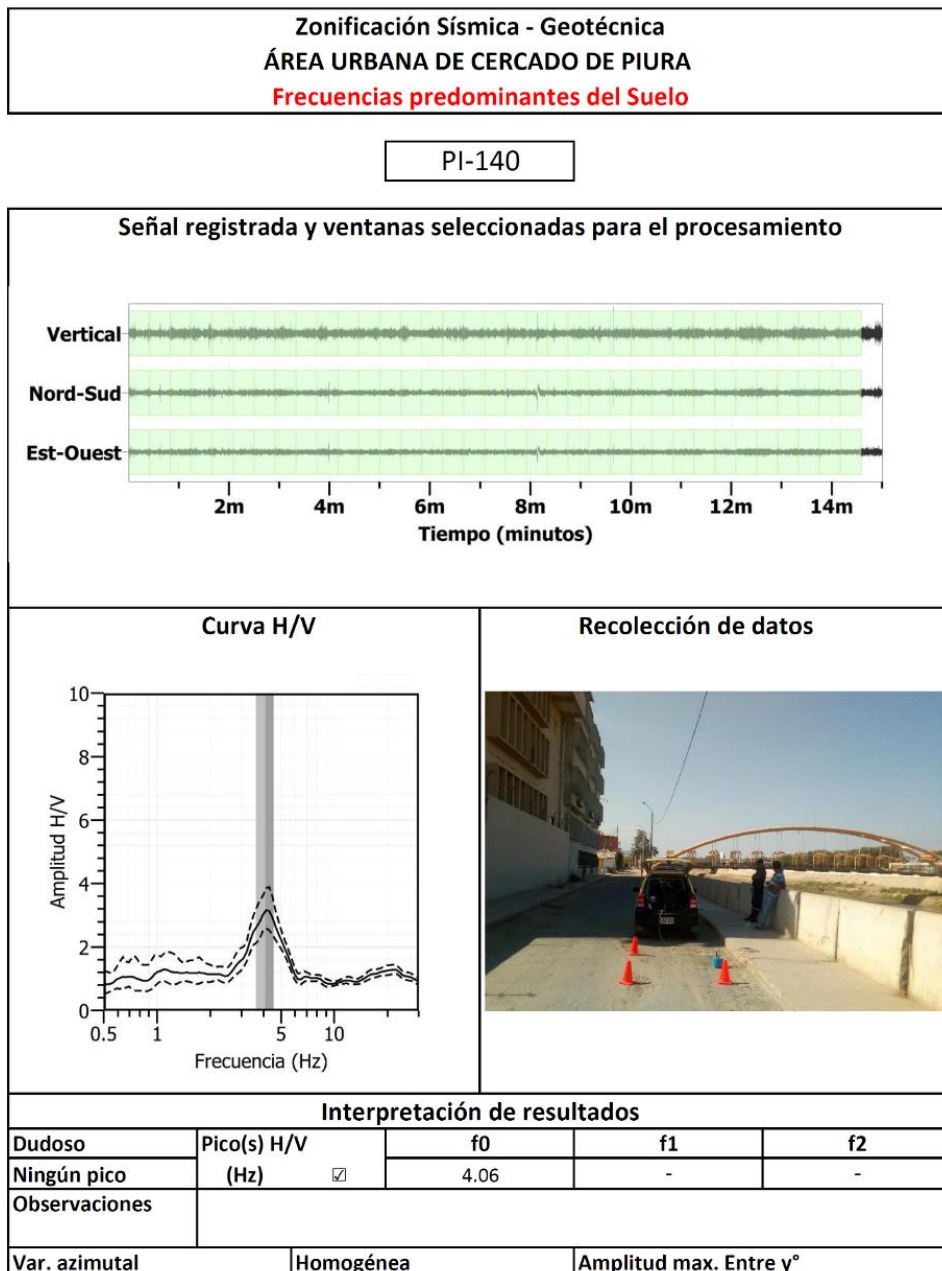


Figura 2: Ejemplo de la ficha H/V para el punto PI-140 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas y Abajo resultados.

Para la interpretación de los resultados se considera que: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar, y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos), 2) Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos y 3) Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2004; Bernal, 2006). Asimismo, se evalúa la correspondencia de los parámetros físicos-dinámicos encontrados con los aspectos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos que domina a la zona de estudio.

1.2. Análisis Multicanal de ondas Superficiales (MASW)

El arreglo lineal MASW es un método indirecto y permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto; es decir, permite conocer la velocidad de propagación de las ondas de Corte Vs en el subsuelo, a partir del análisis de la dispersión de ondas Superficiales (ondas Rayleigh), generados por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de estaciones sísmicas, tal como muestra en la Figura 3.

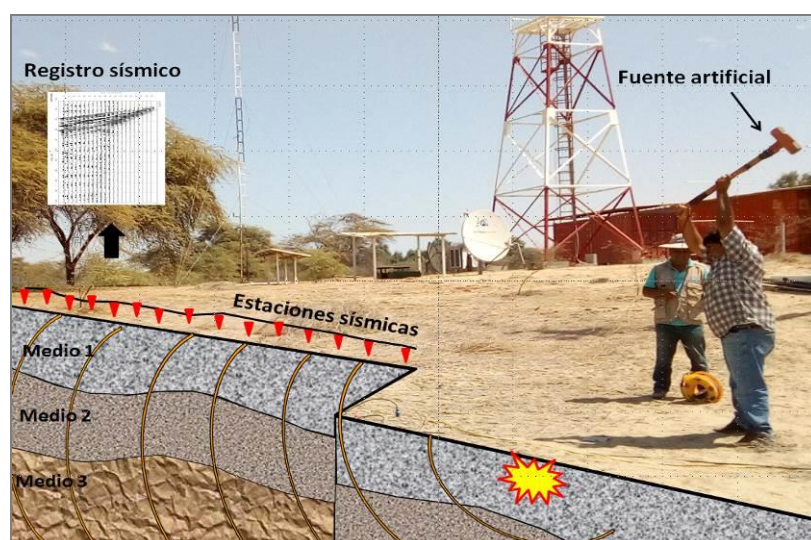


Figura 3: Generación de ondas Rayleigh con fuente artificial y su respectiva curva de dispersión.

La profundidad máxima de investigación (Z_{max}) depende de la longitud de la línea sísmica (D). Usualmente D es más grande que Z_{max} (Park, 2015), es decir: $D = nZ_{max}$, donde ($1 \leq n \leq 3$). Para fines geotécnicos la profundidad máxima de investigación suele estar en el rango de 10-30 m, pero puede variar según el tipo de suelo, la longitud de arreglo sísmico y el tipo de fuente activa utilizada (Park, 2007).

En la Figura 4, se muestra un ejemplo de los resultados que se obtiene a partir del arreglo MASW. La imagen de la izquierda muestra la curva de dispersión obtenida y de la derecha, muestra el perfil de velocidad de ondas de corte Vs (línea verde) que considera el promedio final de los perfiles obtenidos post inversión, los círculos de color verde representa la inversión de la curva de dispersión del dominio de frecuencia a profundidad. Esta curva permite verificar el nivel de confiabilidad o la profundidad mínima y máxima de investigación (área sombreada), en este caso; el perfil presenta una capa sísmica y un semiespacio, donde, el nivel de confiabilidad es de 2 a 30 metros de profundidad.

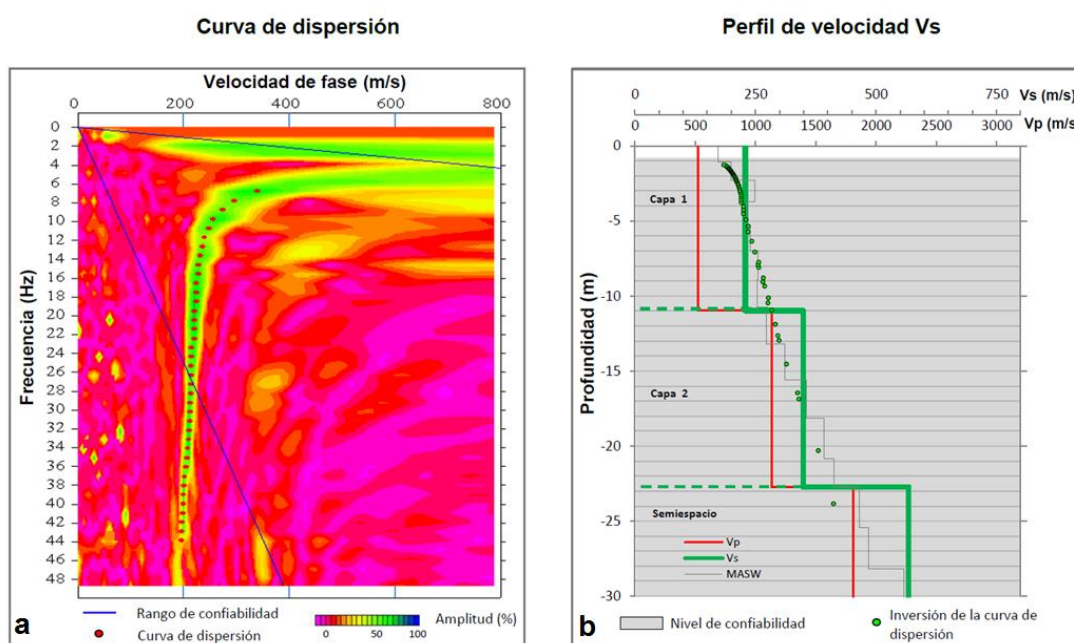


Figura 4 a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir de la técnica de MASW.

Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en este ítem se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030-2018. En este caso, el rango de velocidad de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen a fin de considerar dos clasificaciones adicionalmente. Asimismo, esta nueva clasificación del perfil del suelo es representado con colores, los cuales son mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1: Clasificación de perfiles de suelo, a partir de la norma E.030.

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

Finalmente, se realiza la correlación de las capas sísmicas obtenidas con la geología de la zona de estudio. Asimismo, la relación con el contenido de humedad o nivel freático, parámetros que influyen en la variación de velocidad de ondas Vs.

1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

La tomografía eléctrica permite obtener información 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.

La tomografía eléctrica es un método convencional que se basan en introducir en el terreno, un campo eléctrico de corriente continua mediante dos electrodos de corriente (A y B) conectados a un miliamperímetro, mientras que con los otros dos electrodos (M y N), que están conectados a un milivoltímetro donde se medirá cual es la diferencia de potencial eléctrica ΔV entre esos dos puntos (Figura 5).

La profundidad de investigación depende de la separación entre electrodos, por ejemplo con una separación de electrodos de 1 metro, tendríamos una profundidad máxima de 9 metros en el centro del perfil. Si se aumenta la distancia entre los electrodos aumenta la profundidad de alcance, pero disminuye la resolución y en consecuencia aumenta el error.

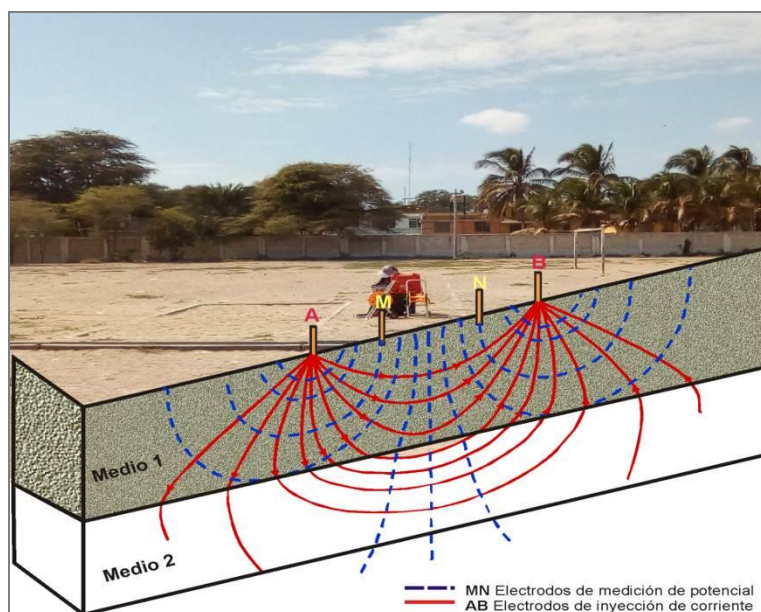


Figura 5: Principio del método de resistividad (LE01-PI).

Para el análisis de la información obtenida en campo se ha procedido con su calificación en función de la diferencia del potencial con relación al valor de Intensidad de corriente en cada punto de lectura y en conjunto. Este procedimiento permite eliminar la posible influencia de corrientes externas que afecten los valores de resistividad aparente. El procesamiento de los datos (I : intensidad de corriente, V_p : diferencia de potencia y K : constante geométrica del dispositivo), permite conocer los valores de Resistividad y su configuración en el subsuelo, incluyendo la corrección por topografía.

Finalmente, los resultados son presentados mediante Sección de Resistividad 2D (Resistividad) que relacionan la distancia - profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo y secciones de interpretación donde se detallan las posibles estructuras que conforman el subsuelo, las zonas saturadas, los cambios de litología que pudiera existir y otras estructuras que sean de utilidad para el cliente o interesado del estudio. Para el procesamiento de la información se ha hecho uso de los algoritmos de inversión DCIP2D y OASIS MONTAJ.

La Interpretación de la información considera todos los factores posibles que puedan influir en los resultados; es decir, grado de saturación del terreno, porosidad y la forma del poro, la salinidad del fluido, el tipo y composición de la roca, la temperatura, los procesos geológicos que afectan a los materiales y la presencia de materiales arcillosos con alta capacidad de intercambio catiónico. Considerando la existencia de una estrecha relación entre la resistividad eléctrica y el grado de

saturación del terreno, es posible definir la posible ubicación de las áreas de filtración y las zonas saturadas en el subsuelo. De existir incrementos de fluidos en el terreno estos se verán reflejados por una disminución en valores de resistividad.

En este estudio se considera 5 rangos de resistividad (Muy alto resistivo, Alto resistivo, resistivo, medianamente resistivo, bajo resistivo y muy bajo resistivos), los cuales presentan las siguientes características:

.- Muy Alto Resistivo (color rojo): Comprende valores mayores a 1500 ohm.m. Se considera dentro de este grupo a rocas ígneas y metamórficas, y dentro de las sedimentarias, a los conglomerados. Un factor importante a señalar es que estos materiales estarán bajo condiciones de ausencia de agua; sin embargo, si hay presencia de arcilla, su grado de alteración permitiría la disminución en los valores de resistividad del suelo.

.- Alto Resistivo (color anaranjado): Comprende valores entre los 500 y 1500 ohm.m. Se considera dentro de este grupo a las rocas sedimentarias, ya sean de origen detrítico o químico. Asimismo, incluye a los suelos con muy baja composición de materiales orgánicos.

.- Medianamente Resistivo (color verde): Comprende valores entre los 100 y 500 ohm.m. Dentro de este grupo se considera a suelos sedimentarios de composición variada; es decir, arenas, arcillas y limos, cada vez con mayor contenido de materiales orgánicos.

.- Bajo Resistivo (color celeste): Comprende valores entre los 20 y 100 ohm.m. Según Loke (2001), estas resistividades corresponden a suelos saturados de agua y su variación depende de la relación existente entre la resistividad, porosidad y la permeabilidad de los materiales. Asimismo, se puede considerar dentro de este grupo a los suelos orgánicos, arcillosos, limosos y aquellos con contenido de carbón, los cuales se comportan como buenos conductores de corriente.

.- Muy Bajo Resistivo (color azul): Comprende valores menores a 20 ohm.m. y estos están referidos a suelos con presencia de agua, material orgánico, arcillas. Se debe considerar que el grado de salinidad del agua afecta los valores de resistividad, permitiendo que estos alcancen valores del orden del 0.2 ohm.m., equivalente al agua de mar.

Para el presente estudio se han resumido el rango de resistividades en la siguiente Tabla 2.

Tabla 2: Rango de Resistividades

Rango de resistividades	ohm.m	Tipo de suelo	
Material muy resistivo	> 1500	Suelo desértico o roca	Red
Material resistivo	500 a 1500	Suelo seco	Yellow
Material medianamente resistivo	100 a 500	Húmedo	Green
Material bajo resistivo	20 a 100	Parcialmente saturado	Light Blue
Material muy bajo resistivo	< 20	Saturado y/o presencia de sal	Blue

Dado la estrecha relación entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, esto permitirá definir la posible ubicación de las áreas de filtración y las zonas saturadas del subsuelo. En tal sentido, se puede decir que al haber incrementos de fluidos en el terreno estos se verán reflejados por una disminución en valores de resistividad.

2. RECOLECCIÓN DE DATOS

En este estudio se ha realizado la aplicación de métodos sísmicos y geofísicos, para lo cual se han utilizado diferentes tipos de registros y arreglos. Para aplicar la técnica de razones espectrales (H/V) se utiliza registros de vibración ambiental, mediante los arreglos sísmicos lineales (MASW) se obtiene registros sísmicos y los métodos eléctricos (ERT) los valores de resistividad del suelo. A continuación, se describe brevemente la toma de datos.

Para la obtención de los registros de vibración ambiental se utiliza el equipo sísmico compuesto por un registrador tipo CityShark y sensores de tres componentes de registro tipo Lennartz (Figura 6).



Figura 6: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales en Piura: sensor Lennartz (2N) y registradores CityShark II.

En el área urbana de Piura cercado, se consideró registros de vibración ambiental obtenidos de manera puntual en 390 puntos, distribuidos según la Figura 7, a fin de aplicar la técnica de razones espectrales.

La distribución de los puntos donde se tomaran los registros de vibraciones ambientales, se define sobre el mapa catastral de la ciudad de Piura, teniendo en cuenta la información geológica y geomorfológica de la zona de estudio. En cada punto, se registran datos por un periodo de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de información para su posterior análisis.

En la Figura 8, se muestra la disposición del equipo sísmico al momento del registro de información, además de ejemplos de señales de vibración ambiental. La señal registrada en el punto PI-050 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en PI-143, presenta diversidad de pulsos de variada amplitud, que al momento

de su análisis, pueden ser filtrados, para no afectar a la información a utilizarse en este estudio.

