



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 SECHURA Y C.P. PARACHIQUE

Lima, Perú  
2019

**Instituto Geofísico del Perú**

Presidente Ejecutivo: Dr. Hernando Tavera

Director Científico: Dr. Danny Scipion

**Autores**

Isabel Bernal

*Caracterización Sísmica y Geofísica de la Ciudad de Sechura y C.P. Parachique*

Juan Carlos Gomez

*Caracterización Geológica y Geotécnica de la Ciudad de Sechura y C.P. Parachique*

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Edinson Yossimar Ramos Silva/ Héctor Lavado Sánchez

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

Personal de apoyo: Augusto Cárdenas / Roberth Yupanqui

Personal administrativo: Marisol Enriquez

**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 SECHURA Y C.P. PARACHIQUÉ**

**Distrito de Sechura – Provincia de Sechura  
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 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 Sechura y C.P. Parachique”, 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 y las conclusiones generales. En la segunda parte, se presenta el desarrollo del estudio realizado para la caracterización geológica y geotécnica, y en la tercera, la caracterización sísmica y geofísica, en ambos casos para la ciudad de Sechura y C.P. Parachique. Finalmente, en un CD se adjunta toda la documentación y mapas temáticos generados durante la realización del presente estudio.

## **INDICE**

### **RESUMEN**

#### INDICE

#### **PARTE 1: Presentación**

##### 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivo

1.2. Historia

1.3. Accesibilidad y Clima

1.4. Economía

##### 2. CONDICIONES LOCALES DE SITIO

2.1. La Norma Técnica E.030

CONCLUSIONES

#### **PARTE 2: Caracterización geológica y geotécnica de la ciudad de Sechura y C.P. Parachique**

#### **PARTE 3: Caracterización sísmica y geofísica de la ciudad de Sechura y C.P. Parachique**

### **BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS:** Documentos y anexos se adjuntan en un CD

## 1. INTRODUCCIÓN

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

- **Piura**, distrito de Piura, capital de la provincia y región de Piura.
- **Castilla**, distrito de Castilla, provincia y región de Piura.
- **Sullana**, capital del distrito y provincia de Sullana, región de Piura.
- **Paíta**, capital del distrito y provincia de Paíta, región de Piura.
- **Chulucanas**, distrito de Chulucanas, provincia de Morropón, región de Piura.
- **Catacaos**, distrito de Catacaos, provincia y región de Piura.
- **Sechura y Parachique**, distrito y 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.

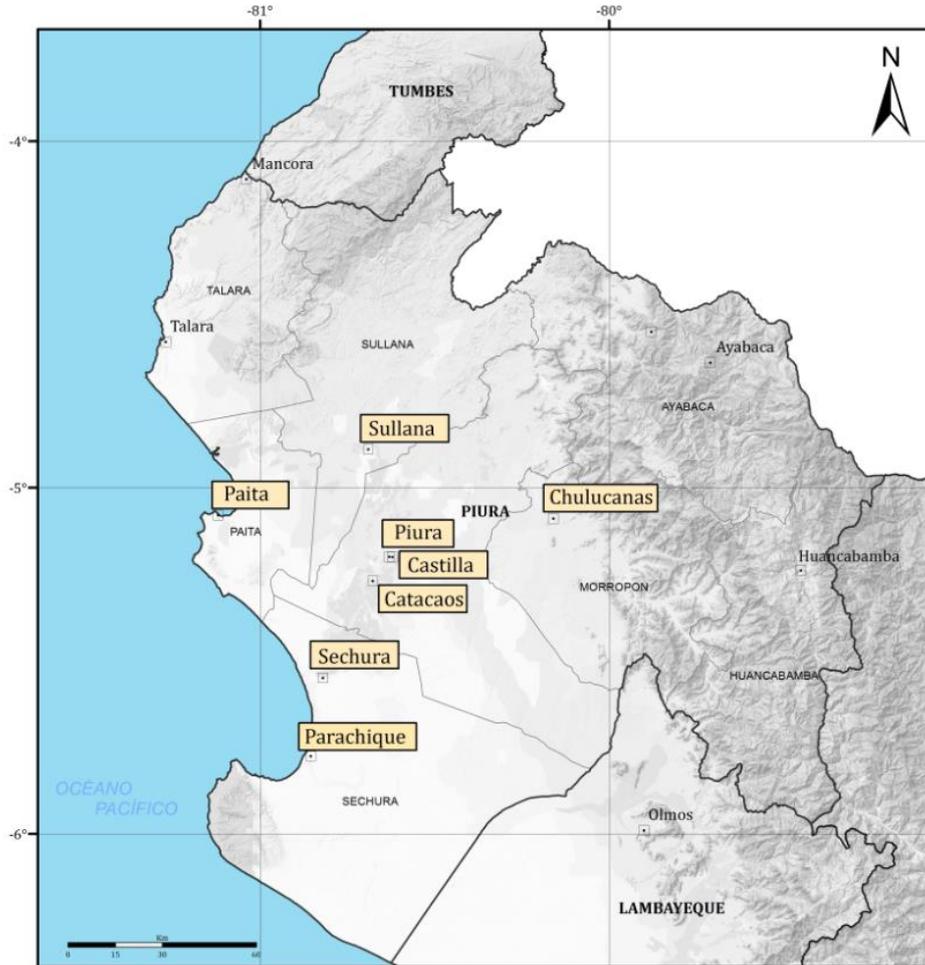


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades intervenidas durante el año 2018: Zonificación Sísmica – Geotécnica de suelos

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, geofísicos, geológicos y geotécnicos. Los resultados que se obtienen permiten comprender que no hay suelo malo y que solamente se debe considerar el diseño y la construcción de viviendas y estructuras apropiadas para cada tipo de suelo. Dentro de este contexto, la población de la ciudad de Sechura debe comprender que existen tres (3) reglas para construir una casa sismorresistente ([www.acerosarequipa.com](http://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 Sechura y C.P. Parachique, provincia de Sechura, Región de Piura, a partir de la integración de los resultados obtenidos con la aplicación de 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 (Figura 2).



Figura 2: Plaza de Armas de la Ciudad de Sechura

## 1.2. Historia

Una de las versiones del origen del nombre Sechura lo cita Mariano Felipe Paz en su Diccionario Geográfico Estadístico del Perú, donde afirma que el nombre proviene de la voz aymara SEKH o la troja de chuño o maíz. Las raíces históricas de la población de Sechura se remontan a la cultura Chusis, que gobernaron y dominaron las partes bajas del valle del bajo Piura y aprendieron a satisfacer sus necesidades valiéndose del recurso pesquero desde tiempos antiguos hasta la actualidad.

Sechura inicialmente estuvo asentado en Chullachy, a 9 km al oeste de la actual ubicación de la ciudad (en la zona litoral). Este lugar era un eje estratégico del comercio entre Lambayeque y Paita, por el pasaba el correo terrestre Lima– Piura y viceversa, además de la exportación de insumos como la sal, cal y la lejía.

Sin duda, Sechura se había convertido en un pueblo pluriproductivo por sus exportaciones de sal y litio, cuyas redes de comercio llegaban hasta Lima. Pero, su ubicación próxima a la faja litoral y al río del mismo nombre, la convertían en un pueblo vulnerable a la ocurrencia de maretaños e inundaciones, como los acontecidos en 1728, que obligó el traslado del pueblo a una zona más alta (actual lugar de asentamiento). Es en esta época donde se inicia la segunda fundación de Sechura con expansiones urbanas hacia el este, además de su creación como distrito en 1828, luego de la proclamación de la independencia (1821).

La construcción de la carretera Panamericana Norte, entre los años de 1933-1939, acentuó más el crecimiento urbano de Sechura, mejorando así el comercio con las demás ciudades y el puerto de Paita. Cabe indicar que la expansión urbana estaba limitada por el norte hasta la avenida Eguiguren, debido a la ocurrencia de inundaciones que se suscitaban en este sector (Villacorta, 2016).

En la época de la independencia (siglo XIX) se elevó a Distrito aunque no existe documento de creación, un siglo después se le elevó a categoría de ciudad. Como provincia, Sechura fue creada con Ley N° 26290, promulgada el 23 de diciembre de 1993 y publicada el 29 de enero de 1994.

El centro poblado de Parachique- La Bocana (distrito de Sechura), fue creado el 13 de octubre del 2005 por Ordenanza Municipal N° 023-2005-MPS, luego el 28 de abril es reafirmada y creada, presenta actualmente una población promedio de 6500 habitantes aproximadamente.

Actualmente, las condiciones urbanas han sufrido cambios debido a la dinámica del crecimiento poblacional desordenado, se estima que la población de la parte baja de Parachique (La Bocana) se encuentra expuesta a inundación fluvio-marina y pluvial, de igual forma es una zona susceptible a peligro por Tsunami.

El distrito de Sechura y el C.P. Parachique forman parte de los seis distritos de la provincia de Sechura, ubicado en la región de Piura (Figuras 3 y 4). Limitan por el norte con los distritos de Vice, Rinconada Licuar y Cristo nos Valga, por el sur con los distritos de Olmos y Morrope (Lambayeque), por el este con los distritos de Catacaos (Piura) y Olmos (Lambayeque) y al oeste con el Océano Pacífico.

La población beneficiada con el presente estudio es de 42,974 habitantes (INEI, 2015) presentes en la ciudad de Sechura y C.P. Parachique. El área de estudio comprende 20 km<sup>2</sup> aproximadamente para la ciudad de Sechura y 10 Km<sup>2</sup> para el C.P. Parachique.

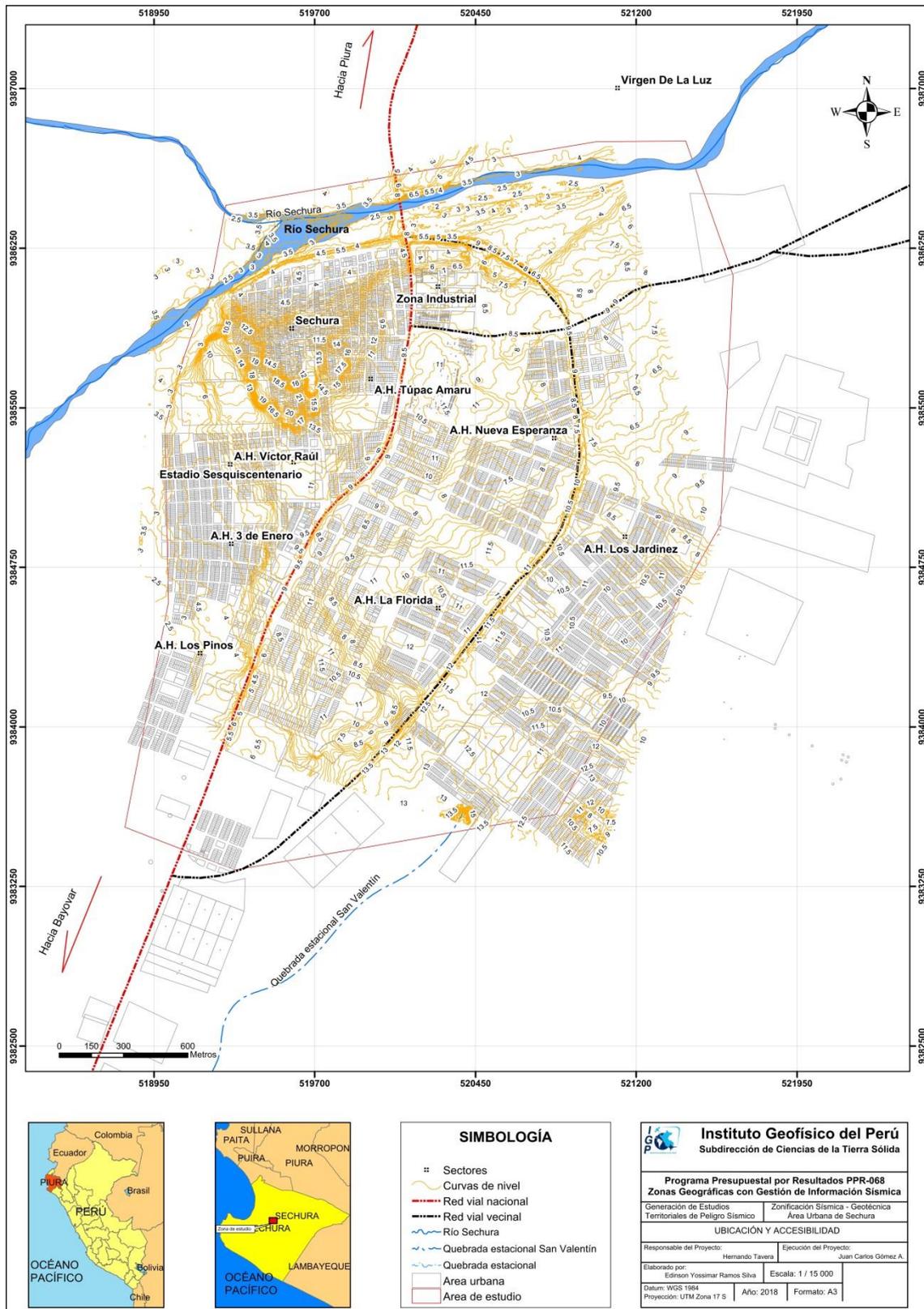


Figura 3: Mapa de ubicación geográfica de la ciudad de Sechura.



Figura 4: Mapa de ubicación geográfica del C.P. Parachique.

### 1.3. Accesibilidad y Clima

El acceso al distrito de Sechura, desde la ciudad de Piura es recorriendo 55 km hacia el suroeste, por la carretera asfaltada Panamericana norte (Piura-Bayóvar). Asimismo, para llegar a la localidad de Parachique, se parte desde la ciudad de Sechura con dirección hacia el sur, recorriendo 24 km por la carretera asfaltada Panamericana norte (Piura-Bayóvar), hasta el desvío hacia Parachique.

Para determinar las condiciones climáticas en la ciudad de Sechura y C.P. Parachique, se ha tomado los datos referenciales de la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). La estación Chusis se encuentra ubicada a 3.60 Km al noreste de la ciudad de Sechura y a 26.9 Km al noroeste del C.P. Parachique, en las coordenadas geográficas; Latitud: 5°31'39.23", Longitud: 80°48'45.9", cota 8 m.s.n.m. Según la información registrada en esta estación (período 2014-2017), la ciudad presenta un clima seco de desierto cálido con temperaturas promedios mínimas y máximas de 16° y 34° C respectivamente, presenta ligeras precipitaciones acumuladas mensual entre 15 a 34 mm que se acentúan en los meses de verano y fuertes precipitaciones que se presentan a consecuencia del Fenómeno del Niño, de hasta 218.6 mm promedio mensual acumulados (Figura 5 y Tabla 1).



Figura 5: Estación meteorológica de Chusis, ubicada a 3.60 Km de la ciudad de Sechura y a 26.9 Km del C.P. Parachique.

Tabla 1: Temperaturas máximas y mínimas medias mensuales (2011-2016), recopilados de la estación meteorológica La Capilla 2 (SENAMHI, 2010). SD indica la no disponibilidad de datos.

Estación Meteorológica : CHUSIS														
Departamento:	Piura	Provincia:	Piura	Distrito:	Sechura	Latitud	5° 31' 39.23"	Longitud:	80° 48' 45.9"	Altitud:	8 m.s.n.m			
AÑO	Parametros	MESES												
		ENE	FEBR	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
2014	T°.Max.Prom.C°	33	34	34	33	31	30	28	27	28	29	29	31	
	T°.Min.Prom.C°	22	22	22	20	22	21	18	17	17	18	18	19	
	P.Max.Acum.Men	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
2015	T°.Max.Prom.C°	33	-	34	33	31	30	29	28	-	30	30	31	
	T°.Min.Prom.C°	21	-	24	22	22	21	19	18	-	20	20	22	
	P.Max.Acum.Men	0	2	9	0	0	0	0	0	0	0	4	0	
2016	T°.Max.Prom.C°	33	34	35	33	31	29	28	28	29	28	29	31	
	T°.Min.Prom.C°	23	24	24	22	20	18	17	17	17	17	16	19	
	P.Max.Acum.Men	1	10	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
2017	T°.Max.Prom.C°	34	34	32	31	29	27	25	25	27	-	-	-	
	T°.Min.Prom.C°	23	24	24	23	21	19	18	17	17	-	-	-	
	P.Max.Acum.Men	14	32	610	5	2	0	0	0	0	-	-	-	

## 1.4. Economía

La principal actividad económica del distrito de Sechura, según la PEA de Sechura tiene una mayor proporción en vendedores y comerciantes de mercado municipal con un 35%, siendo el segundo lugar para la pesca (28%) y en tercera ubicación, los empleados de las industrias manufactureras (12%). Por otro lado, el C.P.Parachique es una localidad de Sechura, pionera en la actividad pesquera, siendo productores de molusco de exportación a Europa, produciendo el 80% de concha de abanico de la producción nacional; sin embargo, es una localidad que no brinda con los servicios básicos vitales para vivir. La mayor parte de los jefes de familia, se dedican a la actividad pesquera artesanal, otros se dedican a la albañilería, arreglo de barcos, obreros de canteras, al servicio de transporte, trabajos independientes como restaurantes, ferreterías, bodegas, etc.

## 2. CONDICIONES LOCALES DE SITIO

En la actualidad, es ampliamente conocido que las condiciones locales de sitio son uno de los principales factores responsables de los daños que se producen en cualquier tipo de edificación durante la ocurrencia de sismos severos. Este factor es fuertemente dependiente de las características geológicas, geomorfológicas, geodinámicas, geotécnicas, sísmicas y geofísicas de los suelos. En conjunto, estos controlan la amplificación de las ondas sísmicas causantes de los daños a observarse en superficie después de ocurrido un evento sísmico.

Las condiciones locales de sitio son evaluadas en los estudios de Zonificación Sísmica, geotécnica y el resultado es considerado como una de las herramientas más importantes para minimizar los daños producidos por los sismos. La finalidad es evaluar el comportamiento dinámico de los suelos (CDS), teniendo en cuenta que la intensidad de las sacudidas sísmicas varía considerablemente a distancias cortas y áreas pequeñas. Diversos estudios muestran, que los suelos ante la incidencia de ondas sísmicas asociadas a movimientos débiles y/o fuertes, responden de acuerdo a sus condiciones locales, pudiendo estos modificar el contenido frecuencial de las ondas y/o generar amplificaciones de las ondas sísmicas (Hartzell, 1992; Beresnev et al., 1995; Bard 1995; Lermo y Chávez-García, 1993, 1994 a, b; Bard y Sesame, 2004; Bernal, 2002), ver Figura 6.



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

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 mecánicas, 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 4 perfiles (Tabla 2):

- **Perfil Tipo  $S_1$ : Roca o Suelos Muy Rígidos**, a este tipo corresponden rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte  $V_s$ , entre 500 y 1500 m/s.
- **Perfil Tipo  $S_2$ : Suelos Intermedios**, son suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte  $V_s$  entre 180 y 500 m/s.
- **Perfil Tipo  $S_3$ : Suelos Blandos**, corresponden suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte  $V_s$  menor o igual a 180 m/s.

- **Perfil Tipo S<sub>4</sub>: Condiciones Excepcionales**, corresponde a suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Será determinado con un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).

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

Perfil	V <sub>s30</sub> (m/s)	Descripción
S <sub>0</sub>	> 1500	Roca dura
S <sub>1</sub>	500 a 1500	Roca o suelo muy rígido
S <sub>2</sub>	180 a 500	Suelo medianamente rígido
S <sub>3</sub>	< 180	Suelo blando
S <sub>4</sub>	Clasificación basada en el EMS	Condiciones Excepcionales

La velocidad de propagación de ondas de corte para los primeros 30 metros (V<sub>s30</sub>) se determina con la siguiente fórmula:

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

Dónde:

d<sub>i</sub> = espesor de cada uno de los estratos n.

V<sub>si</sub> = 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 4 zonas cuyas características son:

**ZONA I:** Comprende a suelos Tipo S<sub>1</sub>, cuyo periodo predominante varía entre 0.1 y 0.3 segundos.

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

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

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

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

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

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

Esta zonificación condiciona el tipo de estructura que se debe construir; es decir, el tipo de material, geometría y el número de pisos en las viviendas o de grandes obras de ingeniería. Se debe buscar que el periodo fundamental de respuesta de la estructura, no coincida con la del suelo a fin de evitar el fenómeno de resonancia y/o una doble amplificación sísmica.

## CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Sísmica- Geotécnica para la ciudad de Sechura y C.P. Parachique, han permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Las pequeñas terrazas fluvio-lacustrina, ubicadas a 200 m al SO del puente Sechura, son generadas por deposición de sedimentos transportados por escorrentías superficiales y por desborde del río Sechura en combinación con aguas de mar. En tiempos de lluvias extremas inundan la zona baja, formando una laguna de agua dulce y salada que perdura varios meses en este sector.
- Las inundaciones fluviales registradas en épocas de precipitaciones extremas, originan el desborde del río Sechura para afectar que afectan las zonas bajas del área central de esta localidad. Por ejemplo áreas de cultivo, calles laterales del mercado municipal, Urb. La Ribera, A.H. Las Peñitas y A.H. Víctor Raúl. Al desbordarse el río Sechura, en su desembocadura hacia el mar, sus aguas se mezclan con las aguas marinas, originando una laguna o albúfera ubicada al este de dicha localidad. En periodos de precipitaciones extremas, afectan por inundación a los pueblos ubicados al oeste y suroeste de Sechura como el A.H. Los Pinos y el A.H. 3 de Enero.
- Se identificó un flujo de detritos, que por reactivación de la Quebrada estacional San Valentín, afectaría a la carretera Bayóvar y a poblados aledaños, ubicados en la zona de expansión urbana al sur de la ciudad de Sechura.
- En la localidad de Sechura se identificó 4 tipos de suelos con sus respectivas capacidades portantes admisibles a una profundidad de 1.00 a 1.20 m: gravas pobremente graduadas con compacidad media (GP) capacidad portante baja de 1.15 Kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, las arenas pobremente graduadas (SP) con compacidad suelta a media, presentan capacidad portante muy bajas entre 0.31 y 0.42 Kg/cm<sup>2</sup>; arenas arcillosas con mezcla de arenas limosas (SC) con consistencia muy baja a media y capacidad portante entre 0.55 y 1.66 Kg/cm<sup>2</sup>. Las arenas pobremente graduadas, con mezcla de arenas limosas (SP-SM), presentan compacidad suelta y una capacidad portante muy baja de 0.41 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permiten identificar en Sechura un pico de frecuencia bien definido, y con valores de 1.5 a 2.3 Hz; además existe extensas áreas que responden a un segundo rango de frecuencias con valores

3.5 a 19 Hz, principalmente en la zona este y noreste de la ciudad y en Parachique. Los valores bajos de frecuencias se asocian a la presencia de depósitos sedimentarios de mayor espesor que dominan la ciudad y los valores altos, evidencian la existencia de una capa sedimentaria superficial de menor espesor que dominan el área de Parachique y gran parte de la ciudad de Sechura.

- Los sectores de Bajo Parachique y los asentamientos humanos Virgen del Carmen y El Pescador, presentan suelos saturados a 3 metros de profundidad debido a la intrusión marina y el aporte de la laguna La Niña; además el sector de Bajo Parachique se encuentra a nivel o por debajo del nivel del mar, como consecuencia, se puede encontrar suelos saturados por encima de los 3 metros.
- En el caso de Alto Parachique y al este de Sechura, presentan suelos parcialmente saturados a partir de los 10 metros, teniendo suelos resistivos en la parte superficial lo cual se correlaciona con las velocidades de ondas encontradas.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Sechura y C.P. Parachique 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 S1, S2 y S4.

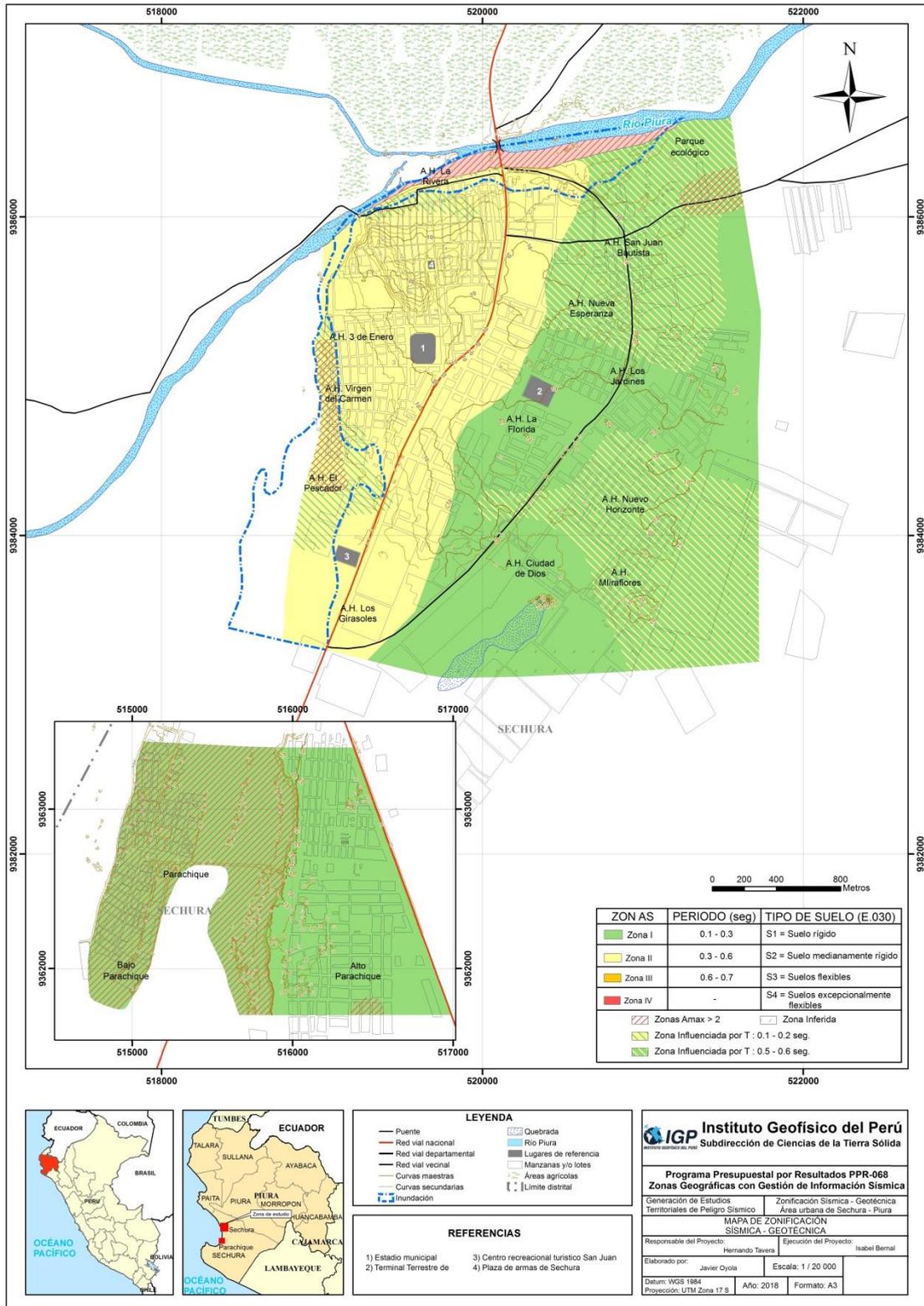


Figura 7: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para la ciudad de Sechura y C.P.Parachique.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA  
DE LA CIUDAD DE SECHURA Y C.P. PARACHIQUE**

## CONTENIDO

### 1. METODOLOGÍA

### 2. GEOMORFOLOGÍA

#### 2.1. Levantamiento Fotogramétrico

#### 2.2. Pendientes

##### 2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

#### 2.3. Unidades geomorfológicas Sechura

##### 2.3.1. Delta

##### 2.3.2. Laguna Estacional

##### 2.3.3. Dunas

##### 2.3.4. Quebrada Estacional

##### 2.3.5. Loma

##### 2.3.6. Lecho Fluvial

##### 2.3.7. Llanura de Inundación

##### 2.3.8. Terraza Aluvial

##### 2.3.9. Terraza Fluvial

##### 2.3.10. Terraza Fluvio lacustre

##### 2.3.11. Terraza Marina

#### 2.4. Unidades geomorfológicas C.P Parachique.

##### 2.4.1. Barra o cordón de litoral

##### 2.4.2. Dunas

##### 2.4.3. Laguna Estacional

##### 2.4.4. Lecho fluvial de estuario

##### 2.4.5. Lomas

##### 2.4.6. Llanuras de Inundación

##### 2.4.7. Playa

##### 2.4.8. Terraza Marina

##### 2.4.9. Terraza Fluvial

### 3. GEOLOGÍA

#### 3.1. Geología regional

##### 3.1.1. Geología histórica

##### 3.1.2. Geología estructural

#### 3.2. Geología local de la Ciudad de Sechura

3.2.1. Formación Montera (Nm-mo)

3.2.2. Formación Miramar (Nm-mi)

3.2.3. Tablazo lobitos (Qp-TI)

3.2.4. Depósitos Cuaternarios

3.2.5. Depósitos Lacustre

3.2.6. Depósitos eólicos

3.2.7. Depósitos fluviales

3.3. Geología local del C.P. Parachique

3.3.1. Formación Miramar (Nm-mi)

3.3.2. Depósitos Cuaternarios

#### 4. GEODINÁMICA

4.1. Procesos de geodinámica interna

4.2. Procesos de geodinámica externa

#### 5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS DE LA CIUDAD DE SECHURA

5.1. Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM D420)

5.2. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556)

5.3. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452)

5.4. Ensayos de penetración dinámica ligera (norma DIN 4094)

5.4.1. Correlación DPL – SPT / Capacidad portante

5.5. Clasificación de suelos SUCS (ASTM D-4827)

5.6. Ensayos de corte directo (norma ASTM D-3080)

5.7. Capacidad de carga admisible

5.7.1. Tipos de Capacidad admisible para la localidad de Sechura

#### 6. ASPECTOS GEOTECNICOS DEL C.P. PARACHIQUE

6.1. Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM D420)

6.2. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D-1556)

6.3. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D-1452)

6.4. Ensayos de penetración dinámica ligera (norma DIN 4094)

6.5. Ensayos de Clasificación de suelos SUCS (ASTM D-4827)

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

6.6.1. Carga admisible

6.6.2. Tipos de Capacidad admisible

#### CONCLUSIONES

## 1. METODOLOGÍA

Para realizar la caracterización geológica y geotécnica de los suelos en la ciudad de Sechura y del C.P. Parachique se ha seguido la siguiente metodología:

- ✓ **Gabinete I:** Recopilación e Interpretación de imágenes satelitales de la zona de estudio, fue realizada de los servidores Sasplanet y Google Earth: reconocer geoformas y la ubicación del área de estudio. Revisión de información geológica regional de la zona a partir del Boletín N°32 INGEMMET, (1980). Elaboración de mapas temáticos preliminares de: Ubicación para el área de estudio a escala gráfica 1/15000; geología y geomorfología a escala gráfica 1/50 000 para los trabajos de campo.
- ✓ **Campo I:** Se realizó el cartografiado de la zona de estudio para el reconocimiento y delimitación de las unidades geomorfológicas, geológicas y eventos geodinámicos (inundaciones y flujos de detritos), presentes en el área de estudio a escala grafica 1.15000. Asimismo, se identificaron zonas libres y accesibles para ejecutar las exploraciones geotécnicas (calicatas, DPL y posteos).
- ✓ **Campo II:** Elaboración de ensayos geotécnicos de acuerdo al siguiente detalle:
  1. Elaboración de calicatas para la extracción de las muestras de suelos: Se realizaron 08 calicatas en Sechura y 05 calicatas en el C.P. Parachique.
  2. Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), para determinar la resistencia de los suelos al ser penetrados. En Sechura se realizaron 15 DPL y en Parachique, 12 ensayos DPL.
  3. Ejecución de auscultaciones haciendo uso de posteadora. Los puntos se distribuyeron en zonas intermedias a la ubicación de las calicatas más próximas, siendo en total 14 posteos para Sechura y 07 para Parachique.
- ✓ **Laboratorio:** Procesamiento de las muestras de suelos, a través de ensayos de laboratorio: Granulometría (tipo de suelos SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad portante).
- ✓ **Gabinete II:** Elaboración del informe técnico y fichas geotécnicas (calicatas, posteos, DPL, correlación DPL con SPT y análisis granulométrico), fichas geodinámicas (identificación de zonas susceptibles a movimientos en masa e inundaciones) y planos temáticos a escala 1:15,000 y 1/10 000.

## 2. GEOMORFOLOGÍA

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

Previamente, en base al levantamiento topográfico y mediante herramientas computacionales (SIG) se ha elaborado los planos: Modelo Digital del Terreno (Figura 1a-1b) y pendientes (Figura 2a-2b); con el fin de delimitar las características geomorfológicas del terreno. Estos mapas fueron verificados y validados durante el trabajo de campo realizado en la ciudad de Sechura y C.P. Parachique.

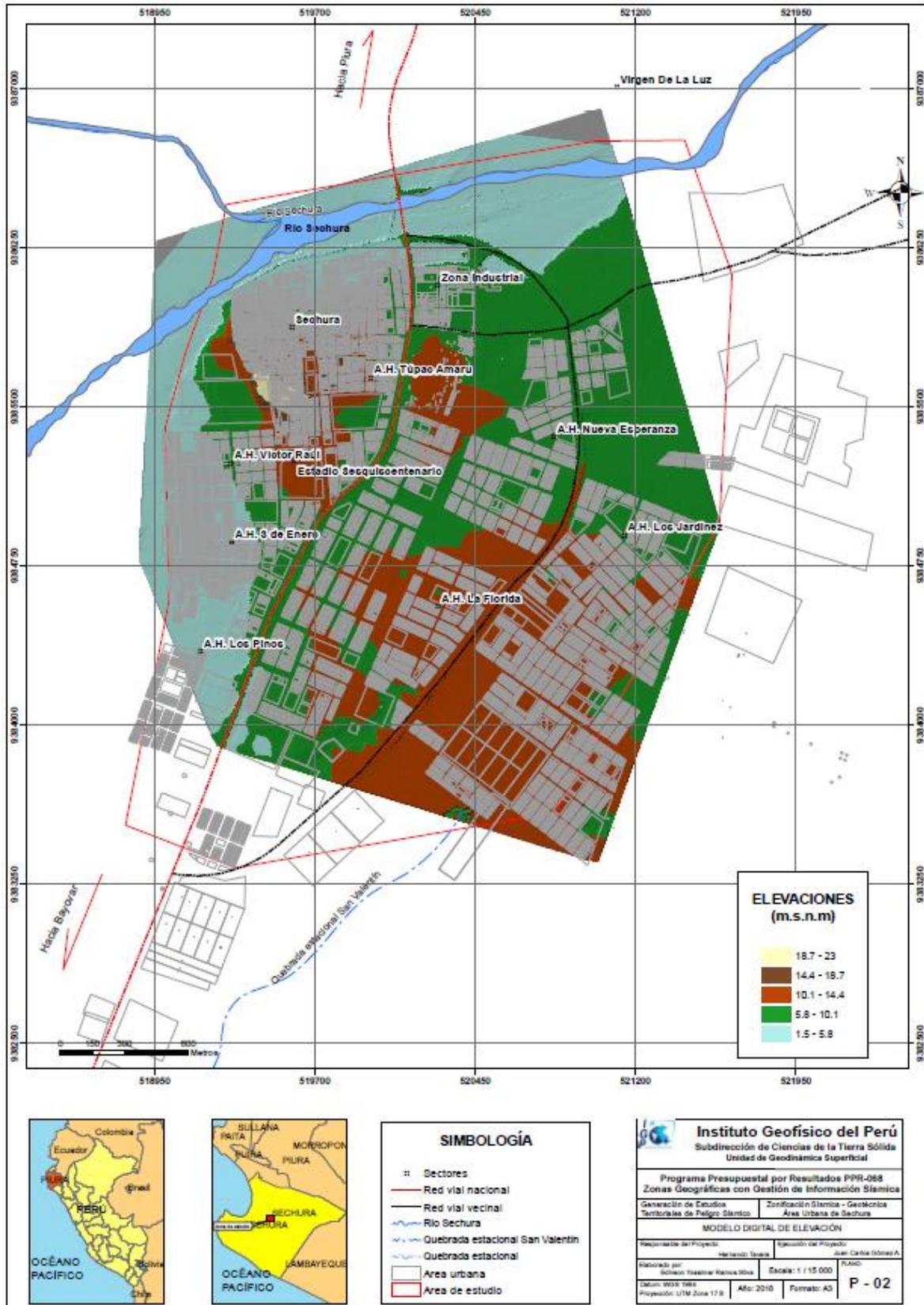


Figura 1a: Mapa de modelo digital del terreno de la ciudad de Sechura y alrededores.

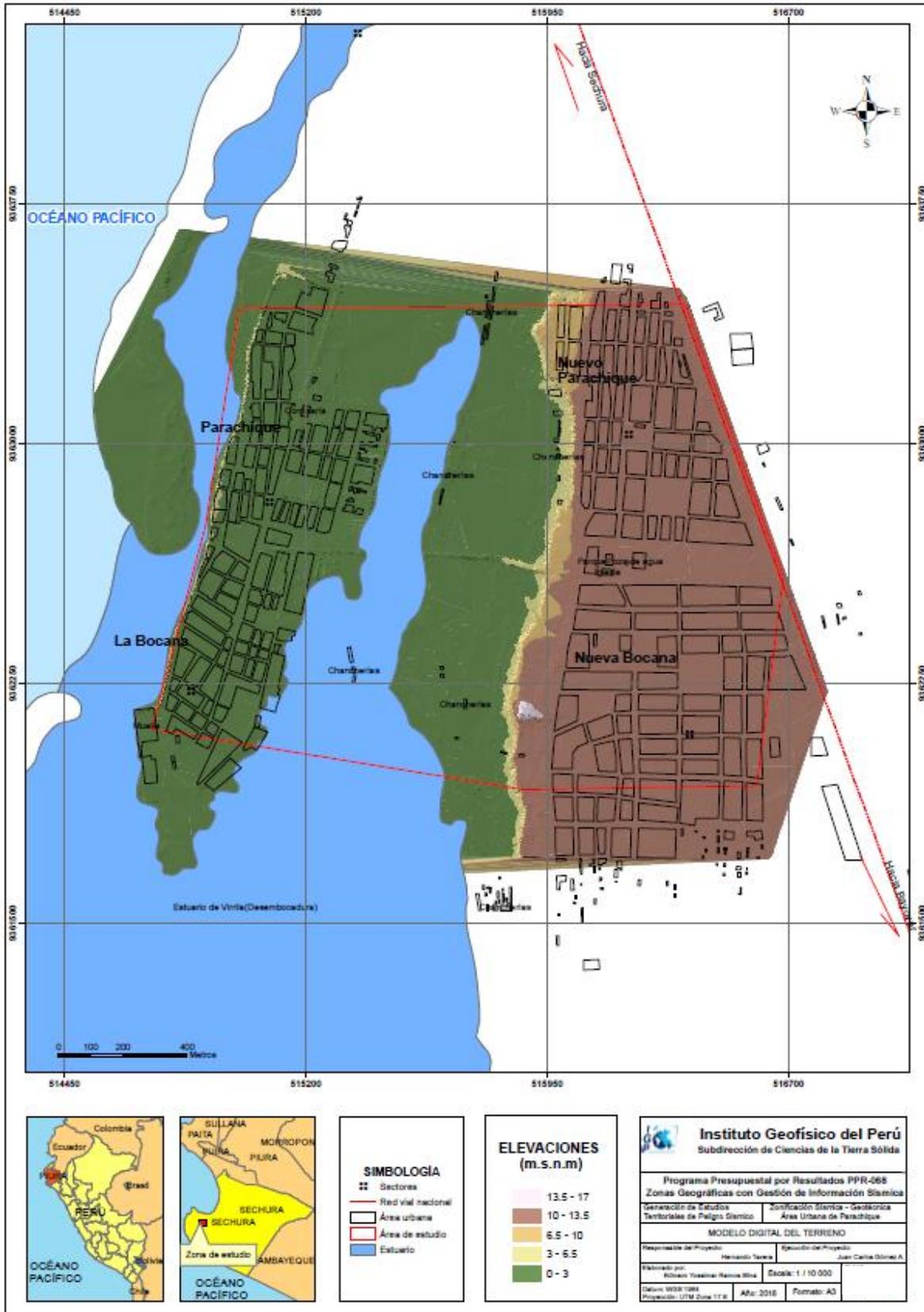


Figura 1b: Mapa de modelo digital del terreno del C.P. Parachique y alrededores.

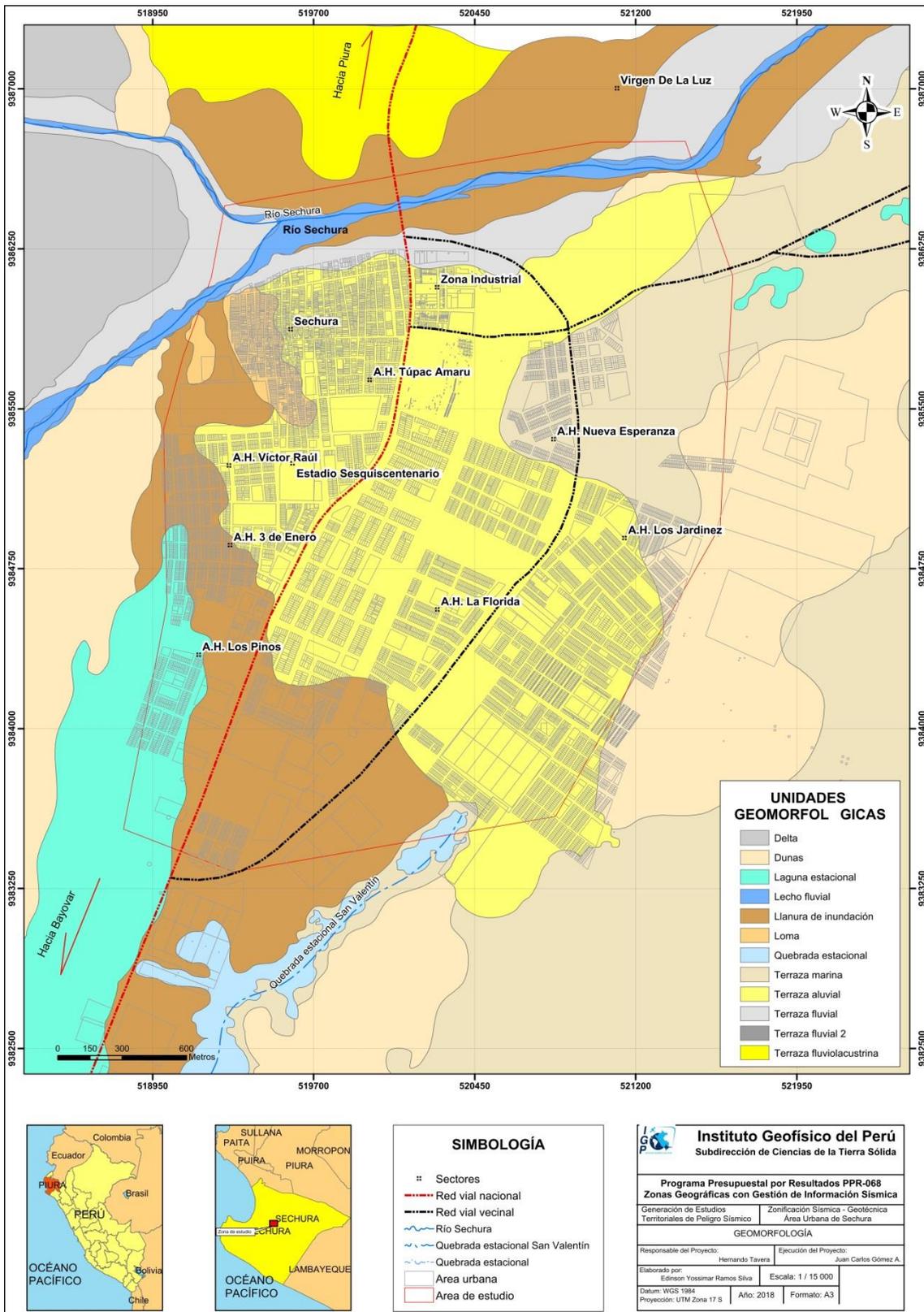


Figura 2a: Mapa geomorfológico para la ciudad de Sechura y alrededores.



Figura 2b: Mapa geomorfológico del C.P. Parachique y alrededores.

## 2.1. Levantamiento Fotogramétrico

En la zona urbana de Sechura se realizó un levantamiento fotogramétrico con el propósito de obtener una topografía base indispensable para los trabajos de cartografiado, sobre un área de 7 km<sup>2</sup> y en el C.P. Parachique, sobre un área de 3.6 Km<sup>2</sup>.

Para el levantamiento fotogramétrico, se utilizó un vehículo aéreo no tripulado (VANT), pero antes se establecieron puntos de control geodésicos GNSS base y puntos de premarcados con el sistema GNSS-RTK para la georeferenciación, ajuste de vuelo, configuración y planificación de vuelo, así como para el procesamiento de datos. Para el área de Sechura se obtuvo un plano topográfico a escala 1:15 000 y para el C. P. Parachique una escala de 1:10 000 (Figuras 3 y 4).



Figura 3: Ortofoto del área de Sechura, generada con fotogrametría a partir de un VANT.



Figura 4: Ortofoto del C.P. Parachique, generada con fotogrametría a partir de un VANT.

## 2.2 . Pendientes

Es el ángulo que se expresa en grados o porcentajes de las pendientes presentes en la topografía del suelo. 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 mapa de pendientes de la ciudad de Sechura (Figura 5), fue obtenido a partir del MDE elaborado anteriormente, haciendo uso de herramientas de geoprocésamiento (área de influencia, construcción de modelos, análisis espacial, etc.) y así diferenciar gráficamente, los ángulos de inclinación del relieve del área estudiada.

### 2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó como base el informe de Fidel (2006), en donde el autor clasifica las pendientes en base a las características físicas del territorio peruano, apoyado de observaciones en campo, interpretación de imágenes satelitales y mapas topográficos (Tabla 1).

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

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

Según el mapa de pendientes obtenido, el 47% de la zona urbana de Sechura se asienta sobre una terraza aluvial de relieve ondulante con pendientes mayores a 5° y menor a 20°; el 30% sobre una llanura de inundación con pendientes menores a 5°, ubicadas al norte de la ciudad de Sechura y a inmediaciones de la ribera del río del mismo nombre; el 16% sobre un tablazo con pendientes mayores a 35° y cimas con pendientes casi planas, menores a 5°; el 1% sobre la terraza fluvial con pendientes mayores a 5°; y el 2% sobre lomas con pendientes menores a 20° (Figura 5).

El mapa de pendientes obtenido para el C.P. Parachique (Figura 6), detalla que el 23% poblado se asienta sobre una terraza fluvial de 5° de pendiente y el 19%, sobre una llanura de inundación, con pendientes de menores a 3°. La parte este, a lo largo de la terraza marina, las pendientes son de 20° y 35° aproximadamente. En la cima extensa de dicha terraza, se asienta el 58% de la población de Nuevo Parachique y lo hace sobre suelos con pendientes mayores a 5° aproximadamente.

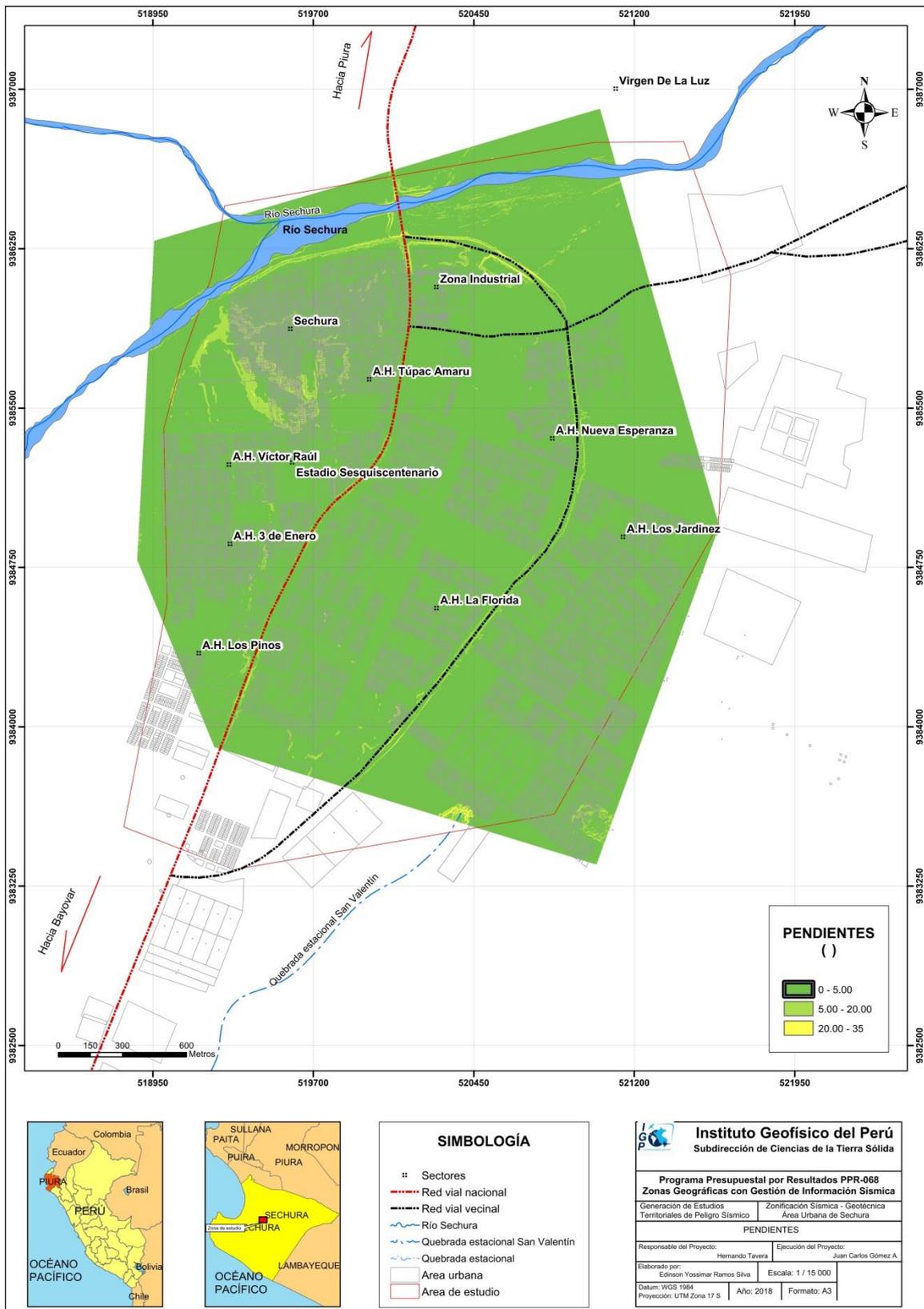


Figura 5: Mapa de pendientes para la ciudad de Sechura y sus alrededores.



Figura 6: Mapa de pendientes del C.P. Parachique y sus alrededores.

### **2.3. Unidades Geomorfológicas Sechura**

Estas unidades con ciertas características físicas son generadas por procesos morfogenéticos de carácter endógeno y exógeno formando relieves positivos y negativos.

#### **A. Características físicas**

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

#### **B. Procesos**

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

La zona de estudio se encuentra en la costa noroeste del Perú, en la región Costa con elevaciones menores a 500 m.s.n.m, y donde su relieve presenta pendientes fuertes a muy bajas. Sin embargo, el área de estudio se sitúa en un relieve propio de desierto próximo al Océano Pacífico, presentando elevaciones muy bajas y variadas como las que corresponden a dunas, terrazas marinas y llanuras de inundación.

En el área de estudio se han delimitado once unidades geomorfológicas (Figura 2a), así como sus características físicas y su origen (Tabla 2).

Tabla 2: Determinación de geoformas en Sechura en base a sus características físicas y origen.

GEOMORFOLOGÍA PATRÓN				
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		PROCESOS		UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
Pendientes	<1°	desnivel=3m	Tectónico	Laguna estacional
	<2°		Deposicional	Delta
	5°-25°	Altura=6m		Dunas
	5°-20°	Altura=6m	Denuadacional /deposicional	Loma
			Denudacional	Quebrada estacional
	<5°			Lecho fluvial
		Llanura de inundación		
Geometría	Plana		Tectónico	Terraza marina
	Alargadas planas-extensos			Terraza aluvial
	Alargadas pequeñas		Denudacional/ Deposicional	Terraza fluvio-lacustrina
	Redondeadas			Terraza fluvial
	Alargadas			

### 2.3.1. Delta

El delta es una geoforma de origen depositacional que se encuentra en una zona de transición; es decir, en la desembocadura de una corriente fluvial hacia la marina, donde ocurre la depositación de sedimentos transportados por el río y asentándolos en forma de abanico. Los depósitos de los deltas de los ríos más grandes, se caracterizan por el hecho de que este se divide en múltiples brazos que se van separando y volviendo a juntar para formar un cúmulo de canales activos e inactivos. En el caso del río Sechura, el delta cubre un área de 1.10 km<sup>2</sup> y considera el 5.5% del área total de estudio (Figura 7).



Figura 7: Vista del delta del río Sechura en su desembocadura hacia mar.

### 2.3.2. Laguna Estacional

Son relieves que se encuentran ubicados por debajo del nivel del mar y que en épocas de oleajes anómalos y precipitaciones extremas, son invadidos por el agua de mar combinada con agua del río y situadas a inmediaciones de su desembocadura. Cubre un área de 1.4 km<sup>2</sup> y corresponde al 7% del área total de estudio (Figura 8).



Figura 8: Laguna estacional ubicada al suroeste de Sechura.

### 2.3.3. Dunas

Las dunas son acumulaciones de arenas finas de origen depositacional ya que el viento erosiona y transporta partículas finas provenientes de una roca preexistente. Se forman en las zonas costeras por la actividad del viento, por lo que estas presentan capas suaves y uniformes, cambian de forma por estar en continuo movimiento según la dirección del viento. En la zona de estudio las dunas cubren un área de 2.8 km<sup>2</sup> y corresponden al 14% del área total de estudio (Figura 9).



Figura 9: Dunas ubicadas al oeste del distrito de Sechura.

### 2.3.4. Quebrada estacional

Son surcos estacionales de origen denudacional, debido a la erosión de las aguas pluviales y/o superficiales actúan como agentes de meteorización principal. En Sechura, las quebradas se encuentran en el sector Las Peñitas con una longitud de 143 m y ancho de 2.5 m, conformada por arenas finas semicompactas; San Valentín, ubicada al sureste de la ciudad de Sechura, presenta una longitud de 2.8 km, con un ancho de 100 a 150 m aproximadamente y está conformada por materiales arenosos finos semicompactos y grava subredondeada, con diámetros menores a 12 cm. Esta ciudad representa un área de 1.00 km<sup>2</sup> y corresponde al 5% del área total de estudio (Figura 10).



Figura 10: Quebrada estacional Las Peñitas ubicada a 200 m hacia el noroeste de la Plaza de Armas de Sechura.

### 2.3.5. Lomas

Son geoformas con elevaciones variadas, bases alargadas y cimas subredondeadas a planas. En la localidad de Sechura se encuentran lomas entre 6 y 9 m de altura, pudiendo ser de origen depositacional y/o denudacional. Ellas presentan dos vertientes opuestas con pendientes menores a 20°. En Sechura cubren un área de 0.46 km<sup>2</sup> y el 2.3% del área total de estudio (Figura 11).



Figura 11: Vista del sector oeste de Sechura donde se ubica una loma de arena semicompacta.

### 2.3.6. Lecho Fluvial

Es el cauce, dren natural o depresión originado por procesos de denudación y/o depositación; es decir, es el surco por donde circula un flujo de agua constante en periodos de sequía o avenidas. Su morfología depende del control estructural (si sigue o no por una falla), de la velocidad del flujo (caudal), pendiente y litología del sustrato que va siendo erosionado; es decir, resulta de la interacción dinámica de la erosión, transporte y sedimentación. El lecho fluvial del río Sechura presenta un ancho de 73 a 100 m., aquí se depositan materiales como gravas subredondeadas. En Sechura cubre un área de 0.8 km<sup>2</sup> y corresponde al 4 % del área total de estudio (Figura 12).



Figura 12: Lecho fluvial del río Sechura que atraviesa la zona norte de la localidad del mismo nombre en sentido EO.

### 2.3.7. Llanura de inundación

Es una planicie formada por tectonismo o por denudación, se encuentra a inmediaciones del cauce natural del río Sechura. Presenta 40 m de ancho y se ubica en los márgenes del río en mención, que en épocas de crecida es inundada y forma parte de su cauce. Al bajar el nivel de sus aguas vuelve a su estado inicial. En Sechura abarca un área de 2.60 km<sup>2</sup> y el 13% del área total de estudio (Figura 13).



Figura 13: Llanura de inundación situada en el margen izquierdo del río Sechura.

### 2.3.8. Terraza Aluvial

Es una geoforma horizontal de origen depositacional y/o denudacional, se encuentra en los márgenes de las quebradas. Está conformada por materiales compactos de gravas subredondeadas con arenas finas y se encuentran presentes en el área central de la ciudad de Sechura y de forma limitada, sepultada por una capa calcárea de 20 cm que afloran al sureste de la ciudad. Se puede apreciar también con 40 cm de espesor en ambos márgenes de la quebrada San Valentín (Cantera) y al noreste del distrito. Las terrazas aluviales cubren un área de 3.6 km<sup>2</sup> y corresponden al 18 % del área total de estudio (Figura 14).



Figura 14: Terraza aluvial ubicada al sureste de la ciudad de Sechura.

### 2.3.9. Terraza fluvial

Es una geoforma generada por denudación y/o depositación, usando en los márgenes del cauce de río Sechura como formas de bancos erosionados por flujos. En Sechura presenta un área de 1.2 km<sup>2</sup> y el 6% del área total de estudio (Figura 15).



Figura 15: Vista de las terrazas fluviales en el margen derecho e izquierdo del río Sechura.

### 2.3.10. Terraza fluvio-lacustre

Son geoformas de origen depositacional y/o denudacional, usando en los márgenes de un lago o laguna que es alimentada por escorrentías que discurren de algún glaciar, corriente marina o escorrentía superficial. En este caso, es por la interacción de corrientes del río Sechura en combinación con agua proveniente del mar, que durante las épocas de lluvias extremas, forman lagunas estacionales de agua salobre. Al desaparecer deja sedimentos limo-arcillosos y arenas finas con sal, conformando una terraza fluvio-lacustre, denominada así, porque ambas corrientes

interactúan en la formación de esta geoforma costera. En la zona de estudio se ubican a 40 m hacia el noroeste del río Sechura, sobre un área de 0.84 km<sup>2</sup> y correspondiendo al 4.2% del área total de estudio (Figura 16).



Figura 16: Vista de las terrazas fluvio-lacustre en las inmediaciones de la carretera Piura-Sechura.

### 2.3.11. Terraza marina

Es una geoforma originada durante el Plio-Pleistoceno, y que alcanzan elevaciones de 8 m aproximadamente por encima del nivel mar. Según lo observado en campo, también están compuestos por calizas coquiníferas, areniscas calcáreas y conglomerados. Presentan 30 km de ancho aproximadamente con orientación EO. En Sechura representa un área de 4.2 km<sup>2</sup> y el 21% del área total de estudio (Figura 17).



Figura 17: Vista de la terraza marina de 0.40 m de espesor ubicada en la parte sur del distrito de Sechura.

## 2.4. Unidades Geomorfológicas del C.P. Parachique

Estas unidades, con ciertas características físicas, son generadas por procesos morfogenéticos de carácter endógeno y exógeno formando relieves positivos y negativos.

### A. Características físicas

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

### B. Procesos

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

La zona de estudio se encuentra en la costa noroeste del Perú, en la región Costa entre cotas menores a 500 m.s.n.m, y relieve con elevaciones menores a 17 m.s.n.m, presentando pendientes fuertes a muy bajas propias de dunas, terrazas marinas y llanuras de inundación. En el área de estudio se ha definido hasta nueve unidades geomorfológicas descritas a continuación en la Tabla 3 y Figura 2b.

Tabla 3: Determinación de geoformas en C. P. Parachique en base a sus características físicas y origen.

GEOMORFOLOGÍA PATRÓN				
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		PROCESOS	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	
Pendientes	<1°	desnivel=3m	Tectónico	Laguna estacional
	<2°		Denudacional	Playa
	>5°	altura=2m	Depositacional	Dunas
	5°-35°	altura=12m	Denudacional/depositacional	Loma
	<1°	Plano	Denudacional	Lecho fluvial
Plano y extenso		Llanura de inundación		
Geometría	Bancos de 9 m de alto-extensos		Tectónico	Terraza marina
	0.5-2.00 metro de alto-alargadas		Depositacional	Terraza fluvial
	Forma alargada frente al mar			Barra o cordón de litoral

### 2.4.1. Barra o cordón de litoral

Son geoformas alargadas que se acumulan en los litorales frente a la desembocadura de un río, están conformados por material fino lodo, arcillas y arenas, muchas veces rodeado por el mar o un río a inmediaciones de su desembocadura. En C.P. Parachique, esta geoforma se encuentra a 480 m hacia el este de la comisaría de Parachique y representa el 0.6 km<sup>2</sup> de área y equivale al 6% del área total estudiada (Figura 18).



Figura 18: Barra de litoral ubicada frente al Océano Pacífico.

### 2.4.2. Dunas

Las dunas son montículos o acumulaciones de arenas finas que se forman en las zonas costeras por depositación, sus partículas son transportadas por la actividad del viento; por lo tanto presentan capas suaves y uniformes que cambian de forma desde el continuo movimiento, según la dirección del viento. En el C.P. Parachique, están ubicadas frente al litoral costero, sobre un área de 0.4 km<sup>2</sup>, que representa el 4% del área estudiada (Figura 19).



Figura 19: Dunas ubicadas al noroeste de la Comisaría de Parachique y a inmediaciones del estuario.

### 2.4.3. Laguna Estacional

Son relieves que se encuentran ubicados por debajo del nivel del mar, y que son formados por procesos tectónicos, que en épocas de oleajes anómalos son invadidos por el mar o un río cerca de su desembocadura. En el C.P. Parachique, esta geoforma se encuentra a 1 km hacia el noreste de la comisaría de Parachique y representa el 0.4 km<sup>2</sup> de área; es decir el 4% del área total estudiada (Figura 20).



Figura 20: Laguna estacional (Depresión) ubicada a la entrada de Nuevo Parachique.

### 2.4.4. Lecho fluvial de estuario

Es el cauce, dren natural o fondo de depresión de un valle formado por un proceso de denudación y por donde, circula de manera constante un flujo de agua en periodos de sequía o avenidas. La morfología del lecho depende de la erosión; producto del caudal, así como su pendiente y litología.

En el área de estudio, el lecho fluvial depende de la interacción dinámica entre la carga de sedimento y su capacidad de transporte. Este estuario presenta su desembocadura en las cercanías del mar, un ancho de 800 m aproximadamente, con depósitos de arenas finas sobre un área de 2.2 km<sup>2</sup>, representando el 22 % del área estudiada (Figura 21).



Figura 21: Lecho fluvial del estuario de Virrilá.

#### 2.4.5. Lomas

Son elevaciones de forma alargada que alcanzan alturas a 200 metros. En general sus cimas son subredondeadas a planas, de origen denudacional y depositacional, presentan dos vertientes opuestas con inclinaciones o pendientes menores a  $25^\circ$ . En C.P. Parachique, alcanzan alturas de 12 m, sobre un área de  $9631\text{m}^2$ , lo que representa el 0.09 % del área de estudio (Figura 22).



Figura 22: Lomas en las inmediaciones de Nuevo Parachique (Parte alta).

#### 2.4.6. Llanuras de inundación

Son una planicies que se encuentran alejados del cauce natural de un río, ya que se forma por denudación fluvial en terrenos llanos y que en épocas de crecida, es inundado para formar parte del cauce de un río, y que al bajar el nivel de sus aguas, vuelve a su estado inicial. En la zona de estudio, abarca un área de  $1.3\text{ km}^2$ ; es decir, el 13% de la zona de estudio (Figura 23).



Figura 23: Llanura de inundación cerca al lecho fluvial del río Sechura.

#### 2.4.7. Playas

Son superficies casi planas que se encuentran adyacentes al mar o al lecho de un río, como producto de depósitos por las corrientes marinas o fluviales. Están compuestos por arenas finas depositadas por la corriente del estuario, redepositadas y distribuidas por las corrientes marinas. El C. P. Parachique presenta un área de 0.2 km<sup>2</sup>; es decir, el 2% de la misma (Figura 24).



Figura 24: Playa de la caleta de Parachique (La Bocana).

#### 2.4.8. Terraza marina

En la zona de estudio, se formó durante el plio-pleistoceno, y representa una plataforma levantada y expuesta por la ocurrencia de movimientos tectónicos. Está

compuesta por calizas coquiníferas y areniscas calcáreas que se extienden sobre 10 km aproximadamente, desde las playas hacia el continente. En Parachique, representa un área de 3.15 km<sup>2</sup>; es decir el 31.5 % de la zona de estudio (Figura 25).



Figura 25: Vista la terraza marina ubicada a 1.20 km hacia el este del Océano Pacífico.

#### 2.4.9. Terraza fluvial

Son geformas generadas por denudación y depositación. Se sitúan en los márgenes del cauce de un río, como formas de bancos escalonados por la erosión del flujo fluvial. En la zona de estudio, a ambos lados del estuario de Virrilá que desemboca en el mar, a 500m hacia el sur del poblado de la Bocana de Parachique y que en periodos de lluvias extremas, se desborda hacia el norte. Abarca un área de 0.8km<sup>2</sup>; es decir, el 8% de toda la zona de estudio (Figura 26).



Figura 26: Terraza fluvial ubicada al margen derecho de la desembocadura del estuario de Virrilá.

### 3. GEOLOGÍA

La geología es la ciencia que estudia la composición, estructura interna y externa de los materiales que componen al planeta Tierra y los procesos por los cuales ha venido evolucionando a lo largo de millones de años desde su origen hasta la actualidad. Para entender la geología de un lugar, se estudia la litología de las formaciones geológicas o unidades litoestratigráficas, determinando las características físicas de los componentes de las rocas, comprendiendo que estas son originadas por procesos internos (tectónica de placas, ascenso de magma, etc.) como también, por procesos externos que modelan la superficie terrestre tales como: Meteorización, erosión, transporte y depositación de rocas preexistentes, en base a estos procesos también se puede entender cuál es la dinámica de formación de los suelos.

De esta manera, para tener una idea clara de la geología local, se parte por conocer primero la geología histórica, es decir se estudian los eventos geológicos que ocurrieron en el pasado, que fuerzas actuaron en la formación de las estructuras geológicas, que tipos de rocas que se depositaron o emplazaron en un determinado tiempo y espacio geológico a escala regional, esta ciencia es complementada con otras ramas de la geología como son: la geología estructural, estratigrafía, sedimentología, geodinámica, geomorfología etc., todas estas disciplinas permiten explicar la complejidad o simplicidad geológica local sobre la cual se asienta una población.

#### 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, para la zona de estudio recopiló la información geológica regional del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 1999) a escala 1:100, 000. En ésta, se describen las unidades litológicas aflorantes cuyas edades se encuentran desde el Terciario (23.3 M.a) hasta el Cuaternario Reciente.

Geológicamente, la zona de estudio se encuentra en la “Cuenca Sechura”, donde se han depositado materiales terrígenos de origen continental y marino, teniendo como resultado la presencia de rocas sedimentarias blandas y duras. En la zona, se tiene como límite de contacto de la cuenca, el basamento rocoso del Macizo metamórfico de Illescas, ubicado en el suroeste de la zona de estudio.

Regionalmente, en la zona de estudio, afloran rocas del Terciario como son: la Formación Montera del Mioceno Inferior y Miramar del Mioceno Superior. Suprayaciendo en discordancia erosional, se encuentra el Tablazo Lobitos del Pleistoceno y sobre este los depósitos Cuaternarios Recientes: Depósitos aluviales, lacustrinos, eólicos y fluviales.

En el cuadrángulo de Sechura, el área se divide en dos dominios estructurales; un dominio Central que representa a la Cuenca Sechura, constituida por rellenos sedimentarios continental-marino y un dominio Suroccidental, caracterizado por el Complejo metamórfico Macizo de Illescas (Figuras 27, 28).

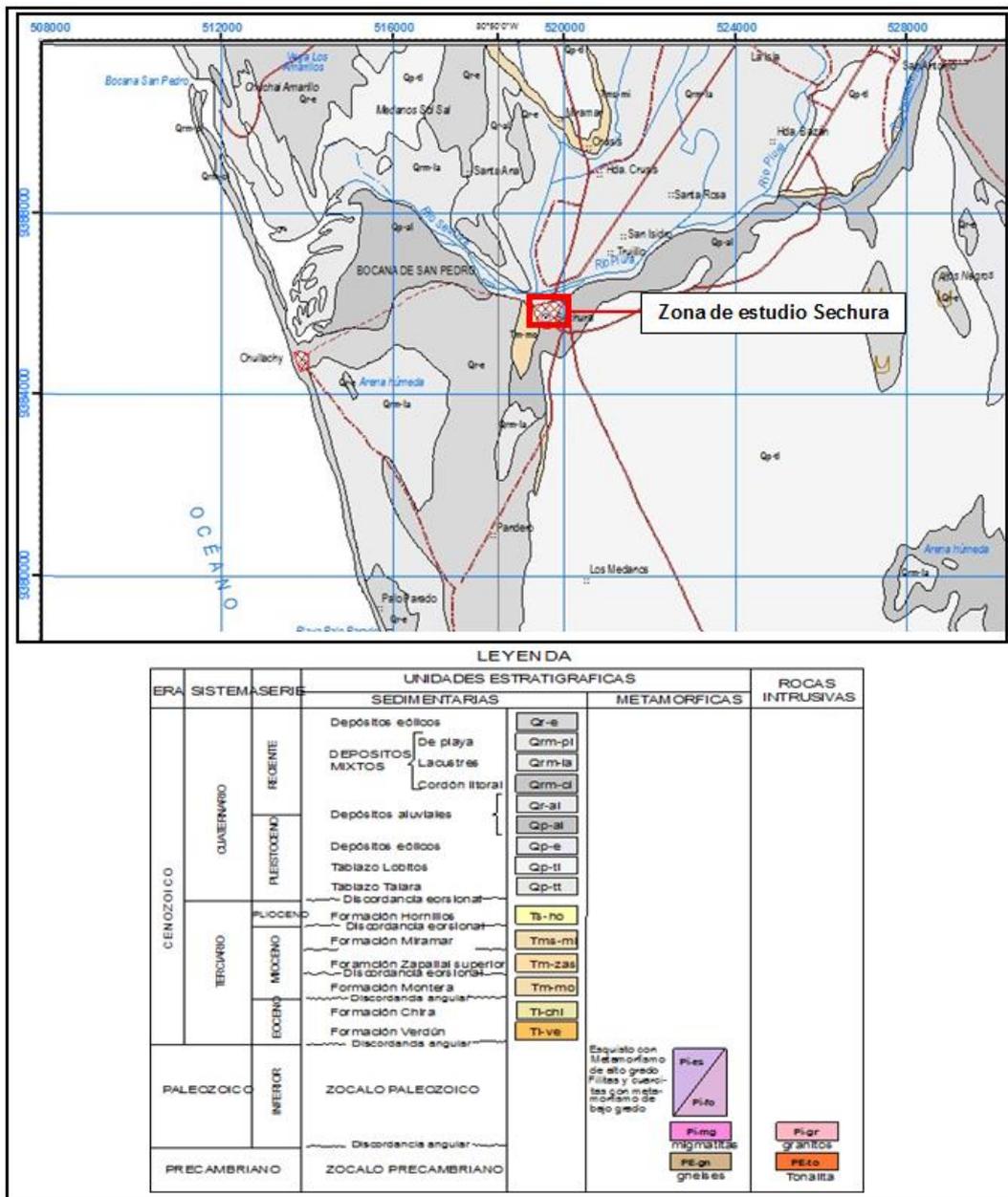


Figura 27: Geología regional del Cuadrángulo de Sechura; ciudad de Sechura.

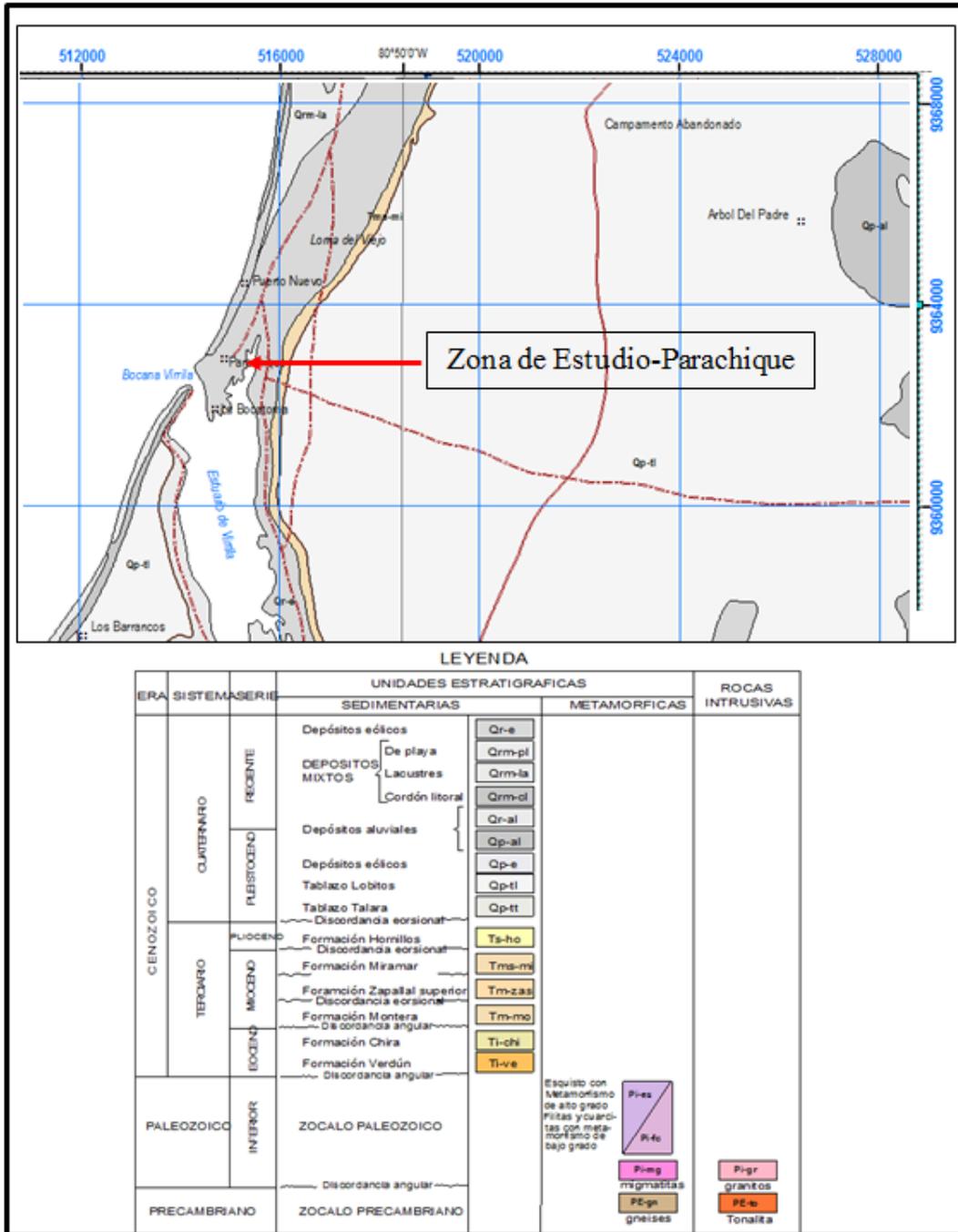


Figura 28: Geología regional del Cuadrángulo de Sechura: C.P. Parachique.