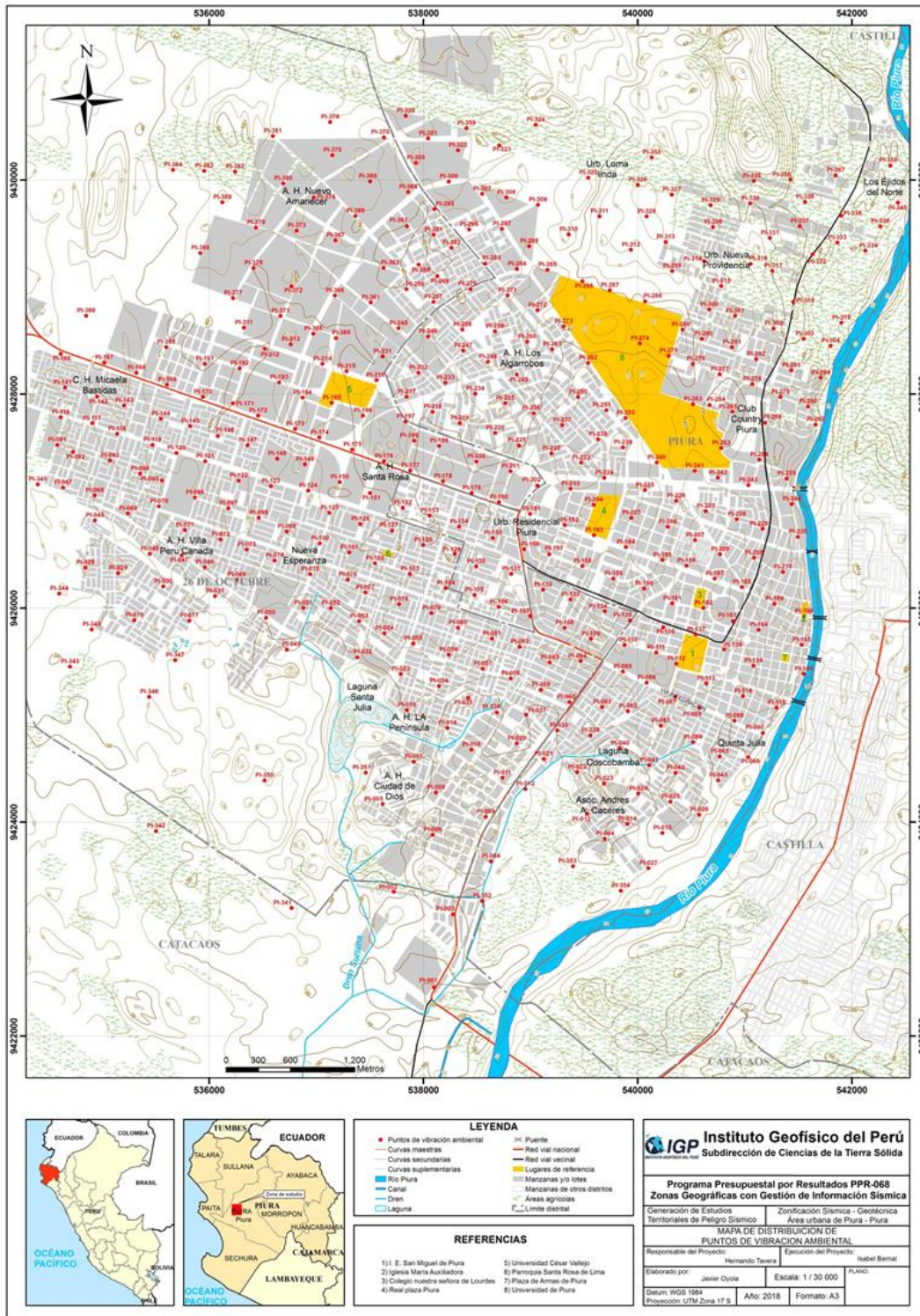


Figura 7: Mapa catastral del área urbana de Piura y la distribución de puntos donde se tomaron los registro de vibración ambiental HV.

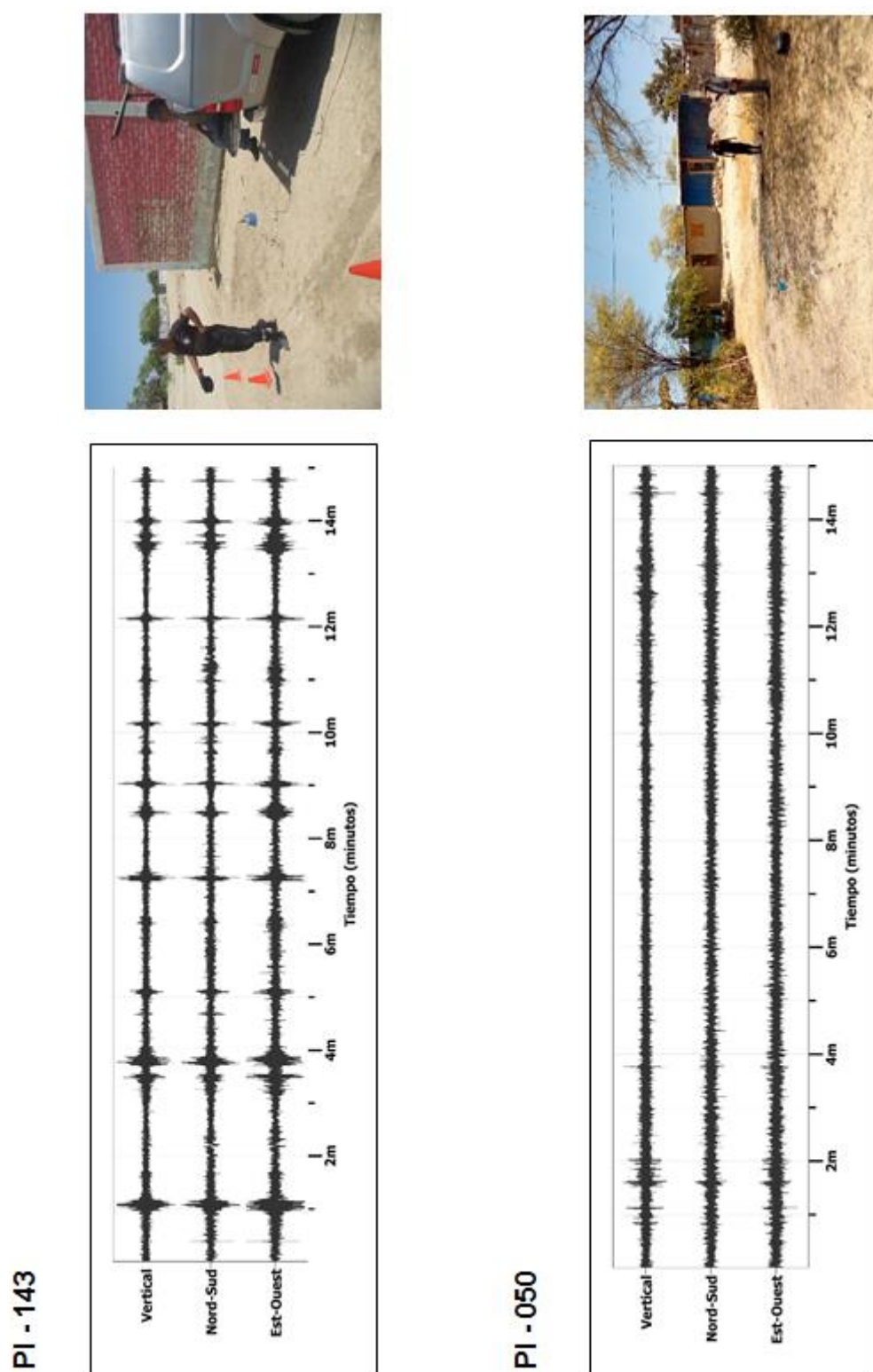


Figura 8: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (PI-143) y otro con ruido de fondo constante (PI-050). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

En el área urbana de Piura se realizó 14 arreglos lineales MASW cuyas coordenadas (UTM -WGS84) se muestran en la Tabla 3 y Figura 9: LS01-PI, LS02-PI,....

Tabla 3: Coordenadas y características de los arreglos lineales MASW realizados en Piura.

Arreglo lineal MASW	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-PI	542180	9429673	46	4	92
	542265	9429636	44		
LS02-PI	539616	9430196	52	4	92
	539617	9430197	53		
LS03-PI	541037	9427560	40	4	92
	541034	9427471	42		
LS04-PI	539957	9428440	47	4	92
	540042	9428468	51		
LS05-PI	538936	9428303	45	4	92
	538847	9428276	45		
LS06-PI	536754	9429578	57	4	92
	536727	9429494	58		
LS07-PI	541103	9424855	37	4	84
	541190	9424828	37		
LS08-PI	540507	9425488	34	4	92
	540528	9425577	31		
LS09-PI	537517	9427137	44	4	92
	537539	9427222	45		
LS10-PI	534833	9427909	46	4	92
	534853	9427988	48		
LS11-PI	539593	9424166	40	4	92
	539645	9424094	40		
LS12-PI	537741	9424451	42	4	92
	537718	9424544	42		
LS13-PI	535712	9426459	43	4	92
	535656	9426389	45		
LS14-PI	539233	9426676	49	4	84
	539142	9426706	54		

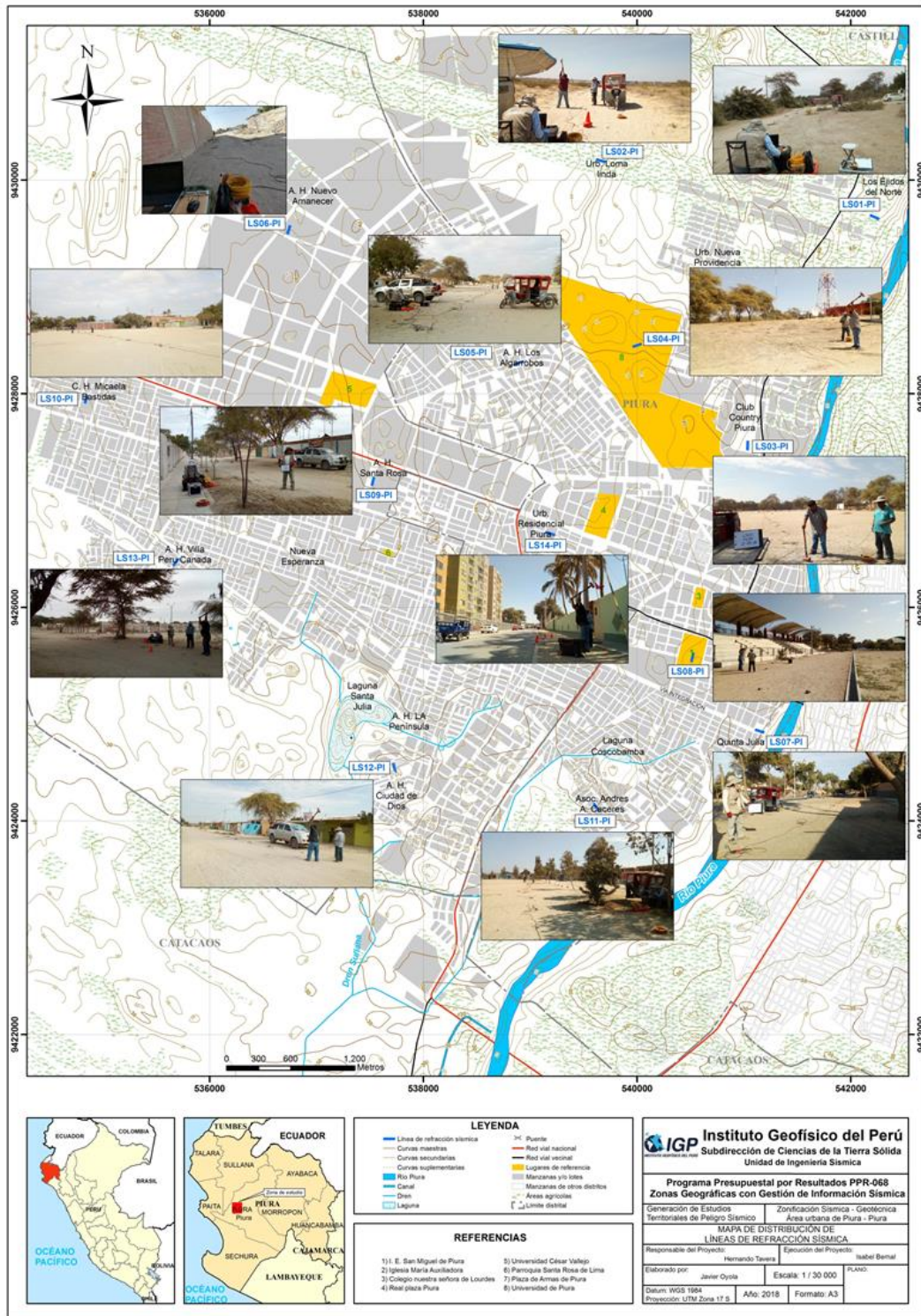


Figura 9: Mapa del área urbana de Piura y distribución espacial de los arreglos lineales MASW codificados como: LS01-Pi, ..., LS14-Pi.

Para el registro de información se ha utilizado un equipo sísmico (sismómetro) de uso multipropósito, modelo GEODE de Geometrics, 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs, ver Figura 10. Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido, espaciamiento entre geófonos, fue variable ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio y accesibilidad. La frecuencia de muestreo fue de 4000 Hz (0.25 ms) con un pre-trigger de -0.1s y una longitud de registro de 2 segundos.



Figura 10: Equipo sísmico para la toma de datos de MASW en el A.H. Los Algarrobos.

La profundidad máxima de investigación depende de la geometría del tendido, espaciamiento entre geófonos y la fuente activa, pudiendo variar entre los 10-30 m, según las características litológicas de los suelos y el espacio para realizar los arreglos considerando que se trabaja en zonas urbanas (Figura 11).

Para mejorar la relación señal/ruido fue necesario realizar apilamientos de señales (sumatoria de registros sísmicos), realizando de cuatro a cinco golpes en cada punto “shot”. Finalmente, se realiza el procesamiento preliminar para determinar si la profundidad y la velocidad sísmica obtenida tienen sentido geológico y completan la finalidad del estudio.

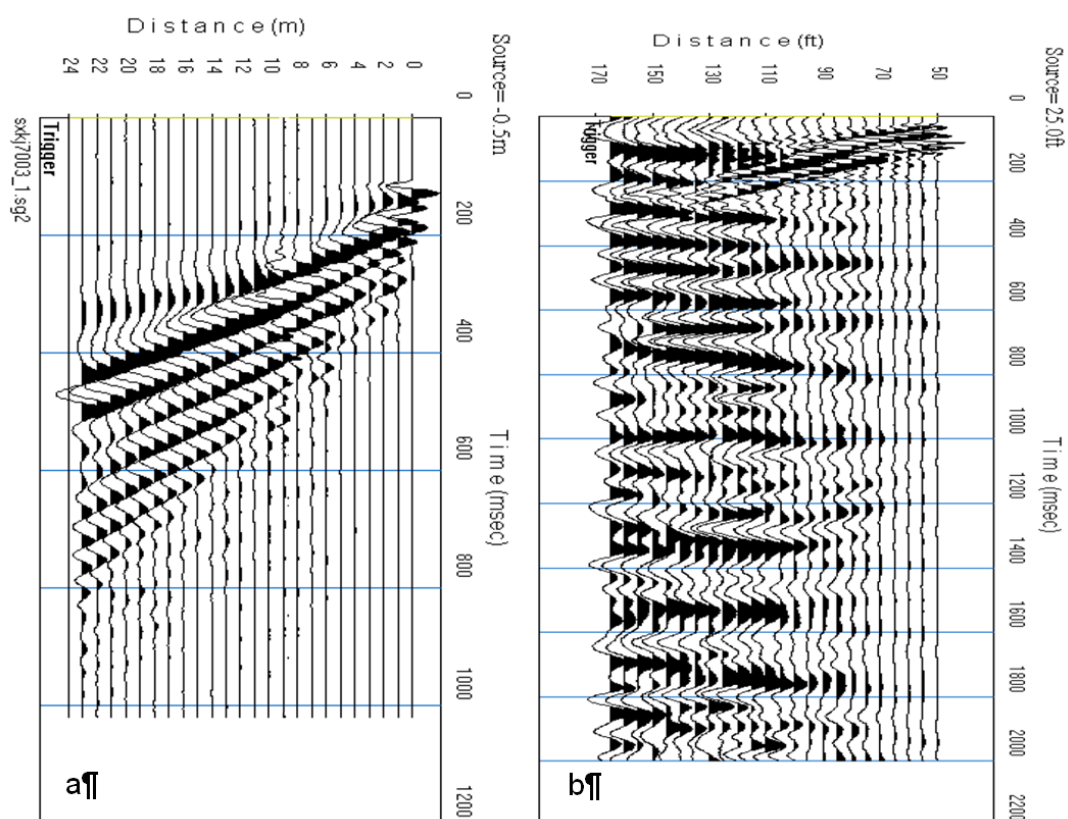


Figura 11: a) Registro sísmico con bajo contenido de ruido ambiental, es decir, alta calidad. b) Registro sísmico con alto contenido de ruido ambiental.

En la Figura 12, se muestra como ejemplo la disposición del equipo y el registro sísmico obtenido para la línea sísmica LS09-PI, ubicado en el A.H. Santa Rosa. El sismograma contiene las señales sísmicas con presencia de bajo ruido ambiental, registrados por sensores ubicados a lo largo de la línea y cuyo punto de disparo se encuentra a una distancia de 3 metros al final de la línea sísmica.

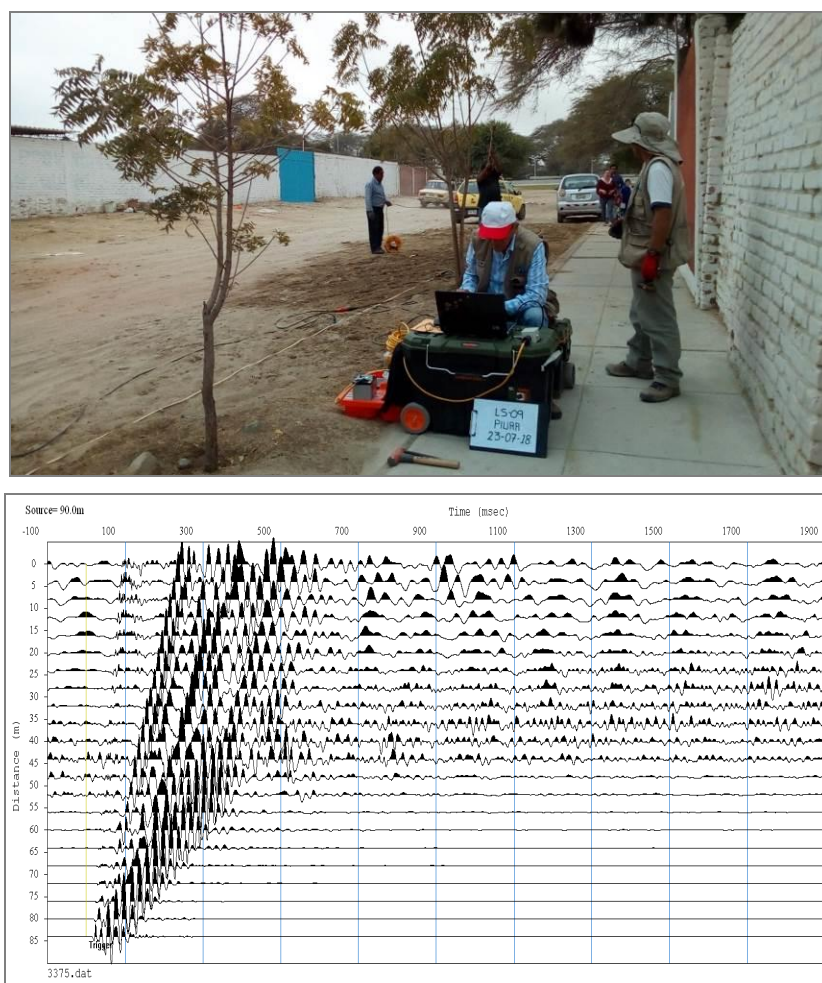


Figura 12: Disposición del equipo de adquisición por el método de MASW y el registro sísmico obtenido.