### 3.1.1. Geología histórica

En este ítem, se resumen los procesos y eventos geológicos estructurales y geomorfológicos que tuvieron lugar en el pasado a gran escala, esto ayuda a reconstruir las diferentes etapas de cambios geológicos que ha sufrido la superficie de la Tierra, desde sus inicios hasta la actualidad, quedando registrados en la estratigrafía y bioestratigrafía de un determinado lugar.

### 3.1.2. Geología estructural

En la zona de estudio, se identifica la presencia de falla neotectónica denominada “falla Bayóvar”, junto a una serie de fallas antiguas en la zona de Illescas con la misma orientación NO-SE. Estas fallas se encuentran a 45 Km del área urbana de Sechura y a 21 Km de Parachique. Ambas zonas de estudio. La falla Bayóvar originó el levantamiento brusco del Macizo de Illescas y provocó la reactivación de las fallas antiguas de la zona, quedando por otro lado, formada la cuenca de Sechura. La falla de Bayóvar es del tipo inversa, su buzamiento es subvertical, presenta una tasa de movimiento de 0.1 mm/año, y tiene una edad menor a 1.8 M.a. (Serbier et al 1978), ver Figura 29.



Figura 29: Falla Bayovar y fallas antiguas del Macizo de Illescas (Geocatmin, 2018).

### 3.2. Geología local de la Ciudad de Sechura

Para el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de Sechura a escala 1:15,000, sobre un área de 20 km<sup>2</sup> aproximadamente (Figura 30). A continuación, se describen estas unidades litoestratigráficas (Tabla 4):

Tabla 4: Columna Cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA
C E N O Z O I C A	CUATERNARIO	Reciente	Depósito fluvial	.....Q-f1.....	Arenas finas y sedimentos finos
			Depósito eólico	Q-e	arenas finas de dunas
			Depósito lacustrino	Q-la	Arenas limosas grises y marrones con o sin material orgánico, salitrosas
			Depósito aluvial	Q-al	Gavas de naturaleza cuarcítica, en matriz areno limoso compacto
		Pleistoceno	Tablazo Lobitos	Qp-tl	Material bioclástico de conchuela en matriz areno calcáreo intercalados con paquetes de conglomerados de 40 cm de espesor
	Neógeno	Mioceno	Formación Miramar	Nm-mi	Arenas gris amarillentas, semicompactas, hacia el tope se encuentran algo cementadas de color amarillo blanquecino
Formación Montera			Nm-mo	Areniscas bioclásticas de color marrón cremoso	

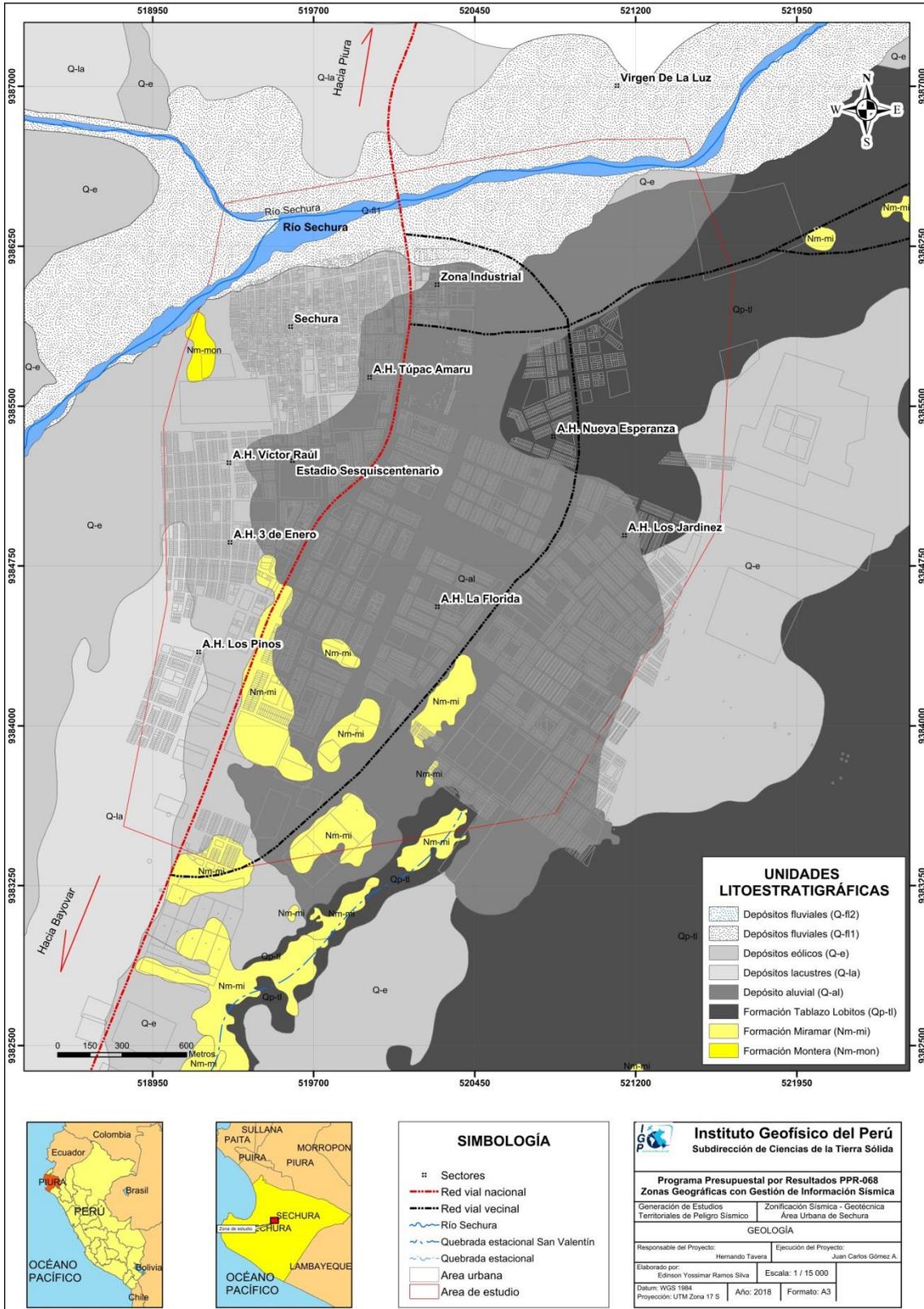


Figura 30: Mapa geológico del área de Sechura.

### 3.2.1. Formación Montera (Nm-mo)

Está compuesta por areniscas bioclásticas de color gris cremoso a amarillento. Aflora a 445 m al oeste de la Plaza de Armas de Sechura en el sector Las Peñitas, abarcando un área de 0.4 km<sup>2</sup>; es decir el 2.1% del área total estudiada (Figura 31).



Figura 31: Afloramiento de arenisca con fragmentos pequeños de conchas en la Formación Montera.

### 3.2.2. Formación Miramar (Nm-mi)

Está conformada por arenas y limos semicompactos de color gris amarillento en la parte media y blanco amarillento en el tope de la secuencia litoestratigráfica, como parte de una matriz carbonatada. Suprayaciendo a esta formación, se aprecia una capa de conglomerado semicompacto de 6m a 0.30 m en su parte media y distal respectivamente.

Esta formación geológica aflora en las laderas de la Quebrada San Valentín y en las inmediaciones del pueblo de Nuevo Chuyillachi, al sur de la localidad de Sechura. Abarca un área de 1.4 km<sup>2</sup>; es decir, 7% del área total estudiada (Figura 32).



Figura 32: Afloramiento de la Formación Miramar en la ladera izquierda de la quebrada San Valentín.

### 3.2.3. Tablazo lobitos (Qp-TI)

Esta unidad litológica se encuentra sobre la Formación Miramar, está conformada por bivalvos (bioclastos) en matriz areno calcárea de 0.40 m de espesor. En Sechura ha sido identificada en la cantera de Sechura, ubicada a 3 km hacia el sur de la plaza principal del mismo nombre. Se encuentra cubriendo a los depósitos aluviales Post-Miramar, con espesores de 0.40 cm a 8 m en sentido NE-SO. También aflora al este de la localidad de Sechura, a inmediaciones del asentamiento Nueva Esperanza. En general, abarca un área de 5.2 km<sup>2</sup>; es decir, el 26% del área total estudiada (Figura 33).

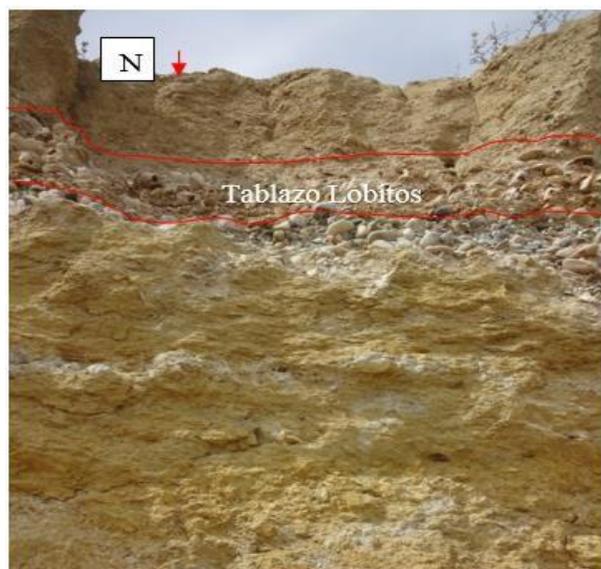


Figura 33: Tablazo Lobitos compuesto por bioclastos de conchuela en matriz areno calcáreo gris blanquecino con oxidaciones presentes en la ladera izquierda de la quebrada San Valentín.

### 3.2.4. Depósitos Cuaternarios

Se ha identificado la presencia de depósitos aluviales en la parte céntrica del área urbana de Sechura. Están presentes en terrazas aluviales conforma las terrazas aluviales ubicadas a inmediaciones del A.A.HH. Nuevo Bazán y al noreste de la localidad en mención. Se encuentran formados por gravas de origen cuarcítico, en matriz areno limoso compacto de color gris amarillento. Los depósitos abarcan un área de 4.8 km<sup>2</sup>; es decir, el 24% del área total estudiada (Figura 34).

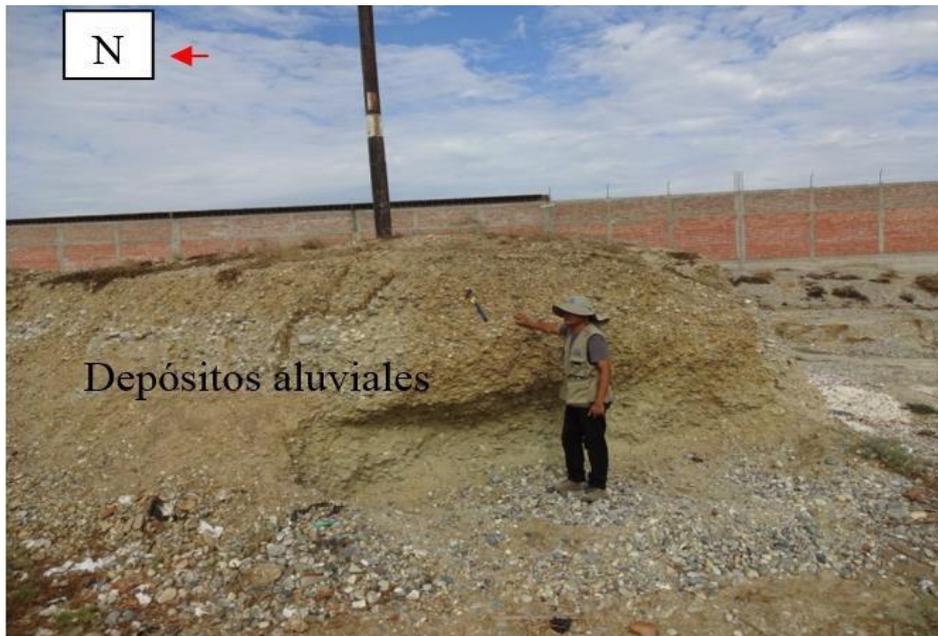


Figura 34: Depósito aluviales presentes en la parte central y este de la zona urbana de Sechura.

### 3.2.5. Depósitos Lacustres

Estos depósitos están ubicados a 1.4 km al suroeste de la plaza de armas de Sechura y a inmediaciones de la terraza fluvial, al margen derecho del río de Sechura. Es una depresión, que en épocas de precipitaciones pluviales extremas, es invadida por el desborde del río Sechura mezclando sus aguas con las aguas marinas que filtran e inundan esta zona. Estos depósitos están conformados por sedimentos de arenas limosas grises y marrones, con salitre y escasa aportación de materia orgánica. Los depósitos abarcan un área de 1.4 km<sup>2</sup>; es decir, el 7% del área estudiada (Figura 35).



Figura 35: Depósito lacustre ubicado al este y sureste de la ciudad de Sechura.

### 3.2.6. Depósitos eólicos

Estos depósitos están ubicados al oeste y este de la localidad de Sechura. Están constituidos por arenas de dunas muy finas y abarcan un área de 4.4 km<sup>2</sup>; es decir, el 22% del área total estudiada (Figura 36).



Figura 36: Depósitos eólicos que afloran a 1.8 km hacia el suroeste de la ciudad de Sechura.

### 3.2.7. Depósitos fluviales

Depósitos ubicados en el lecho fluvial del río Sechura y está constituido por arenas finas y limos con escasa arcillas. Estos depósitos abarcan un área de 2.8 km<sup>2</sup>; es decir, el 14% del área total estudiada (Figura 37).



Figura 37: Depósitos fluviales ubicados en el lecho del río Sechura.

### 3.3. Geología local en C.P. Parachique

En el C.P. Parachique, se realizó el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en la localidad de Parachique a escala 1:10,000 y sobre un área de 10 km<sup>2</sup> aproximadamente. Se describen estas unidades litoestratigráficas en la Tabla 5 y Figura 38.

Tabla 5: Columna Cronolitoestratigráfica de la zona de estudio (IGP, 2018).

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA
C E N O Z O I C A	CUATERNARIO	Reciente	Depósito fluvial	.....Q-fl.....	Arenas finas y sedimentos finos
			Depósito fluvio-marino	Q-fl-ma	Arenas finas de coón de litoral
			Depósito eólico	Q-e	Arenas finas de dunas
		Depósito lacustrino	Q-la	Arenas limosas grises y marrones con o sin material orgánico, salitrosas	
			Pleistoceno	Tablazo Lobitos	Qp-tl
	Neogeno	Mioceno	Formación Miramar	Nm-mi	Arenas gris amarillentas, semicompactas, hacia el tope se encuentran algo cementadas de color amarillo blanquecino



### 3.3.1. Formación Miramar (Nm-mi)

Está compuesta por arenas limosas de color amarillento con intercalaciones de arenas limosas finas de color gris verdoso claro semicompactas. Se encuentra ubicada a lo largo y debajo del tablazo Lobitos, aflorando hacia al este, noreste y sureste, del poblado de la Bocana de Parachique. Abarca un área de 0.8 km<sup>2</sup>; es decir, el 8% del área estudiada (Figura 39).



Figura 39: Formación Miramar ubicada a lo largo y debajo del Tablazo lobitos.

### 3.3.2. Depósitos Cuaternarios

a) **Tablazo Lobitos (Qp-tl):** Yacen sobre la Formación Miramar y están constituidos por calizas coquiníferas y arenas bioclásticas de color gris blanquecino. Presentan un espesor de 1.80 m. y se encuentran aflorando en el área donde se asienta la población de Nuevo Parachique, a 1.20 km hacia el este del pueblo de la Bocana de Parachique. Abarca un área de 3.17 km<sup>2</sup>; es decir, el 31.7% del área total estudiada (Figura 40).

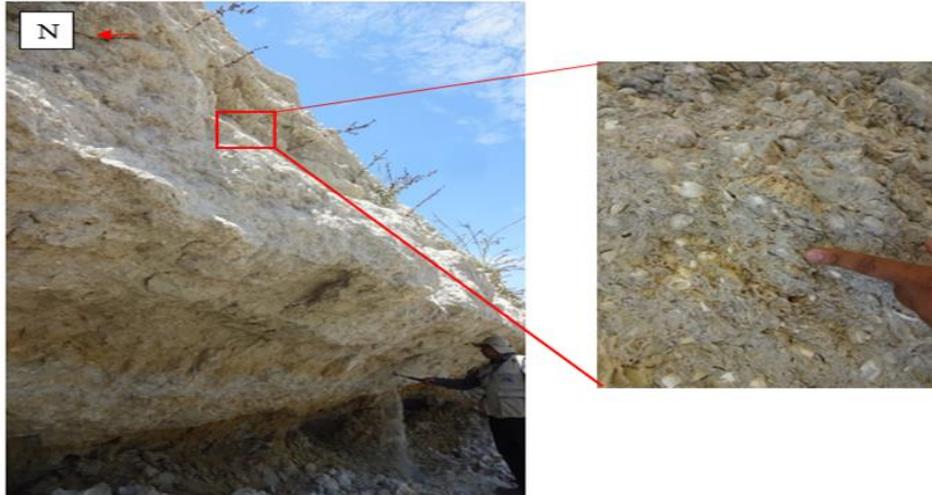


Figura 40: Tablazo lobitos conformados por coquinas y en donde se asienta el poblado de Nuevo Parachique.

**b) Depósitos Lacustrinos:** Ubicados al norte del estuario de Virrilá, en su zona de desborde. Están constituidos por arenas limosas grises y marrones con salitre, abarcando un área de 0.4 km<sup>2</sup>; es decir, el 4% del área estudiada (Figura 41).



Figura 41: Vista de depósitos lacustrino ubicado a inmediaciones de la carretera a Bayóvar.

**c) Depósito eólico (Q-e):** Se encuentran ubicados en el margen derecho del estuario y hacia el este y norte de la zona de estudio. Está constituido por arenas de dunas muy finas, abarcando un área de 0.4 km<sup>2</sup>; es decir, el 4% del área total estudiada (Figura 42).

**d) Depósitos fluvio-marinos (Q-fl-m):** Se encuentran ubicados frente al Océano Pacífico y están constituidos por arenas con bioclastos modernos de color gris claro, conformando la barra de litoral. Abarcan un área de 0.8 km<sup>2</sup>; es decir, el 8% del área total estudiada (Figura 42).



Figura 42: Vista de depósitos fluvio-marinos y eólicos.

**e) Depósitos fluviales (Q-fl):** Se encuentran ubicados al este y sureste de la comisaria de Parachique y a inmediaciones del estuario. Están constituidos por arenas finas provenientes de los ríos y sobre un área de 1.3 km<sup>2</sup>; es decir, el 13% del área total estudiada (Figura 43).



Figura 43: Lecho fluvial conformados por arenas finas.

## **4.-GEODINÁMICA**

Comprende el estudio de todos aquellos agentes y fuerzas internas y externas que actúan en los procesos dinámicos de la Tierra. Se divide en la geodinámica externa donde se estudian los procesos y agentes exógenos que modifican la superficie terrestre y la geodinámica interna que estudia los procesos y agentes endógenos de la estructura interna de la Tierra en base a técnicas geofísicas, estos procesos originan cambios físicos, químicos que se ven reflejados en la superficie de la Tierra.

Es importante estudiar en geodinámica los factores condicionantes (características físicas de un relieve, pendiente, litología, vegetación, estructuras geológicas, etc.) y desencadenantes (agentes de meteorización y erosión que predominan y modelan un relieve, precipitaciones, sismos, etc.) ya que estos factores influyen en el análisis de un evento geodinámico generados por procesos de meteorización y erosión.

### **4.1. Procesos de geodinámica interna**

Son fases sucesivas de un evento geodinámico interno complejo, que origina un cambio o transformaciones físicas y químicas de la estructura interna de la Tierra causados por los agentes internos (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 transformaciones físicas y químicas debido a los agentes atmosféricos (agua, viento, gases, gravedad, temperatura, etc) que actúan meteorizando de manera física (rompimiento de rocas) o química (cambios químicos del suelo como oxidación, silicificación, caolinificación etc.) un relieve, erosionándolo, (desgaste natural de suelo o roca) y transportando sus materiales hasta ser depositados por gravedad, o por alguna

corriente fluvial, eólica o marina, formando nuevos relieves. Asimismo, estos procesos tienen como factores condicionantes: la geomorfología (formas de relieve), la 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, uso del suelo y construcción de vías de comunicación).

La acción conjunta de uno o más factores desencadenantes actuantes en los factores condicionantes favorecen la generación de procesos externos y consigo la ocurrencia de eventos de geodinámica superficial que son los que se describen en detalle en la Figura 44.

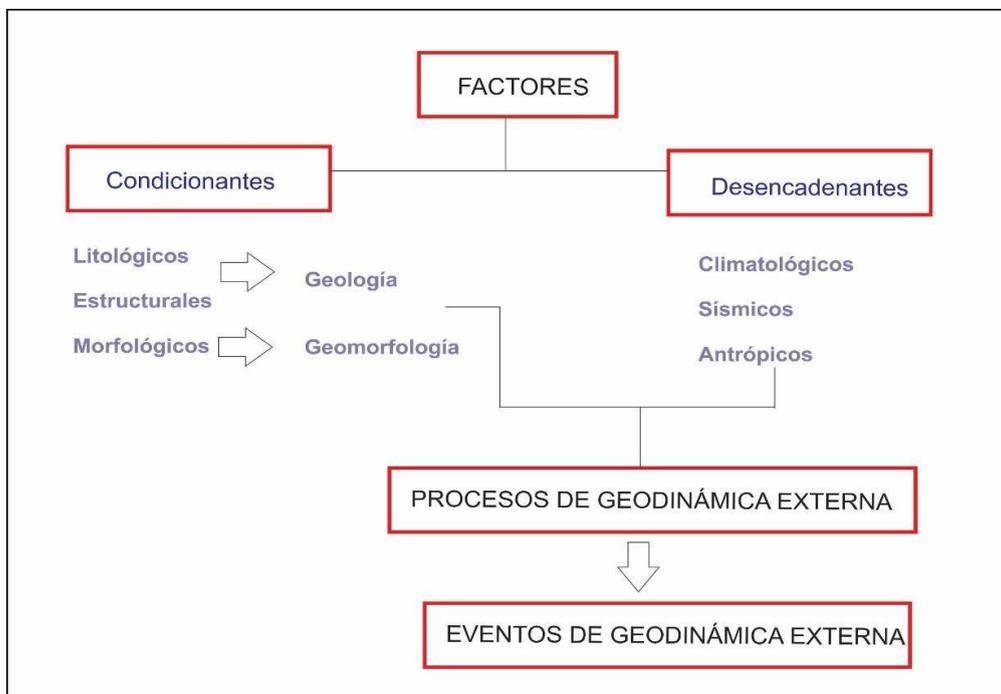


Figura 44: Factores asociados a procesos de geodinámica externa (Meteorización, erosión, transporte y depositación) que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

Los eventos de geodinámica superficial se dividen según su origen en: Hidrometeorológico e hidrogravitacional, descritos a continuación:

**a) Hidrometeorológico:** Aquí se encuentra la inundación pluvial que se genera directamente de las precipitaciones pluviales; es decir, sin que el aporte de agua llega de alguna otra escorrentía superficial, se acumula en hondonadas o depresiones naturales siendo saturadas y permaneciendo allí muchas horas y días. También se encuentran las inundaciones fluvio-aluvial. Generadas por el desborde de agua de los ríos o quebradas en periodos de precipitaciones extremas cubriendo grandes extensiones de terreno

adyacentes a las fuentes de agua. Las Inundaciones costeras son las que afectan a las zonas litorales, siendo causados generalmente por tsunamis y mareas. Finalmente, se encuentran las inundaciones por falla de las infraestructuras hidráulicas realizadas por el hombre y que presentan, insuficiencia de retención del flujo hídrico hasta llegar al colapso e inundar zonas urbanas ubicadas aguas abajo (CENAPRED- MEXICO, 2004).

**b) Hidrogravitacional:** Aquí se encuentran los movimientos en masa (MM) donde interviene como agente erosivo el agua y la gravedad presente. Se presentan en las laderas de los valles y en las partes bajas de las vertientes. Estos eventos son todos aquellos movimientos, de ladera abajo, de masas rocosas, detritos o tierras sueltas (Cruden, 1991). Para la descripción de los MM, se ha tomado en cuenta la clasificación de Varnes (1958, 1978) y Hutchinson (1968, 1988), las cuales se basan en dos elementos: en el tipo de movimiento (desprendimientos o caídas, volcamientos, deslizamientos, avalanchas, desplazamientos laterales, flujos y movimientos complejos) y en el tipo de materiales, ya sean rocas o suelos (divididos en detritos y tierras).

Según su origen, los eventos geodinámicos que afectan a la ciudad de Sechura son: flujos de detritos e inundaciones.

**Flujos de detritos (huaicos):** Movimiento de materiales sin cohesión (materiales sueltos) que se comportan como fluidos a causa del agua (provoca la pérdida total de resistencia de estos materiales) y se desplazan sin presentar superficies de rotura definidas. En algunos casos los flujos depositan sus materiales en forma de conos de deyección (Figura 45).

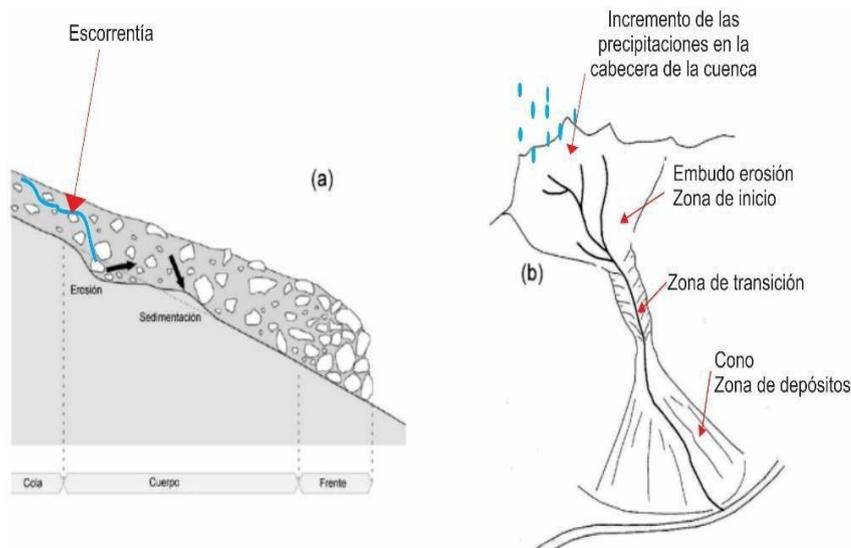


Figura 45: Esquema que muestran las etapas de generación de un flujo (Bateman y otros, 2006)

**Inundación:** Es el resultado del comportamiento de la cuenca hidrográfica durante 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 a la superposición de oleajes y mareas; pero las más frecuentes 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).

Cuando las lluvias superan el promedio normal de precipitación (mayor al 50%) de una zona, se le denominan “lluvias extraordinarias” o tormentas extremas. Estas al desarrollarse, generan crecidas causando inundaciones de las áreas circundantes al río. Esta anomalía es conocida como un evento hidrometeorológico (Figura 46).

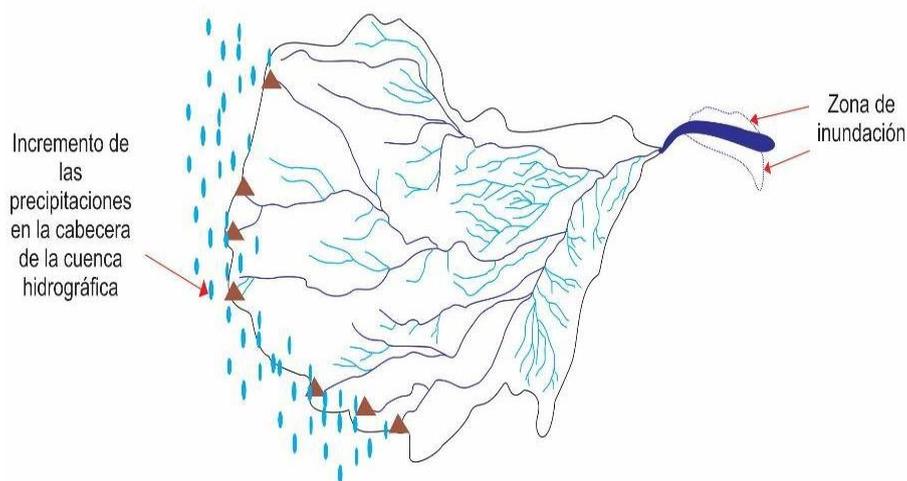


Figura 46: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica.

Los eventos del Niño de 1983, 1998 y 2017, han afectado la seguridad física de la localidad de Sechura con la ocurrencia de inundaciones, y de un tsunami ocurrido en el año 1983, que afectó al poblado de Chuliyachi.

Según el cartografiado geodinámico realizado en campo, en el área de estudio es afectado por inundaciones pluviales, fluviales y flujos de detritos.

Por ejemplo, las inundaciones pluviales afectaron al A.H. Nueva Esperanza, A.H. La Florida, A.H. Nuevo Bazán, A.H. Micaela Bastidas, A.H. San Martín y al Terminal Terrestre. Las inundaciones fluviales por el desborde del río Sechura afectaron a las áreas de cultivos, calles laterales del mercado municipal, Urb. La Ribera, A.H. Las

Peñitas y el A.H. Victor Raúl. Asimismo, cuando el río Sechura se desborda en su desembocadura hacia el mar, sus aguas se mezclan con las aguas marinas, originando una laguna o albúfera que afecta por inundación a los pueblos ubicados al extremo oeste y suroeste de la ciudad de Sechura, como es el caso del A.H. Los Pinos y el A.H. 3 de Enero.

Finalmente, se identificó un flujo de detritos que, por reactivación de la quebrada estacional de San Valentín, afectaría a la carretera Bayóvar y a los poblados ubicados en la zona de expansión urbana, al sur de la ciudad de Sechura.

Los eventos geodinámicos observados en campo fueron registrados en fichas (Figura 47) y en el plano geodinámico de la Figura 48. A continuación, se presentan algunos ejemplos de zonas críticas expuestas a los eventos geodinámicos antes mencionados (Figuras 49, 50, 51,52).

 <b>PERÚ</b>		Ministerio del Ambiente	Instituto Geofísico del Perú - IGP	Dirección Científica	Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	Unidad de Geodinámica	
<b>FICHA DE EVENTO GEODINÁMICO 16</b>							
<b>UBICACIÓN</b>							
REGIÓN:	Piura	PROVINCIA:	Sechura	DISTRITO:	Sechura		
<b>COORDENADAS UTM</b>							
ZONA:	17S-WGS84	NORTE (m):	9385833	ESTE (m):	519266	ELEVACIÓN (m.s.n.m):	11
Quebrada estacional ubicada a inmediaciones del Sector Las Peñitas							
			Flujo de detritos				
Tipo de evento geodinámico			Flujos de detritos en quebrada estacional				
Litología			Arenas grises inconsolidadas componen esta carcava.				
Área de ocurrencia del evento			432 m <sup>2</sup> . A inmediaciones del sector "Las Peñitas".				
Factor desencadenante			Agentes de meteorización (precipitaciones pluviales).				
Consecuencias			Esta pequeña quebrada afecta y erosiona la vía de acceso hacia el sector Las Peñitas.				

Figura 47: Ficha de flujo de detritos en la quebrada estacional en el sector "Las Peñitas".

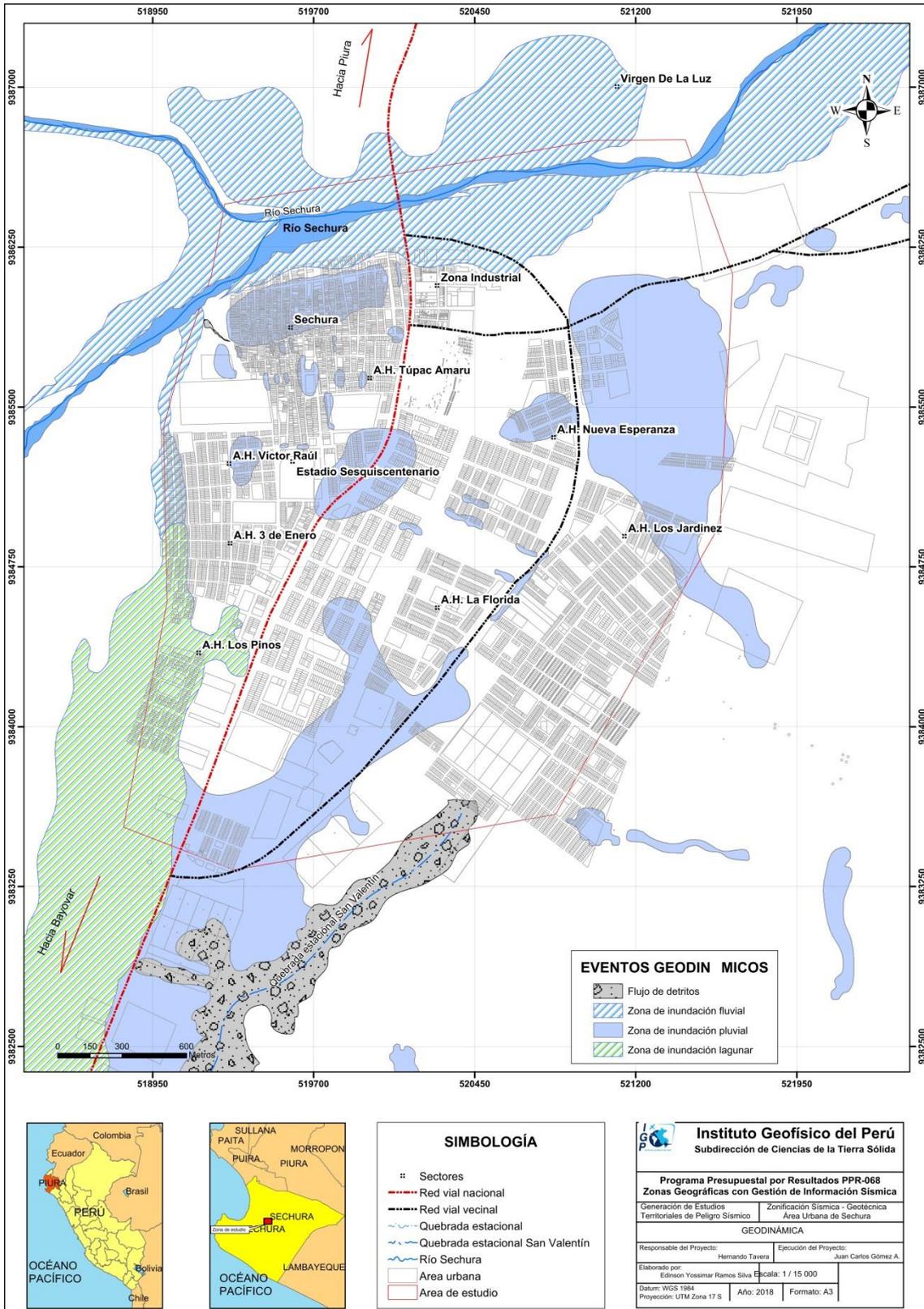


Figura 48: Mapa geodinámico del área urbana de Sechura.



Figura 49: Zona expuesta a inundación por rebose de laguna (A.H 03 de Enero y A.H Los Pinos).



Figura 50: Zonas expuestas a inundación pluvial: Sector Nueva Esperanza.



Figura 51: Zona de flujos de detritos en el lecho de la Quebrada San Valentín, a 3 km al sur de la localidad de Sechura.



Figura 52: Zona expuesta a inundación fluvial en las inmediaciones de la ribera del río Sechura.

Según su origen, los eventos geodinámicos que afectan al C.P. Parachique son: inundación por formación de lagunas (lagunas marino-fluviales), precipitación pluvial y fluvial, así como por Tsunami.

Los fenómenos del Niño de 1983, 1998 y 2017 han afectado la seguridad física de la localidad de Sechura y otras como la localidad de Parachique. Producto de estos escenarios, en el año 1984, los pobladores del Pueblo de la Bocana se trasladaron a la zona más alta para formarse el A.H. Nuevo Parachique. Finalmente, los eventos geodinámicos observados en campo, se encuentran registrados en fichas (Figura 53) y en el mapa geodinámico de la Figura 54. A continuación, se presenta algunos ejemplos de zonas afectadas por eventos geodinámicos, ver Figura 55, 56 y 57.

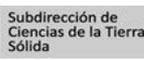
							
FICHA DE EVENTO GEODINÁMICO 02							
UBICACIÓN							
REGIÓN:	Piura		PROVINCIA:	Sechura		DISTRITO:	Sechura
COORDENADAS UTM				Localidad de Parachique			
ZONA:	19S-WGS84	NORTE (m):	9363089	ESTE (m):	515247	ELEVACIÓN (m.s.n.m):	2
Zona de pozas pluviales-Parte baja de Parachique							
							
Tipo de evento geodinámico	Inundación pluvial						
Litología	Arenas finas de antiguos deltas						
Área de ocurrencia del evento	Parte baja de Parachique en su totalidad.						
Factor desencadenante	Agentes de meteorización (precipitaciones pluviales).						
Consecuencias	Estas pozas pluviales que se generan por precipitaciones ocasionales generan inundación temporal de las calles del poblado de la Bocana de Parachique.						

Figura 53: Ficha de inundación pluvial en el C.P. Parachique.