En la zona urbana y de expansión de Piura se han realizado 13 líneas de tomografía eléctrica (Figura 13) con el dispositivo polo-dipolo y la distribución de 30 electrodos. Para las líneas se consideró un espaciamiento de 10 metros, entre cada electrodo sobre un tendido longitudinal que variaba de 170 y 290 metros lo cual permitió tener alcances en profundidad del orden de los 39 metros.

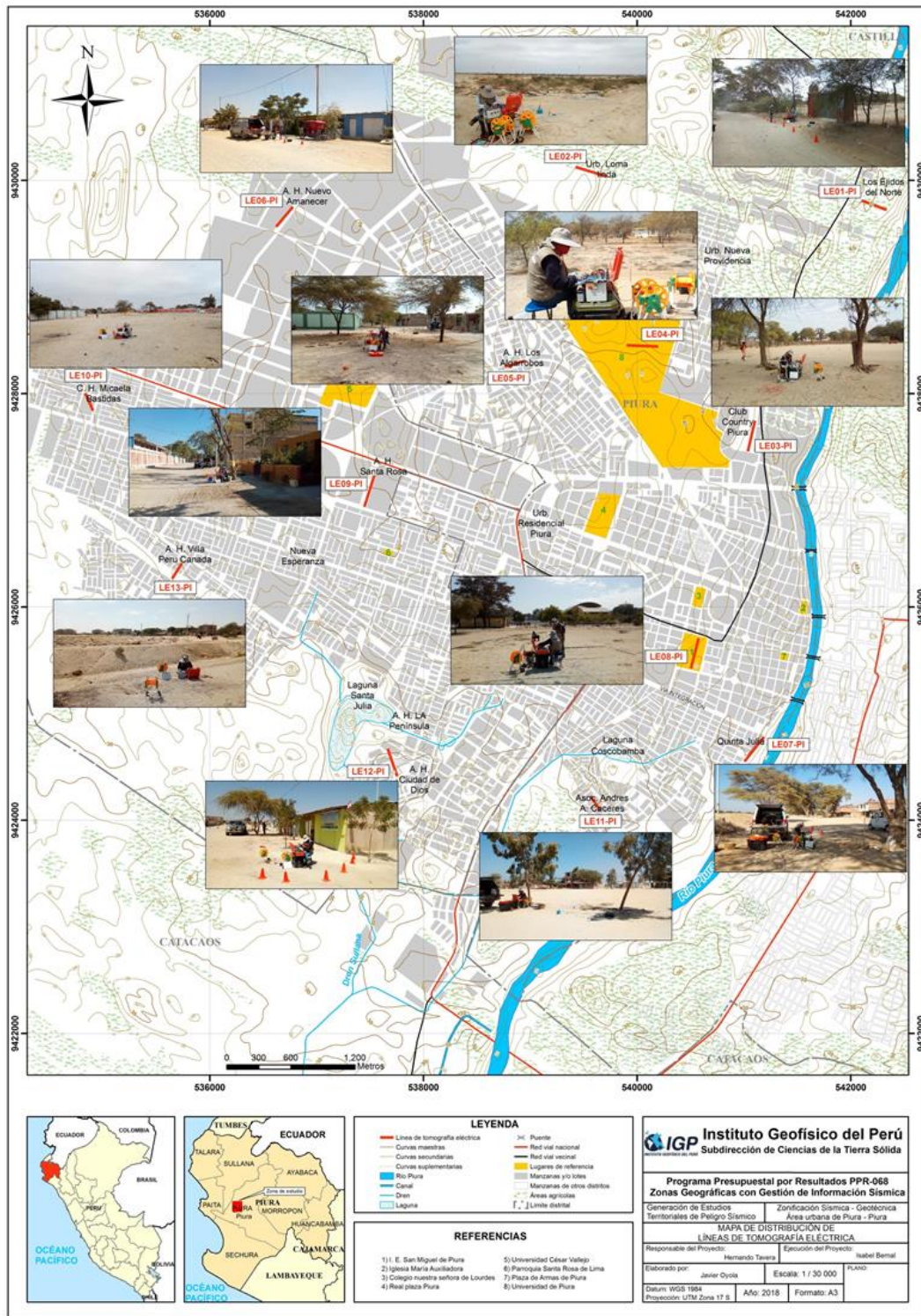


Figura 13: Mapa del área urbana de Piura y la distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-PI, ... LE13-PI.

La Tabla 4, muestra las coordenadas UTM (WGS84) que corresponden a los puntos extremos de las líneas eléctricas.

Tabla 4: Coordenadas de las Líneas eléctricas (LE) realizados en el área urbana de Piura.

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-PI	542335	9429725	38	10	240
	542101	9429814	41		
LE02-PI	539424	9430127	41	10	290
	539713	9430039	38		
LE03-PI	541103	9427748	41	10	290
	541037	9427460	37		
LE04-PI	540196	9428443	43	10	290
	539901	9428455	41		
LE05-PI	538954	9428310	42	10	190
	538762	9428256	44		
LE06-PI	536778	9429754	43	10	240
	536621	9429566	42		
LE07-PI	541188	9424782	28	10	290
	541004	9424550	29		
LE08-PI	540576	9425707	33	10	290
	540503	9425424	32		
LE09-PI	537540	9427235	40	10	280
	537446	9426940	41		
LE10-PI	534830	9428006	35	10	170
	534907	9427841	34		
LE11-PI	539562	9424228	32	10	150
	539652	9424094	32		
LE12-PI	537664	9424671	28	10	270
	537754	9424411	34		
LE13-PI	535738	9426410	34	10	170
	535646	9426265	33		

La calidad de la señal eléctrica de todos los registros se evalúa mediante un test de resistencia de contacto entre los electros y el terreno, garantizando datos confiables para el procesamiento, donde se busca mejorar las imágenes con el uso de filtros que disminuyeran los efectos de borde, medidas negativas de resistividad aparente y la obtención de dos ciclos de registro por cada punto de medida de resistividad. Este hecho permitió evaluar la fiabilidad mediante la comparativa de los dos valores de resistividad, siendo los más fiables aquellos con menores diferencias. Se consideran los siguientes criterios:

- ✓ La diferencia de potencial registrada debe ser mayor a 0.2 mV
- ✓ La relación entre el potencial registrado y la intensidad de corriente (V/I) debe ser mayor o igual a $5 \times 10^{-4} \Omega$.
- ✓ La diferencia de resistividad entre los dos ciclos de medida realizados en cada punto de registro debe ser inferior al 3%.
- ✓ La resistividad mínima y máxima aparente ha de estar entre 1 y 100 000 Ωm .

En la Figura 14, se tienen la disposición de equipo eléctrico en campo y un ejemplo del análisis preliminar del registro obtenido.

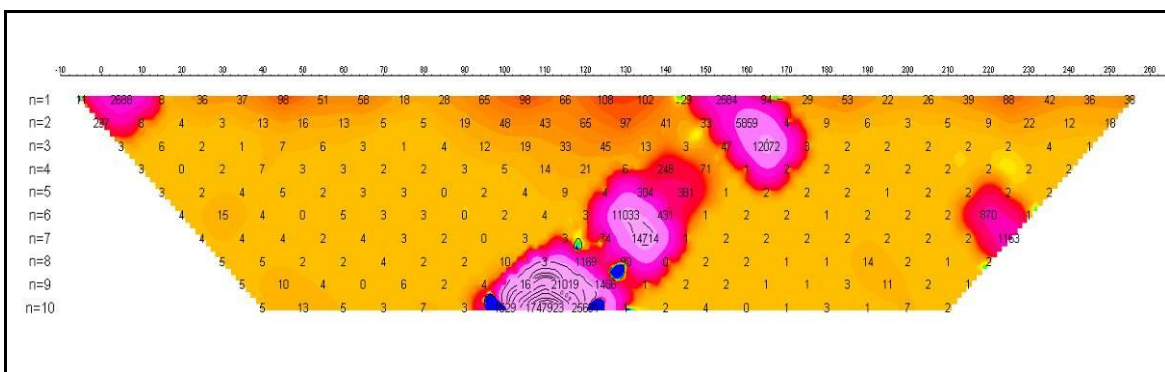


Figura 14: Disposición del equipo de adquisición por la técnica de ERT (LE12-PI) y el registro eléctrico obtenido en campo.

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

En este estudio se ha realizado la aplicación de los siguientes métodos sísmicos y geofísicos: razones espectrales (H/V), arreglos sísmicos lineales (MASW) y métodos eléctricos (ERT). Todos tienen como principal objetivo conocer las propiedades físicas y dinámicas del subsuelo (periodos dominantes, velocidades sísmicas, resistividades del subsuelo, etc.). A continuación, se describe el desarrollo de estos métodos y los principales resultados obtenidos en cada caso para el área urbana de Piura.

3.1. Estudio Sísmico con la Técnica de H/V

Esta información permite obtener espectros de Fourier para las tres componentes de registro de vibración ambiental obtenidos de manera puntual en 390 puntos (Figura 7) y a partir de la razón de estos (componentes horizontales/componente vertical), conocer las frecuencias predominantes y/o periodos dominantes de vibración natural del suelo y en algunos casos, la amplificación sísmica relativa para cada punto.

- **Distribución de frecuencias predominantes:** A partir de los valores extraídos de las razones espectrales H/V, se obtiene mapas con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes. Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permitió definir que los suelos del área urbana de Piura responden en dos rangos de frecuencias F0 ($F \leq 2.0$ Hz) y F1 ($F > 2.0$ Hz), mostrando un pico de frecuencia bien definido y en algunos puntos dos picos. A continuación se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en el área urbana de Piura.

- **Frecuencia predominante F_0 :** En la Figura 15 se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de F_0 , en la cual predominan valores de entre 0.8 a 1.9 Hz. Estos están presentes principalmente al sur de los A.H. Perú Canadá, Santa Rosa, en Los Algarrobos y de manera puntual en el A.H. Nuevo Amanecer, lo que evidencia la presencia de una capa sedimentaria de gran espesor.

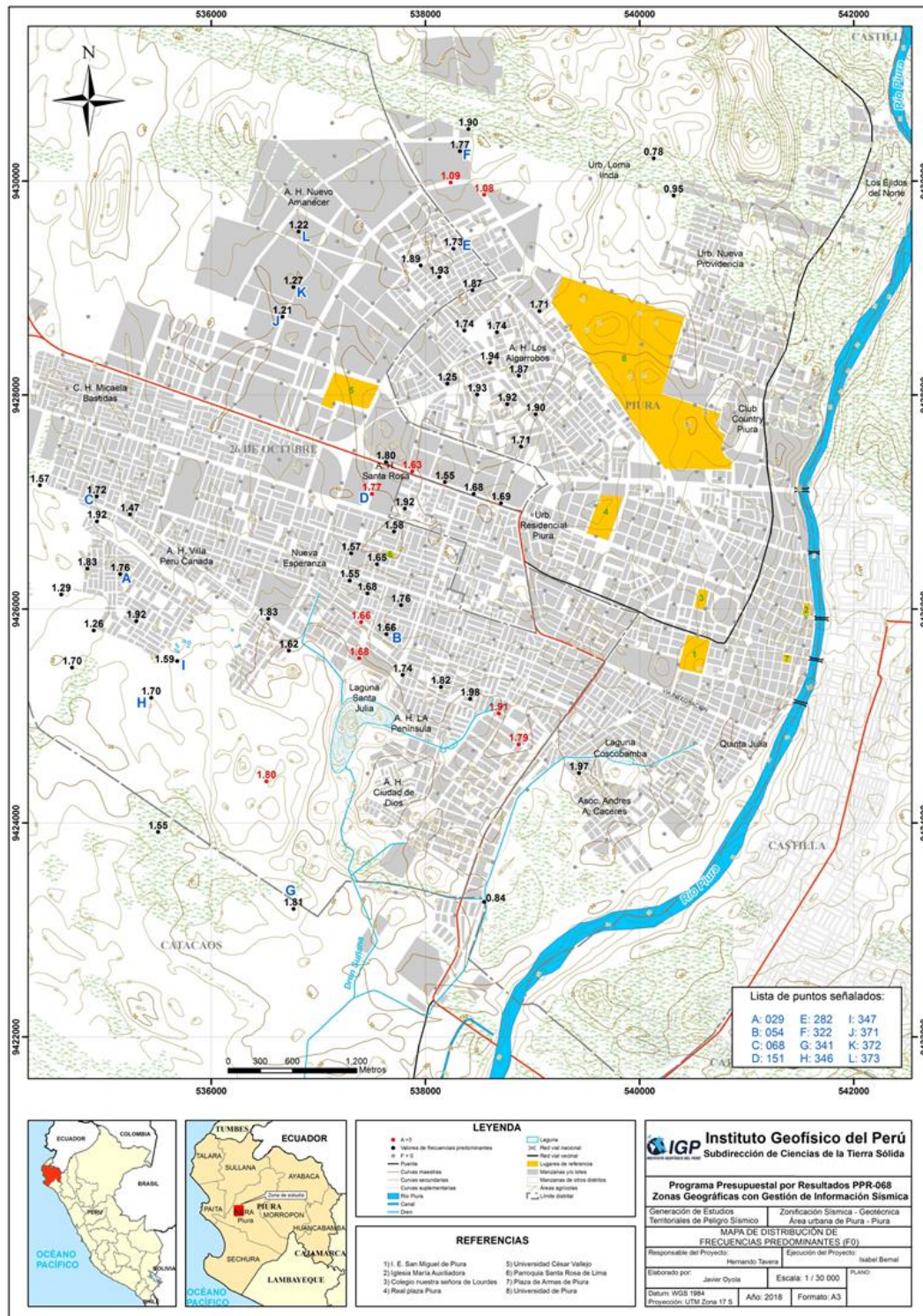


Figura 15. Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$) definidas en cada punto. Las letras indican la ubicación de los gráficos que se están considerando en la Figura 16, como características de este rango.

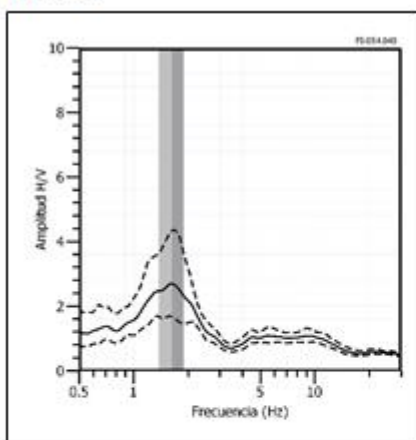
En la Figura 16, se muestra ejemplos de razones espectrales para los puntos PI-54(B), PI-151(D) y PI-282(E), ubicados, el primero al norte del A.H. La Península, el segundo en el A.H. Santa Rosa y el último, al noroeste del A.H. Los Algarrobos. En todas se identifica un pico definido a frecuencias de 1.66, 1.77 y 1.73 Hz con amplificaciones de 2.9, 3.0 y 2.6 veces respectivamente. Las razones (H/V) obtenidas para los puntos PI-29(A), PI-68(C) y PI-347(I), ubicados al sur oeste del A.H. Villa Perú Canadá, presentan un pico bien definido con frecuencias de 1.76, 1.72 y 1.59 Hz y amplificaciones de 2.2, 2.1 y 2.0 veces respectivamente.

Los puntos PI-322(F), PI-341(G) y PI-346(H), ubicados el primero al norte y el segundo y tercero al suroeste por el A.H. Ciudad de Dios, presenta a frecuencias predominantes de 1.77, 1.81 y 1.71 con amplificaciones de 2.82, 2.64 y 2.32. Además, responde a un segundo pico con frecuencias de 10.09, 7.68 y 8.35 con amplificaciones menores a 2 veces. Estos resultados sugieren la existencia de una capa sedimentaria profunda de gran espesor, principalmente en los sectores mencionados anteriormente donde se presentan este rango de frecuencias.

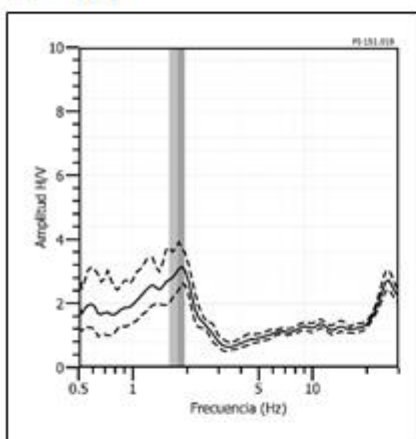
Al sur del A.H. Nuevo Amanecer, por la urb. Las Casuarinas de Los Portales, los puntos distribuidos en el área responden a frecuencias mayores; sin embargo, los puntos PI-371(J), PI-372(K) y PI-373(L) tiene una respuesta singular, presentan dos picos, siendo el predominante el primero con menores frecuencias respecto al resto del área. Estas frecuencias oscilan entre 1.21, 1.27 y 1.22Hz y el segundo pico con frecuencias entre 3.67, 3.38 y 3.38 Hz, con amplificaciones menores a 2.

La presencia de dos picos de frecuencias evidencia mayor complejidad en la respuesta de los suelos a pesar de presentar baja amplificación, a diferencia de suelos que presentan un pico bien definido con moderada amplificación.