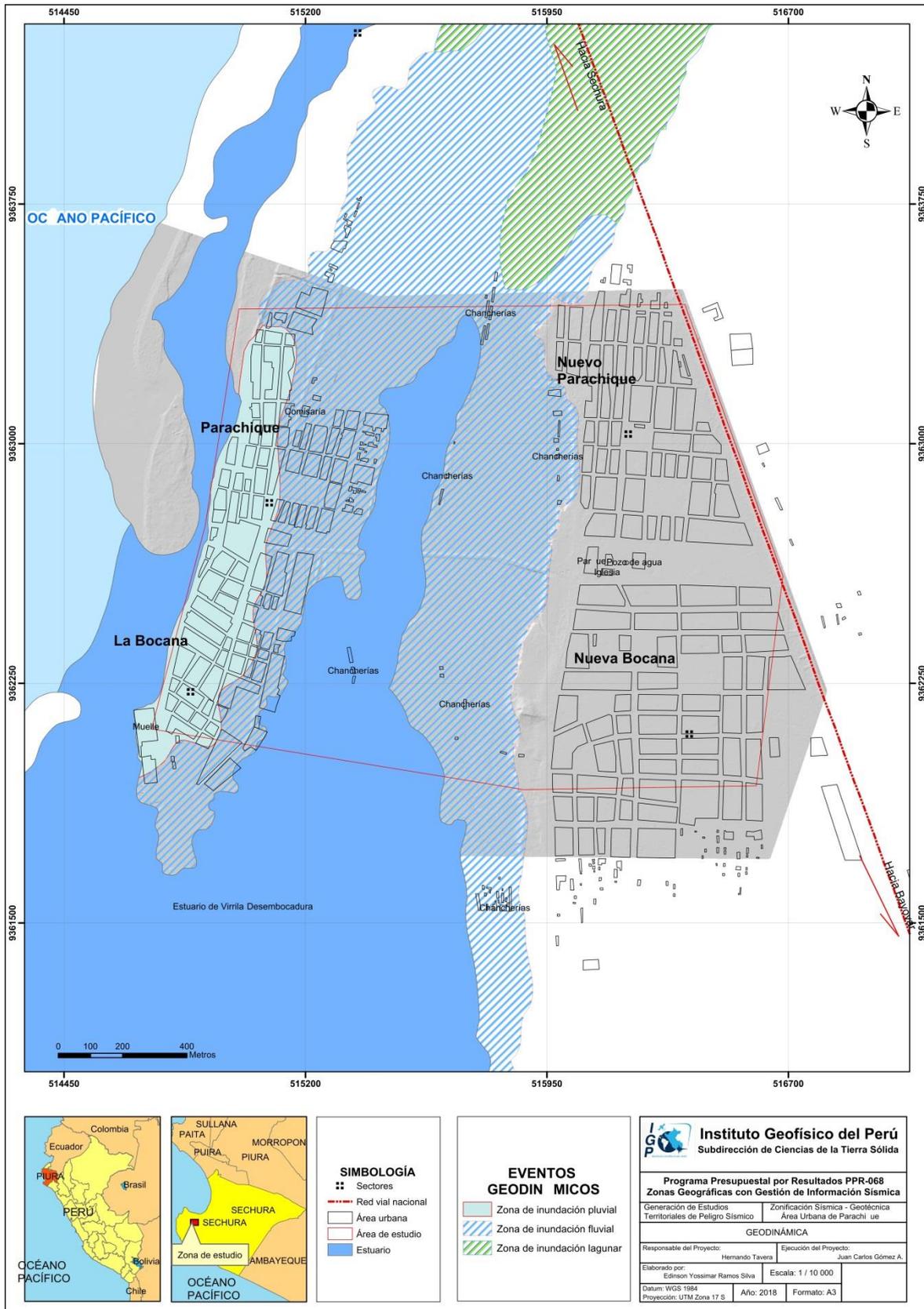


Figura 54: Mapa geodinámico para el C.P. Parachique.



Figura 55: Zonas de inundación por formación de lagunas e inundación fluvial (A.H. La Bocana).



Figura 56: Zona expuesta a inundación fluvial por desborde del Estuario de Virrilá y propensa por ocurrencia de Tsunami (La Bocana).



Figura 57: El área urbana del A.H. La Bocana de Parachique se sitúa a pocos metros del Océano Pacífico, siendo susceptible a inundaciones pluviales durante lluvias extremas.

## 5. ASPECTOS GEOTECNICOS DE LA CIUDAD DE SECHURA

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 denominado suelo, que posteriormente han sido transportados y redepositados en las partes bajas de las cuencas hidrográficas, conformando actualmente los suelos 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 físico-mecánicas de los materiales (arcillas, limos, arenas, gravas y clastos) condicionadas por las propiedades litológicas de las rocas pre-existentes y la dinámica con que fueron depositados. En el diagrama de la Figura 58, se indica el origen de los diferentes tipos de suelos.



Figura 58: 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 localidad de Sechura, se elaboraron 08 calicatas, 08 densidades de campo, 08 postes y 15 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), y su distribución se muestra en la Figura 59.

A continuación, se detallan los trabajos geotécnicos realizados en campo y los ensayos de suelos realizados en laboratorio con sus respectivos análisis e interpretación.

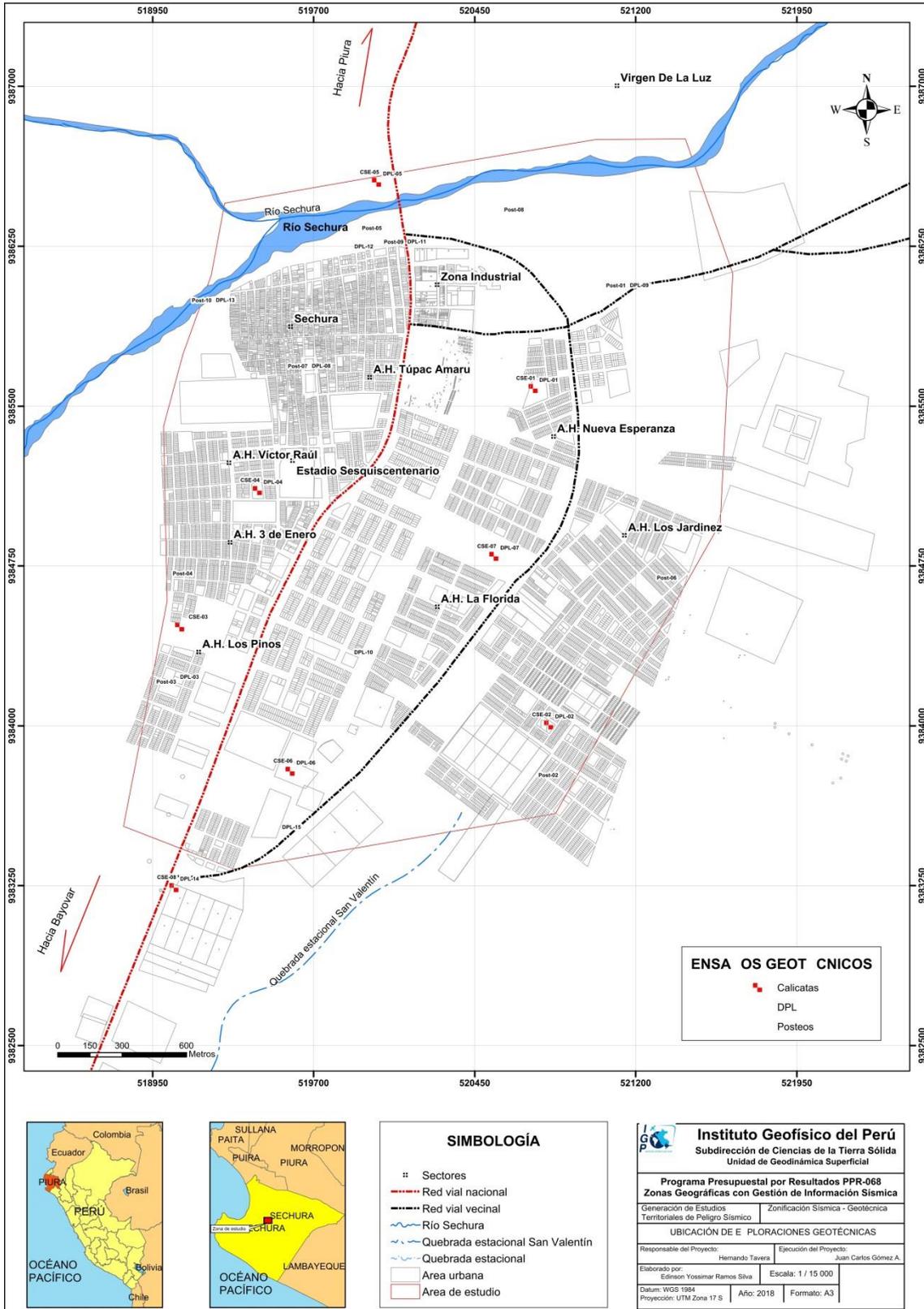


Figura 59: Ubicación de las exploraciones geotécnicas realizadas en la ciudad de Sechura.

### 5.1. Exploraciones a cielo abierto (norma ASTM D420)

Es un método directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo. Estas exploraciones se realizaron hasta profundidades de 3.00 m., a fin de describir los estratos que lo conforman, (fichas en los Anexos); así como, extraer muestras para la realización de ensayos de suelos y su análisis. Las ubicaciones geográficas de las excavaciones se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6: Ubicación geográfica de las calicatas elaboradas en Sechura.

CALICATAS	UTM.C.ESTE (m)	UTM.C.NORTE (m)	ELEVACIÓN (m)	PROF.TOTAL(m)	NIVEL FREÁTICO (m)
CSE-01	520721	9385584	11	3	N.P
CSE-02	520794	9384005	13	2.8	N.P
CSE-03	519076	9384464	13	2.2	1.9
CSE-04	519437	9385105	9	3	N.P
CSE-05	519993	9386551	6	2	1.6
CSE-06	519590	9383788	8	2.8	N.P
CSE-07	520539	9384796	12	2.5	N.P
CSE-08	519049	9383244	11	2.2	1.7

En general, en algunas calicatas la profundidad promedio de análisis fue de 2.56 m y en otras, a menor profundidad debido que se encontró, suelos conformados por caliche, presencia de niveles freáticos y materiales compactos.

### 5.2. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556)

Este método permite conocer la densidad o peso unitario de los suelos in situ con cierto grado de compactación natural. Consiste en extraer material del suelo, a 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 realizar un ensayo de densidad de campo con el método del cono, a fin de obtener el grado de compactación o consistencia y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales y en otros casos, para obtener el grado de compactación. Esta información es necesaria para desarrollar los ensayos de corte directo, sin embargo, este ensayo no es aplicable en suelos que contengan cantidad excesiva de roca o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm).

A continuación, en la Tabla 7 se presentan los resultados de densidades naturales obtenidas para 08 muestras y cuyos valores son corroborados con las densidades mostradas en la Tabla 8. Las fichas de densidades se adjuntaron en los Anexos.

Tabla 7: Resultado de Densidades In-situ.

CALICATA	MUESTRA	PROF.MUE STRA/PRO F. TOTAL(m)	DENSIDAD HUMEDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)
CSE-01	D1-CSE1	1.20/3.00	1.86	1.72	13.14
CSE-02	D1-CSE2	1.40/2.80	1.58	1.42	3.21
CSE-03	D1-CSE3	0.70/2.20	1.95	1.55	20.29
CSE-04	D1-CSE4	1.80/3.00	1.92	1.875	7.25
CSE-05	D1-CSE5	1.00/2.00	2.06	1.51	9.97
CSE-06	D1-CSE6	0.50/2.80	1.5	1.3	20.29
CSE-07	D1-CSE7	1.20/2.50	1.41	1.36	2.34
CSE-08	D1-CSE8	1.50/2.20	1.9	1.51	26.85

Tabla 8: Valores típicos de densidad de suelos (CISMID, 2016).

MATERIALES		DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )
ARENAY 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 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

Según los resultados obtenidos, tanto en campo como en laboratorio, indican que los suelos en la ciudad de Sechura presentan rangos de densidad entre 1.41 – 2.06 gr/cm<sup>3</sup>; es decir, los materiales identificados corresponden a gravas, arenas pobremente graduadas, arenas limosas y arenas arcillosas.

### 5.3. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452)

Una posteadora es un barredor manual en forma de “T” que permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta profundidades del orden de 6 m., el objetivo es obtener muestras del suelo, que aunque estén trituradas y completamente alteradas, son muy útiles para identificar y describir los suelos de manera visual.

Los puntos de exploración fueron distribuidos entre las calicatas; es decir en los lugares donde no existía información geotécnica y de este modo, obtener una mejor caracterización de los suelos de la ciudad de Sechura. En la Tabla 9, se presenta la ubicación geográfica de los puntos de posteos y en los anexos sus fichas de análisis.

Tabla 9: Ubicación de los puntos de posteos en Coordenadas UTM-WGS84 (P.T = Profundidad total; N.P = No presenta).

POSTEOS	UTM.C.ESTE (m)	UTM.C.NORTE (m)	ELEVACIÓN (m)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	NIVEL FREÁTICO A (m)
Post-01	521142	9386028	16	0.4	SP	N.P
Post-02	520715	9383730	15	0.3	SP	N.P
Post-03	518978	9384168	11	0.8	SP	0.73
Post-04	519011	9384676	13	1	SC	0.91
Post-05	519893	9386297	7	1	SP	0.8
Post-06	521266	9384656	18	0.35	SP	N.P
Post-07	519661	9385650	24	1.5	SP	N.P
Post-08	520554	9386384	8	0.7	SC	0.5
Post-09	520107	9386232	10	0.66	CL	N.P
Post-10	519214	9385958	13	0.75	SP	N.P

En general, la profundidad promedio a la que se llegó fue de 0.89 m, ya que se encontró nivel freático y suelos granulares haciendo difícil lograr mayor profundidad.

### 5.4. Ensayos de penetración dinámica ligera (norma DIN 4094)

El DPL es un equipo de campo de registro continuo, dónde se contabiliza el número de golpes dados por un martillo de 10 Kg (N), en la parte superior del tambor de acero. Se pretende profundizar tramos mediante una punta cónica de 60° que se encuentra en el extremo inferior. Este tipo de ensayo es aplicable en terrenos arenosos, areno-arcillosos y limos arenosos; y no recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos.

Este ensayo permite estimar el ángulo de fricción de suelos específicos, y los valores obtenidos ayudarán a calcular, mediante fórmulas empíricas, la capacidad

portante (resistencia al corte) de los suelos en Kg/cm<sup>2</sup>, además de las propiedades de compacidad de los suelos.

Los ensayos de DPL fueron realizados en las inmediaciones de una o dos calicatas, a fin de conocer la resistencia al corte de los distintos estratos, sobretodo donde los suelos son conocidos.

En la Tabla 10, se indica la ubicación geográfica de los ensayos DPL realizados en las inmediaciones de la ciudad de Sechura; además del número de golpes y el ángulo de fricción interna, calculado en base a los parámetros de compacidad y densidad relativa usando la fórmula de Meyerhof (1956).

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

Dónde:

$\Phi$ =ángulo de fricción interna

Dr= Densidad relativa.

Tabla 10: Ubicación geográfica de los ensayos DPL y el parámetro de ángulo de fricción obtenido ( $\phi$ : Ángulo de fricción interna).

DPL	UTMESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD TOTAL (m)	#DE GOLPES	$\Phi$
DPL-01	520721	9385584	11	0.6	45	37.6
DPL-02	520794	9384005	13	0.89	45	37.6
DPL-03	519048	9384190	4	1.8	45	37.6
DPL-04	516434	9362227	4	0.27	45	39.7
DPL-05	519993	9386551	6	3.1	15	31.4
DPL-06	519590	9383788	8	1.22	45	37.6
DPL-07	520539	9384796	12	0.46	45	37.6
DPL-08	519661	9385650	24	3.2	24	33.4
DPL-08	519661	9385650	24	3.2	24	33.4
DPL-09	521142	9386028	16	0.4	45	37.6
DPL-10	519858	9384306	10	1	45	37.6
DPL-11	520107	9386232	10	1.5	45	37.6
DPL-12	519859	9386209	13	0.7	45	37.6
DPL-13	519214	9385958	13	1.9	8	29.1
DPL-14	519048	9383243	10	1.4	45	37.6
DPL-15	519523	9383485	13	0.86	45	37.6

En los ensayos de DPL se ha logrado alcanzar profundidades hasta 3.20m, debido a que, en algunos casos, la presencia de granulares conformados por gravas arenosas compactas o rocas, ofrecían resistencia a la penetración. Finalmente las fichas del ensayo DPL se adjuntan en los Anexos.

#### 5.4.1. Correlación DPL – SPT / Capacidad portante

##### A) Correlación entre el “N” del DPL y “N” del 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 (NDPL), fueron correlacionados con el número de golpes del ensayo de penetración estándar (NSPT), a fin de determinar el ángulo de fricción interna corregido y posteriormente, calcular la capacidad de carga admisible.

Para la correlación, se consideró las características del terreno (compacidad, resistencia y deformabilidad), y luego se utilizó una fórmula empírica que relaciona el peso del martillo, la altura de caída del martillo, el área de la punta cónica, el espesor de la hincia y el número de golpes obtenidos con el DPL:

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

Dónde:

N1= Número de golpes equivalente en SPT

N2= Número de golpes obtenidos en DPL

W1= Peso del martillo del DPL

W2= Peso del martillo SPT

H1= Altura de caída de DPL

H2= Altura de caída del SPT

A1= Área de la punta cónica del DPL

A2= Área de la punta cónica del SPT

e1= Espesor de la hincia del DPL

e2= Espesor de la hincia del SPT

##### B) 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 y para el caso de la ciudad de Piura, se empleó la relación experimental propuesta por Osaki (1959), siendo esta la más usada internacionalmente y sus resultados son conservadores para arenas con ángulo de fricción mayor a 30°:

$$\Phi = (20 N^{0.5}) + 15$$

Para el caso, en dónde la densidad relativa (Dr) es menor al 5% (arenas muy finas) se debe emplear la fórmula de Meyerhof (1956):

$$\Phi = 30^\circ + 0.15 \cdot Dr$$

Dónde:

$\Phi$ =ángulo de fricción interna

Dr: Densidad relativa

En la Tabla 11, se muestran los resultados obtenidos para los DPL que hayan alcanzado la profundidad deseada de estudio: Entre 1.00 y 1.50 m de profundidad.

Tabla 11: Cálculo del ángulo de fricción interna, usando valores del NSPT.

ENSAYO	N SPT CORREGIDO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA ( $\Phi_{NSPT}$ )	N SPT CORREGIDO	ÁNGULO DE FRICCIÓN
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 12: Compacidad relativa y consistencia de los suelos con sus respectivos ángulos de fricción interna en base al Nspt. (Adaptado de Crespo, V. 2014).

COMPACIDAD RELATIVA DE SUELOS GRANULARES			CONSISTENCIA DE SUELOS COHESIVOS SATURADOS		
Valor de Nspt	Compacidad relativa	Ángulo de fricción interna ( $\phi$ )	Valor de Nspt	Consistencia	Ángulo de fricción interna ( $\phi$ )
0-4	Muy compacta	< 28°	<2	Muy blanda	0°
04-oct	Suelta	28°-30°	02-abr	Blanda	0°-2°
oct-30	Media	30°-36°	04-ago	Media	2°-4°
30-50	Compacta	36°-41°	ago-15	Compacta	4°-6°
> 50	Muy compacta	>41°	15-30	Muy compacta	6°-12°
			>30	Dura	>14°

De acuerdo a los datos de la Tabla 11, 12; los suelos de la ciudad de Sechura, en su mayoría, están compuestos por arenas mal graduadas con mezcla de arenas limosas, presentando compacidad muy suelta y con ángulos de fricción de 26.9°. Las arenas pobremente graduadas, presentan compacidad suelta a media con ángulo de fricción entre 29° y 30.9°. Las gravas pobremente graduadas, tienen compacidad media y un ángulo de fricción de 34.6°. Los suelos mixtos de arenas pobremente graduadas, arenas limosas con arcillas arenosas, presentan consistencia media a compacta en estado seco y su ángulo de fricción está ente 29° y 31°.

Finalmente, los suelos areno-arcillosos de plasticidad media presentan un ángulo de fricción de 21° y consistencia blanda. Las fichas de correlación con sus respectivos valores del ángulo de fricción interna, se adjunta en los Anexos.

### C) Carga última ( $q_u$ )

Para determinar la carga última, se usaron los resultados obtenidos de los ensayos de corte directo y en base al  $N_{SPT}$  (ángulo de fricción y la cohesión), así como las fórmulas de Terzaghi (1943), según sea el suelo a ensayar (Tabla 13):

Fórmula para falla por corte general:

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

Fórmula 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

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

$N_c, N_q, N_\gamma$ : Factores de carga.

Tabla 13: 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 (Terzaghi 1943).

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

## 5.5. Clasificación de suelos, SUCS (ASTM D-4827)

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas y posteos, para la ciudad de Sechura, se ha identificado 4 tipos de suelos a un metro de profundidad. Estos suelos han sido clasificados de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

(SUCS). En la Figura 60, se presenta el mapa de zonificación SUCS, para los suelos de Sechura a 1.00 y 1.20 m. de profundidad:

**Suelos tipo GP:** Estos suelos están conformados por gravas pobremente graduadas, son subredondeadas y decrecen en tamaño, desde superficie a profundidad. Presentan compacidad media, son de color gris claro e infrayaciendo a estos estratos, se encuentran arenas pobremente graduadas con escaso porcentaje de finos de color gris a pardo amarillento, de compacidad media. Este tipo de suelos se encuentran en el A.H. Víctor Raúl.

**Suelos tipo SP-SM:** Se encuentran en el margen derecho e izquierdo del río Sechura, en forma de capas delgadas de arenas arcillosas, de color pardo. Se encuentran saturadas a 1.60 m. de profundidad y han sido identificados en la calicata Cse-05.

**Suelos tipo SC:** Se encuentran conformados por arenas arcillosas calcáreas de color gris a blanco; además de presentar plasticidad baja a media con fragmentos de conchuela de color blanco y anaranjado, con escasas gravillas de origen ígneo y su compacidad relativa media. Estos suelos se han identificado en la calicata Cse-01, situada en el A.H. Nueva Esperanza detrás del cementerio de Sechura. Estos suelos también se encontraron en la calicata Cse-02 ubicada en el A.H. Nuevo Amanecer y en este caso presentan color gris a pardo con clastos calcáreos de 5 mm de diámetro, humedad baja, plasticidad media y compacidad relativa suelta a media. También se encuentran en la Cse-07 ubicada en A.H. La Florida y en este caso, están mezclados con de arenas limosas, presentan clastos subredondeados de 2" y fragmentos de bioclastos menor a 1/2" de color blanquecino; además su compacidad relativa es media. Finalmente, estos suelos también fueron encontrados en la calicata, Cse-08 ubicada en las inmediaciones de la AV. Bayóvar, al sur de Sechura. Los suelos están constituidos por arenas arcillosas de baja plasticidad y color de gris a verde con tonalidades amarillentas, humedad baja y consistencia blanda en condiciones naturales.

**Suelos tipo SP:** Estos suelos están compuestos por arenas mal graduadas de color gris, compacidad relativa media a suelta, fueron encontrados en la Cse-03, ubicada en el A.H. Los Pinos, lugar donde el nivel freático se encuentra a 1.90 m de profundidad. Este suelo también fue identificado en la calicata Cse-06 (A.H. Nuevo Chulliyachi), compuesto por arena suelta y humedad baja. En la tabla 14 se presenta un resumen de los diferentes tipos de suelos existentes en la ciudad de Sechura.

Tabla 14: Clasificación SUCS para las calicatas elaboradas en la ciudad de Sechura.

CALICATA	PROFUNDIDAD	NIVEL FREÁTICO	GRAVAS % (>4.76 MM)	ARENAS % (>0.074 MM, <4.76 MM)	FINOS % (<0.074-4MM)	LÍMITE LIQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
Cse-01	1.20/ 3.00	N.P	39.15	48.64	12.21	30.24	20.5	9.24	SC	SP	Arena arcillosa, calcárea con bioclastos.
Cse-02	1.40/ 2.80	N.P	22.09	64.87	13.03	23.68	21.45	11.23	SC	SP	Arenas aciliosas, con bioclastos.
Cse-03	0.70/ 2.80	1.9	0.47	99.06	0.47	-	-	N.P	SP	SP	Arena mal graduada.
Cse-04	1.80/ 3.30	N.P	51.67	45.73	2.61	-	-	N.P	GP	N.P	Grava mal graduada en matriz arenosa amarillenta.
Cse-05	1.00/ 2.00	1.6	0.07	94.47	5.46	-	-	N.P	SP-SM	SP	Mescia (arena pobremente graduada y arena limosa).
Cse-06	0.50/ 2.80	N.P	2.31	93.51	4.18	19.72	18.37	1.35	SP	-	Arena mal graduada con escasos limos.
Cse-07	1.20/ 2.80	N.P	14.85	72.27	12.89	32.89	23.68	9.5	SC	-	Arena arcillosa gris blanquesina con gravas y bioclastos.
Cse-08	1.50/ 2.20	1.7	-	71.34	28.66	-	-	3.8	SM	-	Arena lamosa amarillenta.

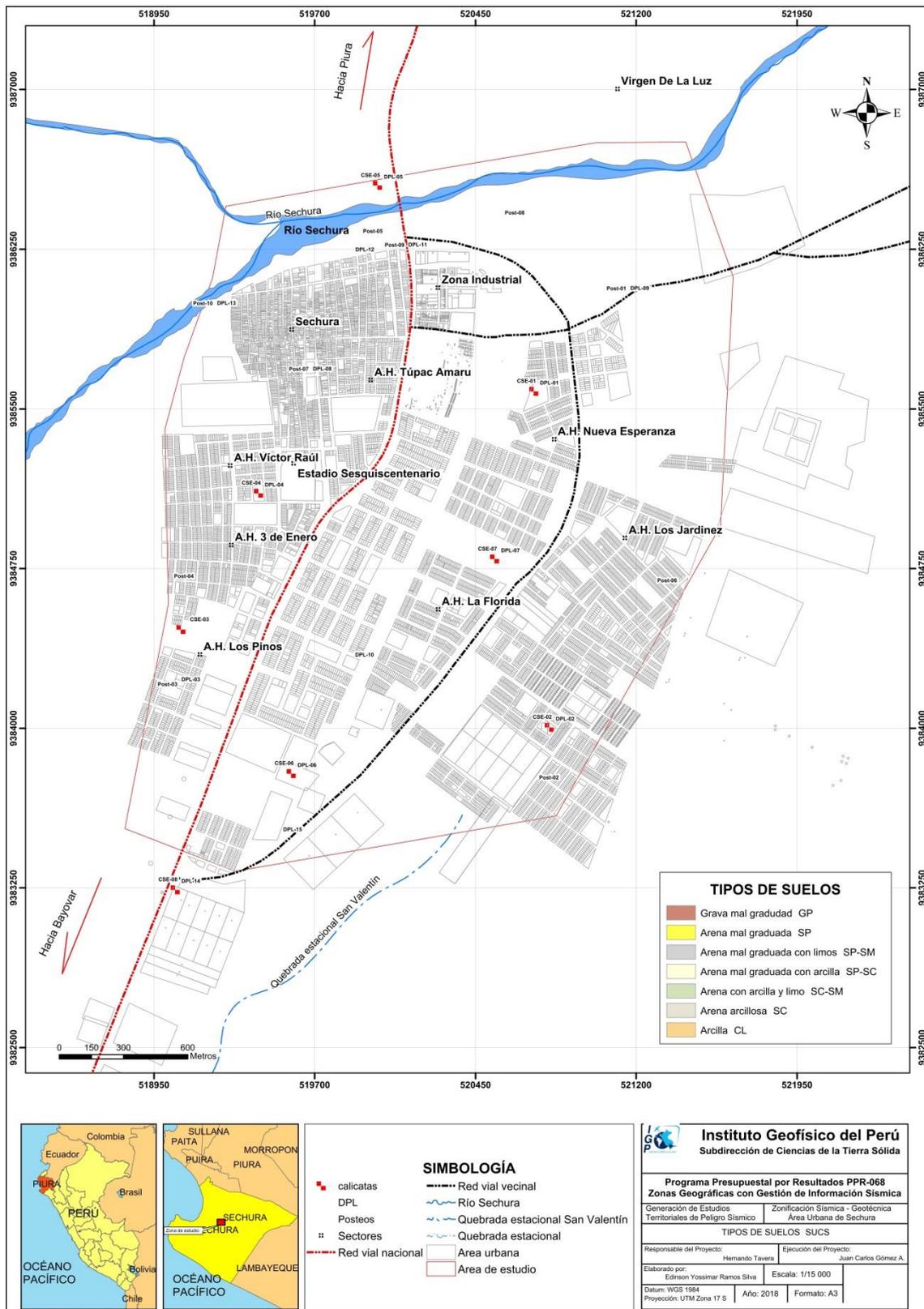


Figura 60: Mapa de clasificación SUCS de suelos de la ciudad de Sechura.

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

La finalidad de este ensayo, es determinar la resistencia al esfuerzo de corte de una muestra de suelo sometida a deformaciones (esfuerzos verticales y horizontales), se trata de disimular las deformaciones del terreno producto de la aplicación de una carga.

La resistencia del suelo al corte 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 para la capacidad portante de los suelos de la localidad de Sechura están basados en datos obtenidos de DPL realizados en campo, laboratorio y teóricos para los parámetros de fricción y cohesión de Terzaghi.

### 5.7. Capacidad de carga admisible

$$q_{ad} = \frac{q_u}{F_s}$$

Es la máxima presión ejercida por una cimentación transmitida a un suelo, sin que en este, se produzcan asentamientos excesivos; es decir, que la presión de la cimentación no sea mayor a la admisible. Se pretende mantener el factor de seguridad especificado en la Norma E.050 para el diseño de cimentaciones.

Los resultados obtenidos para la capacidad portante de carga admisible de las 08 muestras de suelos extraídos en la ciudad de Sechura, se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15: Capacidad de carga admisible para las muestras de suelos extraídas en la ciudad de Sechura (FG: Falla General, F.L: Falla local. N.P: No presenta).

MUESTRA	Capacidad de carga última (Kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de Corte	Capacidad de carga última (Kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de Corte
CSE-01	4.98	1.66	F.G	2.42	0.81	F.L
CSE-02	2.32	0.77	F.G	3.14	1.05	F.G
CSE-03	1.25	0.42	F.L	1.7	0.57	F.L
CSE-04	3.45	1.15	F.L	4.31	1.44	F.L
CSE-05	1.24	0.41	F.L	1.73	0.58	F.L
CSE-06	0.93	0.31	F.L	1.28	0.43	F.L
CSE-07	1.64	0.55	F.G	2.16	0.72	F.G
CSE-08	2	0.67	F-G	4.55	1.52	F.L
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN				Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00m		

Asimismo, en la Tabla 16 se presenta los valores de capacidad de carga a partir de la correlación de “N”, obtenida del DPL en la Figura de SPT, para una profundidad de cimentación de 1.00 y 1.50 m. y ancho de zapata de 1.00 m.

Tabla 16: Capacidad de carga admisible 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 <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de corte	Capacidad de carga última (kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de corte
DPL – 03	1.02	0.34	F.L	3.11	1.04	F.L
DPL – 05	1.74	0.58	F.L	2.64	0.88	F.L
DPL – 06	1.83	0.61	F.L	---	---	---
DPL – 08	1.44	0.48	F.L	1.94	0.65	F.L
DPL _10	3.37	1.12	F.L	---	---	---
DPL - 11	1.25	0.42	F.L	3.85	1.28	F.L
DPL - 13	1.49	0.5	F.L	2.09	0.7	F.L
DPL - 14	2	0.67	F.G	4.55	1.52	F.L
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN		Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00		

Del total de los resultados obtenidos se ha determinado, según la Tabla 17, que los suelos de Sechura presentan capacidades portantes muy bajas (< 1.00 Kg/cm<sup>2</sup>) y bajas (1.00-2.00 Kg/cm<sup>2</sup>) a 1.00-1.20 m de profundidad.

Tabla 17: Rangos de capacidad de carga admisible.

Capacidad Carga Admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	DENOMINACIÓN
< 1.0	MUY BAJA
1.0 - 2.0	BAJA
2.0 - 3.0	MEDIA
> 3.0	ALTA

### 5.7.1. Tipos de Capacidad admisible para la localidad de Sechura

En el área de estudio, se han determinado los siguientes tipos de capacidades portantes admisibles (Figura 61):

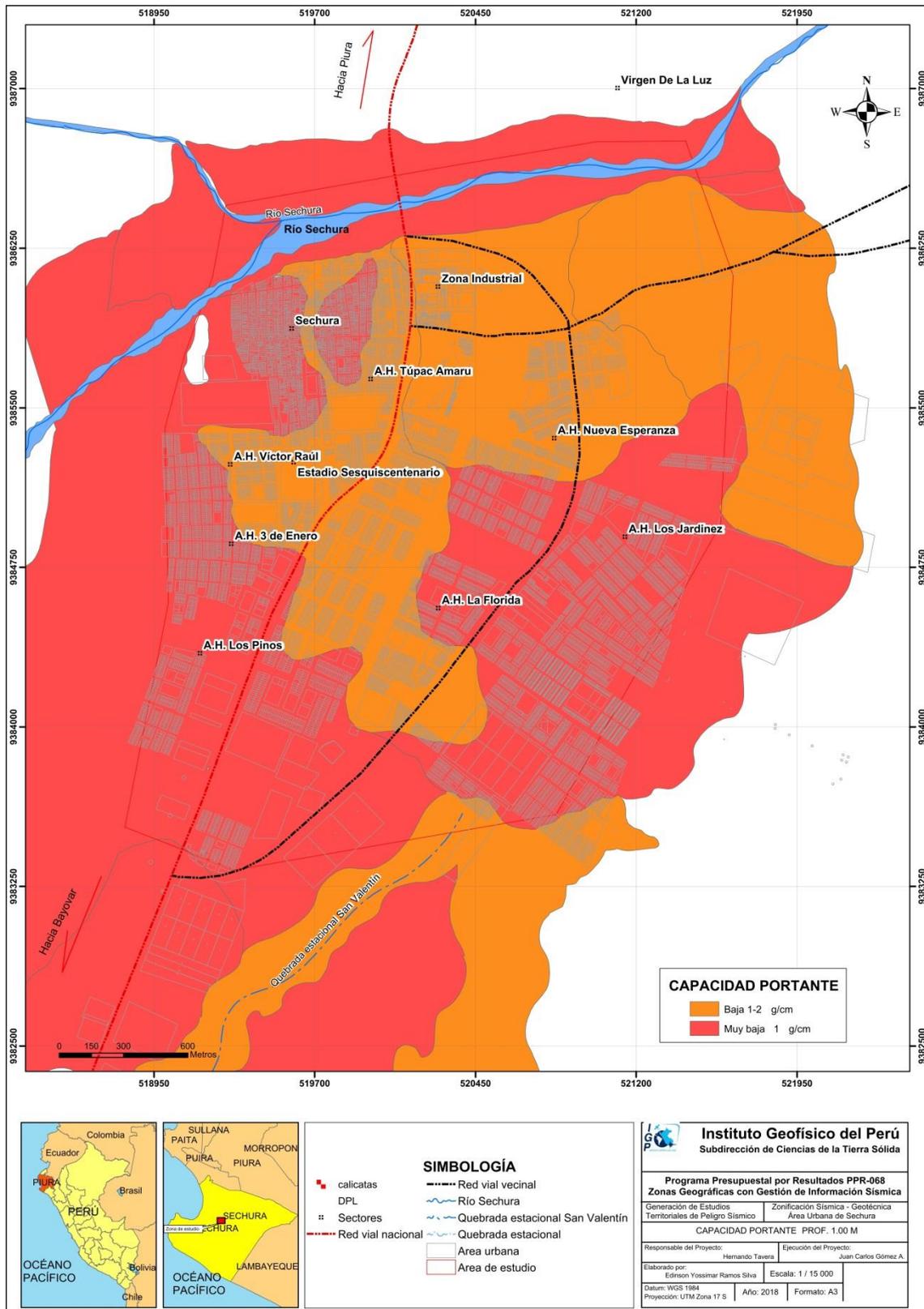


Figura 61: Mapa de la capacidad portante para la ciudad de Sechura.

**Capacidad de carga admisible muy baja:** Comprende rangos de capacidad de carga admisible menores a 1.00 y corresponden a suelos de tipo areno arcillosos (SC) presentes en los asentamientos humanos de: A.H. Nuevo Amanecer (calicata Cse-02), A.H. La Florida (calicata Cse-07) y al sur de la ciudad de Sechura, en la intersección de las avenidas Evitamiento (Av. Brasil) y A.v Bayóvar (calicata Cse-08). También presentan carga admisible muy baja en suelos arenosos pobremente graduados (SP) e identificados en los A.H. Los Pinos, (Calicata Cse-03) y A.H. Nuevo Chulliyachi (calicata Cse-06).

Finalmente, los suelos compuestos por la mezcla de arenas pobremente graduadas y arenas limosas (SP-SM), ubicadas en el margen izquierdo y derecho del río Sechura, presentan una capacidad admisible que fluctúa entre 0.31 y 0.77 kg/cm<sup>2</sup>.

**Capacidad de carga admisible baja:** Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 1.00 - 2.00 kg/cm<sup>2</sup>, y corresponden a suelos areno arcillosos con mezcla de fragmentos de bioclastos de conchuela calcárea y gravilla (SC). Estos suelos están presentes en el A.H. Nueva Esperanza (calicata Cse-01) detrás del cementerio de Sechura. También son parte de los suelos conformados por grabas pobremente graduadas (GP), presentes en el A.H. Victor Raúl (Calicata Cse-04), con una compacidad relativa media y una capacidad portante admisible entre 1.15 y 1.66 kg/cm<sup>2</sup>.

## 6. ASPECTOS GEOTECNICOS DEL C.P. PARACHIQUE

En la localidad de Parachique se elaboraron 5 calicatas, 4 densidades de campo, 7 postes y 12 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), ver Figura 62. A continuación, se detallan los trabajos geotécnicos realizados en campo y los ensayos de suelos realizados en laboratorio con su respectivo análisis e interpretación.



Figura 62: Mapa de distribución de puntos de medidas geotécnicas para el C. P. Parachique.

### 6.1. Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM D420)

Es un método directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo. Estas exploraciones se realizaron hasta 3.00 m. de profundidad y se obtuvieron muestras para describir los estratos que lo conforman. Las muestras fueron extraídas en bolsas herméticas con capacidad de 5 kg aproximadamente, para luego realizar de ensayos de suelos y sus análisis en laboratorio. En la Tabla 18 se muestran las coordenadas geográficas de cada punto.

Tabla 18: Ubicación geográfica de las calicatas elaboradas.

CALICATAS	UTM. C. ESTE	UTM. C. NORTE	ELEVACIÓN (m)	PROF.MUESTRAR/ PROF.TOTAL (m)	NIVEL FREÁTICO A: (m)
CPE-01	515672	9385584	11	0.60/1.50	0.9
CPE-02	520794	9384005	13	0.80/1.50	1
CPE-03	519076	9384464	13	2.90/3.00	N.P
CPE-04	519437	9385105	9	2.90/3.00	N.P
CPE-05	519993	9386551	6	1.10/2.50	1.2

En general, la profundidad de investigación promedio fue de 2.30 m. debido a que, a mayor profundidad se encontraron arenas mal graduadas con nivel freático superficial y roca compacta (caliza bioclástica).