PI - 54



PI - 151



PI - 282

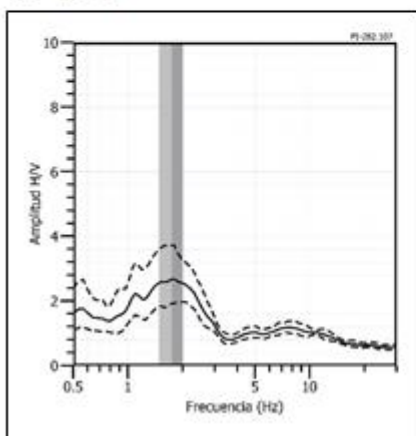
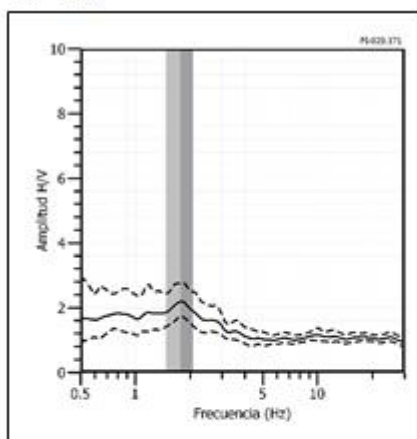
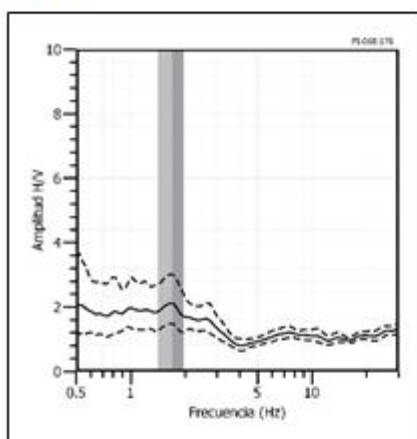


Figura 16: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$): Para los puntos PI-54(B), PI-151(D) y PI-282(E), ubicados el primero al norte del AA.HH La Península, el segundo ubicado en el AA.HH Santa Rosa y el último por los Olivos. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

PI - 29



PI - 68



PI - 347

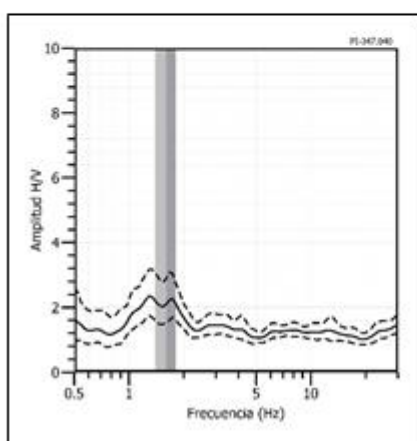
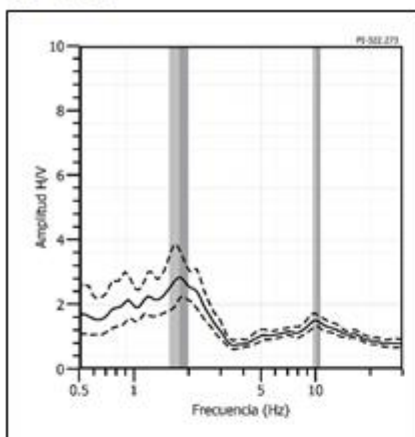
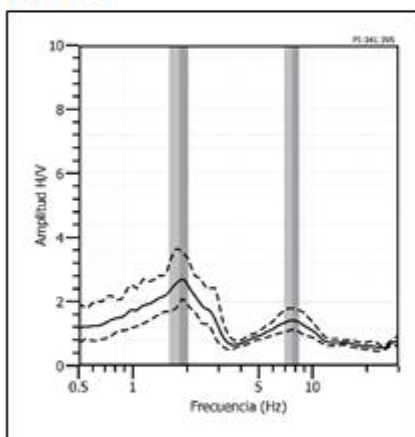


Figura 16: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F > 2.0\text{Hz}$). Para los puntos PI-29(A), PI-68(C) y PI-347(I), ubicados al sur oeste, por el AA.HH Villa Perú Canadá. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

PI - 322



PI - 341



PI - 346

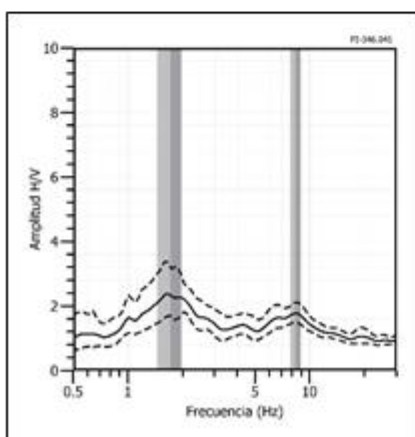
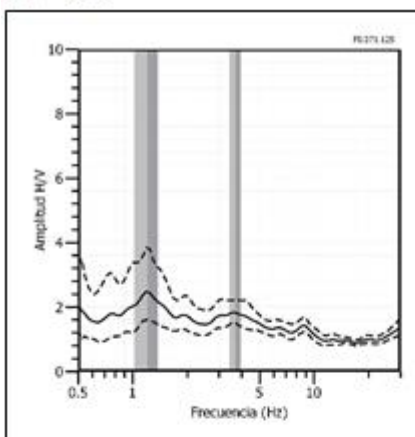
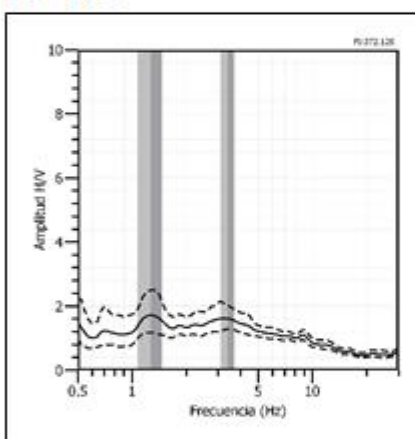


Figura 16: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango Fo ($F \leq 2.0\text{Hz}$): Para los puntos PI-322(F), PI-341(G) y PI-346(H), ubicados el primero al norte y el segundo y tercero al suroeste por el AAHH Ciudad de Dios. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

PI - 371



PI - 372



PI - 373

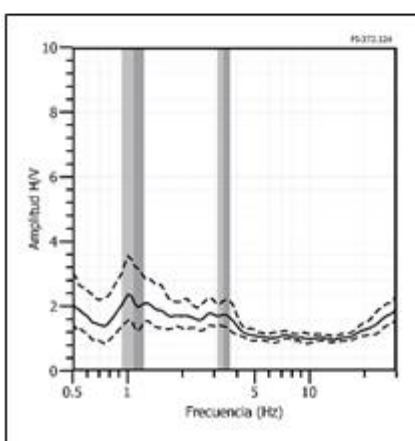


Figura 16: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$): Para los puntos PI-371(J), PI-372(K) y PI-373(L), ubicados al sur del AA.HH Nuevo Amanecer. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

- **Frecuencia predominante F1:** Muestra la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 ($F > 2.0\text{Hz}$). De acuerdo a la Figura 17, en este rango predominan frecuencias de entre 2.0 a 4.5 Hz en su mayoría con amplificaciones menores a 2 veces y en algunos puntos mayores 3 veces, este rango de frecuencias está presente de manera uniforme en toda la ciudad de Piura. En la Figura 18, se muestra ejemplos de los gráficos de razones espectrales que caracterizan los suelos de esta ciudad en este rango de frecuencias.

Las razones espectrales (H/V) obtenidas para los puntos PI-255(K), PI-274(L) y PI-331(M), ubicados hacia el norte por el country club, la universidad de Piura y la Urb. Nueva Providencia, presentan un pico bien definido con frecuencias predominantes de 2.48, 2.51 y 2.85 Hz y amplificaciones de 2.52, 2.48 y 3.15 respectivamente.

Los puntos PI-106(F), PI-165(H) y PI-208(J) ubicados en el centro de la ciudad, presentan frecuencias predominantes de 2.78, 3.23 y 3.08Hz con amplificaciones menores a 2 veces. Así mismo los puntos PI-30(B), PI-119(G) y PI-385(O), ubicados el primero por el A.H. Villa Perú Canadá, el segundo y tercero al oeste en el conjunto habitacional Micaela Bastidas, responden a frecuencias predominantes de 2.79, 2.69 y 3.11 Hz con amplificaciones mínimas, como gran parte de los suelos de la ciudad de Piura

Las razones (H/V) obtenidas para los puntos PI-75(D), PI-196(I) y PI-368(N), ubicados el primero en la Urb. Nueva Esperanza, el segundo por la universidad Cesar Vallejo y el tercero en el A.H. Nuevo Amanecer, predomina un pico a frecuencias de 2.14, 2.29 y 2.41Hz con amplificaciones relativas de 2 veces.

Y finalmente los puntos PI-26(A), PI-66(C) y PI-88(E), ubicados al sur y suroeste de la plaza de armas, por la quinta Julia y la Laguna Coscomba, presentan un pico definido con frecuencias predominantes de 2.42, 2.67 y 2.31Hz con amplificaciones mayores a 3 veces, esto muestra que la capa sedimentaria en estas zonas tiene un comportamiento más flexible que el resto de la ciudad.

Los resultados muestran que en 86% de la ciudad, los suelos responden en este rango de frecuencias (F1) con amplificaciones menores a 2 veces, lo que manifiesta la existencia de una capa sedimentaria con un comportamiento dinámico homogéneo.

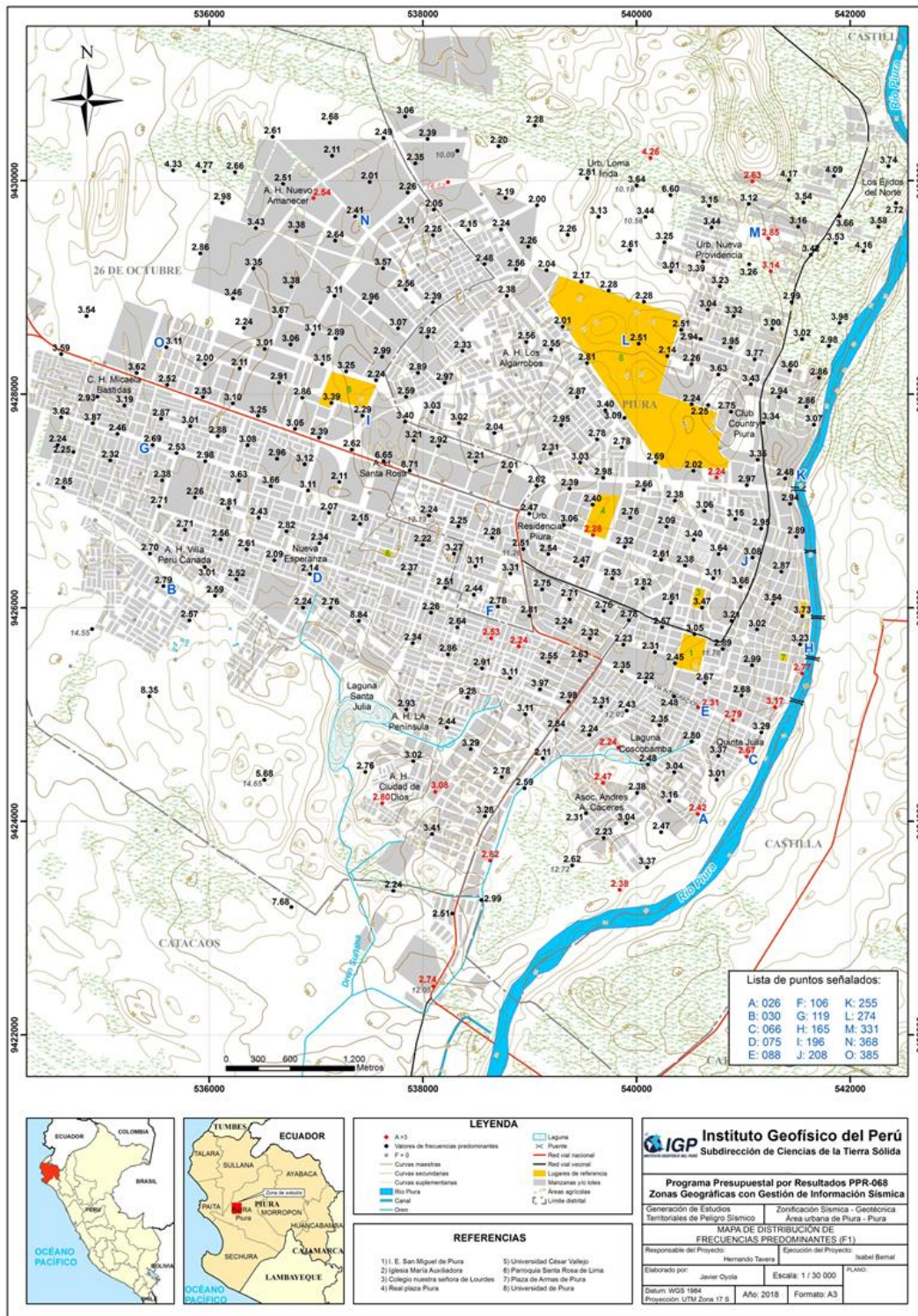
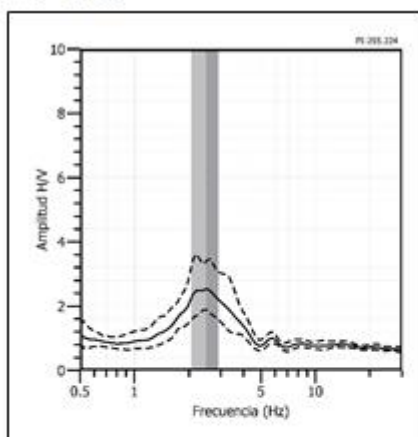
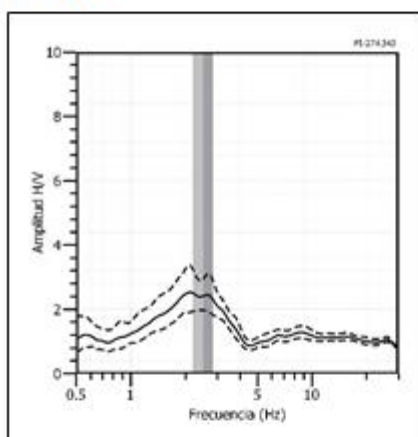


Figura 17: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 ($F > 2.0\text{Hz}$). Las letras indican la ubicación de los gráficos que se están considerando en la Figura 18 como característicos de este rango.

PI - 255



PI - 274



PI - 331

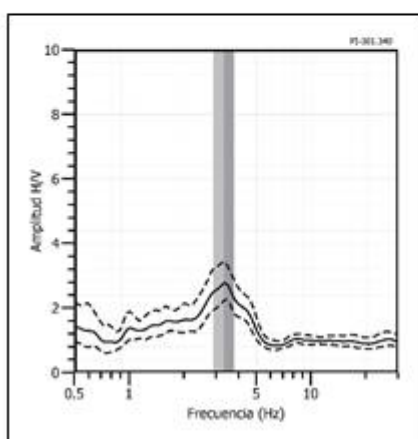
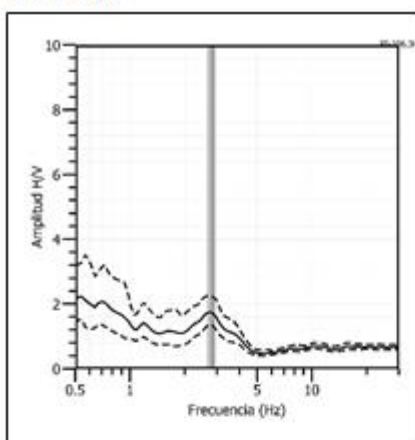
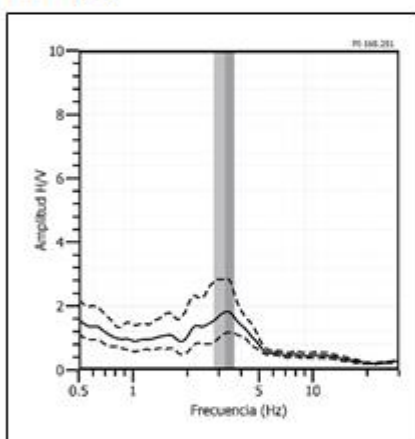


Figura 18: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$). Para los puntos PI-255(K), PI-274(L) y PI-331(M), ubicados por la universidad de Piura, Urb. Nueva Providencia. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

PI - 106



PI - 165



PI - 208

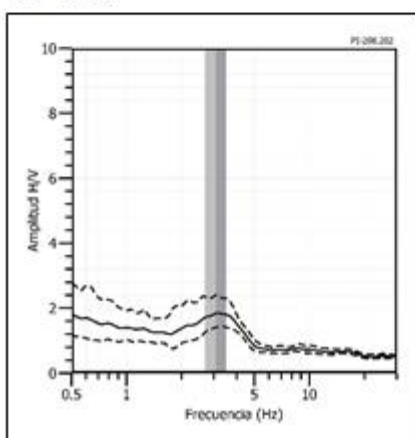
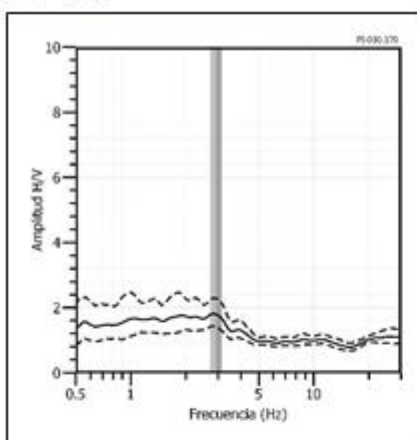
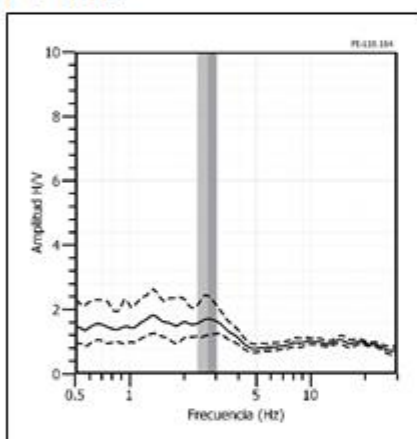


Figura 18: ...Continuación... / Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$). Para los puntos PI-106(F), PI-165(H) y PI-208(J), ubicados en el centro de la ciudad. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

PI - 30



PI - 119



PI - 385

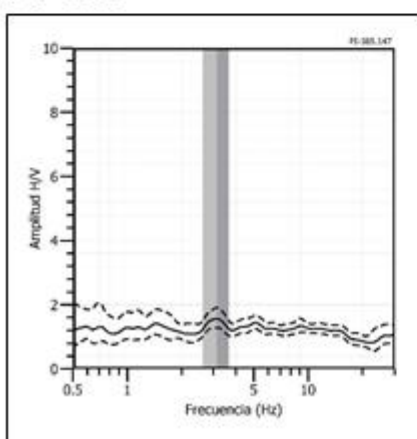
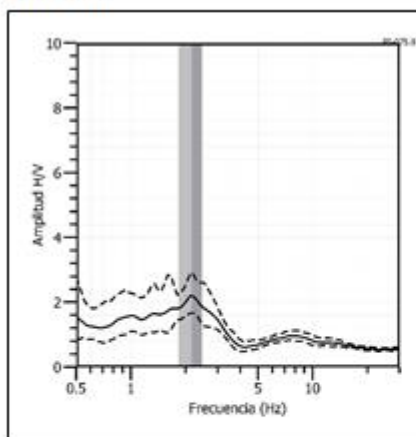
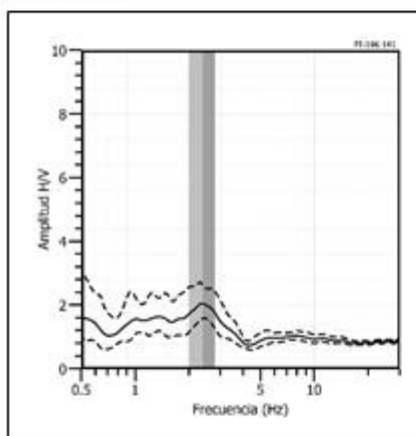