### 6.2. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D-1556)

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 fin de obtener 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. Este procedimiento es necesario para obtener el grado de compactación o consistencia y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales, y en otros casos, para conocer el grado de compactación.

A continuación, en la Tabla 19 los valores de densidades obtenidas a través del método del cono de arena y considerando los rangos de densidades establecidos por CISMID (2016). Las fichas de densidades elaboradas se presentan en los anexos.

Tabla 19: Valores de densidades obtenidas en el presente estudio.

CALICATA	MUESTRA	PROF.MUESTRA /PROF.TOTAL (m)	DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)
CP-01	D1-CP1	1.20/3.00	2.13	1.63	23.63
CP-02	D1-CP2	1.40/2.80	1.99	1.56	21.45
CP-03	D1-CP3	0.70/2.20	1.35	1.3	3.86
CP-04	D1-CP4	2.00/3.00	1.95	1.89	3.07
CP-05	D1-CP5	1.00/2.00	1.94	1.5	22.8

Tabla 20: Valores típicos de densidad de suelos propuestos por CISMID (2016).

MATERIALES		DENSIDAD HÚMEDA (gr/ cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD SECA (gr/ cm <sup>3</sup> )
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

Según los resultados obtenidos, los suelos en la localidad de Parachique presentan rangos de densidad entre 1.35 – 2.13 gr/ cm<sup>3</sup>; es decir, los suelos están compuestas por arenas pobremente graduadas y de coloración amarillentas y grises.

### 6.3. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D-1452)

Se define posteadora como un barreador 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 de suelo. Las muestras extraídas se obtienen trituradas y completamente alteradas, sin embargo sirven para reconocer el tipo de suelo y contenido de humedad que presenta. Es importante indicar que, la posteadora presenta restricciones en suelos con presencia de gravas y gravillas (las cucharas saca muestras se entranpan con este tipo de suelos).

El procedimiento seguido para la toma de muestras de suelo es como sigue: con la posteadora se penetra el subsuelo desde la superficie de tal manera que, se gira manualmente el equipo ejerciendo presión sobre el suelo, a medida que se va incrementando la profundidad, se va añadiendo varillas a fin de obtener muestras con las cucharas acopladas en el extremo. Estas exploraciones fueron distribuidas entre las calicatas; es decir, en lugares donde no existía información geotécnica, lo cual permitirá tener una mejor caracterización de los suelos de la ciudad de Parachique. A continuación, En la Tabla 21, se muestra los resultados obtenidos y para el detalle de las fichas, ver Anexos.

En la Tabla 21, se muestra las coordenadas UTM, de cada punto donde se elaboran los posteos y el detalle de los resultados se presenta en los anexos. En general, la profundidad promedio alcanzada fue de 1.10 m., ya que fue identificado a profundidades de 0.99 m.

Tabla 21: Ubicación de Posteos en Coordenadas UTM-WGS84, P.T = Profundidad total Fuente, N.P = No presenta.

POSTEOS	UTM.C.ESTE (m)	UTM.C.NORTE (m)	ELEVACIÓN (m)	PROF.TOTAL (m)	NIVEL FREÁTICO A: (m)
Post-01	515672	9362144	3	1.08	0.99
Post-02	515757	9363037	3	0.69	0.6
Post-03	514822	9362513	6	0.79	N.P
Post-04	515091	9362439	6	0.67	0.51
Post-05	516119	9364022	10	0.8	0.71
Post-06	515309	9362676	5	0.9	0.67
Post-07	514798	9362308	6	1.1	0.8

#### 6.4. Ensayos de penetración dinámica ligera (Norma DIN-4094)

Es un equipo de campo de registro continuo (se contabiliza el número de golpes para penetrar un tramo de varillaje a lo largo de todo el ensayo), permite estimar la

resistencia del material (suelo) en  $\text{kg/cm}^2$  al hincado del cono dinámico. La ventaja del instrumento es que es un equipo muy práctico y se puede transportar fácilmente.

Consiste en introducir al suelo una varilla de acero en la que se encuentra un cono metálico de penetración de  $60^\circ$  de punta, mediante la aplicación de golpes con un martillo de 10 kg, que se deja caer desde una altura de 0.50. Como medida de la resistencia a la penetración se registra el número "N" (número de golpes en 10 cm de penetración), para luego ser correlacionado con algunas propiedades relativas del suelo, en particular, con sus parámetros de resistencia al corte, capacidad portante, densidad relativa, etc. A través de fórmulas empíricas donde se introduce el "N" y se obtiene el ángulo de fricción interna de los distintos materiales.

Se hace mención que, este ensayo es aplicable en terrenos arenosos, arcillosos 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 el Tabla 22, se indica la ubicación de los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizados en las inmediaciones de la localidad de Parachique. Se indica el número de golpes y el ángulo de fricción interna calculado en base, a los parámetros de compacidad y densidad relativa según la fórmula de Meyerhof (1956).

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

Dónde:

$\Phi$ =ángulo de fricción interna

Dr: Densidad relativa

Tabla 22: Ubicación de los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL)  
(Donde  $\phi$ : Ángulo de fricción interna).

DPL	UTM.C ESTE (m)	UTM.C NORTE(m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	#DE GOLPES	$\Phi$
DPL-01	515169	9363155	2	1.8	22	33°
DPL-02	515739	9362759	2	1.6	25	33.6°
DPL-03	515038	9362163	3	2.3	30	36°
DPL-04	515174	9362853	2	1.8	13	34.8°
DPL-05	516229	9362593	15	0.09	45	30.9°
DPL-06	516275	9362816	18	0.16	45	37.6°
DPL-07	516434	9362227	11	0.22	45	37.6°
DPL-08	514798	9362308	6	2.5	13	37.6°
DPL-09	516253	9363784	3	0.39	45	30.9°
DPL-10	516258	9363768	10	0.4	45	37.6°
DPL-11	515975	9363199	8	0.4	45	37.6°
DPL-12	515961	9363198	2	0.4	45	37.6°

En los ensayos de DPL, se ha logrado alcanzar profundidades variadas entre 0.09 y 2.50 m, debido a la presencia de nivel freático en suelos arenosos mal graduados. En algunos casos, se identifican rocas calcáreas bioclásticas muy compactas que ofrecían resistencia a la penetración. Las fichas de detalle del ensayo DPL, se adjunta en los Anexos.

### 6.5. Ensayos Clasificación de suelos, SUCS (ASTM D-4827)

En base a la información recopilada de las calicatas y posteos realizados en Parachique e interpretadas usando la clasificación SUCS, ha permitido identificar la existencia de un solo tipo de suelo (Figura 63).

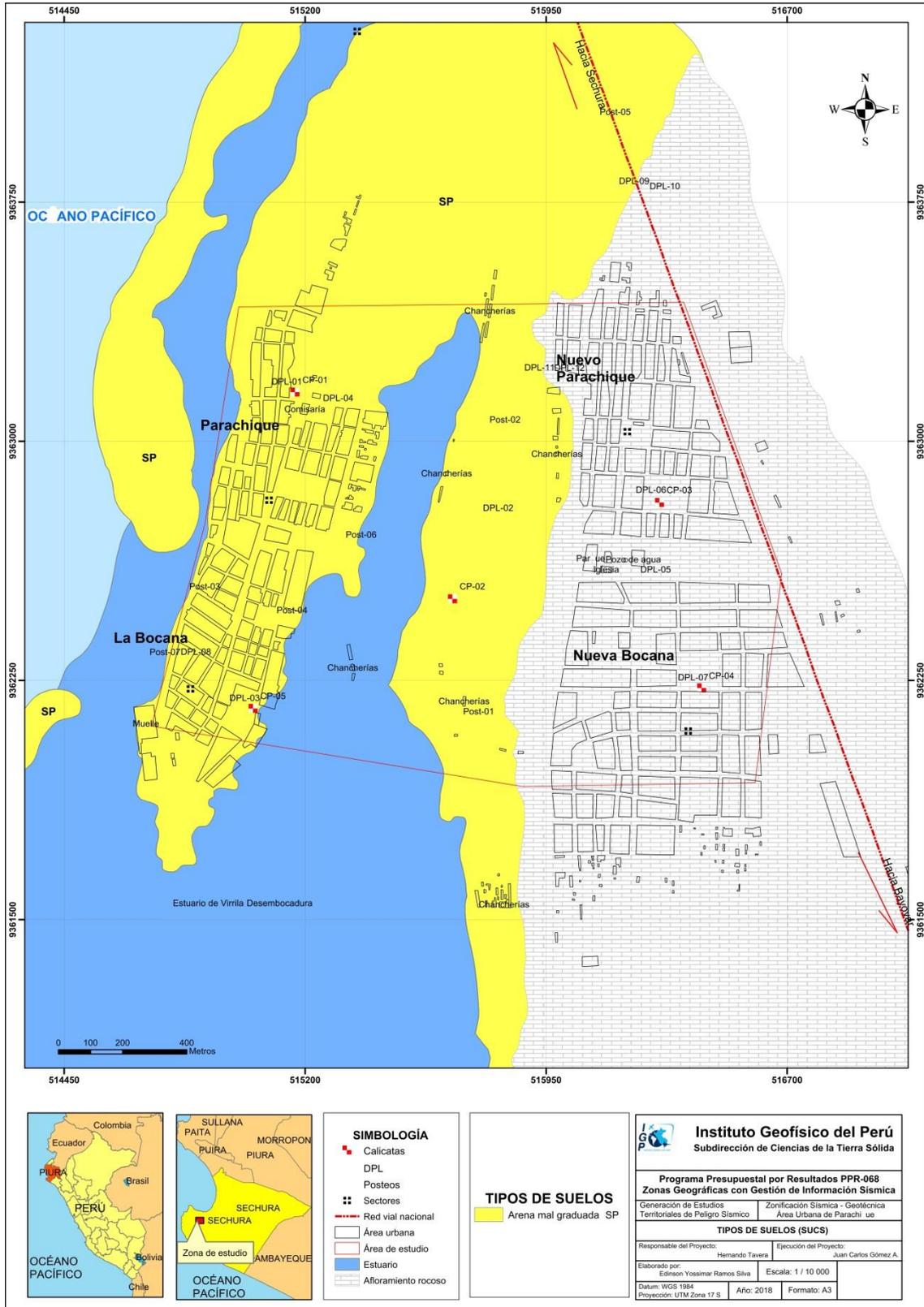


Figura 63: Mapa que muestra los tipos de suelos existentes en el C.P. Parachique.

**Suelos tipo SP:** Estos suelos están conformados por arenas pobremente graduadas, muy finas de color gris oscuro y con tonalidades amarillentas por la presencia de poco limo. Estos suelos se identificaron en las calicatas realizadas en el Sector Barrio Chino (CP-05), frente al local comunal de pescadores artesanales de Parachique (CP-01) y en la parte oeste del pueblo de la Bocana de Parachique frente al mar. La presencia de arenas grises parduscas claras, se identificaron en la zona susceptible a inundación fluvio-lacustrina (CP-02) y en la parte norte de dicho poblado. Las compacidades relativas de estos suelos van desde sueltas a muy sueltas. En la zona, el nivel freático se encuentra a una profundidad promedio de 0.79 m. En el sector de Nuevo Parachique (CP-03) se identificó la presencia de arenas pobremente graduadas de color gris pardusco claro, que se encuentran infrayaciendo a rocas calizas bioclásticas de 2.80 m de espesor. Estas presentan una compacidad relativa media.

A continuación, en la Tabla 23 resume los tipos de suelos existentes en la localidad de Parachique.

Tabla 23: Clasificación SUCS para los suelos identificados en la localidad de Parachique.

CALICATA	PROFUNDIDAD	NIVEL FREÁTICO	GRAVAS % (>4.76 MM)	ARENAS % (>0.074 MM, <4.76 MM)	FINOS % (<0.074 MM)	LÍMITE LIQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
CP-01	1.20/ 3.00	0.9	0	99.6	0.4	N.P	N.P	N.P	23.63	SP	Arena pobremente graduada
CP-02	1.40/ 2.80	1	2.4	97.6	0.05	N.P	N.P	N.P	21.45	SP	Arena pobremente graduada
CP-03	0.70/ 2.80	N.P	3.1	95.1	1.88	N.P	N.P	N.P	3.86	SP	Arena pobremente graduada
CP-04	1.80/ 3.30	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	Roca
CP-05	1.00/ 2.00	1.2	N.P	98.5	1.5	N.P	N.P	N.P	22.8	SP	Arena pobremente graduada

## 6.6. 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).

Para conocer esta resistencia al corte en laboratorio se usa el equipo de corte directo, siendo el más usado una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con dos placas de piedra porosa en ambos extremos, se aplica una carga vertical de confinamiento (Pv) y luego una carga horizontal (Ph) creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra.

### 6.6.1. 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 portante de carga admisible obtenida para los 3 tipos de suelos identificados en la localidad de Parachique se presentan en la Tabla 24.

Tabla 24: Capacidad de carga admisible para las muestras de suelos extraídos en la localidad de Parachique (FG: Falla General, F.L: Falla local. N.P.: No presenta).

MUESTRA	Capacidad de carga última (Kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de Corte	Capacidad de carga última (Kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de Corte
CP-01	2.59	0.86	F.L	3.15	1.05	F.L
CP-02	2.46	0.82	F.L	3.02	1.01	F.L
CP-05	2.17	0.72	F.L	3.21	1.07	F.L
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00m			Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00m		

De acuerdo a los valores del ángulo de fricción corregido y los datos de cohesión

de los suelos obtenidos mediante el corte directo, se determinó las capacidades portantes de los suelos investigados para una profundidad de cimentación de 1.00 y 1.50m y un ancho de zapata de 1.00 m (Tabla 25).

Tabla 25: Capacidad de carga admisible (criterio de falla general y local) para el C.P. Parachique.

ENSAYO	Capacidad de carga última (kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de corte	Capacidad de carga última (kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de corte
DPL – 01	2.59	0.86	F.L	2.73	0.91	F.L
DPL – 02	2.46	0.82	F.L	2.64	0.88	F.L
DPL – 03	2.17	0.72	F.L	1.78	0.93	---
DPL – 04	1.73	0.58	F.L	1.91	0.64	F.L
DPL _ 08	1.35	0.45	F.L	1.97	0.66	---
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00			Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00		

De los resultados obtenidos los suelos de la localidad de Parachique presentan capacidades portantes muy bajas (< 1.00 Kg/cm<sup>2</sup>) a 1.00-1.20 m de profundidad, debido que se identificaron, en algunos sectores, nivel freático superficial, a una profundidad menor a 1 m. (Tabla 26).

Tabla 26: Rangos de capacidad de carga admisible.

Capacidad Carga Admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	DENOMINACIÓN
< 1.0	MUY BAJA
1.0 - 2.0	BAJA
2.0 - 3.0	MEDIA
> 3.0	ALTA

### 6.6.2. Tipos de Capacidad admisible

En el C.P. Parachique se han identificado los siguientes tipos de capacidades portantes admisibles (Figura 64):

**Capacidad de carga admisible muy baja:** Comprende rangos de capacidad de carga admisible <1.00 kg/cm<sup>2</sup> y corresponde al tipo de suelo arenoso pobremente graduado y con escaso limo (SP). Estos A.H. La Bocana de Parachique (calicatas CP-01, CP-02, CP-05) y presentan una compacidad relativa suelta a muy suelta, con la probabilidad de licuefacción de suelos; su capacidad portante admisible presenta valores entre 0.45 y 0.86 kg/cm<sup>2</sup>.

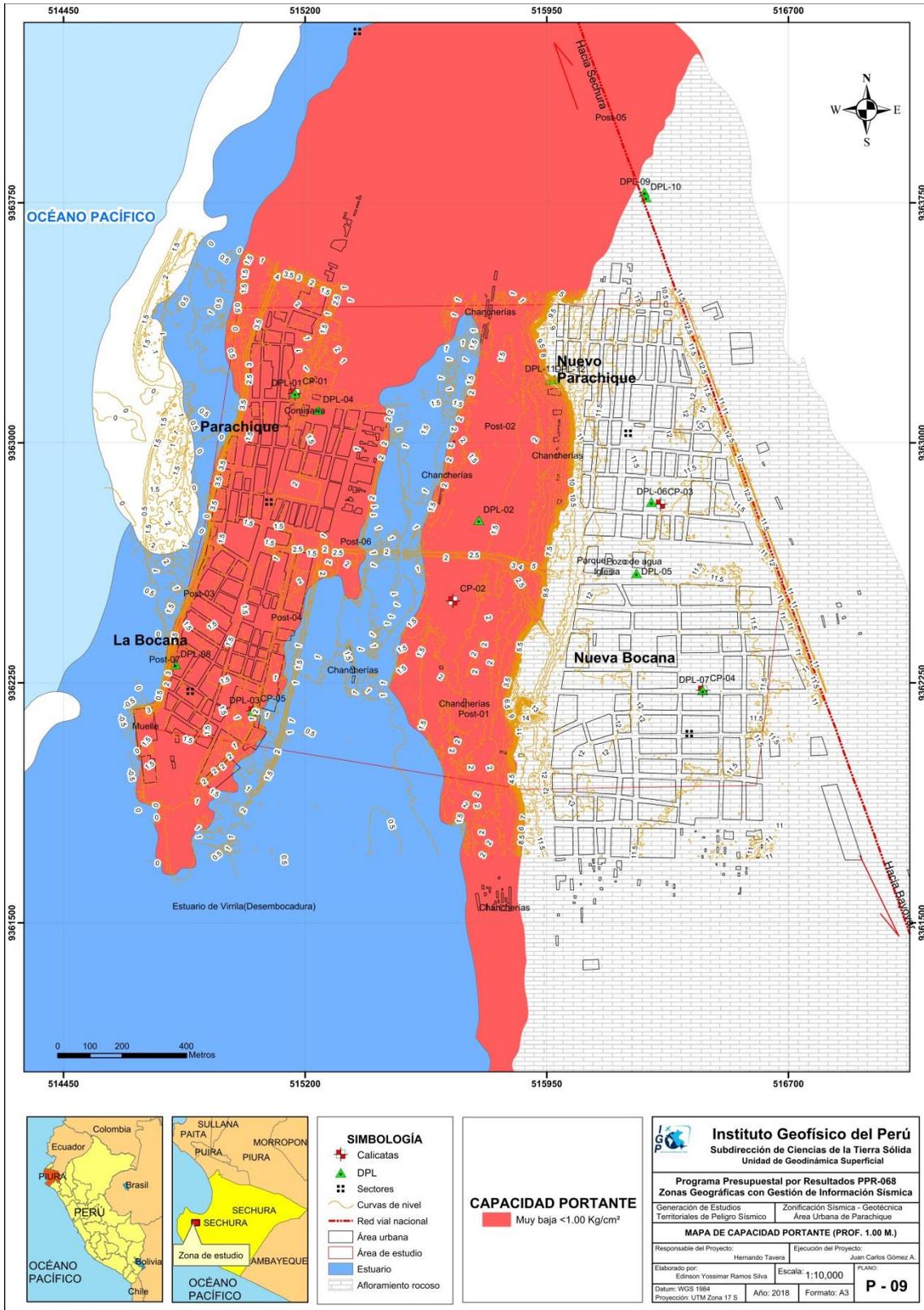


Figura 64: Mapa de la capacidad portante para el C.P. Parachique.

## CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica para la ciudad de Sechura y C.P. Parachique, han permitido llegar a las siguientes conclusiones:

### Ciudad de Sechura

- Las pequeñas terrazas fluvio-lacustrina, ubicadas a 200 m al SO del puente Sechura, son generadas por depositación de sedimentos transportados por escorrentías superficiales y por desborde del río Sechura en combinación con aguas de mar. En tiempos de lluvias extremas inundan la zona baja, formando una laguna de agua dulce y salada que perdura varios meses en este sector.
- A escala local de 1:15,000, se reconoció que la Formación Miramar también se encuentra aflorando al sureste de la localidad de Sechura, a inmediaciones del sector Nuevo Chulliyachi. Las facies de conglomerados que afloran sobre la formación Miramar, se asumen que es parte de la Formación post-Miramar y pre-Tablazo, y que se acuña en sentido sur- este, además de reducir su espesor de 8m a 0.60 m.
- Las inundaciones fluviales registradas en épocas de precipitaciones extremas, originan el desborde del río Sechura para afectar que afectan las zonas bajas del área central de esta localidad. Por ejemplo áreas de cultivo, calles laterales del mercado municipal, Urb. La Ribera, A.H. Las Peñitas y A.H. Víctor Raúl. Al desbordarse el río Sechura, en su desembocadura hacia el mar, sus aguas se mezclan con las aguas marinas, originando una laguna o albúfera ubicada al este de dicha localidad. En periodos de precipitaciones extremas, afectan por inundación a los pueblos ubicados al oeste y suroeste de Sechura como el A.H. Los Pinos y el A.H. 3 de Enero.
- Se identificó un flujo de detritos, que por reactivación de la Quebrada estacional San Valentín, afectaría a la carretera Bayóvar y a poblados aledaños, ubicados en la zona de expansión urbana al sur de la ciudad de Sechura.
- En base a los resultados muestreados para los ensayos de laboratorio y clasificación de sus propiedades físico-mecánicas, el 23% de la población de la localidad de Sechura se asienta sobre terrenos de gravas pobremente graduadas (GP), el 20% sobre suelos agrícolas (SP- SM), el 38% sobre arenas arcillosas con gravilla (SC) y el 26 %, sobre arenas mal graduadas (SP).
- En la localidad de Sechura se identificó 4 tipos de suelos con sus respectivas

capacidades portantes admisibles a una profundidad de 1.00 a 1.20 m: gravas pobremente graduadas con compacidad media (GP) capacidad portante baja de 1.15 Kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, las arenas pobremente graduadas (SP) con compacidad suelta a media, presentan capacidad portante muy bajas entre 0.31 y 0.42 Kg/cm<sup>2</sup>; arenas arcillosas con mezcla de arenas limosas (SC) con consistencia muy baja a media y capacidad portante entre 0.55 y 1.66 Kg/cm<sup>2</sup>. Las arenas pobremente graduadas, con mezcla de arenas limosas (SP-SM), presentan compacidad suelta y una capacidad portante muy baja de 0.41 Kg/cm<sup>2</sup>.

### **Centro Poblado Parachique**

- Los suelos en la localidad de Parachique están conformados por arenas pobremente graduadas (SP) representando el 37% del área total estudiada y en donde se asienta el poblado de la Bocana de Parachique. El 31.7% del área total estudiada, lo conforma la roca caliza bioclástica de la Formación Tablazo Lobitos, donde se asienta el poblado de Nuevo Parachique, el resto del área está ocupado por el Océano Pacífico y el estuario de Virrilá.
- En la localidad de Parachique los suelos están conformados por arenas pobremente graduadas (SP), presenta capacidades portantes admisibles muy bajas entre 0.45 y 0.86 kg/cm<sup>2</sup>. Estas fueron identificados en el poblado de la Bocana de Parachique, (CP-01, CP-02, CP-05) y con de compacidad relativa suelta a muy suelta; además de generar licuefacción de suelos debido a que presentan nivel freático superficial que al interactuar con un evento sísmico de alta magnitud provocaría la ocurrencia de daños a las infraestructurales civiles que yacen sobre estos suelos.
- Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permiten identificar en Sechura un pico de frecuencia bien definido, y con valores de 1.5 a 2.3 Hz; además existe extensas áreas que responden a un segundo rango de frecuencias con valores 3.5 a 19 Hz, principalmente en la zona este y noreste de la ciudad y en Parachique. Los valores bajos de frecuencias se asocian a la presencia de depósitos sedimentarios de mayor espesor que dominan la ciudad y los valores altos, evidencian la existencia de una capa sedimentaria superficial de menor espesor que dominan el área de Parachique y gran parte de la ciudad de Sechura.
- Los sectores de Bajo Parachique y los asentamientos humanos Virgen del Carmen y El Pescador, presentan suelos saturados a 3 metros de profundidad debido a la intrusión marina y el aporte de la laguna La Niña; además el sector de Bajo

Parachique se encuentra a nivel o por debajo del nivel del mar, como consecuencia, se puede encontrar suelos saturados por encima de los 3 metros.

- En el caso de Alto Parachique y al este de Sechura, presentan suelos parcialmente saturados a partir de los 10 metros, teniendo suelos resistivos en la parte superficial lo cual se correlaciona con las velocidades de ondas encontradas.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Sechura y C.P. Parachique 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 S1, S2 y S4.
- En el sector de Nuevo Parachique (calicata CP-03), se identificaron arenas pobremente graduadas de color gris pardusco a amarillento. Presentan compacidad relativa media y se encuentran infrayaciendo a roca caliza bioclástica de 2.80 m de espesor.

**CARACTERIZACIÓN SÍSMICA Y GEOFÍSICA DE LA  
CIUDAD DE SECHURA Y C.P. PARACHIQUE**

## CONTENIDO

### 1. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

#### 1.1. Razones espectrales (H/V)

##### 1.1.1. Adquisición de datos

##### 1.1.2. Procesamiento de datos

##### 1.1.3. Análisis y resultados

##### 1.1.3.1. Frecuencias Predominantes

#### 1.2. Análisis Multicanal de ondas Superficiales MASW

##### 1.2.1. Adquisición de datos

##### 1.2.2. Procesamiento de datos

##### 1.2.3. Análisis y resultados

##### 1.2.3.1. Perfiles de velocidad de ondas de corte Vs

#### 1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica ERT

##### 1.3.1. Adquisición de datos

##### 1.3.2. Procesamiento de datos

##### 1.3.3. Análisis y resultados

##### 1.3.3.1. Secciones Geo-eléctricas

### 2. ZONIFICACIÓN SÍSMICA- GEOTÉCNICA

#### 2.1. Integración de resultados

#### 2.2. Zonificación Sísmica- Geotécnica

### CONCLUSIONES

## 1. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

El estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica para la ciudad de Sechura y del C.P. Parachique, se ha realizado con datos recolectados en campo y con la aplicación de los métodos geofísicos y sísmicos 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). 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.

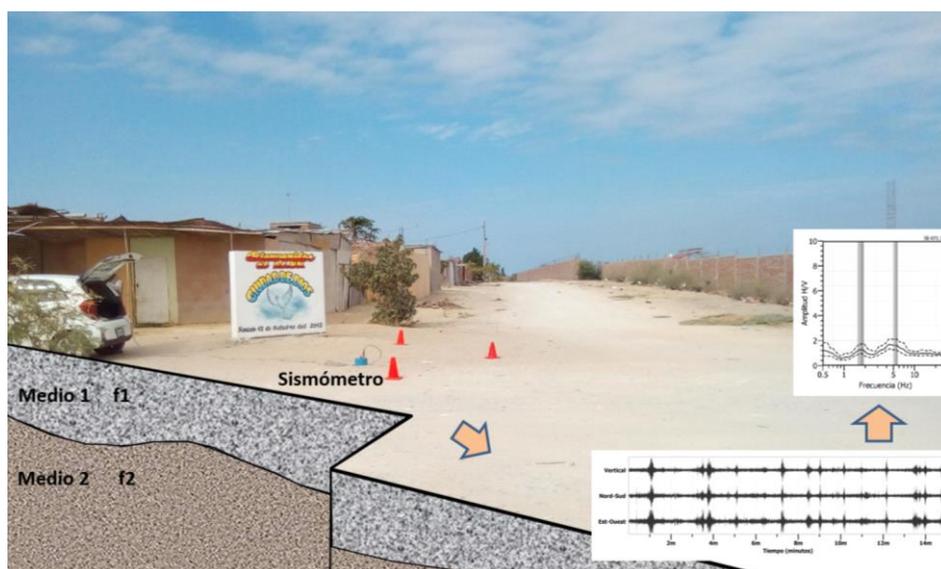


Figura 1: Registro de vibración ambiental.

### 1.1.1. Adquisición de datos

Los registros de vibración ambiental son obtenidos con equipos sísmicos compuestos por un registrador tipo CityShark y sensores de tres componentes tipo Lennartz, ver Figura 2.



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

Para la aplicación de esta técnica se procedió, sobre el mapa catastral de las áreas urbanas de Sechura y Parachique, a definir la distribución y el número de puntos para el registro de vibraciones ambientales teniendo en cuenta la información geológica y geomorfológica de la zona de estudio. Cada uno de los puntos de registro de vibración ambiental obtenidos en campo, tienen una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de información para su posterior análisis. En el área de estudio, se consideró 122 registros de vibración ambiental distribuidos de manera homogénea en toda el área de estudio (Figura 3).

En la Figura 4, 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 SE-01 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en SE-35, 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.

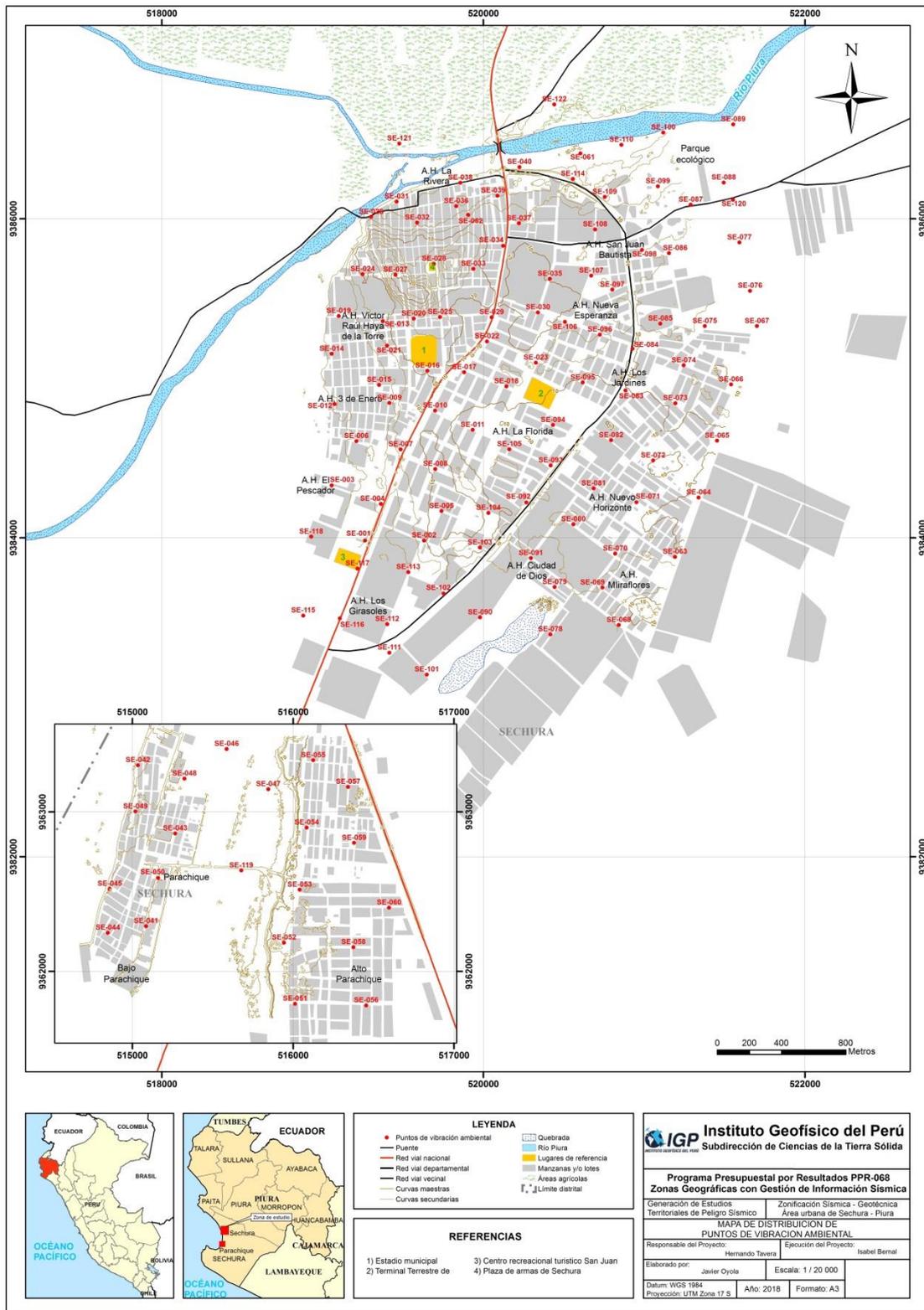


Figura 3: Mapa catastral de Sechura y C.P. Parachique, y distribución de puntos donde se tomaron registros de vibración ambiental HV.

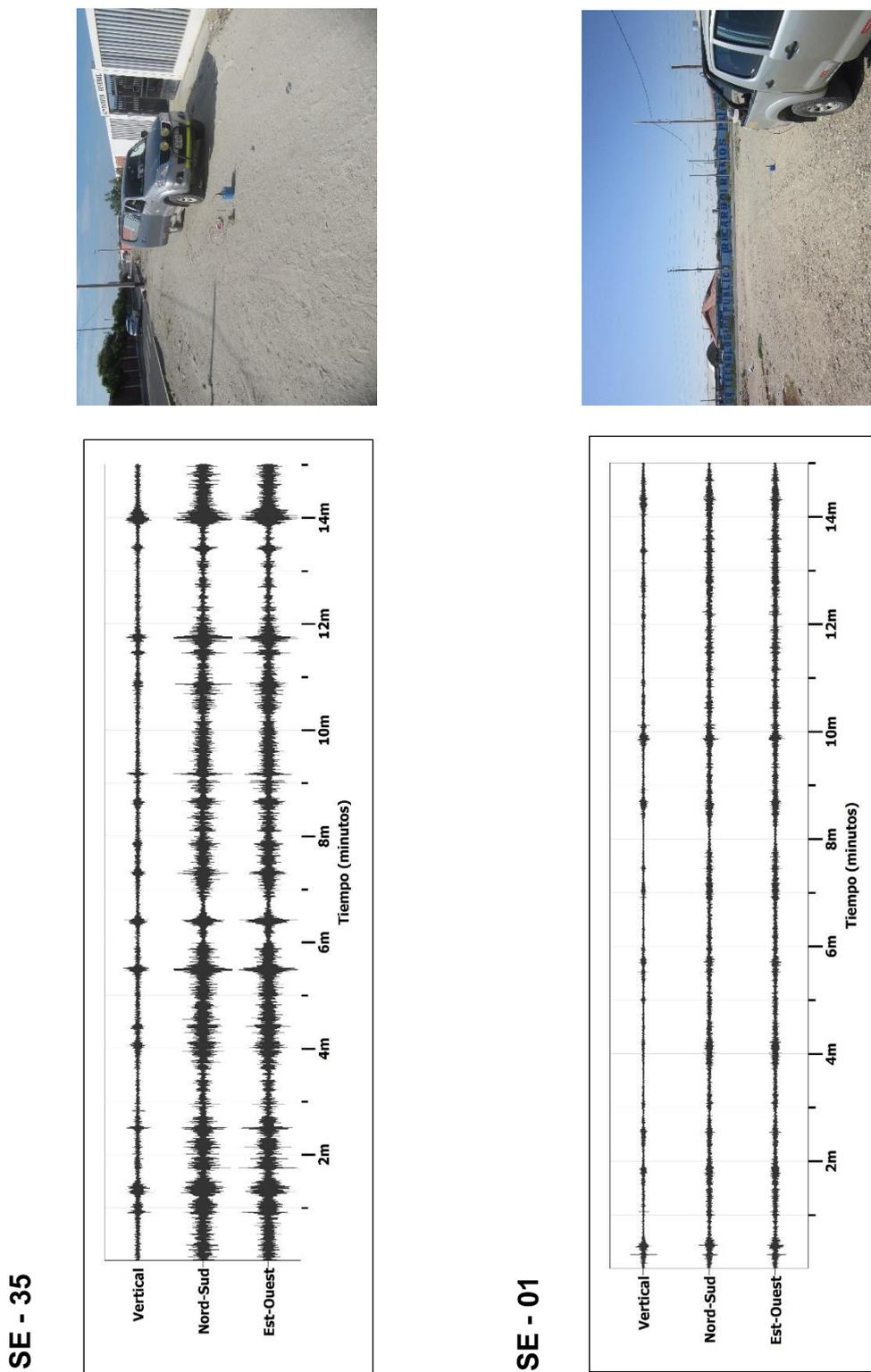


Figura 4: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (SE-35) y otro con ruido de fondo constante (SE-01). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

### 1.1.2. Procesamiento de datos

**Procesamiento:** Para aplicar la técnica de cocientes espectrales H/V, se consideran los siguientes pasos:

- Los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas de 20 segundos de señal no perturbada por el ruido de fondo. Para tal efecto, se selecciona, de forma aleatoria, diversos tramos de señal evitando la presencia de ruidos transitorios.
- Se calcula la Transformada Rápida de Fourier para un número mayor a 10 ventanas de observación para cada punto.
- Los espectros horizontales de la señal se dividieron entre el espectro vertical para obtener la relación H/V y luego se promediaron estos para cada punto de observación, siempre considerando su respectiva desviación estándar.
- Se procedió a identificar la frecuencia predominante considerando, un rango de interés que fluctúa entre 0.5 a 20 Hz y picos/rangos con amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de “1” como punto de referencia).

El procesamiento de la información se ha realizado con el programa computacional GEOPSY. En la Figura 5, se muestra un ejemplo del procedimiento seguido para el total de datos obtenidos 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 línea continua de color negro es el promedio del cociente H/V; mientras que, las curvas discontinuas son la desviación estándar y las bandas grises, las frecuencias principales. Finalmente, para la presentación de los resultados, las frecuencias son expresadas en periodos dominantes.

**Interpretación:** Para la interpretación de los resultados se dispone de mapas geológicos, geomorfológicos, capacidad portante y clasificación de suelos (SUCS). En el análisis de la información se debe considerar: 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, 2006; Bernal, 2006).