Figura 18: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$). Para los puntos PI-30(B), PI-119(G) y PI-385(O), ubicados el primero ubicado por el AA.HH Villa Perú Canadá, el segundo y tercero en el conjunto habitacional Micaela Bastidas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

PI - 75



PI - 196



PI - 368

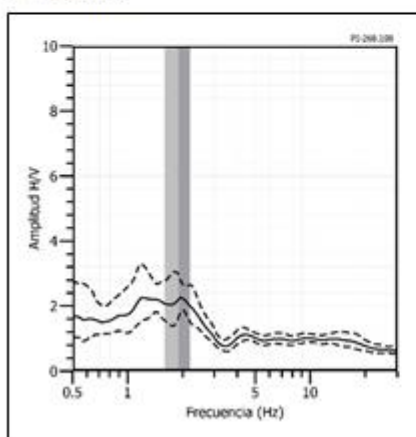
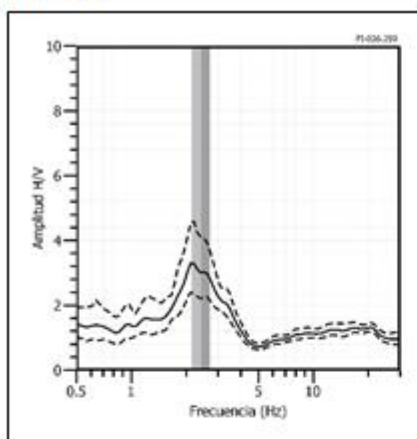
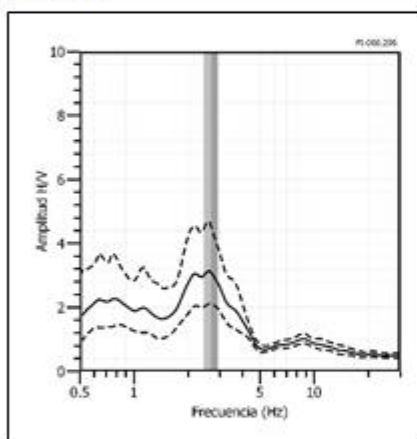


Figura 18: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$). Para los puntos PI-75(D), PI-196(I) y PI-368(N), ubicados el primero en la Urb. Nueva Esperanza, el segundo por la universidad Cesar Vallejo y el tercero en el AA.HH Nuevo Amanecer. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

PI - 26



PI - 66



PI - 88

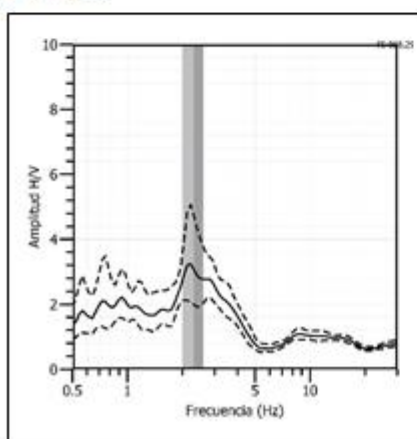


Figura 18: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$). Para los puntos PI-26(A), PI-66(C) y PI-88(E), ubicados al sur de la plaza de armas de la ciudad, por la Quinta Julia y la laguna Coscomba. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Interpretación

El análisis de razones espectrales H/V en el área urbana de Piura ha permitido observar, dos rangos de frecuencias. El primer rango F0 (≤ 2.0 Hz), se presenta de manera dispersa en el área de estudio, principalmente al sur y sur oeste del A. H. Villa Perú Canadá, en el A.H. Santa Rosa y al norte por Los Algarrobos y de manera muy puntual, al sur del A.H. Nuevo Amanecer, con bajas amplificaciones.

El segundo rango F1 (> 2.0 Hz) es predominante en de los suelos de Piura y está presente de manera uniforme en toda la zona estudiada, a excepción del A. H. Los Algarrobos, al sur de los A.H. Villa Perú Canadá y por la parroquia Santa Rosa de Lima. Los suelos de la mayor parte del área de estudio presentan mínimas amplificaciones; sin embargo, al sur por la Quinta Julia, Laguna Coscomba, y algunos puntos del A.H. Ciudad de Dios, los suelos presentan amplificaciones mayores a 3 veces, lo que sugieren la presencia de suelos menos consolidados que el resto del área de estudio.

Los suelos del área urbana de Piura responden a frecuencias de 2.0 a 4.5 Hz principalmente, esto sugiere la presencia de una capa sedimentaria superficial de gran espesor. Sin embargo, por los A. H. Los Algarrobos, al sur de los A.H. Villa Perú Canadá y por el A.H. Santa Rosa, existen valores bajos de frecuencia que sugieren claramente los mayores espesores de suelo.

3.2. Estudio Sísmico con la Técnica de MASW

Los modelos de velocidad de propagación (V_s) son una información muy útil en materia de riesgo por sismos y reconocimiento general de la estructura y naturaleza del subsuelo.

El procesamiento de los datos realizados en campo permitió llegar a profundidades mínimas de 2 y 3 metros a mayores de los 30 metros para cada línea sísmica. A continuación, se describe los resultados obtenidos agrupados según su similitud de velocidad V_s en el perfil sísmico y ubicación:

Línea sísmica LS01-PI, LS02-PI y LS06-PI: Distribuidos al norte del área urbana de Piura; ubicados en el sector Los Ejidos del Norte (LS01), en la Urb. Loma Linda (LS02) y en el A.H. Nuevo Amanecer (LS06), (Figura 9). Indican la

presencia de suelos conformados por dos capas: la primera, de 5 a 7 metros de espesor y velocidad V_s entre 245 a 277 m/s, la segunda capa, con velocidad V_s que varían entre 313 a 344 m/s y espesores entre 10 a 16 metros. Ambas capas consideran suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 412$ m/s, lo cual sugiere suelo rígido.

Línea sísmica LS03-P, LS04-PI, LS07-PI y LS08-PI: Distribuidos al este del área urbana y próximos al río Piura; se encuentran ubicados detrás del Country Club de Piura (LS03), en la Universidad de Piura UDEP (LS04), realizado en la vía Integración (LS07) y en el interior de la I.E. San Miguel de Piura (LS08) (Figura 9). Indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera, de 2 a 9 metros de espesor y velocidad V_s entre 182 a 275 m/s, la segunda capa, con velocidad V_s que varía entre 259 a 347 m/s con espesores entre 13 a 17 metros, ambas capas consideran suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 398$ m/s, lo cual sugiere suelo rígido.

Línea sísmica LS10-PI y LS13-PI: Ubicados al oeste del área de estudio; en la Asoc. Andrés A. Cáceres (LS10) y en el A.H. Villa Perú – Canadá (LS13) (Figura 9). Indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera, de 7 a 11 metros de espesor y velocidad V_s entre 238 a 243 m/s, la segunda capa, con velocidad V_s que varía entre 321 a 325 m/s y con espesores entre 12 a 14 metros, ambas capas consideran suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 406$ m/s, lo cual sugiere suelo rígido.

Línea sísmica LS11-PI: Ubicado al sur del área urbana en la Asoc. Andres A. Cáceres (Figura 9). Indica la presencia de suelos conformados por una capa sísmica de 23 metros de espesor y velocidad V_s de 257 m/s sugiere un suelo moderadamente rígido. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 427$ m/s que sugiere suelo rígido.

Línea sísmica LS12-PI: Ubicado al sur del área urbana en el A.H. Ciudad de Dios (Figura 9). Indica la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 4 metros de espesor y velocidad V_s de 279 m/s corresponde a suelo moderadamente rígido, la segunda, con velocidad V_s de 376 m/s y 22 metros

de espesor y siendo la superficie de contacto con el semiespacio con velocidad de $V_s > 497$ m/s, ambos sugieren a suelo rígido.

Línea sísmica LS05-PI y LS09-PI: Distribuidos en el centro del área urbana de Piura, se encuentran ubicados en el A.H. Los Algarrobos (LS05) y en el A.H. Santa Rosa (LS09), (Figura 9). Indican la presencia de suelos conformados por una capa sísmica de 4 metros de espesor y velocidad V_s que varía entre 230 a 248 m/s que junto a la superficie de contacto con el semiespacio presenta con velocidades $V_s > 323$ m/s sugieren a suelo moderadamente rígidos.

Línea sísmica LS14-PI: Ubicado en el centro del área urbana en el A.H. Ciudad de Dios (Figura 9). Indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera, de 11 metros de espesor y velocidad V_s de 254 m/s, la segunda capa, con velocidad V_s de 348 m/s y espesor de 14 metros, ambas capas consideran suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 468$ m/s, lo cual sugiere suelo rígido.

En la Tabla 5, se resume los valores de velocidad de ondas de corte V_s para los distintos tipos de perfiles de suelo, (ver Tabla 1) y en la Figura 19 se muestra los resultados del arreglo sísmico LS01, siendo las líneas LS02 a LS14 mostrados en el Anexo.

Tabla 5: Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área urbana de Piura mediante el arreglo lineal MASW.

Línea Sísmica	Superficie → Profundidad						VS30 (m/s)
	N° DE CAPA						
	1		2		Semiespacio		
V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)		
LS01-PI	277	7	344	13	480	-	357
LS02-PI	257	7	328	16	464	-	323
LS03-PI	214	7	295	13	446	-	303
LS04-PI	275	9	347	17	472	-	328
LS05-PI	248	4	323	-	-	-	311
LS06-PI	245	5	313	10	412	-	335
LS07-PI	182	4	259	14	398	-	281
LS08-PI	215	2	290	15	433	-	317
LS09-PI	230	4	328	-	-	-	311
LS10-PI	238	11	321	12	464	-	297
LS11-PI	257	23	427	-	-	-	280
LS12-PI	279	4	376	22	497	-	372
LS13-PI	243	7	325	14	406	-	313
LS14-PI	254	11	348	14	468	-	309

	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)
	Roca dura ($V_s > 1500$ m/s)

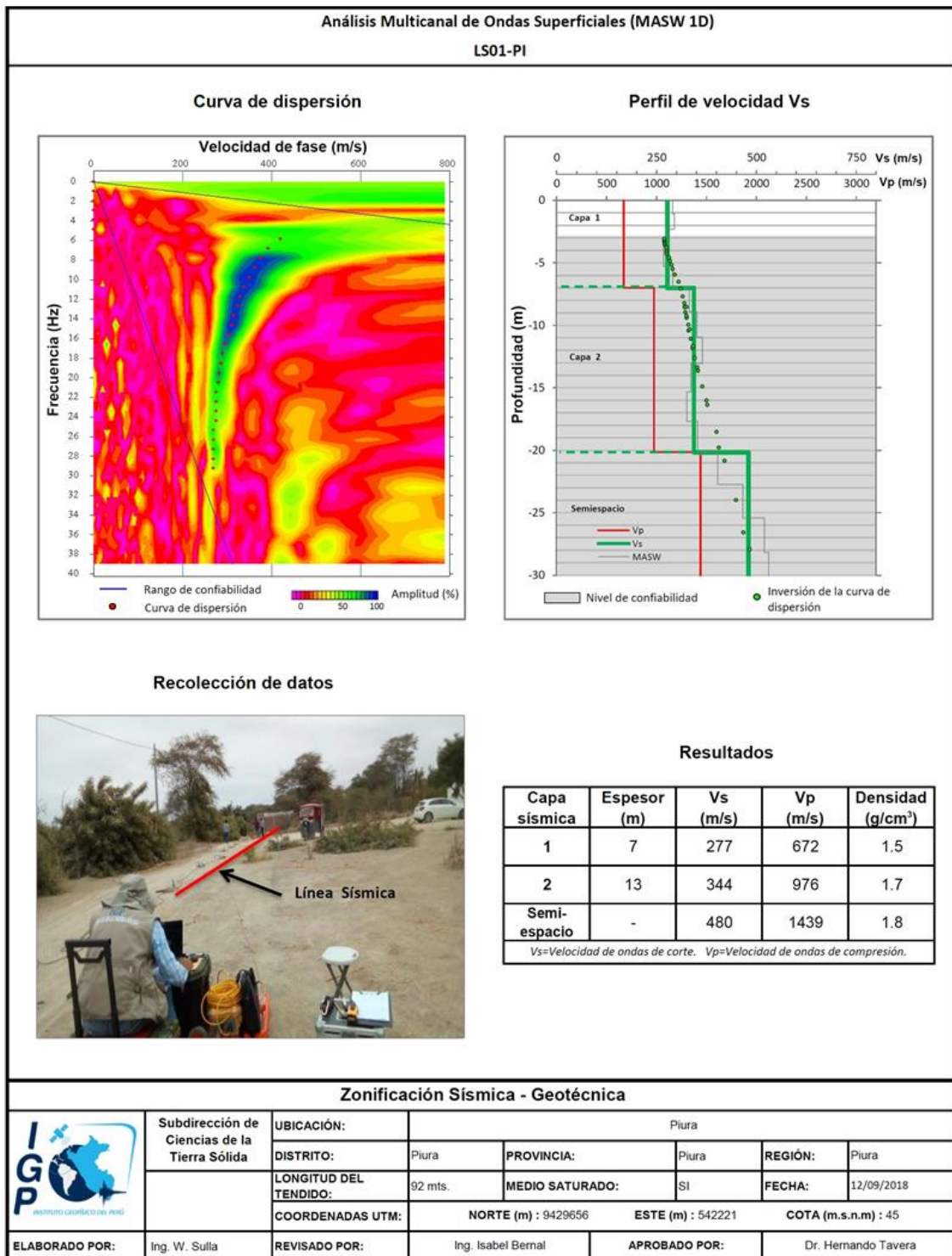


Figura 19: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS01-PI.

Interpretación

Los resultados obtenidos definen principalmente la existencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio (Tabla 5). El análisis de los resultados para cada capa sísmica encontrada y su correlación geológica, son descritos a continuación:

El área de estudio se encuentra sobre una superficie casi llana donde existe el predominio de suelos moderadamente rígidos en superficie (V_s 182 a 348 m/s) y de grandes espesores que superan los 30 metros, solo en el sector Quinta Julia (LS07), presenta una capa superficial de 4 metros de espesor cuya velocidad es la más baja (182 m/s) y está al límite entre los suelos blandos y moderadamente rígidos, Tabla 5. Conforme incrementa la profundidad aumenta su rigidez (ver Figura 20).

En los sectores próximos al río Piura (desde Los Ejidos del Norte hasta la Urb. Quinta Julia), los suelos moderadamente rígidos presentan espesores que varía entre 18 a 20 metros, ver Figura 20, conforme se dirige hacia el oeste (sector central del área urbana), presentan espesores mayores a 25 metros y llegan a superar los 30 metros en el A.H. Los Algarrobos y A.H. Santa Rosa. En cuanto al sector noroeste (A.H. Nuevo Amanecer), el espesor de la capa superficial decrece en el orden de los 15 metros y del mismo modo, en el sector suroeste (A.H. Ciudad de Dios), siendo de 4 metros el espesor de este último.

Por debajo se encuentran los suelos rígidos (V_s 376 a 497 m/s) cuyo emplazamiento predomina en toda el área de estudio, a excepción del sector central del área urbana (Figura 20) donde se debe encontrar a mayores profundidades (>30 metros) puesto que no se ha identificado con los ensayos sísmicos (líneas LS05 y LS09, Tabla 6). Por otro lado, hacia el suroeste estos suelos se encuentran a poca profundidad (A.H. Ciudad de Dios) y mientras más profundo mayor su rigidez (línea LS12, Tabla 5).

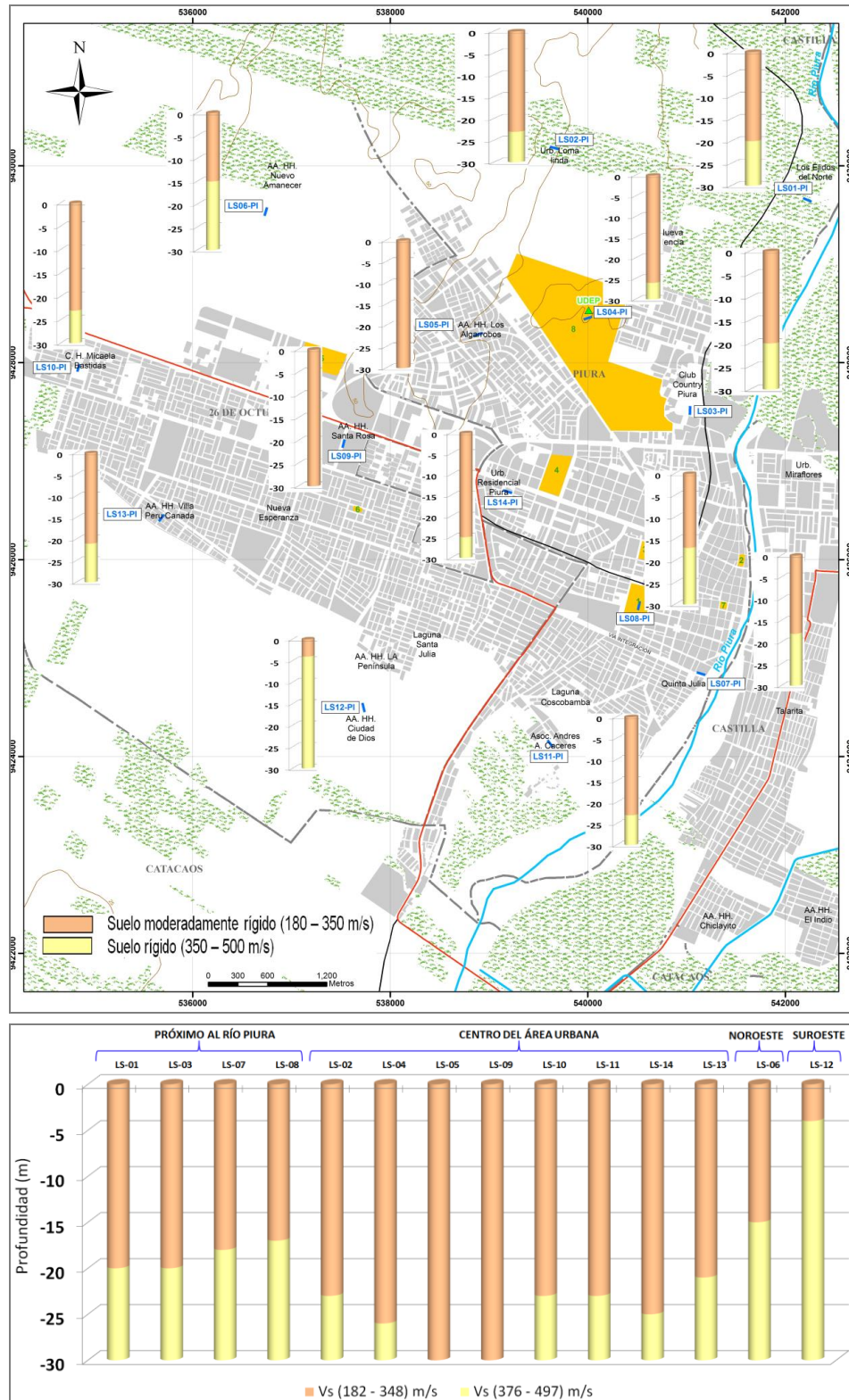


Figura 20: Variación de espesores de los suelos moderadamente rígidos en el área urbana de Piura.

De acuerdo a la geología, sugiere la presencia de depósitos de arenas que se extienden en la mayor parte del área de estudio (Figura 21) y depósitos fluviales distribuidos mayormente próximos al río Piura. Se presume que ambos depósitos se encuentran emplazados sobre rocas tipo areniscas, la cual sería considerado como parte del basamento.



Figura 21: Suelos constituidos de depósitos eólicos (Detrás del Country Club de Piura).

3.3. Estudios Eléctricos con la Técnica ERT

Los valores de resistividad del suelo es información muy útil puesto que permite identificar aquellos suelos que presentan alto contenido de humedad y/o la profundidad del nivel freático. Se realizaron 13 líneas de tomografía eléctrica en el área urbana de Piura, distribuida según la Figura 13. El procesamiento de la información permitió llegar desde el nivel superficial hasta una profundidad de 40 metros. En el siguiente sub ítem se describe los resultados obtenidos.

A continuación, se describe los resultados obtenidos de las líneas de tomografía eléctrica realizados en el área urbana de Piura:

Las líneas eléctricas LE01-PI y LE03-PI ubicadas al norte de la plaza de armas de Piura, en los Ejidos del Norte y a espaldas del Country de Piura (Figura 13). Presenta el predominio de valores muy bajo resistivos (<20 $\Omega.m$), asociados a las arenas limosas, con gran contenido de húmeda por la influencia del río Piura,

además de la presencia de terrenos agrícolas a los alrededores de estas, como indica en la Figura 22.

Las líneas eléctricas LE02-PI, LE04-PI, LE05-PI, LE06-PI, LE09-PI, LE10-PI ubicadas al noroeste de la plaza de armas de Piura, en los sectores de Urb. Loma Linda, UDEP, A.H. Los Algarrobos, A.H. Nuevo Amanecer, A.H. Santa Rosa y A.H. Micaela Bastidas (indicado en la Figura 13).

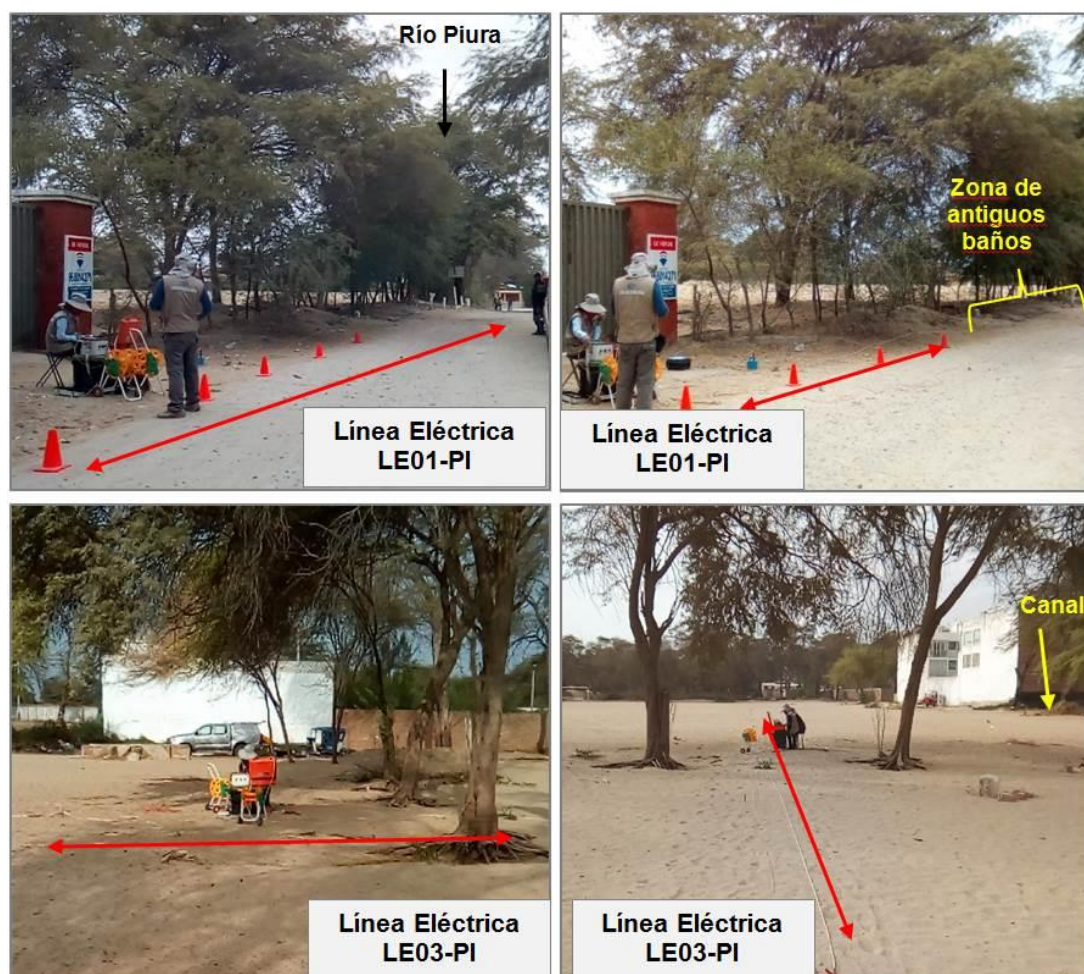


Figura 22: Vista de las líneas eléctricas LE01-PI y LE03-PI.

Estas líneas presentan valores medianamente resistivos a resistivos ($>100 \Omega.m$) en superficie y varía entre 5 y 10 metros de espesor. Están asociados a la mayor compactación de los suelos y a la presencia de arenas secas de origen marino en superficie. Sin embargo, por debajo sugieren suelos saturados, ver Figura 23.

En la **línea LE06-PI**, donde predominan los valores de bajo a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$), los materiales presentes son arcillas y limos los cuales presentan saturación la que es asociada a la proximidad de zonas de cultivo.

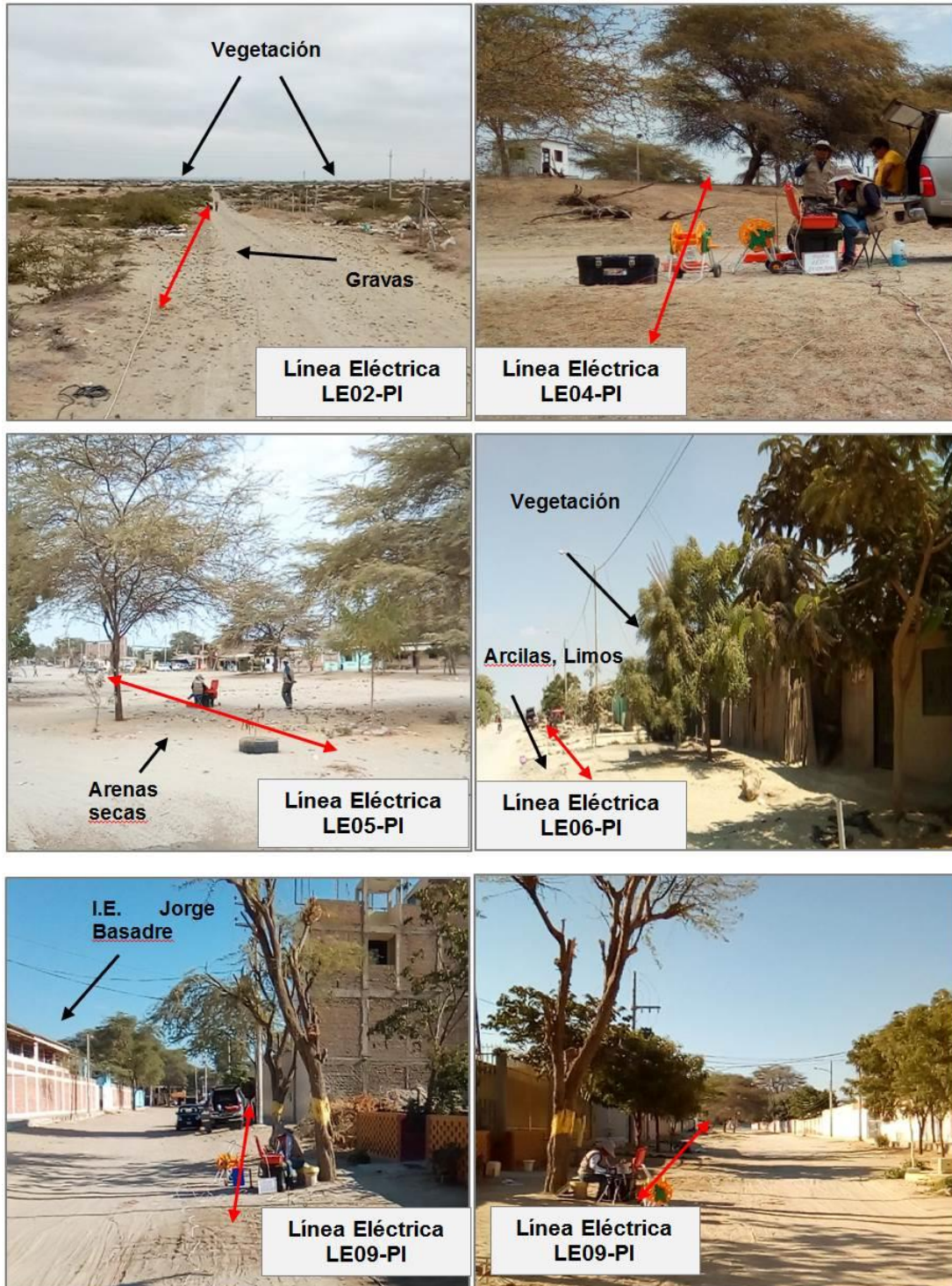


Figura 23: Vista de las líneas eléctricas LE02-PI, LE04-PI, LE05-PI, LE06-PI, LE09-PI y LE10-PI.

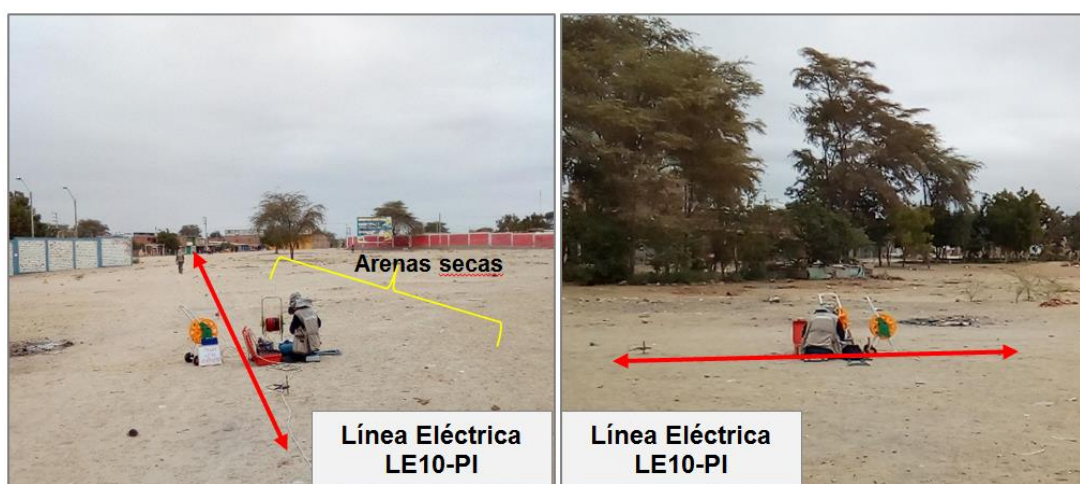


Figura 23: ...Continuación /. Vista de las líneas eléctricas LE02-PI, LE04-PI, LE05-PI, LE06-PI, LE09-PI y LE10-PI.

Las líneas eléctricas LE08-PI y LE13-PI ubicadas al oeste de la plaza de Armas de Piura en la I.E. San Miguel de Piura y el A.H. Villa Perú - Canadá (Figura 13).

La línea LE08-PI, fue tomada sobre depósitos fluviales, donde predominan los valores muy bajo resistivos ($<20 \Omega.m$), estos valores están asociados a la proximidad de la línea con el río Piura, además de ser una zona de inundación que presenta drenaje moderado, ver Figura 25. Por otro lado la **LE13-PI**, presenta valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m$), en superficie con espesores entre 8 y 15 metros, estos valores de resistividad se puede asociar a la presencia de arenas secas y por debajo predominan los valores bajo a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$), estos valores pueden deberse a proximidad de la laguna Santa Julia (depósitos lacustres), ver Figura 24.

Las líneas LE07-PI, LE11-PI y LE12-PI, ubicadas al suroeste de la plaza de Armas de Piura en el sector de Quinta Julia, Asoc. Andrés A. Cáceres y A.H. Ciudad de Dios (Figura 13).

En la línea LE07-PI, predomina valores de muy bajo a bajo resistivos ($<100 \Omega.m$), estos valores están asociados a la proximidad con el río Piura que influye en la saturación que tienen las arenas y limos (depósitos aluviales) presentes en la zona, ver Figura 25.

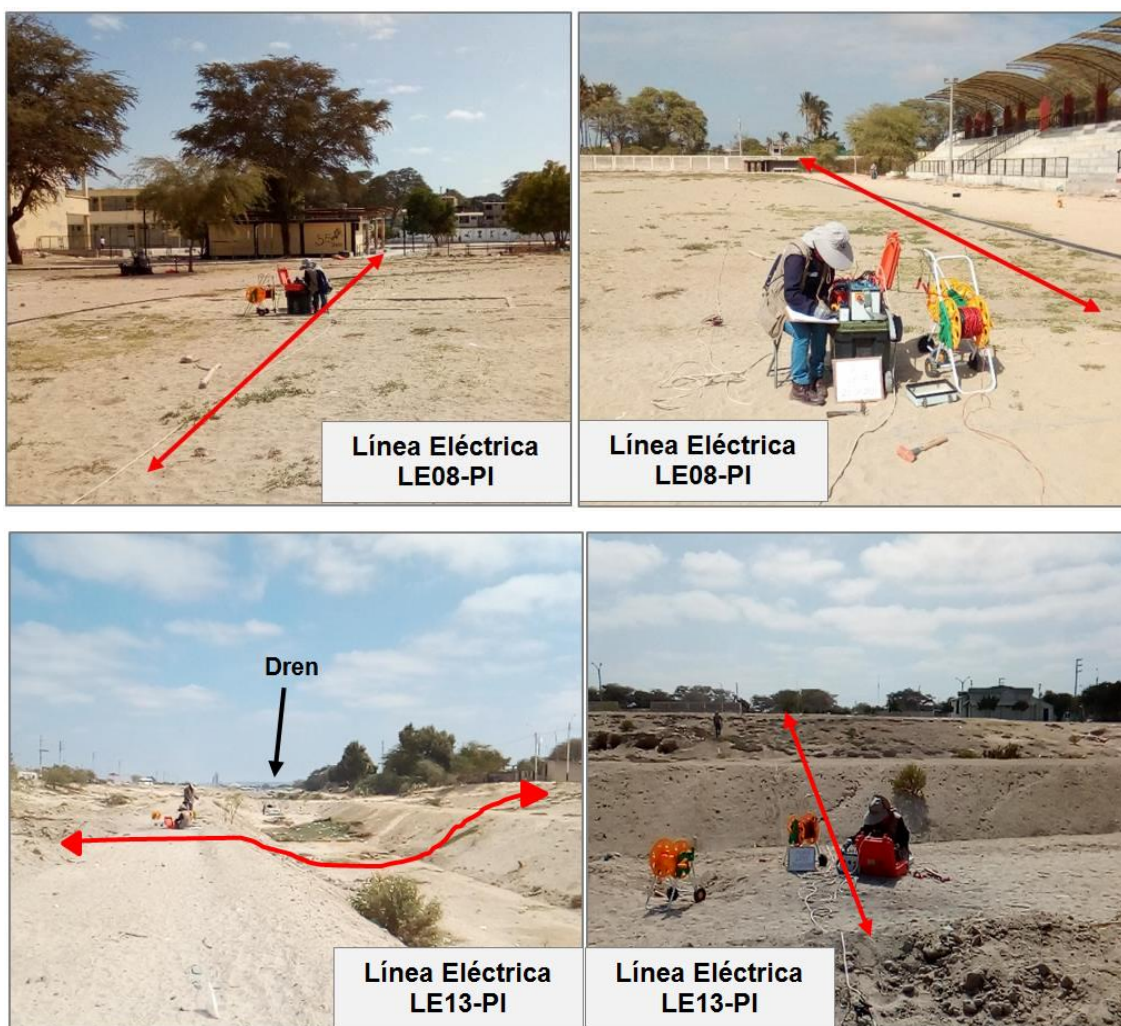


Figura 24: Vista de las líneas eléctricas LE08-PI y LE13-PI.

Las líneas LE11-PI y LE12-PI, presentan una delgada capa en superficie de valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m$), esto debido a la compactación de los suelos en los primeros metros de profundidad, por debajo existe el predominio de valores muy bajo a bajo resistivos ($<100 \Omega.m$) que sugieren que las arenas y limos se encuentran saturadas debido a la presencia de las lagunas Santa Julia y Coscobamba.



Figura 25: Vista de las líneas eléctricas LE07-PI, LE11-PI y LE13-PI.

Interpretación

Geológicamente, el área de estudio se encuentra sobre material cuaternario conformado por depósitos eólicos, aluviales y fluviales que conformarían un acuífero superficial libre y que dadas sus características de material no consolidado pueden almacenar agua subterránea. Se presenta un acuífero profundo semiconfinado.

En la Tabla 7, se muestra la profundidad de la saturación del medio y el tipo de material. En la Figura 26 se presenta el resultado para la línea LE01–PI, para las líneas restantes, ver Anexos.

Tabla 7. Profundidad del medio saturado y material presente en el área urbana de Piura.