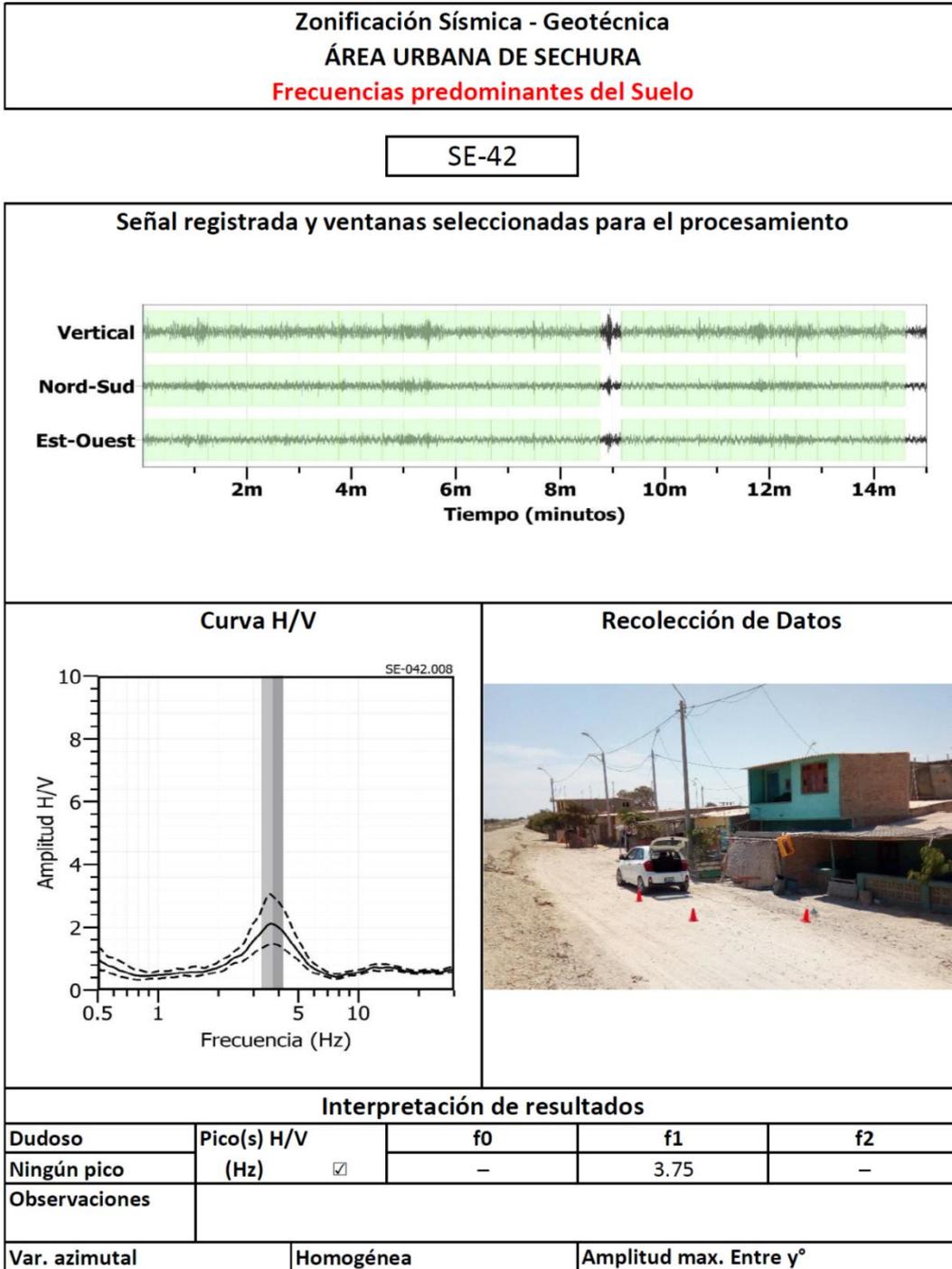


Figura 5: Ejemplo de la ficha H/V para el punto SE-42 en la cual se recopila los datos registrados y analizados. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas y Abajo resultados.

### 1.1.2. Análisis y resultados

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, llegando a definir dos rangos de frecuencias: F0 ( $F \leq 3.0$  Hz) y F1 ( $F > 3.0$ Hz), algunos muestran un

pico de frecuencia bien definido y otros dos picos de frecuencia. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en Sechura y Parachique.

### 1.1.2.1. Frecuencias Predominantes

**- Frecuencias predominantes ( $F_0$ ):** En la Figura 6, se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de  $F_0$ , con el predominio de valores entre 1.5 a 2.3 Hz. Estos están presentes en toda el área urbana de Sechura, lo cual evidencia la presencia de una capa sedimentaria de gran espesor.

En la Figura 7 se muestra ejemplos de razones espectrales para los puntos SE-01(A), SE-07(B) y SE-24(E), ubicados en el A.H El Pescador y al oeste de la plaza de Armas, todos presentan un pico de frecuencias bien definido a 1.88, 1.86 y 1.89 Hz con amplificaciones menores a 2 veces.

Las razones (H/V) obtenidas para los puntos SE-15(C), SE-114(K) y SE-115(L), el primero por el estadio municipal y por el centro recreacional turístico San Juan, presentan un pico bien definido a frecuencias de 1.61, 1.69 y 2.12Hz y amplificaciones menores a 2 veces. Los puntos SE-35(F), SE-36(G) y SE-61(H), ubicados en la zona norte, el primero por el A.H. Nueva Esperanza, el segundo por el A.H. La Rivera y el ultimo cerca del río Piura, responden a frecuencias predominantes de 1.81, 1.98 y 1.84 con amplificaciones de 1.2, 1.1 y 2.5 veces; además los suelos responden a un segundo pico con frecuencias de 14.45, 13.60 y 14.53 Hz con amplificaciones menores de 1.8, 1.4 y 2.8 veces. Estos resultados muestran que los suelos en estos sectores, presentan un comportamiento dinámico muy complejo. Por otro lado, en los los puntos SE-23(D), SE-65(I) y SE-91(J), ubicados por el terminal terrestre de la ciudad, al oeste por el A.H. La Perla y por el A.H. Ciudad de Dios, los suelos no responden a ninguna frecuencia predominante, lo cual define la presencia de suelos bien compactos. En el C.P. de Parachique, no se ha identificado el rango de frecuencia  $F_0$ , lo cual sugiere que estos suelos no responden a frecuencias bajas.

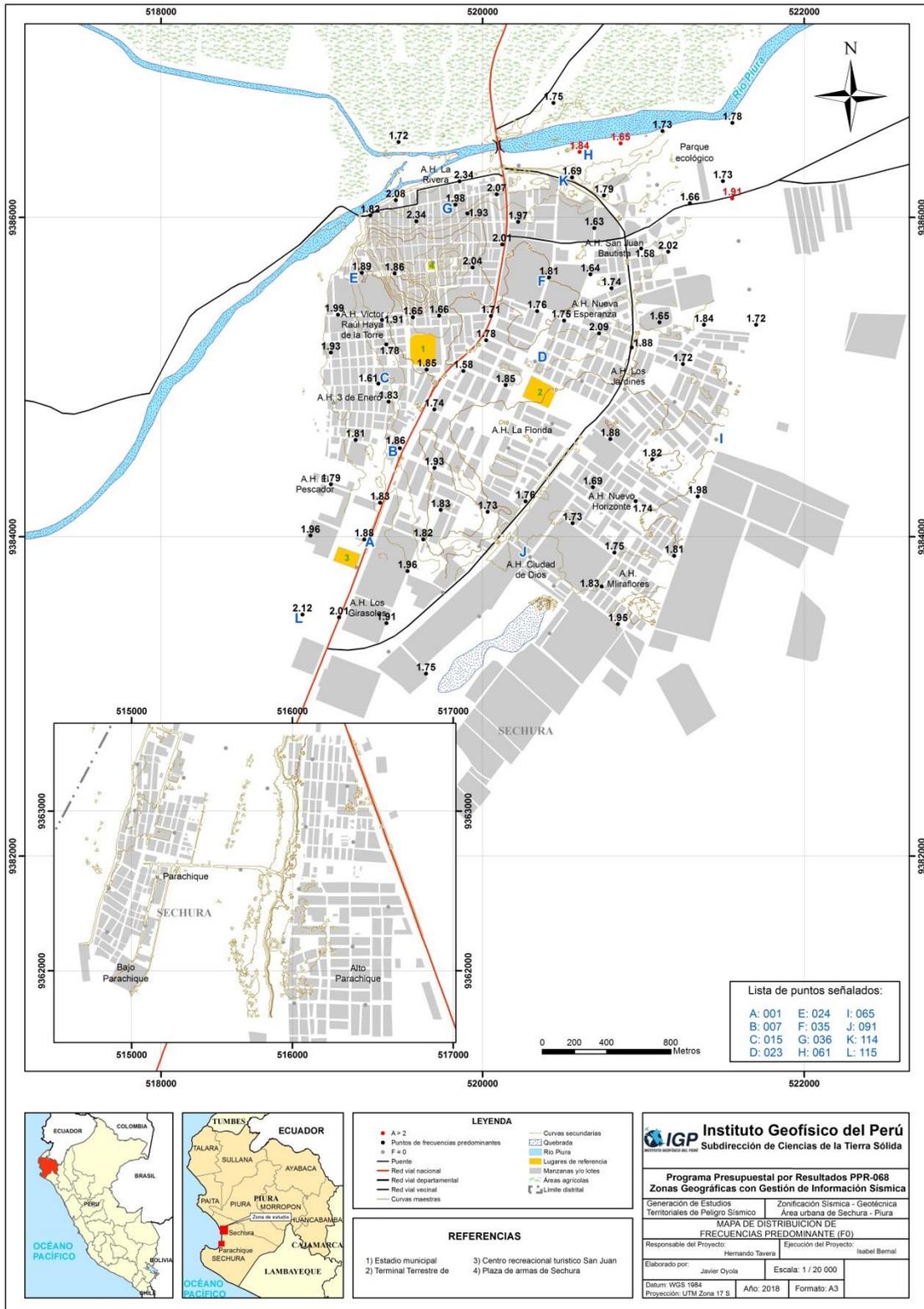
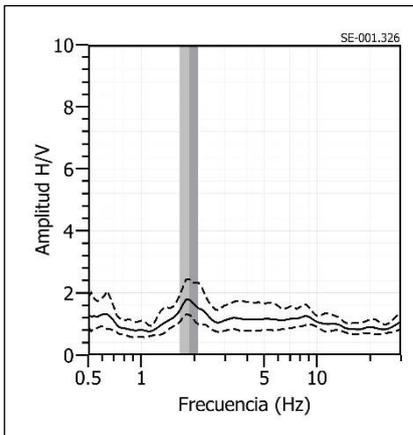
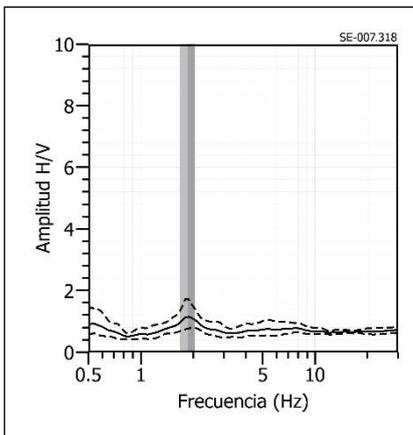


Figura 6: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes  $F_0$  ( $F \leq 3.0\text{Hz}$ ). Las letras indican la ubicación de los gráficos de la Figura 7.

**SE - 01**



**SE - 07**



**SE - 24**

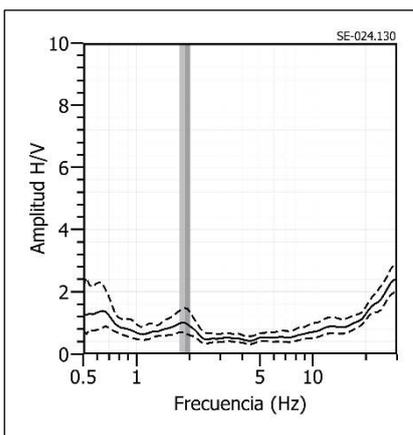
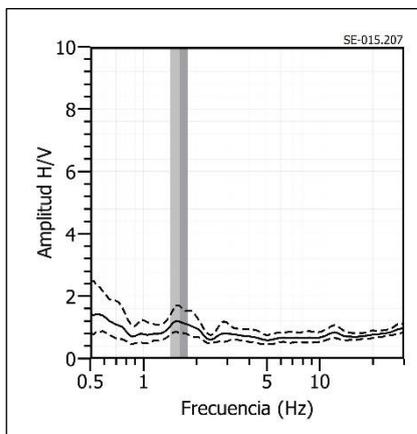
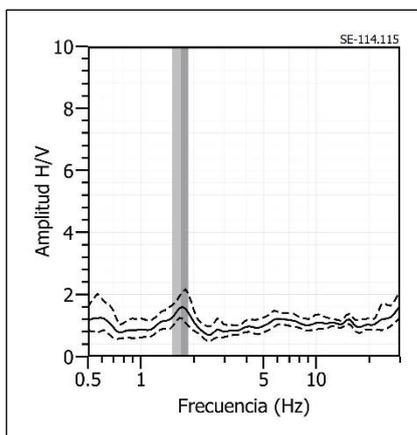


Figura 7: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango  $F_0$  ( $F \leq 3.0\text{Hz}$ ): Puntos SE-01(A), SE-07(B) y SE-24(E), ubicados por el A.H El Pescador y al oeste de la Plaza de Armas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**SE - 15**



**SE - 114**



**SE - 115**

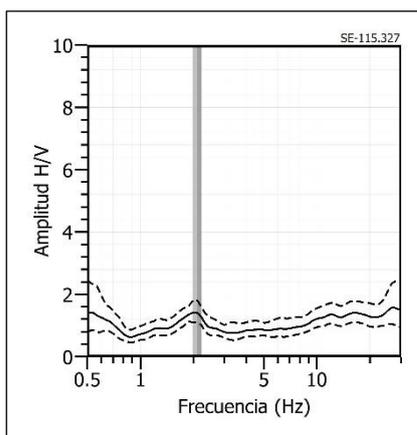
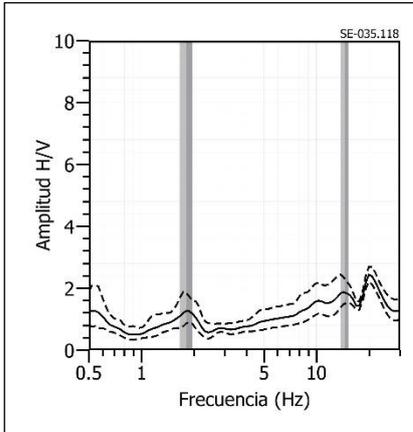
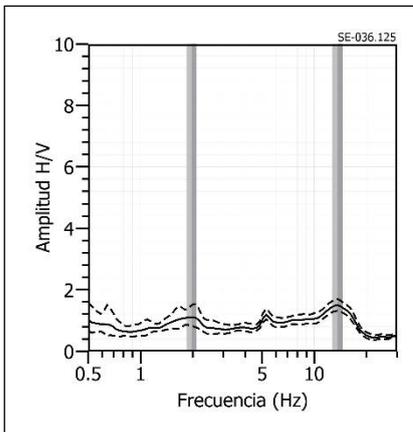


Figura 8: Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango  $F_0$  ( $F \leq 3.0\text{Hz}$ ). Puntos SE-15(C), SE-114(K) y SE-115(L), ubicados el primero por el estadio municipal y por el centro recreacional turístico San Juan. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**SE - 35**



**SE - 36**



**SE - 61**

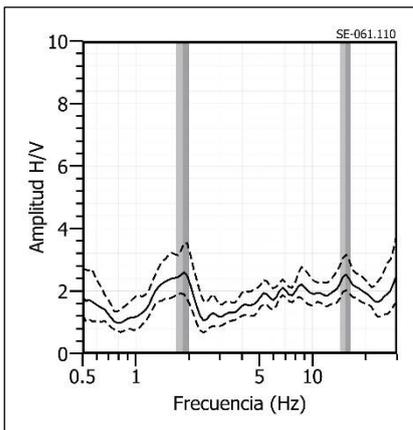
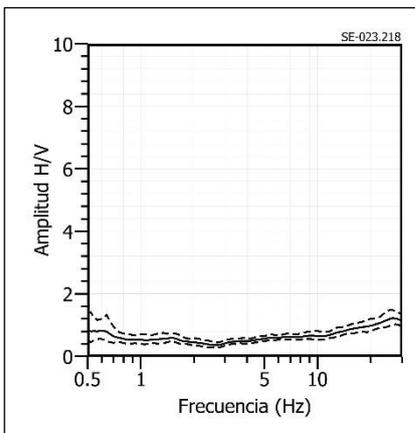
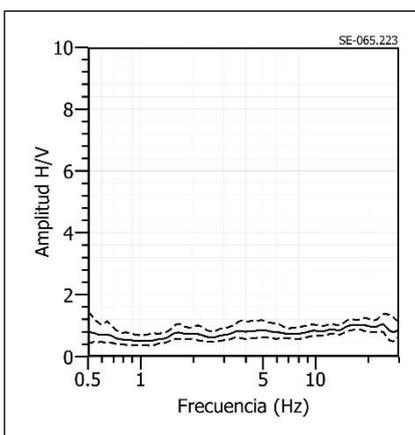


Figura 9: Continuación/ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango  $F_0$  ( $F \leq 3.0\text{Hz}$ ): Puntos SE-35(F), SE-36(G) y SE-61(H), ubicados al norte, el primero por el A.H. Nueva Esperanza, el segundo por el A.H. La Rivera y el último cerca del río Piura. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**SE - 23**



**SE - 65**



**SE - 91**

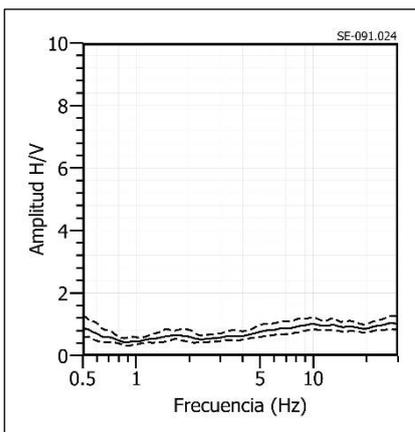


Figura 10: Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango  $F_0$  ( $F \leq 3.0\text{Hz}$ ): Puntos SE-23(D), SE-65(I) y SE-91(J), ubicados el primero por el terminal terrestre de la ciudad, el segundo al oeste por el A.H. La Perla y el tercero por el A.H. Ciudad de Dios. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**-Frecuencia predominante  $F_1$ :** De acuerdo a la Figura 11, para el rango de  $F_1$  ( $F > 3.0$  Hz), las frecuencias varían entre 3.5 a 19 Hz y en su mayoría, las amplificaciones son menores a 2 veces y en algunos puntos, mayores a 2 veces. Este rango de frecuencias, está presente de manera uniforme en el C. P. Parachique y de manera puntual en Sechura. En la Figura 12, se muestra ejemplos de los gráficos de razones espectrales que caracterizan los suelos de esta ciudad en este rango de frecuencias.

En los puntos SE-12(A), SE-73(I) y SE-78(K), ubicados en el A.H. Virgen del Carmen, el segundo al oeste y el tercero al sur por el A.H Ciudad de Dios, predominan un pico con amplificaciones mínimas a frecuencias de 14.15, 8.61 y 10Hz con amplificaciones relativas menores a 2 veces.

En los puntos SE-70(H), SE-71(C) y SE-81(K), ubicados al oeste por los AA.HH Nuevo Amanecer, Los Rosales y Villa Canadá, los suelos responden en dos rangos de frecuencias; el primero a frecuencias de 1.75, 1.74 y 1.69 Hz; y el segundo con frecuencias de 5.54, 5.42 y 5.43 Hz. Para ambos rangos, las amplificaciones son menores a 2 veces.

En cuanto a Parachique, las razones espectrales (H/V) obtenidas para los puntos SE-43(B), SE-45(C) y SE-48(D), ubicados en Bajo Parachique, presentan picos bien definidos a frecuencias de 6.77, 5.74 y 6.93 Hz y amplificaciones de 3.1, 2.3, 3.2 veces respectivamente. Así mismo, los puntos SE-51(E), SE-52(F) y SE-54(G), ubicados en Alto Parachique, responden a frecuencias predominantes de 6.62, 6.28 y 5.70 Hz con amplificaciones menores a 2 veces. Esto evidencia, que existe una capa sedimentaria, en la cual los suelos de Bajo Parachique tienen menor grado de consolidación y/o compactación respecto a los suelos de Alto Parachique.

Los resultados obtenidos muestran que en el 65% del área analizada en Sechura los suelos responden a rangos de frecuencias ( $F_0$ ) con amplificaciones menores a 2 veces, y el resto, a un segundo rango de frecuencias ( $F_1$ ); lo que indica la existencia de dos capas sedimentarias: una superficial de poco espesor presente en el extremo oeste y otra profunda, de mayor espesor, presente en toda la ciudad. En Parachique existe una sola capa sedimentaria, pero con una clara diferencia en su respuesta dinámica, entre Bajo Parachique, y Alto Parachique.

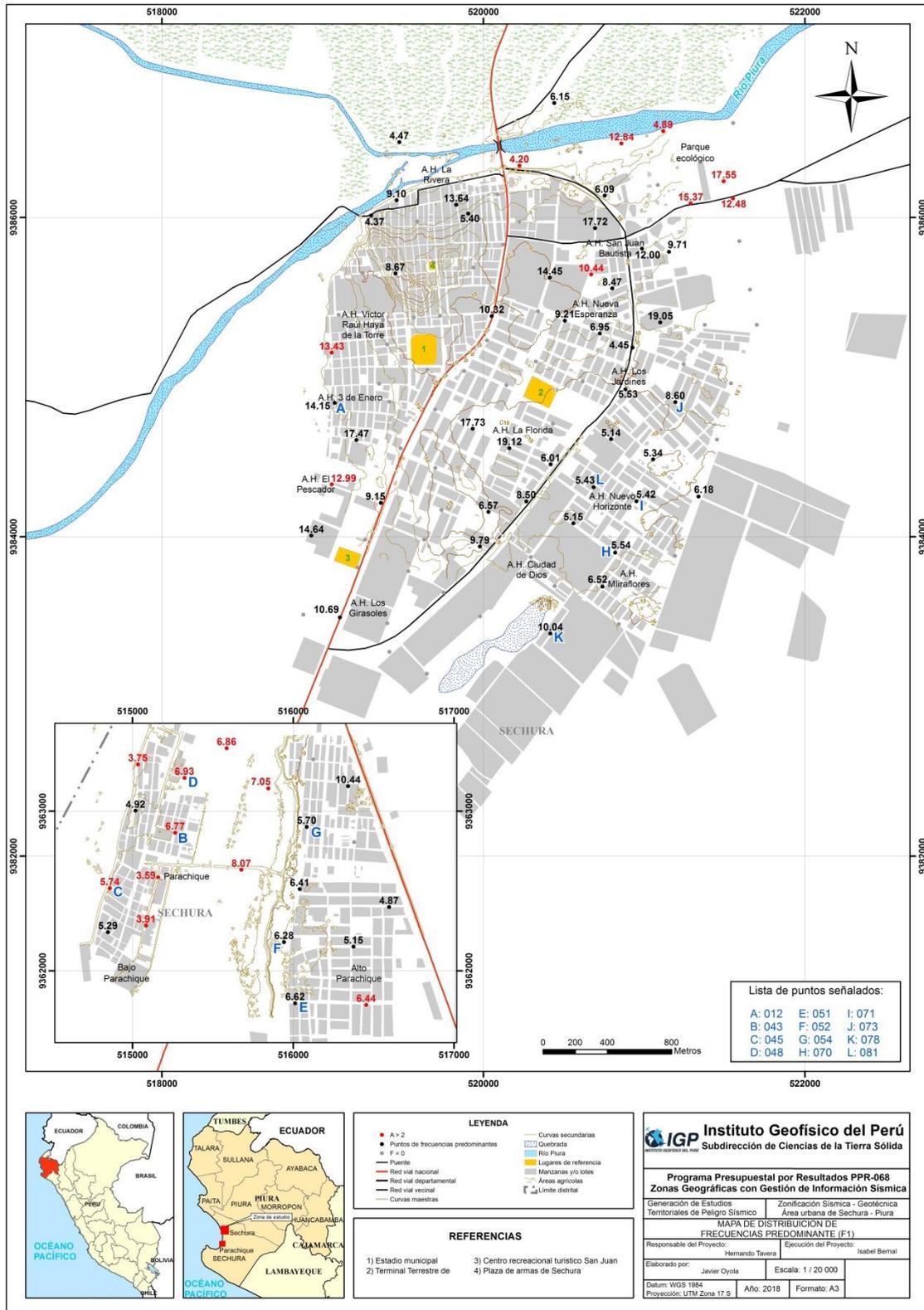
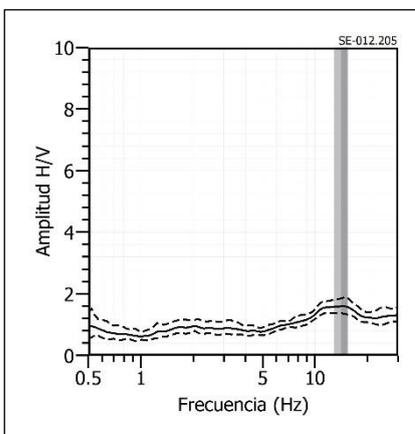
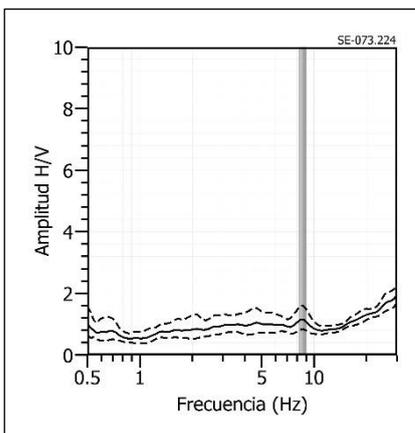


Figura 11: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes. Las letras indican la ubicación de los gráficos considerados en la Figura 12.

**SE - 12**



**SE - 73**



**SE - 78**

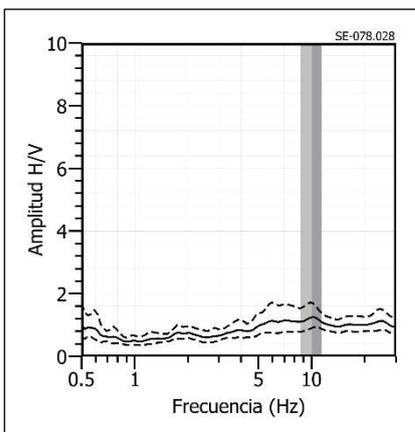
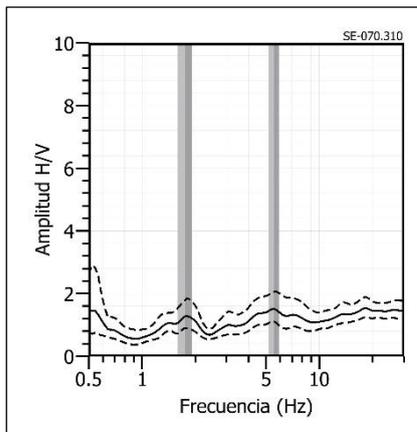
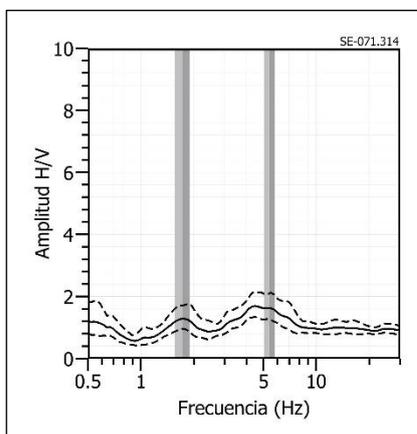


Figura 12: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ( $F > 3.0\text{Hz}$ ). Puntos SE-12(A), SE-73(I) y SE-78(K), ubicados el primero en el A.H. Virgen del Carmen, el segundo en el lado oeste de la ciudad y el tercero al sur por el A.H Ciudad de Dios. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**SE - 70**



**SE - 71**



**SE - 81**

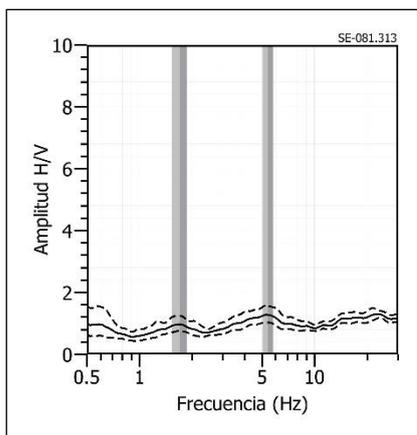
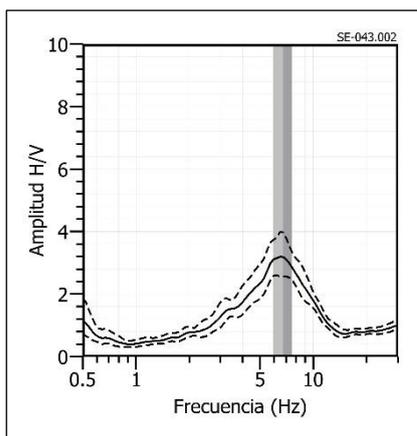
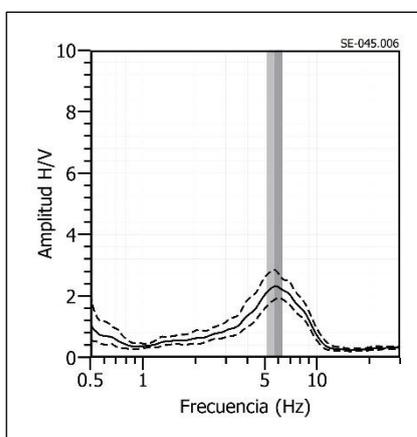


Figura 13: Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ( $F > 3.0\text{Hz}$ ). Puntos SE-70(H), SE-71(C) y SE-81(K), ubicados al lado oeste por los AA.HH Nuevo Amanecer, Los Rosales y Villa Canadá. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.



**SE - 45**



**SE - 48**

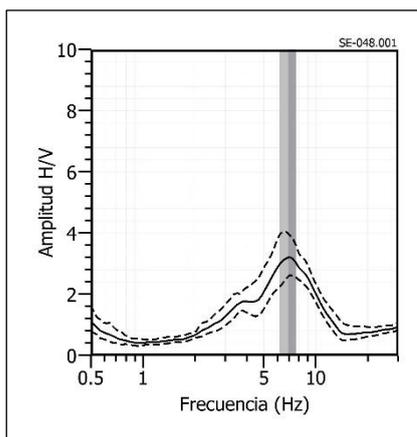
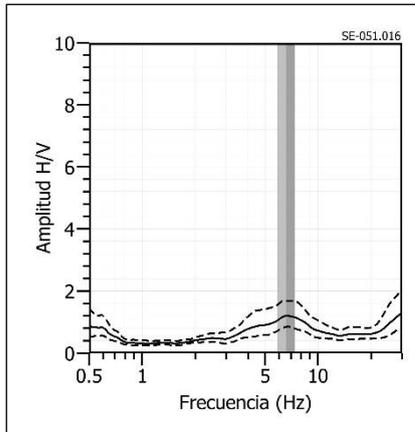
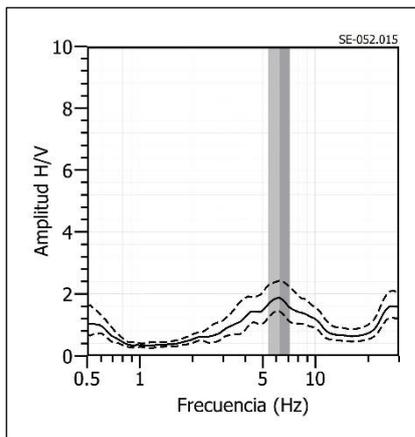


Figura 14: Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ( $F > 3.0\text{Hz}$ ). Puntos SE-43(B), SE-45(C) y SE-48(D), ubicados en bajo Parachique. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**SE - 51**



**SE - 52**



**SE - 54**

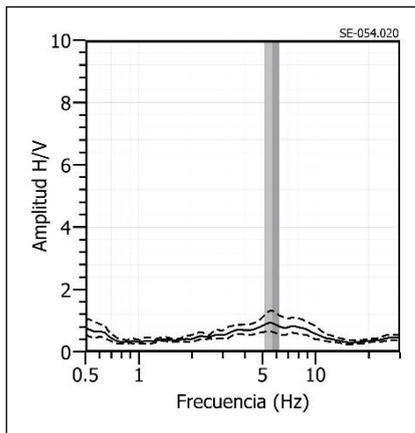


Figura 15: Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ( $F > 3.0\text{Hz}$ ). Puntos SE-51(E), SE-52(F) y SE-54(G), ubicados en Alto Parachique Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

El análisis de razones espectrales (H/V) en el área urbana de Sechura y en el C.P. de Parachique ha permitido identificar, dos rangos de frecuencias: F0 ( $\leq 3.0$  Hz) y F1 ( $> 3.0$  Hz). El primer rango de frecuencias predomina en los suelos de Sechura de manera uniforme y con bajas amplificaciones.

El segundo rango (F1), se presenta de manera puntual hacia el extremo oeste de Sechura y en todo C.P. Parachique. Presentan mínimas amplificaciones, a excepción de Bajo Parachique, ya que en este sector, existen suelos menos consolidados que en el resto del área de estudio.

Los suelos del área urbana de Sechura responden principalmente a frecuencias de 1.5 a 2.3 Hz, lo cual sugiere la presencia en su base, de una capa sedimentaria de gran espesor.

## 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 la Figura 16.

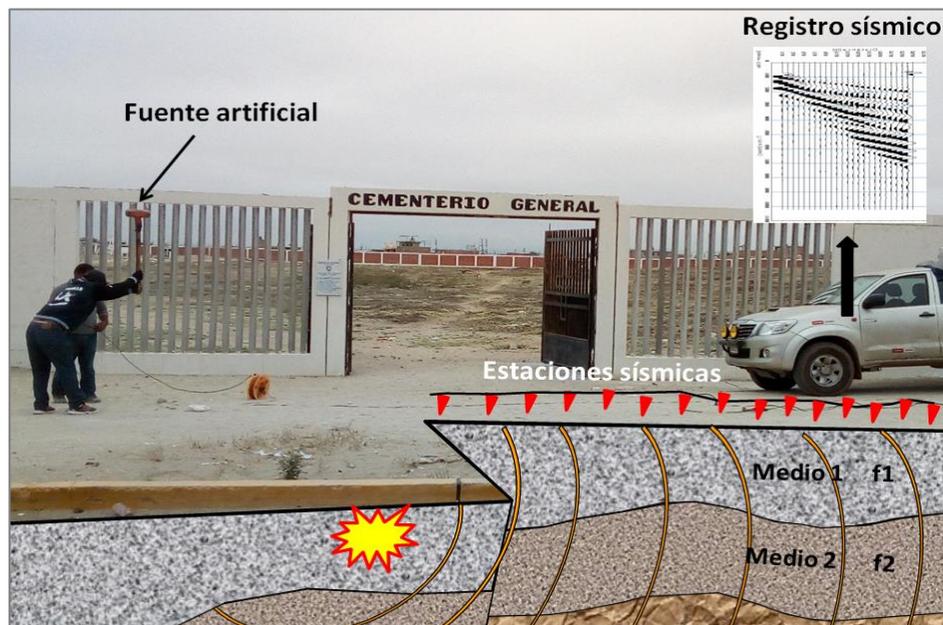


Figura 16: Generación de ondas Rayleigh con fuente artificial y su respectiva curva de dispersión.

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).

### 1.2.1. Adquisición de datos

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 17. 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 17: Equipo sísmico para la toma de datos de MASW en el centro del área urbana de Sechura.

En Sechura y Parachique se realizaron 09 arreglos lineales MASW cuyas coordenadas se muestran en la Tabla 2 y en la Figura 18, la distribución espacial de cada una de ellas codificadas como: LS01-SE..., y LS09-SE.

Tabla 2. Coordenadas y características de los arreglos lineales MASW realizados en Sechura y Parachique.

Arreglo lineal MASW	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-SE	521075	9386293	17	4	92
	521063	9386380	17		
LS02-SE	520389	9385541	5	4	92
	520416	9385631	6		
LS03-SE	519427	9384954	16	4	92
	519337	9384956	13		
LS04-SE	514887	9362331	14	4	92
	514810	9362381	14		
LS05-SE	515623	9362445	6	4	92
	515697	9362502	6		
LS06-SE	516493	9362181	20	4	92
	516492	9362089	19		
LS07-SE	519483	9386131	12	4	94
	519567	9386171	16		
LS08-SE	520953	9384067	21	4	92
	520873	9384120	21		
LS09-SE	519295	9383606	11	4	92
	519211	9383634	12		



Figura 18: Mapa del área urbana de Sechura y Parachique, y distribución espacial de los arreglos lineales MASW codificados como: LS01-SE, ..., LS09-SE.

Durante la adquisición de datos se visualiza los sismogramas, a fin de verificar su calidad y el nivel de ruido, tal como se observa en la Figura 19. Para mejorar la relación señal/ruido fue necesario realizar apilamientos de señales (sumatoria de registros sísmicos), obtenidos en 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 coherencia con la geología local.