Línea Eléctrica	Profundidad de saturación (m)	Material (según INDECI y OEA, 2011)
LE01-PI	3	Arena limosa
LE02- PI	15	Arena mal gradada
LE03- PI	3	Arena mal gradada
LE04- PI	10	Arena mal gradada
LE05- PI	10	Arena mal gradada con limo
LE06- PI	3	Arena arcillosa con limo
LE07- PI	3	Arena mal gradada con limo
LE08- PI	3	Arena mal gradada con limo
LE09- PI	10	Arena mal gradada con limo
LE10- PI	10	Arena mal gradada
LE11- PI	3	Arena limosa
LE12- PI	3	Arena arcillosa con limo
LE13- PI	10	Arena arcillosa con limo

De acuerdo a los resultados, los medios saturados son los que predominan en el área urbana de Piura. Esto debido a la influencia del río Piura, de las lagunas Santa Julia y Coscobamba, la presencia de paleocauces y las zonas con depresión que llegan a inundarse en temporadas de lluvias leves a intensas, la característica topográfica no facilita el drenaje provocando que la húmeda se conserve en el lugar.

El A.H. Ciudad de Dios y la Asociación Andrés A. Cáceres, próximos a las lagunas y los sectores de los Ejidos del Norte, Country club de Piura y la Quinta Julia, presentan suelos saturados, debido a la influencia que ejerce el río Piura que se encuentra próximo a las líneas de tomografía. El tipo de suelo que predomina son las arenas poco compactas saturadas con velocidades bajas, estas condiciones hace que ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud se experimentaría el fenómeno de licuación de suelos.

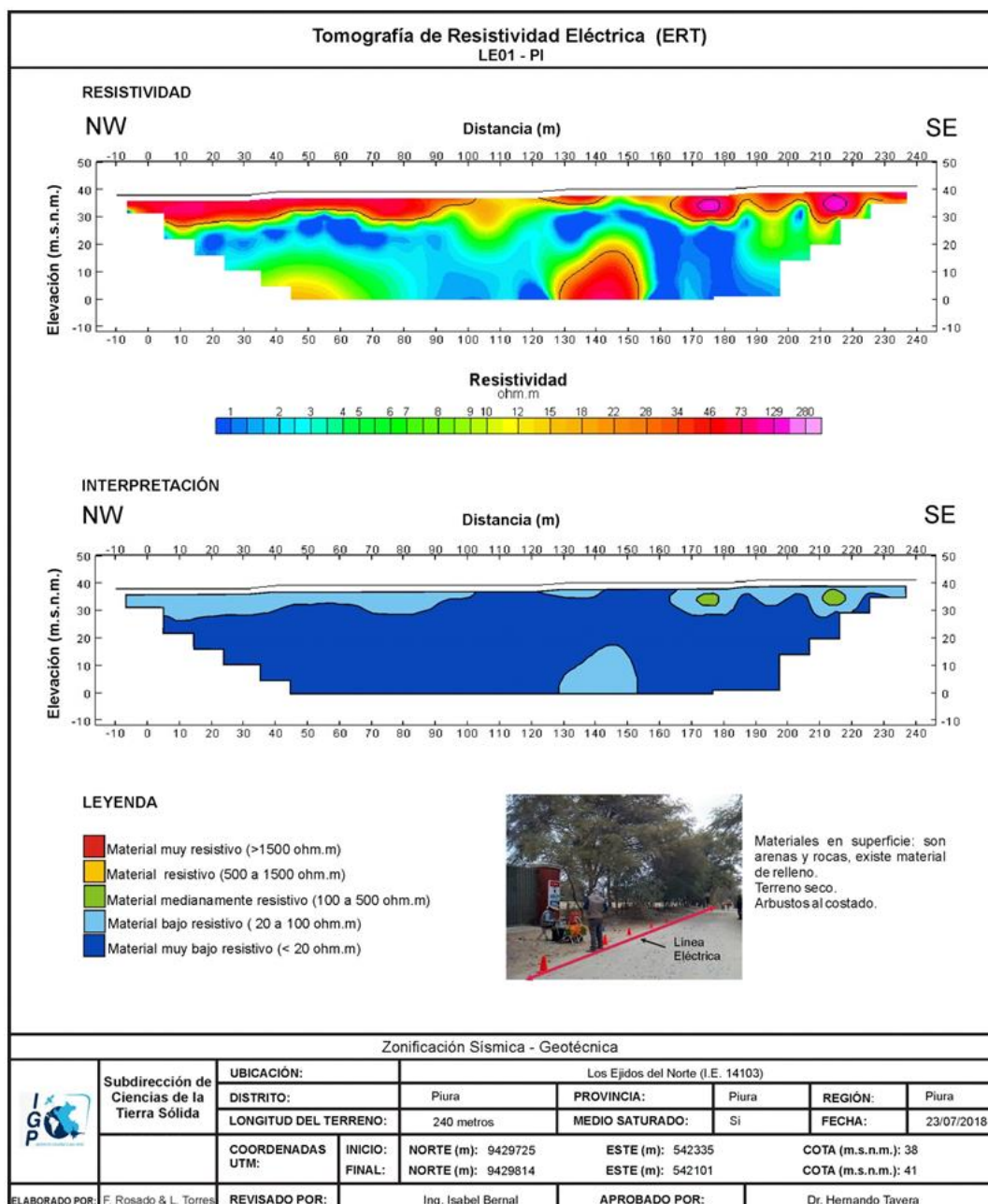


Figura 26: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-PI.

En los sectores de Urb. Loma Linda, UDEP, A.H. Los Algarrobos, A.H. Nuevo Amanecer, A.H. Santa Rosa, C.H. Micaela Bastidas y A.H. Villa Perú – Canadá, los medios no saturados son los que predomina en superficie, esto debido a la presencia de arenas secas, por debajo de esta capa se presentan medios saturados.

4. ZONIFICACION SÍSMICA - GEOTÉCNICA

El mapa de zonificación sísmica se elabora en función de la integración de los resultados de los estudios geológicos, geotécnicos y sísmicos, con base en estos resultados, se delimita zonas con características físicas y dinámicas similares. Asimismo, el mapa de zonificación se realiza en función a la Norma de Construcción Sismorresistente E.030.

4.1. Integración de resultados

El área urbana de Piura se emplaza sobre una superficie casi plana siendo en algunos sectores ligeramente ondulada. Las áreas con una cota mayor de 30 m.s.n.m. se encuentran distribuidas hacia el noreste y las de menor cota se distribuyen principalmente hacia el sur, específicamente, los lugares próximos a las lagunas Santa Julia y Coscobamba, es aquí donde las mayores inundaciones se producen a causa lluvias extraordinarias y el fenómeno de El Niño, según el mapeo realizado por INDECI y OEA en el 2009.

*- **Periodos Dominantes:** Para presentar los resultados finales obtenidos con la técnica razones espectrales, los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes y para construir el mapa de periodos, se asignó a cada punto de medición un radio de confiabilidad de 10 metros, lo cual facilita los procedimientos seguidos para la zonificación de los suelos. En la Figura 27, se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes para el área urbana de Piura, los cuales han sido separados en dos grupos, en color negro para periodos menores a 0.4 segundos, en gris los periodos mayores y los puntos que no presentan periodos de color gris.*

Periodos de 0.3 y 0.4 segundos, se distribuyen de manera uniforme sobre toda la ciudad, mientras que periodos de 0.5 segundos se presentan de manera heterogénea en áreas pequeñas muy localizadas. Asimismo, el 15% de la zona de estudio presenta sensibilidad a periodos de 0.6 a 0.8 segundos, ubicados al sur de los A.H. Villa Perú Canadá, Santa Rosa, Nuevo Amanecer y Los Algarrobos. Las mayores amplificaciones en ambos grupos de periodos se presentan al sur, por la Quinta Julia, la Laguna Coscomba y A.H. Ciudad de Dios.

Los periodos dominantes se encuentran relacionados con las condiciones físico-dinámicas 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 300 m/s y 350 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.3 y 0.4 segundos, se estima una capa superficial con espesores de 20 a 40 metros y en la zona donde se presentan periodos largos se estima un espesor de la capa sedimentaria de 50 a 70 metros (periodos de 0.6 y 0.8). Estos espesores no han sido confirmados con los modelos de velocidad obtenidos con los arreglos sísmicos, ya que se exploró hasta una profundidad de 30 metros, en las que aún se encuentran velocidades correspondientes a suelos rígidos.

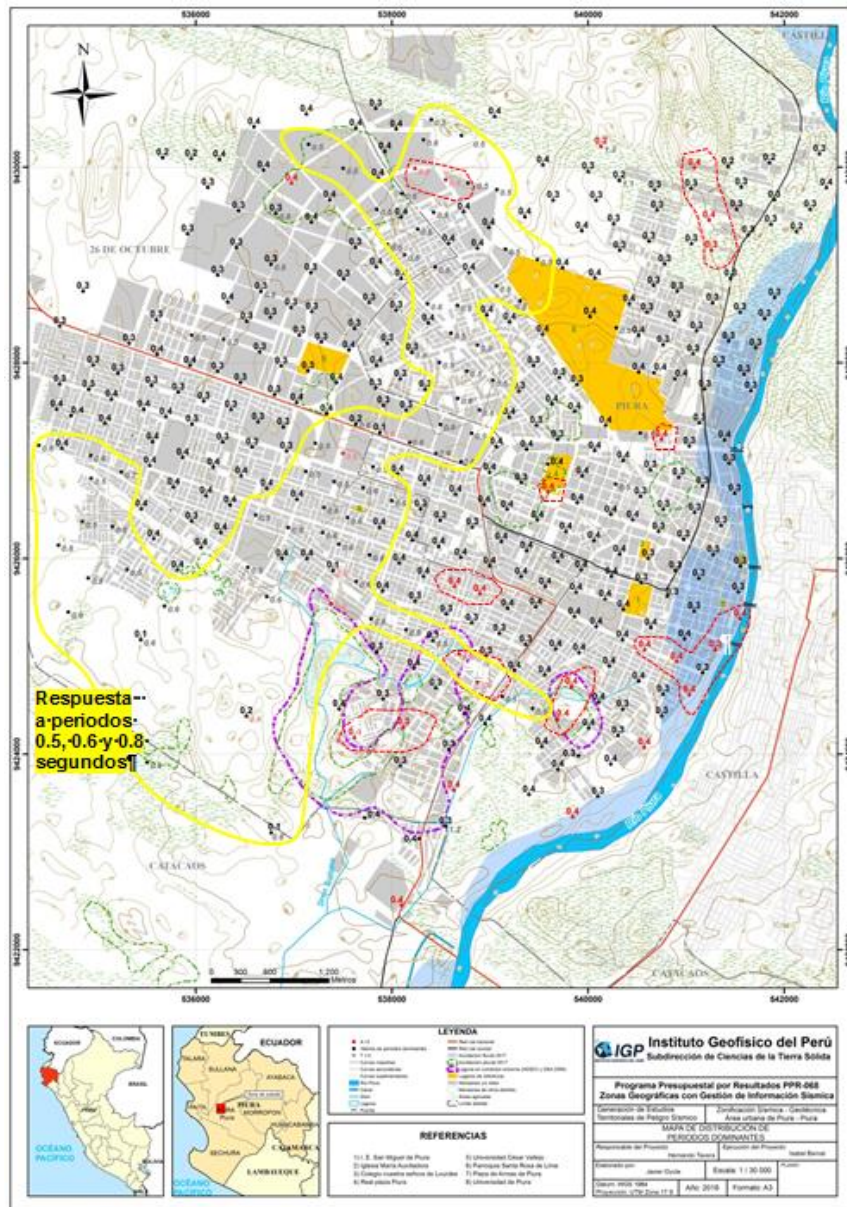


Figura 27: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

Dentro de las características físicas y dinámicas del suelo, muestra el predominio de periodos que varía entre 0.3 y 0.4 segundos y se distribuyen de manera uniforme sobre todo el área de estudio (Figura 27). Este rango de periodos se correlaciona perfectamente con los perfiles de suelo; es decir, existe una capa superficial considerada como suelos moderadamente rígidos y cuyos espesores varían entre 15 y 25 metros, resultados similares también fue identificado en el estudio realizado por INDECI y OEA (2009). Por debajo se encuentra los suelos rígidos cuyos espesores superan la profundidad investigada (30 metros). Asimismo, suelos saturados son los que predominan en el área de estudio, lo cual es debido a la influencia del río Piura y de las lagunas Santa Julia y Coscobamba (Figura 28). Las zonas con depresión llegan a inundarse en temporadas de lluvias provocando que la húmeda se conserve en el lugar puesto que la topográfica no facilita el drenaje.

De forma local en algunos sectores, el suelo también responde a periodos largos cuyos valores fluctúan entre 0.5, 0.6 y 0.8 segundos, se encuentran distribuidos en los A.H. Los Algarrobos, Santa Rosa, Villa Perú-Canadá y alrededores de las lagunas Santa Julia y Coscobamba, tal como se muestra en la Figura 28. De acuerdo a esta característica, hace referencia a dos factores; el primero asociado al espesor, puesto que los suelos de mayor espesor superan los 30 metros. Asimismo se puede apreciar la variación del espesor de la primera capa de suelo, la morfología sugiere antiguos procesos de erosión e inundación de las zonas depresivas. El segundo factor está asociado al tipo de suelo; arenas, arcillas y limos poco compactos que fueron identificados en el área de estudio (A.H. Perú –Canadá y por las lagunas Santa Julia y Coscobamba). Ambos factores sumados a la presencia del nivel freático (el cual se encuentra desde los 3 metros de profundidad), incrementan la complejidad del suelo (Figura 28).

El análisis de amplificación sísmica es de gran valor puesto que durante la ocurrencia de un evento sísmico, es el efecto de sitio de mayor importancia. Dentro de este contexto, se ha identificado aquellos lugares cuyos suelos responderán a mayores amplificaciones. En la Figura 27, muestra los periodos predominantes con amplificación mayor a 3 veces impresos de color rojo. Los resultados sugieren que los mayores sacudimientos del suelo se encuentran influenciados por el grado de saturación del suelo, se presentan de manera local por la Urb. Nueva Providencia, al sur del Club Country de Piura, por el A.H. Nuevo Amanece, por el sector Quinta Julia y por las lagunas Santa Julia y Coscobamba.

Las caracterización física y dinámica del suelo permitieron identificar su complejidad; es decir, el suelo al estar constituido de arenas sueltas y a la existencia del nivel freático en niveles superficiales debido a las lluvias intensas y/o el Fenómeno El Niño, estas condiciones sumado a la ocurrencia de un evento sísmico de gran magnitud próximo a esta región, permiten que baje la capacidad de carga admisible y aumente la probabilidad de generarse mayores amplificaciones y procesos de licuación. Por lo cual es necesario e indispensable que esta información sea considerada como base para nuevos proyectos de GRD y en la toma de decisiones.

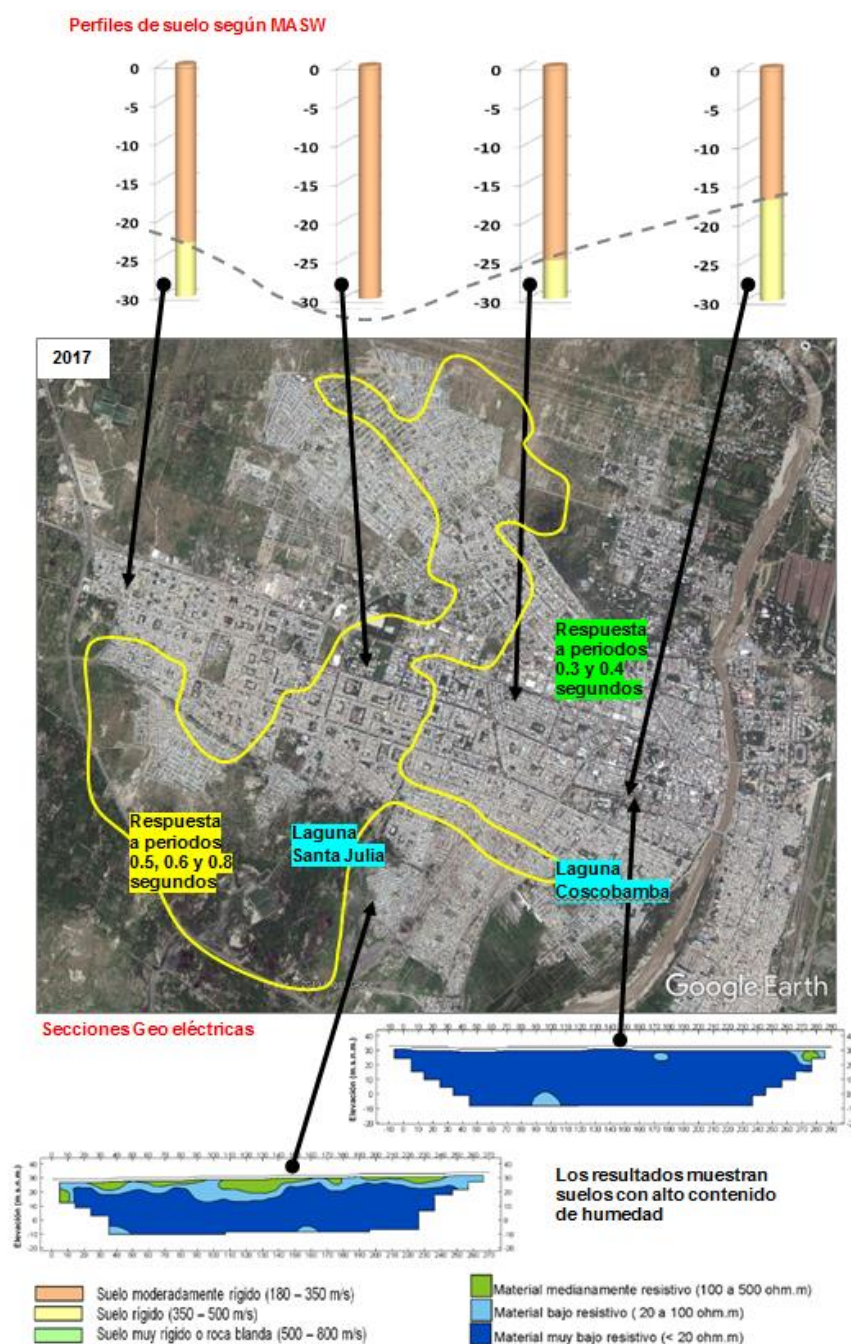


Figura 28: Mapa de la distribución de periodos dominantes y su relación con el espesor y tipo de suelo.