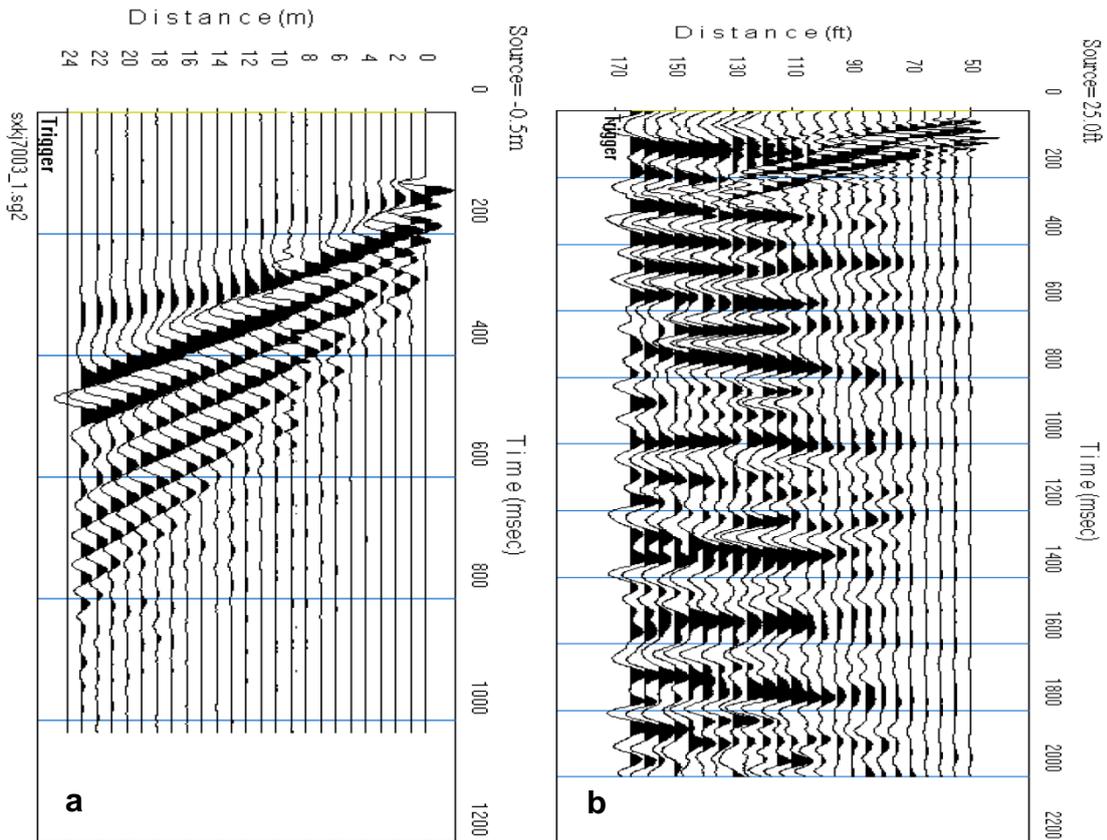


Figura 19: a) Registro sísmico con bajo contenido de ruido ambiental. b) Registro sísmico con alto contenido de ruido ambiental.

En la Figura 20, como ejemplo, se muestra la disposición del equipo y el registro sísmico obtenido para la línea sísmica LS03-SE, ubicado en el A.H. 3 de Enero. Este sismograma contiene señales sísmicas con presencia de bajo ruido ambiental.

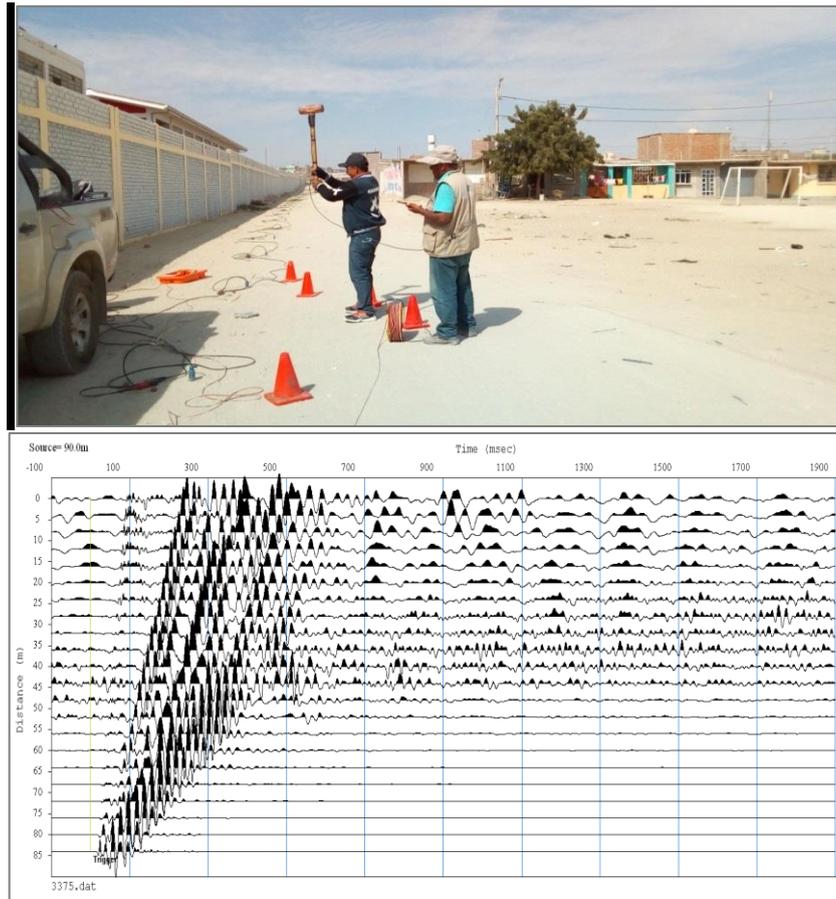


Figura 20: Disposición del equipo de adquisición de datos según el método de MASW y registro sísmico obtenido.

### 1.2.2. Procesamiento de datos

- **Procesamiento:** Consiste en aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT) en los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011), permiten la transformación de los datos y como resultado obtener una imagen de dispersión que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia. Una vez obtenidas las curvas de dispersión, ellas son sometidas de forma individual a un proceso de inversión a fin de obtener los perfiles Vs en una dimensión (1D), y para ello se consideran como parámetros de entrada, la profundidad (30 m) y el número de capas (15 capas). Finalmente, los perfiles Vs son promediados para obtener un perfil unidimensional final para cada línea sísmica. Todo este procedimiento permite, a través de una línea sísmica, obtener un perfil 1D para la parte media de dicha línea. Los resultados, al ser analizados, proporcionan información útil sobre las características físicas del subsuelo (Park, 2014; Roma, 2010; Socco et al., 2008). El procesamiento de los datos fue realizado en el programa de computación Seislmager.

En la Figura 21, 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 a la derecha, el perfil de velocidad Vs (línea verde) que considera el promedio final de los perfiles obtenidos post inversión. Los círculos de color verde representan la inversión de la curva de dispersión en el dominio de frecuencia y 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.

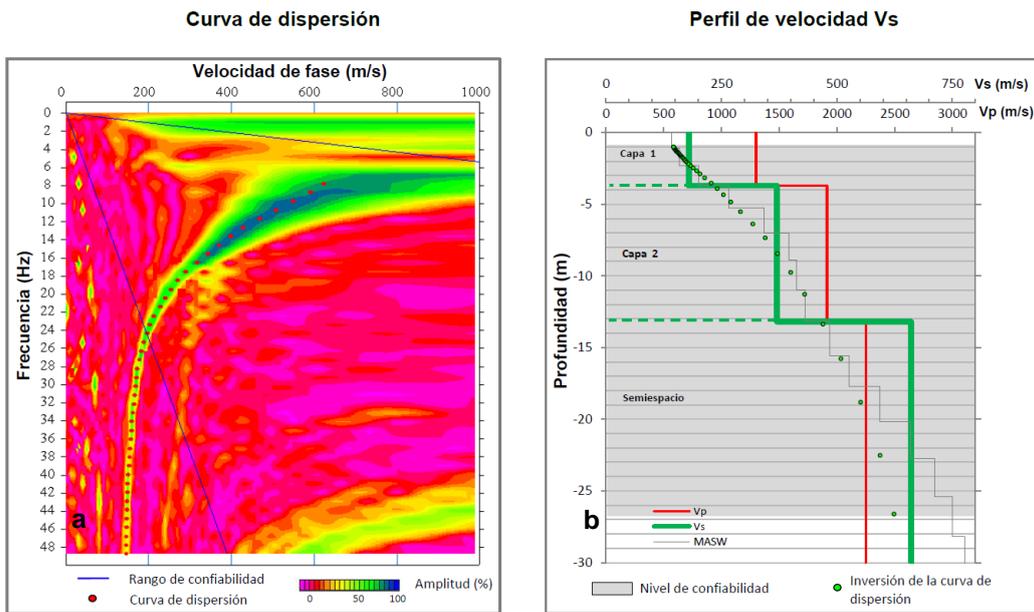


Figura 21: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir de la técnica de MASW.

- **Interpretación:** 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 adicionales y para mayor comprensión, se considera una escala de colores, ver Tabla 3.

Tabla 3: 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 <sub>3</sub>	Suelo blando	Suelo blando	
2	180 m/s a 350 m/s	S <sub>2</sub>	Suelo medianamente rígido	Suelo moderadamente rígido	
3	350 m/s a 500 m/s			Suelo rígido	
4	500 m/s a 800 m/s	S <sub>1</sub>	Roca o suelo muy rígido	Suelo muy rígido o roca blanda	
5	800 m/s a 1500 m/s			Roca moderadamente dura	
6	> 1500 m/s	S <sub>0</sub>	Roca dura	Roca dura	

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

### 1.2.3. Análisis y resultados

Los modelos para la velocidad de propagación de las ondas sísmicas (Vs) son una información muy útil en materia de riesgo sísmico y reconocimiento general, de la estructura y naturaleza del subsuelo. El procesamiento de los registros sísmicos permitió llegar a profundidades de 30 metros para cada línea sísmica, y los resultados obtenidos, agrupados según similitud de velocidades Vs y ubicación, son:

#### 1.2.3.1. Perfiles de velocidad de ondas de corte Vs

**Líneas sísmicas LS01-SE y LS02-SE:** Realizados cerca del Parque Ecológico (LS01) y frente al Cementerio General (LS02). Ambas líneas (Figura 22), indican la presencia de suelos conformados por una capa de 4 a 5 metros de espesor y velocidades Vs entre 299 a 336 m/s, asociados a suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades Vs > 507 m/s, lo cual sugiere suelos muy rígidos.

**Línea sísmica LS03-SE:** Realizada en el centro del área urbana de Sechura, en el A.H. 3 de Enero (Figura 22). Indica la presencia de suelos conformados por una capa sísmica de 7 metros de espesor y velocidades Vs de 398 m/s; mientras que para el semiespacio las velocidades son de Vs > 365 m/s; en ambos casos, corresponden a suelos rígidos.

**Línea sísmica LS07-SE:** Realizada al norte y próximo al río Piura, en el A.H. la Rivera (Figura 22). Indica la presencia de suelos conformados por dos capas sísmicas: la primera de 5 metros de espesor y velocidades Vs de 193 m/s; la segunda, con

velocidades  $V_s$  de 292 m/s y espesor de 13 metros. Ambos corresponden a suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades  $V_s > 400$  m/s, lo cual sugiere la existencia de suelos rígidos.

**Línea sísmica LS08-SE:** Realizado en el A.H. Bello Horizonte (LS08). Indica la presencia de suelos conformados por dos capas (Figura 22): la primera de 4 metros de espesor y velocidades  $V_s$  de 246 m/s; y la segunda, con velocidades  $V_s$  de 334 m/s y espesores de 12 metros. En ambos casos, los suelos son moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades  $V_s > 415$  m/s, lo cual sugiere la presencia de suelos rígidos.

**Línea sísmica LS09-SE:** Realizado en el A.H. Los Girasoles (LS09). Indican la presencia de suelos conformados por una capa sísmica de 7 metros de espesor y velocidades  $V_s$  de 290 m/s (Figura 22); lo cual sugiere la existencia de suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades  $V_s > 401$  m/s, lo cual indica la presencia de suelos rígidos.

**Línea sísmica LS04-SE:** Realizada en bajo Parachique, en el sector la Bocana (Figura 22). Indica la presencia de suelos conformados por una capa sísmica de 5 metros de espesor y velocidades  $V_s$  de 196 m/s. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades de  $V_s > 337$  m/s; ambos son suelos moderadamente rígidos.

**Línea sísmica LS05-SE:** Realizada en bajo Parachique (Figura 22). Indica la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 4 metros de espesor y velocidades  $V_s$  de 180 m/s; es decir, suelos blandos. La segunda, con velocidades  $V_s$  de 370 m/s y espesores de 9 metros, lo cual sugiere la presencia de suelos rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades  $V_s > 661$  m/s, lo cual indica la existencia de suelos muy rígidos.

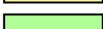
**Línea sísmica LS06-SE:** Realizada en alto Parachique (Figura 22). Indica la presencia de suelos conformados por una capa sísmica de 7 metros de espesor y velocidades  $V_s$  de 531 m/s, lo cual sugieren la existencia de suelos muy rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades  $V_s > 422$  m/s, lo cual sugiere la presencia de suelos rígidos. La primera capa presenta mayores velocidades debido a la presencia de “caliche” en superficie.

En la Tabla 4, se resume los valores de velocidad de ondas de corte  $V_s$  para los distintos tipos de perfiles de suelo. Asimismo, en la Figura 23, se presenta los resultados obtenidos para el arreglo sísmico LS01, y para otros, ver Anexos.

Tabla 4: Valores de espesor y Vs de los perfiles sísmicos obtenidos para el área urbana de Sechura y Parachique (método MASW).

Profundidad		Superficie					
Línea Sísmica	N° DE CAPA						
	1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
LS01-SE	299	4	507	-	-	-	467
LS02-SE	336	5	612	-	-	-	517
LS03-SE	398	7	365	-	-	-	367
LS04-SE	196	5	337	-	-	-	291
LS05-SE	180	4	370	9	661	-	400
LS06-SE	531	7	422	-	-	-	438
LS07-SE	193	5	292	13	400	-	289
LS08-SE	246	4	334	12	415	-	347
LS09-SE	290	7	401	-	-	-	365

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

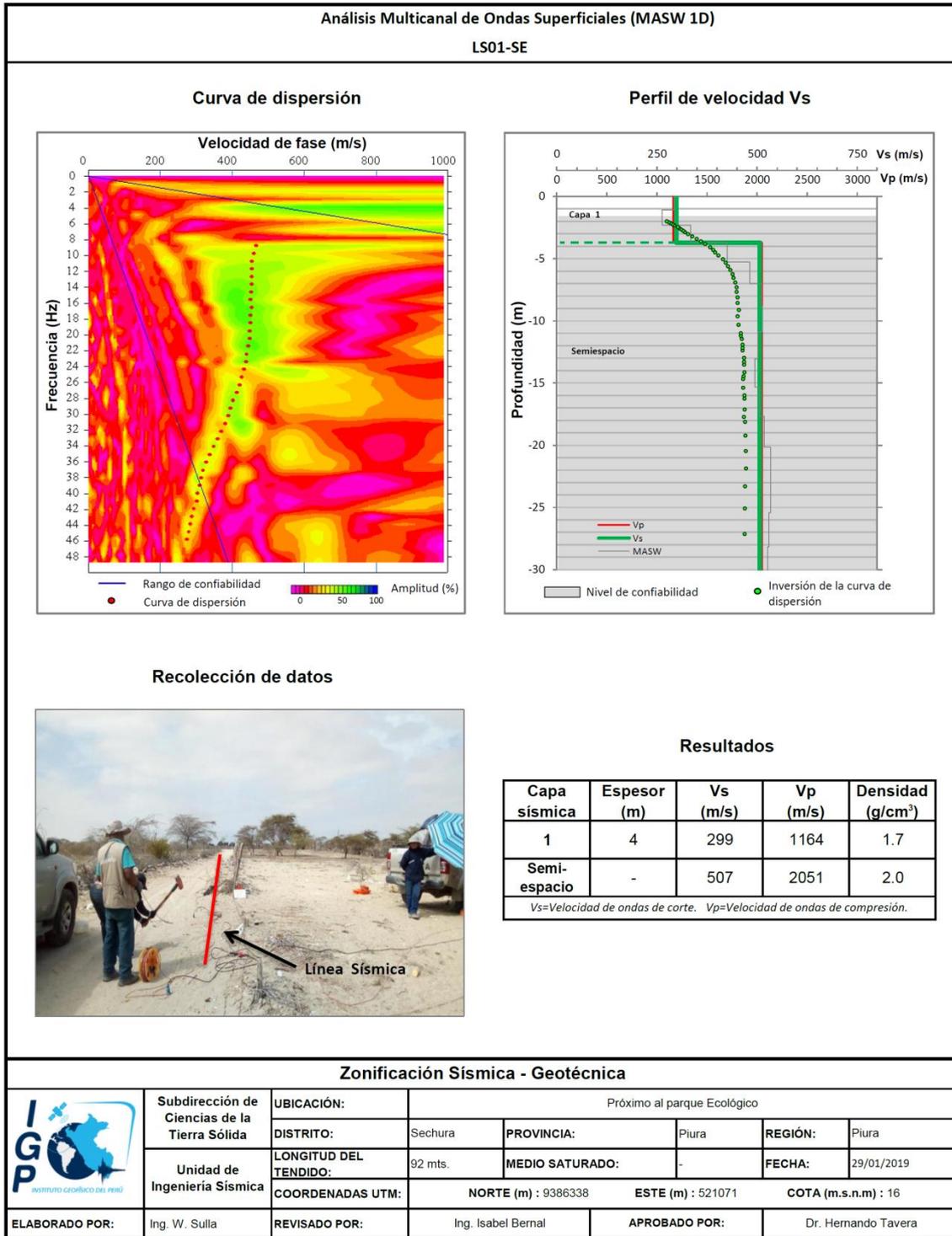


Figura 22: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS01-SE.

Finalmente, los resultados obtenidos en este estudio definen la existencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio, que al correlacionarse con la geología local, presentan las siguientes características:

El área urbana de Sechura se encuentra ubicada próximo al río Piura y presenta una geomorfología casi llana, estando su punto más elevado ubicado entre el estadio municipal y la plaza de Armas (Figura 24). Los perfiles de suelo indican el predominio de suelos moderadamente rígidos en superficie con espesores que varían entre 4 a 18 metros, siendo los de menor espesor distribuidos hacia el extremo noreste del área de estudio y conforme se avanza hacia el sur (A.H. Nuevo Horizonte) y al oeste (A.H. la Ribera), el espesor de la capa se incrementa. Solo en el sector, próximo al estadio municipal, los suelos son rígidos en superficie (Figura 24). Por debajo y a mayor profundidad, se encuentran dos tipos de suelos: hacia el noreste muy rígidos y hacia el suroeste, los suelos son rígidos. Finalmente, los perfiles sísmicos sugieren que los suelos del área urbana de Sechura, son compactos desde niveles superficiales hasta la profundidad investigada.

De acuerdo a la geología local, el suelo superficial corresponde a los depósitos aluviales de la formación Tablazo que se distribuye en la parte noreste del área urbana; metros que, hacia el oeste, se identifica la presencia de depósitos eólicos y lacustres.

En cuanto a los perfiles de suelo obtenidos para el C.P. Parachique, en el sector la Bocana (próximo a la playa, ver Figura 24), se identifica la presencia de suelos moderadamente rígidos, desde la superficie hasta la profundidad investigada de 30 m. Conforme se avanza hacia el este, en el tramo que une la Bocana con Alto Parachique, los suelos son blandos con un espesor de 4 metros para la primera capa; además de presentar alto contenido de humedad visible en superficie. En general los suelos aumentan su rigidez en profundidad; sin embargo, en Alto Parachique, los suelos son muy rígidos en superficie. Esto es debido al material marino, altamente compacto, que se deposita en superficie formando terrazas (Figura 23).



Figura 23: Vista de los suelos predominantes en Parachique.

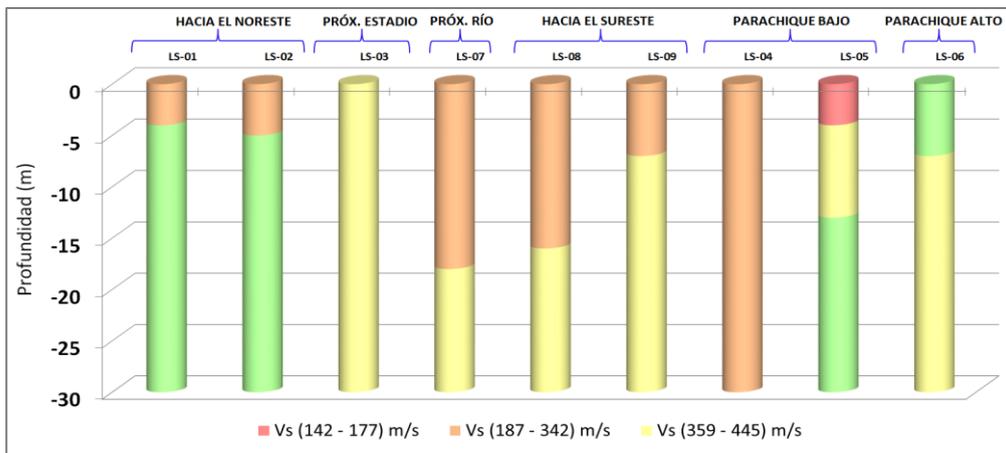
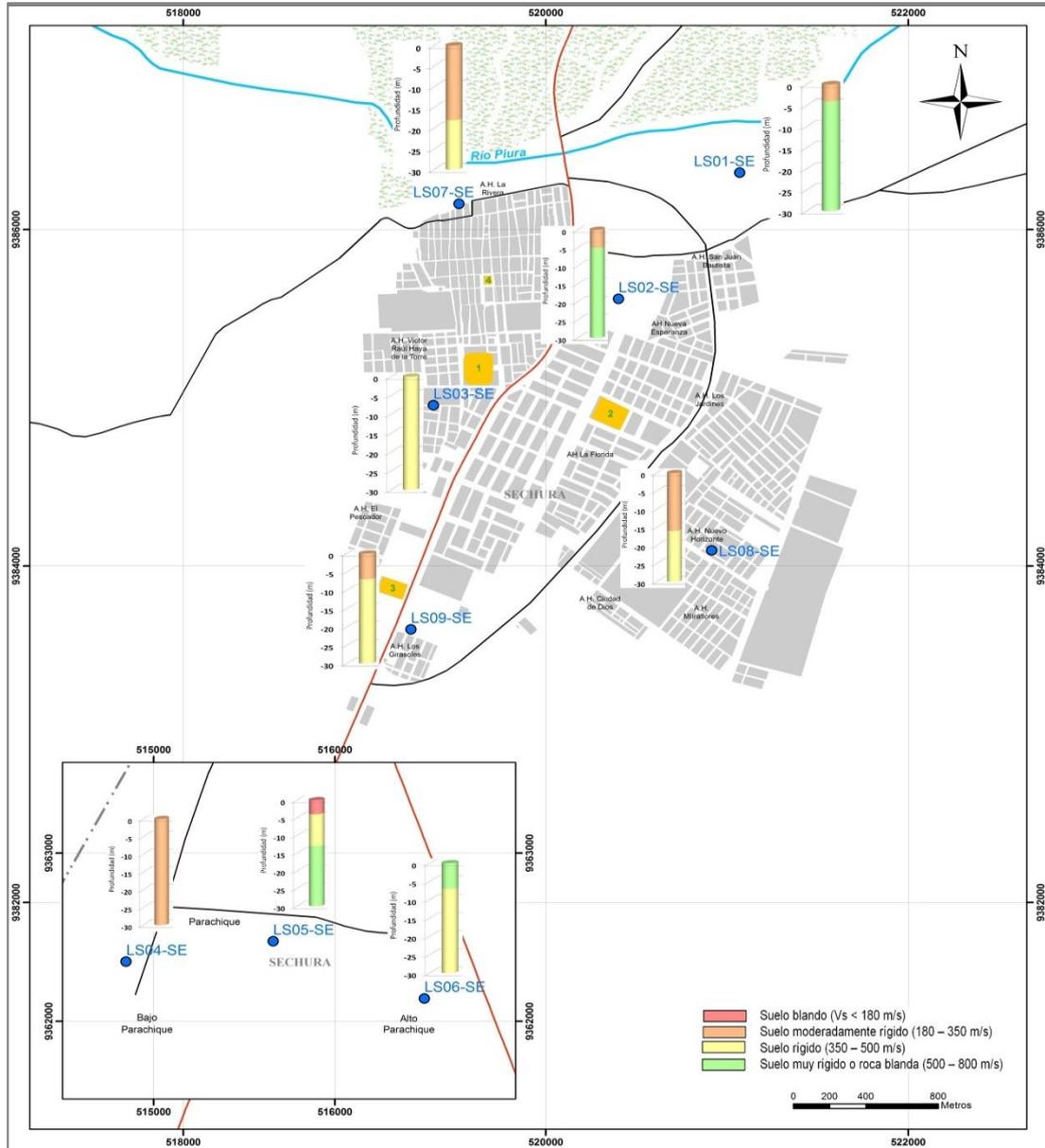


Figura 24: Variación en los espesores de las capas de suelos presentes en el área urbana de Sechura.

### 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, se medirá la diferencia de potencial eléctrico  $\Delta V$  entre esos dos puntos (Figura 25).

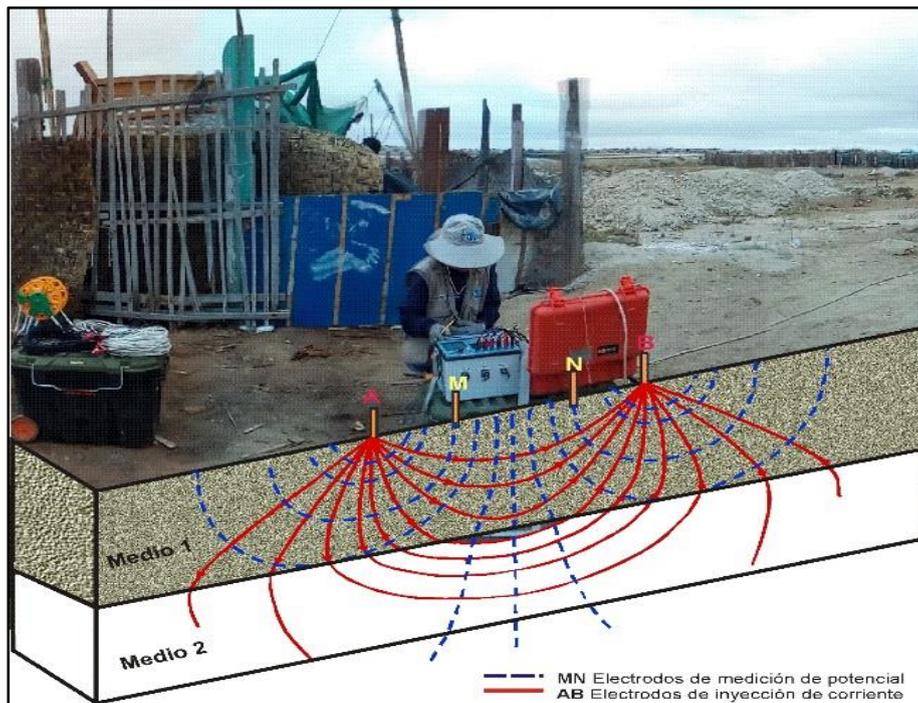


Figura 25. Principio del método de resistividad (LE04-SE).

Para la obtención de valores de resistividad aparente, se han realizado líneas de tomografía eléctrica con el dispositivo polo-dipolo y cuya distribución se muestra en la Figura 26. La profundidad de investigación depende de la separación entre electrodos, y para este estudio se utilizó una separación de 10 metros, obteniéndose una profundidad máxima de observación de 40 metros. Si se aumenta la distancia entre los electrodos, aumenta la profundidad de alcance, pero disminuye la resolución.

### 1.3.1. Adquisición de datos

Para el registro de datos se utilizó un equipo de Resistividad / IP Syscal Pro de marca Iris Instruments, cables y accesorios. En el área urbana de Sechura y C.P. Parachique se han realizado 06 líneas de tomografía eléctrica (Figura 26) con el dispositivo polo-dipolo y la distribución de 30 electrodos. Para las líneas se consideró un espaciamiento de 10 metros entre cada electrodo, lo cual permitió tener alcances en profundidad en el orden de los 40 metros, sobre un tendido longitudinal que variaba de 270 y 290 metros. Estas longitudes varían de acuerdo a los espacios libres encontrados en el área urbana. La Tabla 5, muestra las coordenadas UTM (WGS84) para los puntos extremos de las líneas eléctricas.

Tabla 5. Coordenadas de las líneas eléctricas (LE) realizadas en Sechura y Parachique.

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01- SE	521189	9386497	7	10	240
	521005	9386331	8		
LE02- SE	520456	9385778	13	10	290
	520371	9385488	15		
LE03- SE	519015	9384775	2	10	290
	518993	9384463	3		
LE04- SE	515088	9362321	0	10	240
	515027	9362078	1		
LE05- SE	515675	9362629	0	10	290
	515632	9362328	4		
LE06- SE	516495	9362235	11	10	270
	516496	9361959	11		

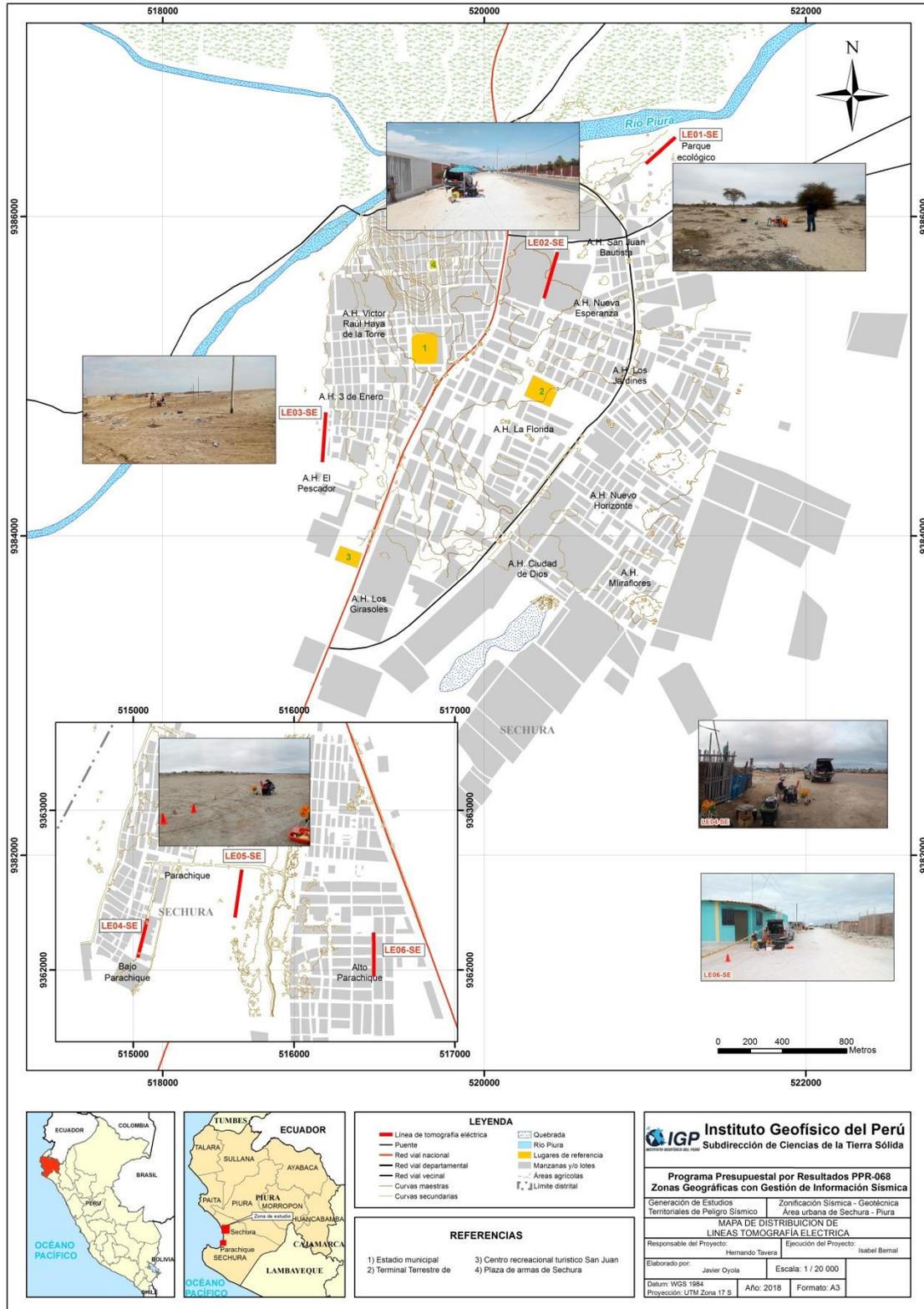


Figura 26: Mapa del área urbana de Sechura y del C.P. Parachique y la distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-SE, ... LE06-SE.

La calidad de la señal eléctrica de todos los registros existentes se evalúa mediante un test de resistencia de contacto entre los electros y el terreno, garantizando el registro de datos confiables para el procesamiento. Se busca mejorar las imágenes con el uso de filtros que disminuyen 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  $\Omega m$ .

### 1.3.2. Procesamiento de datos

- **Procesamiento:** Para el análisis de los datos obtenidos 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 distribución en el subsuelo, incluyendo la corrección por topografía.

Finalmente, los resultados son presentados en secciones de Resistividad 2D (Resistividad) que relacionan 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 estudio. Para el procesamiento de la información se ha hecho uso de los algoritmos de inversión DCIP2D y OASIS MONTAJ.

- **Interpretación:** La interpretación de la información obtenida 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 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, en la tabla 6 se ha resumido el rango de resistividades a considerarse.

Tabla 6: 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	Blue
Material muy bajo resistivo	< 20	Saturado y/o presencia de sal	Dark Blue

### 1.3.3. Análisis y resultados

Los valores de resistividad del suelo son información muy útil puesto que permite identificar aquellos suelos que presentan alto contenido de humedad y la profundidad del nivel freático. En el área urbana de Sechura y Parachique, se realizaron 06 líneas de tomografía eléctrica distribuidos según la Figura 26. El procesamiento de la información permitió llegar a profundidades de 40 metros. Y sus características son:

#### 1.3.3.1. Secciones Geo-eléctricas

A continuación, se describe los resultados obtenidos de los registros de tomografía eléctrica realizada en el área urbana de Sechura y Parachique:

Las líneas eléctricas LE01-SE y LE02-SE Fueron realizadas en el extremo este de la Plaza de Armas de Sechura, en el parque Ecológico y frontis del Cementerio General (Figura 26). Estas líneas muestran valores medianamente resistivos en superficie (>100 Ω.m) debido a la presencia de arenas secas (Figura 27). Y por debajo, valores bajos a muy bajos resistivos (<100 Ω.m) que corresponderían a arenas parcialmente saturadas debido a la influencia del río Piura.

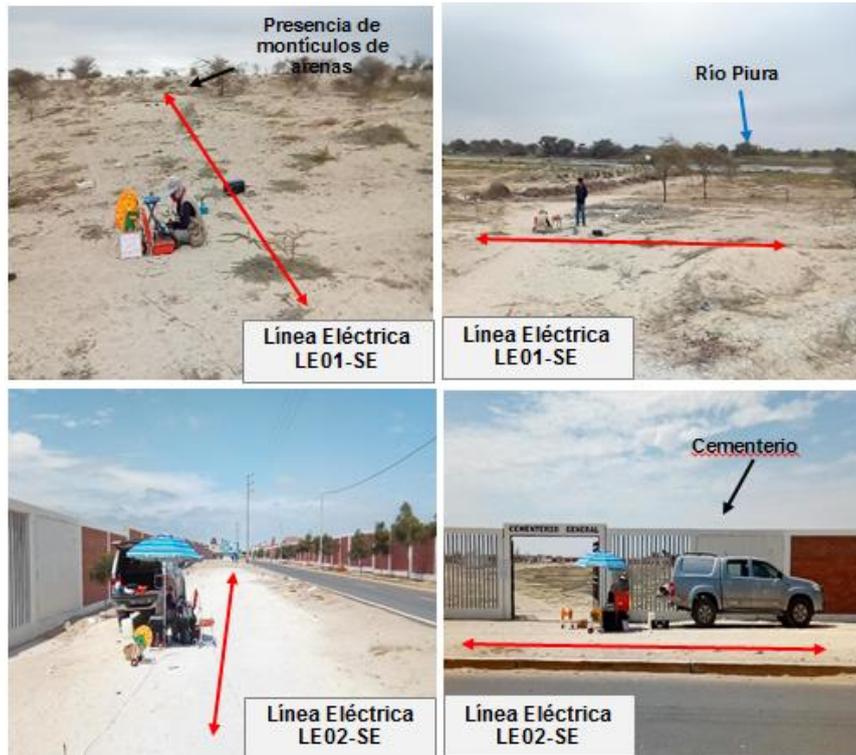


Figura 27: Vista de la línea eléctrica LE01-SE y LE02-SE.

La línea eléctrica LE03-SE, fue realizada en el extremo suroeste de la Plaza de Armas de Sechura, en las inmediaciones de los A.H. 3 de Agosto y El Pescador. Esta línea muestra valores muy bajos resistivos ( $<20 \Omega.m$ ) que corresponderían a limos y arenas saturadas. Esta zona es propensa a inundaciones, tal como se muestra en la Figura 28.

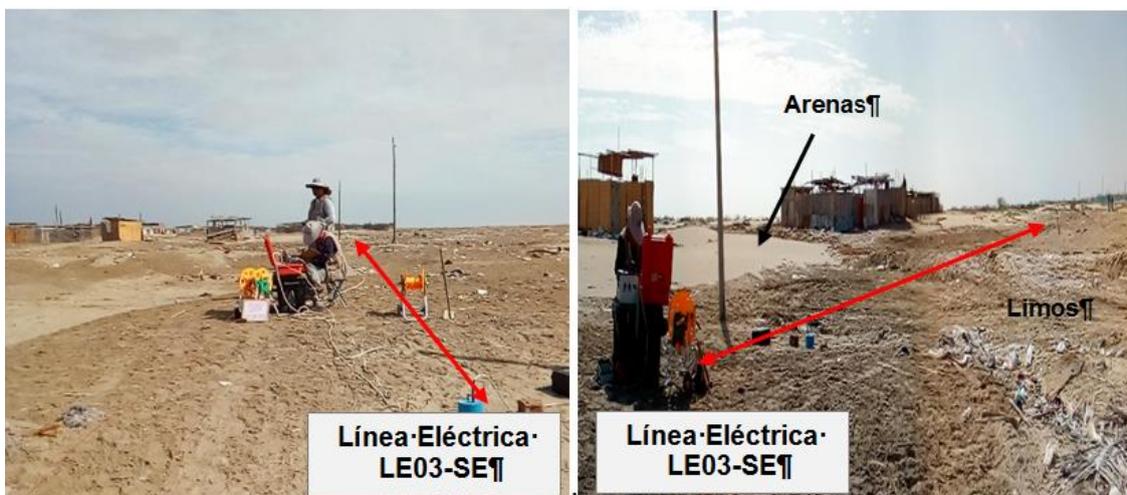


Figura 28: Vista de la línea eléctrica LE03-SE.

Las líneas eléctricas LE04-SE, LE05-SE y LE06-SE fueron realizadas en lugares ubicados a 30 minutos al norte de la Plaza de Sechura y en el C.P. de Parachique (Figura 26). Las líneas eléctricas LE04-SE y LE05-SE, muestran el predominio de valores muy bajos resistivos ( $< 20 \Omega.m$ ), debido a la presencia de arenas saturadas por la influencia del mar y de las agua provenientes de la laguna La Niña, ver Figura 29.

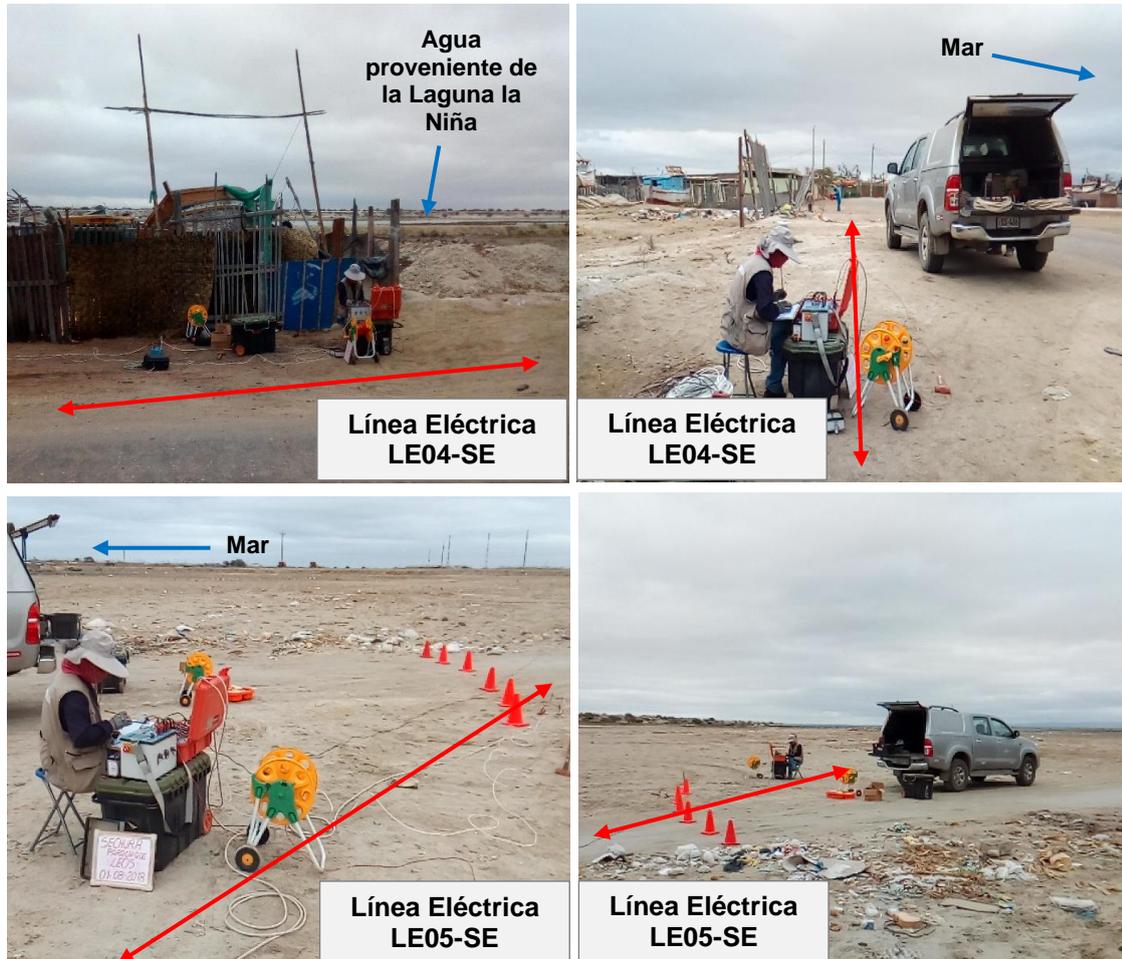


Figura 29: Vista de las líneas eléctrica LE04-SE y LE05-SE.

La línea LE06-SE, fue realizada en la parte alta del C.P. de Parachique (Figura 30). Esta línea muestra valores resistivos a muy resistivos ( $> 500 \Omega.m$ ), debido a la presencia de material compacto en superficie. Por debajo de los 10 metros, se tiene valores muy bajo resistivos que podría deberse al fenómeno de capilaridad.



Figura 30: Vista de la línea eléctrica LE06-SE.

En la Tabla 7, se resume la profundidad a la cual se muestra la saturación del suelo, los resultados obtenidos para la línea LE01–SE y en los anexos los resultados para las líneas restantes.

Tabla 7: Profundidad del medio saturado y material presente en el área urbana de Sechura y el C.P. Parachique.

Línea Eléctrica	Profundidad de saturación (m)	Material
LE01-SE	3	Arena, arcillosa con limo
LE02- SE	3	Arena arcillosa
LE03- SE	3	Arena, limos
LE04- SE	3	Arena, limos
LE05- SE	3	Arena, limos
LE06- SE	10	Arena arcillosa con limo

De acuerdo a la información analizada, se concluye que los medios saturados son los que predominan en el área urbana de Sechura y en el C.P. de Parachique, esto debido a la influencia del río Piura, la laguna La Niña y por su proximidad al mar. Además se tiene la presencia de zonas con depresión propensas a inundación.

La parte Baja de Parachique y los A.H. Virgen del Carmen y El Pescador, presentan suelos saturados, debido a la influencia que ejerce el mar y la laguna La Niña. Aquí el tipo de suelo que predomina son las arenas poco compactas y saturadas. Estas condiciones hacen, que ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud, se experimenten el fenómeno de licuación de suelos.

## 2. ZONIFICACIÓN SÍSMICA- GEOTÉCNICA

El mapa de zonificación sísmica- geotécnica, se elabora en función de la integración de los resultados obtenidos de los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos; así como la información contenida en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030.

### 2.1. Integración de resultados

Sechura es uno de los distritos cuya área urbana se encuentra en la margen izquierda del río Piura, presenta una geomorfología plana ligeramente ondulada, estando el sector más bajo en su extremo oeste (A.H. 3 de Enero y A.H. el Pescador), de ahí la presencia de inundaciones en este sector (Figura 31). Según INDECI (2003), la ciudad de Sechura fue afectada en el año 1983 por el desborde del Dren Sechura, debido al aumento del nivel de agua en la laguna Ramón, la cual recibe aguas del río Piura. Por otro lado, el C.P. de Parachique se encuentra sobre una superficie plana y segmentada en dos niveles, Bajo Parachique y Alto Parachique. El primero corresponde a la zona de playa y por lo tanto, está expuesto a inundaciones. El segundo está ubicado a una altura promedio de 11 m.s.n.m., extendiéndose sobre una longitud de 10 km aproximadamente, desde la playa hacia el continente.

- **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 31 se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes para el área urbana de Sechura y C.P. Parachique, los cuales han sido separados en dos grupos, en color negro para periodos mayores a 0.4 segundos y en gris los periodos menores.

Los periodos de 0.1 a 0.2 segundos, se distribuyen sobre gran parte de la ciudad de Sechura y en todo Parachique; mientras que, los periodos de 0.4 a 0.6 segundos se presentan de manera uniforme solo en Sechura. Asimismo, el 30% de la zona de Sechura presenta sensibilidad a ambos rangos de periodos, principalmente en los extremos este, noreste y en algunos puntos al oeste. Las mayores amplificaciones se presentan en Bajo Parachique y en algunos puntos en dirección noreste, por el Parque ecológico de Sechura.

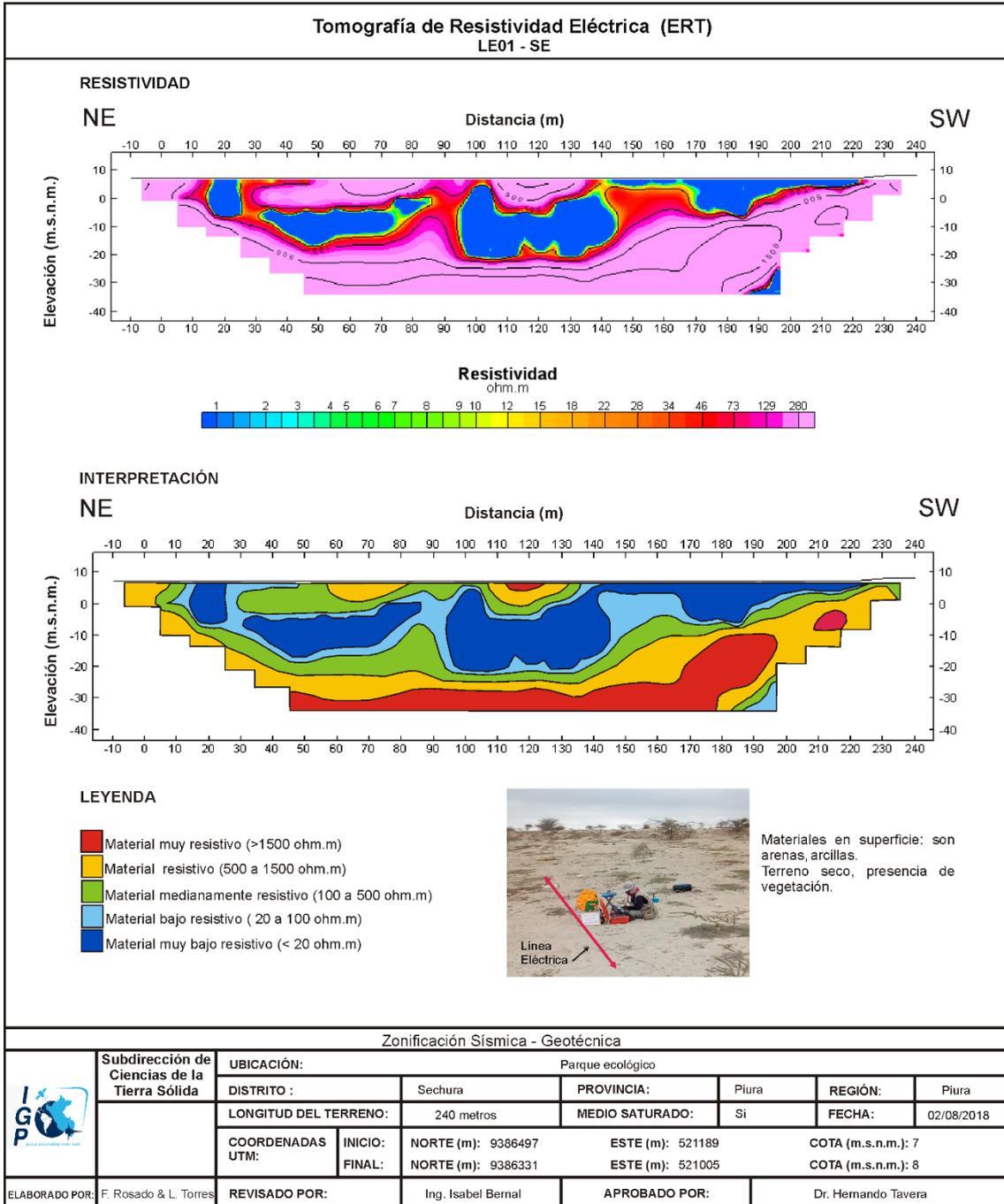


Figura 31: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-SE.

Los periodos dominantes que caracterizan a los suelos de Sechura y C.P. Parachique, están relacionados con las condiciones físico-dinámicas de los suelos 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 las ondas de corte. Asumiendo velocidades de 300 m/s y 350 m/s para las ondas de corte ( $V_s$ ) y periodos de 0.5 y 0.6 segundos, se estima la presencia de una capa superficial con espesores de 20 a 40 metros. En las zonas donde

se presentan periodos de 0.1 y 0.2 se estima un espesor para la capa sedimentaria superficial de 15 a 20 metros. Estos espesores han sido confirmados con los modelos de velocidad obtenidos con los métodos sísmicos.

En cuanto a las características dinámicas, el área urbana de Sechura muestra el predominio de periodos que varían entre 0.1 a 0.6 segundos. Los periodos varían entre 0.1 y 0.2 segundos, se distribuyen de manera uniforme a lo largo del Terminal terrestre, A.H. Nueva Esperanza, A.H. San Juan Bautista, Parque Ecológico, A.H. Los Jardines, A.H. La Florida, A.H. Miraflores y el A.H. Ciudad de Dios. Estos periodos tienen consistencia con las características físicas del suelo, muestran el predominio de suelos rígidos y muy rígidos a lo largo de los perfiles sísmicos y están asociados a la presencia de depósitos aluviales y tablazos caracterizados por gravas, arenas y material calcáreo bien compacto. En dirección Noreste, existe una capa superficial compuesta por suelos moderadamente rígidos con espesores de 5 metros, pero conforme se avanza hacia el sur y sureste, alcanza los 16 metros. Asimismo, se ha identificado que a lo largo del perfil, el suelo se encuentra parcialmente saturado por debajo de los 10 metros de profundidad, esto debido a la infiltración generada por el río Piura y la laguna San Ramón.

Un segundo rango de periodos varía entre 0.4 y 0.6 segundos y están presentes hacia el extremo oeste del área urbana de Sechura: Plaza de Armas, A.H. Victor Raúl Haya de la Torre, A.H. 3 de Enero, A.H. Los Girasoles, Estadio municipal (Figura 31). En estas áreas urbanas se ve el predominio de suelos moderadamente rígidos en superficie compuesto por material de origen eólico, lacustrino y en algunos sectores por aluviales. Al igual que la anterior zona, la mayor parte de estas áreas presentan suelos moderadamente saturados por debajo de los 10 metros, pero en el A.H. El Pescador, la profundidad de saturación del suelo se encuentra a partir de los 3 metros y es debido a la infiltración del agua que proviene del río Piura y el Dren Sechura.

Los periodos de 0.5 y 0.6 segundos, se encuentran sectorizadas, tal como se muestra en la Figura 31. Estos periodos son asociados a una capa de suelo que se encuentra a mayor profundidad y con espesores que superan la profundidad de 30 metros. Es necesario tener presente estas características del suelo, puesto que podrían influir en el comportamiento de las estructuras durante la ocurrencia de un evento sísmico de gran magnitud.

El análisis de la amplificación de suelos, es un valor de importancia puesto que durante la ocurrencia de un evento sísmico, es el efecto de sitio de mayor relevancia. Dentro de este contexto, se ha identificado aquellos lugares cuyos suelos responderán a

mayores amplificaciones a la ocurrencia de un sismo: Parque Ecológico y A.H. El Pescador, tal como muestra la Figura 31. Es necesario indicar que los sectores ubicados en las márgenes y próximos al río Piura, sufrirán los mayores sacudimientos, puesto que el nivel freático es más superficial y está compuesto por suelos blandos.

En esta zona, los documentos históricos indican que el área urbana de Sechura ha sido afectada por los fenómenos de origen climático, principalmente las inundaciones que se presentan durante los periodos de lluvias extremas relacionadas con el fenómeno de El Niño, (INDECI; 2001). Se ha identificado dos tipos de inundación; el primero de tipo pluvial con almacenamiento del agua en las depresiones que existen en la zona de estudio y de difícil acceso: A.H. Nueva Esperanza, por el Estadio Municipal, A.H. La Rivera, por el A.H. Los Girasoles y por el A.H. El Pescador. El segundo, denominado como inundación fluvial, es originado por el incremento del cauce del río Piura como producto de las temporadas de lluvias intensas o el Fenómeno de El Niño: Lugares ubicados próximos al río Piura, principalmente al norte de Sechura (Parque Ecológico).

Los procesos de licuación de suelos se originan en aquellos suelos que se encuentran caracterizados por arenas poco compactas y saturados de agua (estado saturado). Durante el sacudimiento originado por un evento sísmico de gran magnitud, el suelo pierde su resistencia a la capacidad de carga y como consecuencia, las estructuras sobre este tipo de suelo sufren asentamientos importantes. A partir de los ensayos geotécnicos, en el área de estudio se ha identificado la presencia de depósitos fluviales compuestos por arenas saturadas (Parque Ecológico, A.H. El Pescador); de ahí que cumplen las condiciones necesarias para que se genere el proceso de licuación de suelos ante la ocurrencia de un evento sísmico. En el estudio realizado por INDECI (2001), se sugiere la posibilidad de producirse licuación en las márgenes del río Piura y al oeste del área urbana de Sechura.

En cuanto al C.P. Parachique, el suelo responde a periodos que varían entre 0.1 y 0.3 segundos, estando los periodos altos distribuidos principalmente en Bajo Parachique y los bajos en Alto Parachique (Figura 32). Según estos resultados, se sugiere que el suelo de mayor espesor se distribuye de manera homogénea en Bajo Parachique y estando compuesta por suelos moderadamente rígidos conformados por depósitos de arenas que se encuentran saturados desde la superficie. Sin embargo, el suelo emplazado en Alto Parachique, sugiere mayor rigidez desde la superficie debido a que está constituido por material marino, bien compacto proveniente de la formación Tablazo.

De acuerdo a sus características físicas y dinámicas, los suelos que soportan mayores sacudimientos se emplazan en Bajo Parachique; además es potencialmente susceptible a sufrir licuación de suelos e inundación de origen pluvial, fluvial, lagunar y por Tsunami (Figura 32). Estos suelos están constituidos por arenas poco compactas y la existencia de capas freáticas a niveles superficiales, que a la ocurrencia de un evento sísmico de gran magnitud, se espera que aumente la probabilidad de generarse mayores amplificaciones y posibles procesos de licuación de suelos. Por lo cual, es necesario e indispensable que esta información sea considerado como base para nuevos proyectos de GRD y para la toma de decisiones.

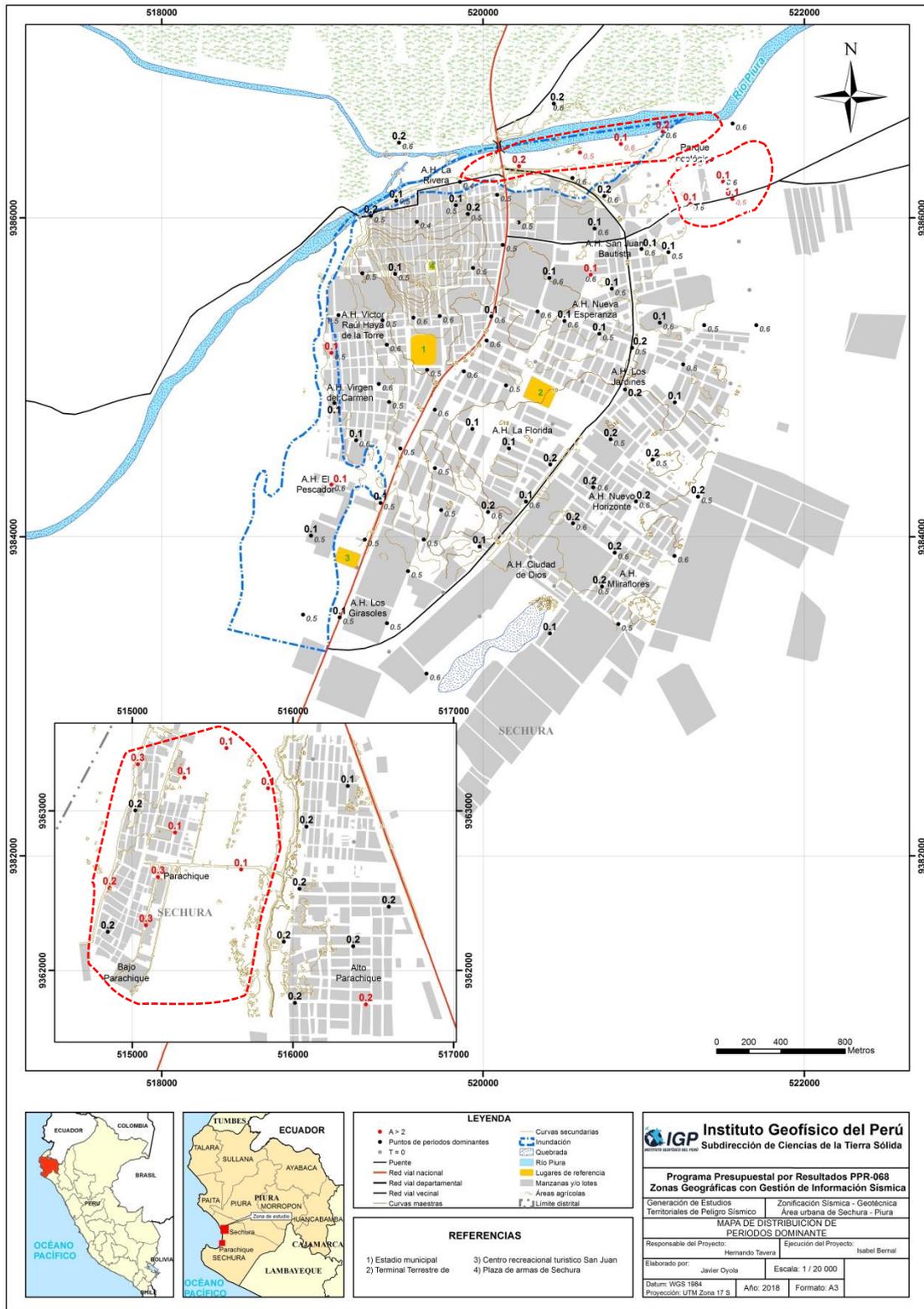


Figura 32: Mapa de distribución espacial de los valores de periodos dominantes en Sechura y C.P. Parachique.

## 2.2. Zonificación Sísmica- Geotécnica

La Zonificación Sísmica-Geotécnica para el área urbana de Sechura y C.P. Parachique, se elabora en función de la integración de los resultados obtenidos con los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos. Asimismo 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 S1, S2 y S4. Estos tipos de suelos corresponden a las Zonas I, II y IV respectivamente.

Para el área urbana de Sechura y el C.P. Parachique, se propone la siguiente Zonificación Sísmica-Geotécnica (Figura 33).

- **ZONA I:** Considera los suelos más consolidados del área de estudio, caracterizados por depósitos aluviales y gravas de la formación Tablazo que se emplazan desde la superficie. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte  $V_s$  de 280 m/s para la capa superficial y de hasta 660 m/s a la profundidad investigada de 30 metros. El periodo de vibración natural varía entre 0.1 y 0.3 segundos, tiene un comportamiento medianamente rígido a muy rígido y es considerado como suelos Tipo S1 según la norma sismorresistente peruana. Asimismo presenta suelos con capacidad de carga admisible menor a 2.0 Kg/cm<sup>2</sup> hasta un metro de profundidad. En Sechura, esta zona comprende el 65 % del área de estudio: Terminal terrestre, A.H. Nueva Esperanza, A.H. San Juan Bautista, Parque Ecológico, A.H. Los Jardines, A.H. La Florida, A.H. Miraflores, A.H. Ciudad de Dios. En toda el área de Parachique, ver Figura 33.

Las líneas inclinadas en color amarillo delimitan áreas donde los suelos responden a un segundo rango de periodos entre 0.5 y 0.6 segundos, que pueden ser asociados a la presencia de una capa profunda cuyo espesor supera la profundidad investigada. Se emplaza en dos sectores, por el A.H. San Juan Bautista, A.H. Nuevo Horizonte y A.H. Miraflores, ver Figura 33.

- **ZONA II:** Considera los suelos poco consolidados presentes en el área de estudio. Está constituido por depósitos aluviales y eólicos conformado por arenas desde el nivel superficial. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte  $V_s$  de 190 m/s para la capa superficial y de 400 m/s a la profundidad de 30 metros. El periodo de vibración natural varía entre 0.4 y 0.6 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<sup>2</sup> hasta un metro de

profundidad. Esta zona comprende el 35 % del área de estudio y considera a la Plaza de Armas, A.H. Victor Raúl Haya de la Torre, A.H. 3 de Enero, A.H. Los Girasoles y Estadio municipal (Figura 33).

Las líneas inclinadas de color verde delimitan áreas donde los suelos responden a un segundo rango de periodos que varían entre 0.1 y 0.2 segundos, ambos asociados a la presencia de una capa superficial caracterizada como suelos blandos, que se emplaza de manera local en el A.H. Virgen del Carmen y A.H. Pescador, ver Figura 33.

- **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 Sismoresistente peruana.

- **Zona IVa:** Constituida por depósitos fluviales y aluviales caracterizado por arenas poco compactas y saturadas, emplazadas en ambas márgenes del río Piura (ver Figura 32). Presenta baja capacidad de carga admisible ( $< 1.0 \text{ Kg/cm}^2$ ), de ahí que es susceptible a generarse procesos geodinámicos como licuación y mayores sacudimientos del suelo ante la ocurrencia de un evento sísmico de gran magnitud. Además puede generarse procesos de inundación debido al incremento del cauce del río Piura en temporadas de lluvias o fenómenos El Niño.

En las zonas I y II, las líneas inclinadas en color rojo delimitan áreas donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 2 veces; es decir, los mayores sacudimientos del suelo durante un evento sísmico se presentarán principalmente en dos lugares; Parque Ecológico y en el A.H. El Pescador. Esto evidencia la existencia de suelos más flexibles que el resto del área estudiada.

La zonificación propuesta condiciona el tipo de estructuras que se deben 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.

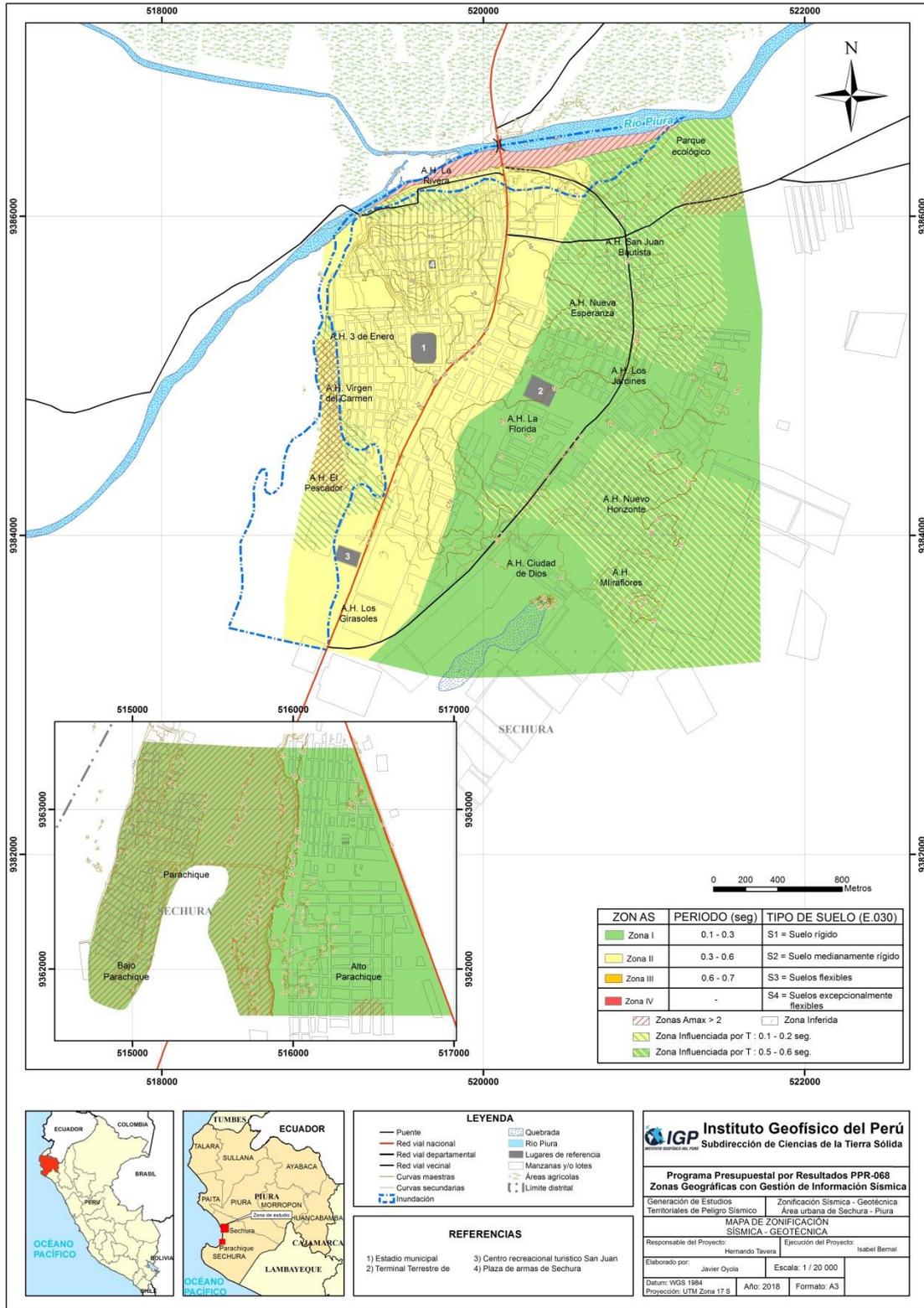


Figura 33: Mapa de Zonificación Sísmica- Geotécnica del área urbana de Sechura y C.P. Parachique.

## CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Sísmica-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana de Sechura y C.P. Parachique, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permiten identificar en Sechura un pico de frecuencia bien definido, y con valores de 1.5 a 2.3 Hz; además existe extensas áreas que responden a un segundo rango de frecuencias con valores 3.5 a 19 Hz, principalmente en la zona este y noreste de la ciudad y en Parachique. Los valores bajos de frecuencias se asocian a la presencia de depósitos sedimentarios de mayor espesor que dominan la ciudad y los valores altos, evidencian la existencia de una capa sedimentaria superficial de menor espesor que dominan el área de Parachique y gran parte de la ciudad de Sechura.
- Por otro lado, algunas áreas presentan amplificaciones relativas mayores a 2 veces, lo que evidencia la existencia de suelos menos consolidados y/o compactos que el resto del área estudiada, estos se encuentran en Bajo Parachique y al norte por el Parque Ecológico de Sechura.
- De los resultados obtenidos con el método sísmico, en el área urbana de Sechura predominan en superficie suelos moderadamente rígidos (193 a 336 m/s) con espesores de 4 a 18 metros, que se encuentran sobre suelos muy rígidos ( $V_s > 507$  m/s) distribuidos hacia el noreste y sobre suelos rígido ( $V_s > 365$  m/s) hacia el suroeste. En cuanto al C.P. de Parachique, los perfiles de suelo no muestran concordancia entre ellos; es decir, en el sector la Bocana el perfil de suelo es moderadamente rígido; sin embargo, en Alto Parachique, los suelos son más compactos y son considerados como suelos rígidos y muy rígidos.
- Los valores de velocidad promedio calculados para los primeros 30 metros de profundidad ( $V_{s30}$ ), según la norma E030-2018, clasifica el área de estudio en dos tipos de suelos; el primero con rangos de velocidad  $V_{s30}$  entre 289 a 467 m/s que sugiere suelos medianamente rígidos y se emplaza en gran parte del área urbana de Sechura. El segundo con  $V_{s30}$  de 517 m/s, que consideran suelos muy rígidos y se emplazan principalmente al noreste de Sechura.
- Los sectores de Bajo Parachique y los asentamientos humanos Virgen del Carmen y El Pescador, presentan suelos saturados a 3 metros de profundidad debido a la intrusión marina y el aporte de la laguna La Niña; además el sector de

Bajo Parachique se encuentra a nivel o por debajo del nivel del mar, como consecuencia, se puede encontrar suelos saturados por encima de los 3 metros.

- En el caso de Alto Parachique y al este de Sechura, presentan suelos parcialmente saturados a partir de los 10 metros, teniendo suelos resistivos en la parte superficial lo cual se correlaciona con las velocidades de ondas encontradas.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Sechura y C.P. Parachique 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 S1, S2 y S4.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abad, C. A. (2011) - Estudio experimental sobre correlaciones en suelos granulares finos (Arenas) compactados, haciendo uso de ensayos de penetración dinámica. UNI.
- Bateman, A., Medina, M, Steiner, F, Velasco, D. (2006). "Estudio Experimental sobre flujos granulares hiper-concentrados". XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Ciudad Guayana, Venezuela. pp. 1-10.
- Beláustegui, S. (1999)-Pendientes del Terreno y Fundamentos del caudal máximo no erosivo, Hoja técnica. Hoja técnica N°07. Buenos Aires-Argentina, 4 p.
- Braja Das, (2011) - Principles of Foundation Engineering, Seven Edition, pág. 139-140.
- Brusi, D., et al (2013) - Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. ISSN: 1132-9157. Pág. 181-194.
- 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.
- Cahill & Isacks (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- Caldas, V.J. y otros (1980) –Geología del Cuadrángulo de Bayovar y Sechura.
- CENAPRED, (2004) –Inundaciones, Secretaría de gobernación, 1ra Edición. Delegación de Coyoacan.CP.04360, Mexico,D.F.
- CISMID, (2016) - Densidad de campo. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Laboratorio Geotécnico.
- Crespo, V. C. (2004). Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 5ta edición. Limusa-Noriega Editores. México.
- Cruden, D.M. (1991)- A Simple Definition of a Landslide. IAEG Bull., 43, 27-29.
- Dorbath, L., Cisternas, A., Dorbath, C. (1990). Assessment of the size of large and great

- historical earthquakes in Peru. Bull. Seismol. Soc. Am., 80 (30), 551-576.
- Flores-Estrella, H., Lomnitz, C. y Yussim S. (2004). "Estimación de velocidades de fase a partir del análisis de microtemores con el método SPAC", Geophysics, Vol. 24, N° 3, 438-445
- Felicísimo, M. (1994)- Modelos digitales del terreno. Oviedo-España: Pentalfa. 222 p. ISBN: 84-7848-475-2.222 p.
- Fidel, L., Zavala, B., Nuñez, S., Valenzuela, G. (2006)-Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N°4. INGEMMET, Boletín, serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 29.383 p.
- 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.
- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. Bull. Seism. Soc. Am. 82, 2308-2327
- Incio, C., Petrov, A., Castillo, D., Bocanegra, J. y Calle, K. (2015). Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Piura. Autoridad Nacional del Agua. p. 255.
- Gutierrez, M. (2018) – Geomorfología. Edit. Pearson, 275-348. Madrid- España
- 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.
- 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 microtemors 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 microtemor on the ground surface. Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30.
- Norma Técnica de edificaciones E.030. 2016. Aprobada por Decreto Supremo N° 011-

2006-VIVIENDA, modificada por Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA.

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 866, Jan. 1956, pp-19.

Norma E.050, (2018) - Diseño de cimentaciones-Reglamento Nacional de Edificaciones.

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.

Perrone, A., Iannuzzi, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Rizzo, E., and Sdao, F. (2004). Highresolution electrical imaging of the Varco d'Izzo earthflow (southern Italy), J. Appl. Geophys., 5 56, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004

Pike, R. J., I. S. Evans, and T. Hengl. 2009. Geomorphometry: A brief Guide. Dev. Soil Sci. 33: 3-30.

Quille, R., Bustamante, A., Trujillo, Q., Osorio, A., Casapia, E., Quiñones, M., Vidal, C. (2006). Caracterización de arcillas de la provincia de Morropón por técnicas físicas y químicas. Revista de Investigación de Física. Vol. 9 N° 2, 53-60.

Reynolds, J.M. (2011). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.

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.

Seminario, G., Moreano, J., Chavez, M., Zerga, A., Torres, L. (2001). Plan de uso de

- suelos y propuestas de medidas de mitigación de los efectos producidos por los fenómenos naturales de la ciudad de Sechura. INDECI. p. 155.
- 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.
- Sepúlveda, S.A. (2000) - Metodología de Evaluación del Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos. Revista Comunicaciones, Departamento de Geología, Universidad de Chile, No.51, p. 3-28.
- Suárez, D. J. (1998) - Estabilidad de Taludes en Tropicales. Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos. Colombia. Ed. Ingeniería de Suelos Ltda. 550 p.
- Tavera, H., Millones, J., Flores, C., Guardia, P., Fernández, E., Condori, C. (2014). Sismo de Sechura del 15 de marzo del 2014 (6.2 Mw). Instituto Geofísico del Perú. IGP. P. 18.
- Tavera, H., Agüero, C y Fernández, E. (2016). Catálogo general de isosistas para sismos peruano. Instituto Geofísico del Perú. Pag. 196
- Tarbut, E. D. Lutgens, F., K., (2005) - Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física Pretince Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.
- Terzaghi, K., Peck, B. G., Mesri, G. (1948). "Soil mechanics in engineering practice". New York: Wiley.
- Varnes, D. J. (1958) - Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Washington, D.C. 20-47 p.
- Varnes, D. J. (1978) - Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster
- Vilchez, M., Sosa, N., Jaimes, F., Mamani, Y, Cerpa, L, Martínez, J. (2017). Evaluación geológica de las zonas afectadas por El Niño costero 2017 en la Región Piura. Informe técnico N° A6765 INGEMMET, 110p.
- 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.

- Villacorta, L. (2016) – El circuito de Sechura, dos mil años de historia. Piura-Perú. Recuperado de <http://eltiempo.pe/el-circuito-de-Sechura-a-dos-mil-años-de-historia>.
- Wyllie, D. C. & Norrish, N. I. (1996) - "Stabilization of rock slopes". Landslides investigation and mitigation. Special report 247. Transportation Research Board. National research council, pp. 474-504.
- Xia, J., Miller, R.D., and Park, C.B., 1999, Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh wave: *Geophysics*, 64, 691–700.
- Zenteno, E., Ayasta, H. y Guevara, N. (2003). Inventario de fuentes de aguas subterráneas en el valle Piura (Parte Alta). Informe técnico del Ministerio del Ambiente. Instituto Nacional de Recursos Hídricos. INRENA 99p.
- Zinck, J. & Valenzuela, C., (1990) – Soil geographic database: structure and application examples. *ITC Journal*, 1990(3), 270-294.

## **ANEXOS**

## ANEXOS

La información que se detalla está contenida en el CD que se adjunta al presente Informe Técnico: “Zonificación Sísmica – Geotécnica de la ciudad de Sechura y C. P. Parachique”.

### 1.- Información Geológica Geotécnica:

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

### 2.- Información Geofísica

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