4.2. Mapa de Zonificación Sísmica

El mapa de Zonificación sísmica-geotécnica para el área urbana de Piura, se elabora en función de la integración de los resultados de los estudios geológicos, geotécnicos y sísmicos, delimitando zonas cuyos suelos presentan características de respuesta similares ante la ocurrencia de un sismo. Las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas, han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S2, S3 y S4. Estos tipos de suelo corresponden a las Zonas II, III y IV respectivamente, donde el 80 % del área de estudio responde a rangos de periodos que varían entre 0.3 y 0.4 segundos con mínimas amplificaciones.

Para el área urbana de Piura, se propone la siguiente Zonificación Sísmica-Geotécnica (Figura 29).

- **ZONA II:** *Considera los suelos más consolidados del área de estudio, constituido por estratos de arenas de origen marino (depósitos eólicos) desde el nivel superficial, solo en los sectores próximos al río Piura (margen derecha) se identificaron depósitos aluviales y pluviales constituidos por arenas y gravas de origen sedimentario. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte V_s de 240 m/s para la capa superficial y de hasta 460 m/s a la profundidad investigada de 30 metros. El periodo de vibración natural varía entre 0.3 y 0.4 segundos, tiene un comportamiento medianamente rígido y es considerado como suelos Tipo S2 según la norma sismorresistente peruana; presenta suelos con capacidad de carga admisible menor a 1.0 Kg/cm² hasta un metro de profundidad. Esta zona comprende el 80 % del área de estudio, y se emplaza desde el río Piura hacia el oeste.*

Las líneas inclinadas en negro (Figura 28), delimitan áreas de muy baja amplificación ubicado en el sector oeste del área de estudio (G.H. Micaela Bastidas), sugiriendo que los suelos superficiales muestran mayor consistencia y por lo tanto menor el sacudimiento durante la ocurrencia de un evento sísmico.

- **ZONA III:** *Conformada por suelos consolidado, constituido por estratos de arenas con limos y arcillas. Presenta velocidades de ondas de corte V_s de 240 m/s para la capa superficial y de hasta 400 m/s a la profundidad investigada de 30 metros.*

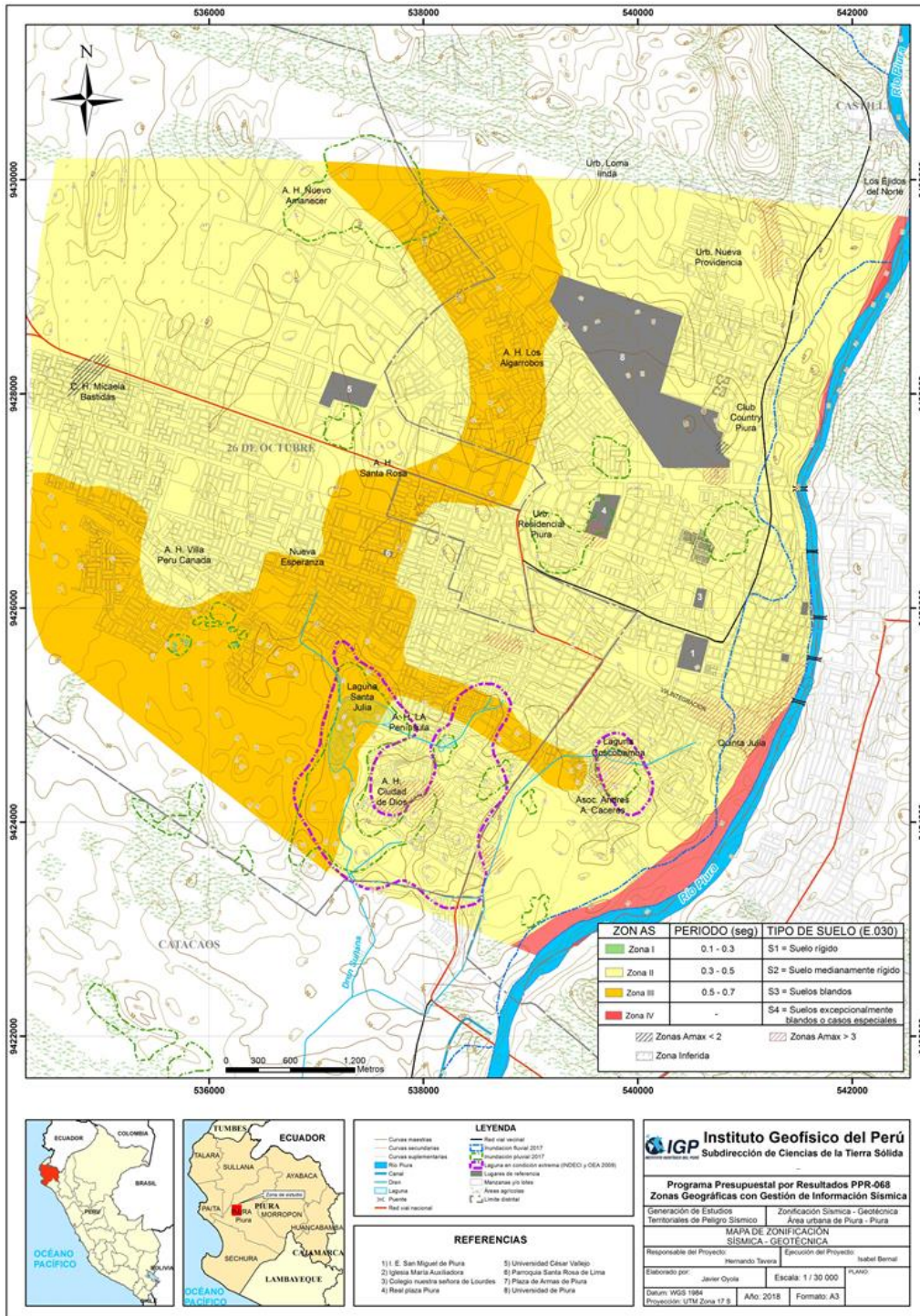


Figura 29: Mapa de Zonificación Sísmica del área urbana de Piura.

Tiene un comportamiento medianamente rígido, pero el periodo de vibración natural varía entre 0.5, 0.6 y 0.8 segundos, el nivel freático es superficial (3 metros) y según por el tipo de material explicado anteriormente, se clasifica como suelos Tipo S3 de acuerdo a la norma sismorresistente peruana; además; presenta suelos con capacidad de carga admisible menor a 1.0 Kg/cm^2 hasta un metro de profundidad. Esta zona comprende el A.H. Los Algarrobos, entre el A.H. Nuevo Amanecer y la Urb. Loma Linda, el A.H. Santa

Rosa, el sector de Nueva Esperanza, al sur del A.H. Villa Perú Canadá y los sectores próximos a las lagunas Santa Julia y Coscobamba (Figura 29).

- ZONA IV: *Esta zona corresponde a suelos cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales, por lo que su comportamiento comprende a suelos Tipo S4 de la norma sismorresistente peruana; se subdivide en:*

- Zona IVa: *Constituida por depósitos fluviales y aluviales con alto contenido de humedad y en algunos sectores constituidos por limos, se encuentran emplazados próximo al río Piura (Figura 29). Esta zona se extiende desde el noreste (Los Ejidos del Norte), representada con una franja delgada, que conforme se dirige hacia el suroeste abarca mayor área (sector de cultivo). Esta zona presenta baja capacidad de carga admisible ($< 1.0 \text{ Kg/cm}^2$), asimismo, puede generarse procesos geodinámicos externos como inundaciones, procesos de licuación y mayores sacudimientos del suelo durante la ocurrencia de un evento sísmico.*

En las zonas II y III, las líneas inclinadas en rojo delimitan áreas donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 3 veces, sugieren que los mayores sacudimientos se presentan de manera puntual por la Urb. Nueva Providencia, al sur del Club Country de Piura, por el A.H. Nuevo Amanece, por el sector Quinta Julia y por las lagunas Santa Julia y Coscobamba.

En la Figura 29, se muestra los niveles de inundación pluvial y fluvial originada por el fenómeno El Niño en el año 2017 (trazo azul y verde discontinuo), esta información es extraído del estudio realizado por (Castro et. al. 2018), dichos sectores se identificaron por la Urb. Residencial Piura, por las lagunas Santa Julia y Coscobamba, A.H. Santa Rosa, entre otros. En color morado se muestra la probable inundación en condiciones extremas, según INDECI y OEA (2009).

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 en 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 que experimente el fenómeno de resonancia y/o una doble amplificación sísmica.

CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para la ciudad de Piura y alrededores, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

-Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permiten mostrar un pico de frecuencia bien definido, que se encuentra en toda el área urbana predominando frecuencias entre 2.0 a 4.3 Hz; además existe en menor medida áreas con valores menores de frecuencias ubicadas al sur de los A.H. Perú Canadá, Santa Rosa, y en Los Algarrobos, con valores entre 0.8 y 1.9 Hz. Estos valores bajos de frecuencias se asocian a depósitos sedimentarios de mayor espesor que domina las zonas indicadas. Por otro lado al sur existen áreas que presentan amplificaciones relativas mayores a 3 veces, lo que evidencia la existencia de suelos menos consolidados en esta área que el resto del área estudiada.

-Al sur del A.H. Nuevo Amanecer, existen un área en la cual los suelos responden de manera diferente que todo su entorno, estos puntos presentan dos picos de frecuencia, a diferencia que todos los puntos ubicados en la zona que responden a un pico bien definido, estos están ubicados en la urbanización Las Casuarinas de Los Portales.

-De los resultados obtenidos con el método sísmico, en el área de estudio predominan en superficie suelos moderadamente rígidos (V_s 182 a 348 m/s) con grandes espesores que varían entre 15 a 25 metros y mayores a los 30 metros en la parte central del área urbana de Piura (A.H. Santa Rosa y A.H. Los Algarrobos). Por debajo presenta suelos rígidos (V_s 376 a 497 m/s) y se encuentran emplazados en toda el área de estudio.

-Los valores de velocidad promedio calculados para los primeros 30 metros de profundidad (V_{s30}), según la norma E030-2018, se clasifica el área de estudio en un solo tipo de suelo con rangos de velocidad V_{s30} entre 280 a 372 m/s lo cual sugiere suelos medianamente rígidos emplazados en todo el área de estudio.

-Los periodos de 0.3 y 0.4 segundos, se distribuyen de manera uniforme sobre toda la ciudad, mientras que periodos de 0.5 segundos se presentan de manera

heterogénea en áreas pequeñas muy localizadas. Asimismo, el 15% de la zona de estudio presenta sensibilidad a periodos de 0.6 a 0.8 segundos, ubicados al sur de los A.H. Villa Perú Canadá, Santa Rosa, Nuevo Amanecer y Los Algarrobos. Las mayores amplificaciones en ambos grupos de periodos se presentan al sur, por la Quinta Julia, la Laguna Coscomba y A.H. Ciudad de Dios.

-Los periodos dominantes que caracterizan los suelos de Piura Cercado, están relacionados con las condiciones físico-dinámicas 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 300 m/s y 350 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.3 y 0.4 segundos, se estima una capa superficial con espesores de 20 a 40 metros y en la zona donde se presentan periodos largos se estima un espesor de la capa sedimentaria de 50 a 70 metros (periodos de 0.6 y 0.8). Estos espesores no han sido confirmados con los modelos de velocidad obtenidos con los arreglos sísmicos, ya que se exploró hasta una profundidad de 30 metros, en las que aún se encuentran velocidades correspondientes a suelos rígidos.

-La distribución espacial de periodos mayores a 0.3 segundos sugiere la presencia en el subsuelo de una capa sedimentaria potente. Por otro lado, los valores de 0.3 y 0.4 segundos con amplificaciones mayores a 3 veces se distribuyen principalmente al sur, sugiriendo que los suelos en esas zonas son menos consolidados en comparación con el resto del área de estudio.

-Los estudios geofísicos indican que los depósitos eólicos, lacustrinos, aluviales y fluviales presentarían mayor permeabilidad por estar compuesta por gravas, arenas, además se tiene la presencia de sales.

-La presencia de medios saturados superficiales y el predominio de suelos constituidos por arenas limosas y arenas de grano fino poco compactas, hacen que ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud pueda ocurrir el fenómeno de licuación de suelos, esto se presentaría en mayor escala en los alrededores de las lagunas Santa Julia y Coscobamba.

-Las líneas que se encuentran próximas al río Piura, se realizaron sobre depósitos aluviales que presentan mayor saturación, esta zona presenta también

problemas de inundación que contribuyen a que los suelos conserven la humedad por la dificultad de drenar el agua.

-Los medios saturados en Piura se encuentran a partir de 3 metros de profundidad y son variables en función de la ocurrencia de precipitaciones intensas.

-Los resultados obtenidos para el área urbana de Piura a partir de sus características físicas y dinámicas del suelo, han permitido identificar, de acuerdo a las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E-030, la existencia de suelos de Tipo S2, S3 y S4.

BIBLIOGRAFIA

- 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 (2001) 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, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- Castro, R., Tavera, H. y Bejarano, E. (2019). Análisis y evaluación histórica del Fenómeno El Niño en la Región Piura 2017. Informe Técnico, Instituto Geofísico del Perú, 65 pag
- CENAPRED, (2004) –Inundaciones, Secretaría de gobernación, 1ra Edición. Delegación de Coyoacan.CP.04360, Mexico,D.F.
- Crespo V., C., (2004) - Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 5ta edición.
- CISMID, (2016) - Densidad de campo. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Laboratorio Geotécnico.
- Comité Interinstitucional, (2007) - Plan de Defensa Ribereñas y Encauzamiento de Ríos. Resumen del Diagnóstico Situacional. Autoridad Autónoma Cuenca Hidrográfica Chira – Piura.
- CONIDA, (2017) – Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial. Mapa de Estimación de Zonas Inundables.
- Chow, V., T., Maidment, D., R., & Mays, L., W., (1994) - Hidrología Aplicada Bogotá, McGrawHill, pág. 584.
- Dorbath, L., Cisternas, A., Dorbath, C. (1990). Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Peru. Bull. Seismol. Soc. Am., 80 (30), 551-576.
- ENFEN, (2017) - Comisión Multisectorial Encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño”.

- 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.
- Gobierno Regional De Piura, (2005-2010) - Plan Regional de Prevención y Atención de Desastres de la Región Piura.
- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. *Bull. Seism. Soc. Am.* 82, 2308-
- 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
- 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.
- INDECI, (1998) – Instituto Nacional de Defensa Civil. Compendio Estadístico.
- INDECI, (2017) – Instituto Nacional de Defensa Civil. Estado Situacional de la Emergencia.
- INEI, (2017) – Instituto Nacional de Estadística e Informática. XII Censo Nacional de Población y IV de Vivienda.
- Ingeniería Mecánica de Suelos, (2017) – Estudio Geológico-Geotécnico para el expediente Técnico para el Proyecto denominado: Mejoramiento de los servicios deportivos en el AA.HH. Túpac Amaru – sector II, Distrito Veintiséis de Octubre-Piura, Piura.
- JNCL Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos-Municipalidad Distrital de Veintiséis de Octubre, (2016) – Estudio de Mecánica de Suelos para el proyecto: Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal en el AA.HH. Las Dalías del Distrito Veintiséis de Octubre-Piura, Piura.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a). Are microtemors 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.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quarterly 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.
- Meyerhof, G., G., (1956) – Penetration 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>.
- Municipalidad distrital de Veintiséis de Octubre-Piura, (2015) –Estudio de suelos con fines de mejoramiento del parque infantil UPIS Villa Hermosa del distrito Veintiséis de Octubre, provincia de Piura, departamento de Piura.
- Orellana, E. (1982). *Prospección geoelectrica en corriente continua*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- 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.
- Palomino, L; Matos E. (2009). Estudio mapa de peligros de la ciudad de Piura –OEA-INDECI.
- Palacios, O, (1994) - Geología de los cuadrángulos Paita 11-a, Piura11-b, Talara 10-a , Sullana 10-b, Lobitos 9-a, Quebrada Seca 9-b, Zorritos 8-b, Tumbes 8-c y Zarumilla 7-c. Serie A: Carta Geológica Nacional. Boletín N° 54. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico- INGEMMET.

- Perez, A.; Parra, E. (2011). Plan de gestión del riesgo de desastres de ciudad de Piura – OEA-INDECI.
- 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.*, 56, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004
- Pike, R. J., I. S. Evans, and T. Hengl. 2009. *Geomorphometry: A brief Guide*. *Dev. Soil Sci.* 33: 3-30.
- Proyecto SEDI/AICD/AE/306/07 Programa de Reducción de Desastres para el Desarrollo Sostenible en las ciudades de Piura (Perú) y Machala (Ecuador). Estudio mapa de peligros de la ciudad de Piura (2008-2009).
- Proyecto de Mapa de Peligros de Piura – (Apoyo INDECI, 2002)
- Reynolds, J.M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Roman, F., Jaimes, E., Moreno, M., Cuisano, V., Gallo, M., Yaipen, J. y Flores, M. (2017). Informe de evaluación del riesgo por desastre del río Piura e inundación pluvial en el centro poblado de Castilla, distrito de Castilla, provincia y departamento de Piura. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. p. 70.
- Roma, V. (2010). Seismic geotechnical site characterization by means of MASW and ReMi methods. *FastTIMES*, 15(3):16-28.
- Samouëlian, A., I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand y G. Richard, (2006). Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil Till Res* 83, 173-193
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12: (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), (2018). <http://www.senamhi.gob.pe/>
- SIG INGENIEROS S.A.C., (2014) - Evaluación y Reformulación del Plan de Desarrollo Urbano de Piura, Castilla y Catacaos 2032 Ahora; Plan de Desarrollo Urbano de Piura, Veintiseis de Octubre, Castilla y Catacaos 2031.
- Sieberg, A. (1930). Los Terremotos en el Perú. Capítulo VI, *Geología del Perú* de G. Steinmann,
- Heidelberg Carl Winster Universitat-Shuchhan-Lunc, p. 406.

- Silgado, E. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513 - 1974). INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 3, 130 p.
- Socco, L.V., Boiero, D., Comina, C., Foti, S., y Wis_en, R. (2008). Seismic characterization of an Alpine site. Near Surface Geophysics, 6(4):255-267.
- Tarbuck, E., D. Lutgens, F., K., (2005) - Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física Pretince Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.
- Tavera, H., 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.
- 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.
- Varnes, D.J., (1958) - Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board Special Report 29, NAS- NRC Publication 544, Washington, D.C. 20-47 p.
- Varnes, D. J., (1978) - Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster R. L. y Krizek, R. J., ed. Landslides analysis and control: Washington, D. C. National Academy Press, Transportation Research Board Special report 176. 9-33 p.
- Vilchez, et al, (2013) - Riesgo Geológico En La Región Piura. Ingemmet.
- Zinck, J. & Valenzuela, C., (1990) – Soil geographic database: structure and application examples. ITC Journal, 1990(3), 270-294.

ANEXOS

La documentación del presente Informe Técnico: “Zonificación Sísmica – Geotécnica de la ciudad de Piura”, se adjunta en un DVD.

1.- Información Geológica Geotécnica:

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

2.- Información Geofísica

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