



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 CATACAOS

Lima - Perú  
2019

## **Instituto Geofísico del Perú**

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

### **Autores**

Isabel Bernal

Caracterización Sísmica y Geofísica de la Ciudad de Catacaos:

Juan Carlos Gómez

Caracterización Geológica y Geotécnica de la Ciudad de Catacaos:

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Segundo Ortiz

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 CATACAOS**

**Distrito de Catacaos – Provincia de Piura  
Región Piura**

## RESUMEN

*En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” obteniéndose como resultado final, la Zonificación Sísmica - Geotécnica de las áreas urbanas de las ciudades/localidades de Piura (distrito de Piura), Castilla (distrito de Castilla), Sullana (distrito de Sullana), Paita (distrito de Paita), Chulucanas (distrito de Chulucanas), Catacaos (distrito de Catacaos), Sechura y Parachique (distrito de Sechura). 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 Catacaos”, 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 y la descripción de las características del área de estudio, así como las conclusiones y recomendaciones. En la segunda parte, se presenta el desarrollo del estudio realizado para la caracterización geológica y geotécnica, y en la tercera parte, el estudio para la caracterización sísmica y geofísica; en ambos, casos para la ciudad de Catacaos. Finalmente, en un CD se adjunta toda la documentación y mapas temáticos generados durante la realización del presente estudio.*

## ÍNDICE

### **RESUMEN**

### ÍNDICE

#### **PARTE 1: Presentación**

##### 1. Introducción

###### 1.1. Objetivo

###### 1.2. Historia

###### 1.3. Accesibilidad y clima

###### 1.4. Economía

###### 1.5. Estudios Previos

##### 2. Condiciones locales de sitio

###### 2.1. La Norma Técnica E.030

##### Conclusiones y Recomendaciones

#### **PARTE 2: Caracterización geológica y geotécnica de la ciudad de Catacaos**

#### **PARTE 3: Caracterización sísmica y geofísica de la ciudad de Catacaos**

### **BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS:** Documentos y Anexos se adjunta 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 desarrolló la Actividad “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para las áreas urbanas de las siguientes 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**, capital del 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.

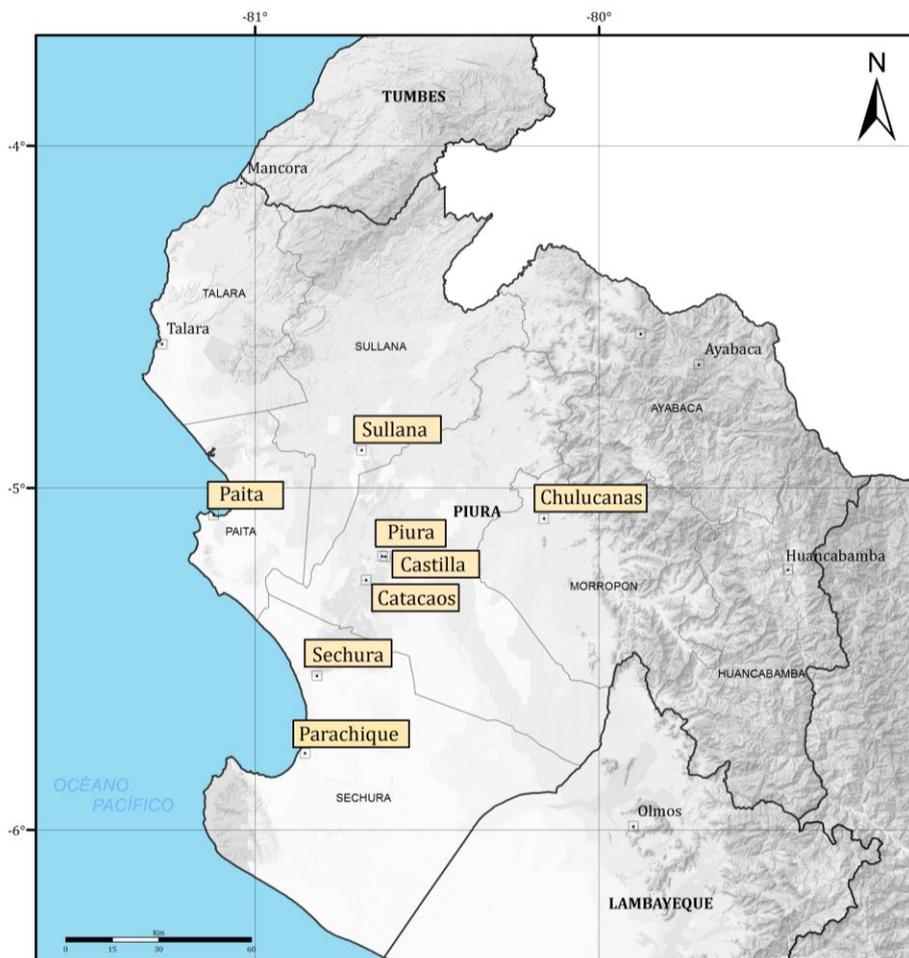


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades intervenidas durante el año 2018.

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 localidad de Catacaos 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 Catacaos, provincia de Piura, región de Piura, a partir de la integración de los resultados obtenidos los estudios 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.

### 1.2. Historia

Etimológicamente la palabra Catacaos deriva de las voces CATAC (Valle Grande) y CCAOS (Exuberante). La comarca de Catacaos fue poblada por la cultura Tallán que posiblemente vinieron de Centro América: Mayas o Aztecas, los que dirigidos por el gran Mec Non y luego por Ñariwualac se organizaron y formaron la nación Tallán (Tallán por el uso de la Taclla), como herramienta de trabajo agrícola.

Durante la época de la colonia fue encomienda de indios, recibiendo el nombre de San Juan de Catacaos al crearse la Comunidad Indígena. Iniciada la época de la República rechazamos la presidencia vitalicia de don Simón Bolívar en 1828, por esta

razón el Congreso Constituyente le otorgó el título de “Heroica Villa” según ley del 2 de enero de 1828.

El 28 de octubre de 1868, fue elevada a la categoría de “Ciudad”. Y por ley N° 25135 promulgada el 7 de Diciembre de 1989 es declarada “Capital artesanal de la región Grau”.

La ciudad de Catacaos, es también cuna de ciudadanos ilustres que han destacado en diferentes campos de la realización humana y de aquellos que aún siguen brillando con luz propia en los diferentes predios de la cultura: Dr. José Cayetano Heredia Sánchez, Padre de la “Medicina Peruana”; Arq. Josefina Ramos Cabredo de Cox; Prof. Jacobo Cruz Villegas y Prof. Carlos Edmundo Zapata Antón., fueron historiadores de la Patria chica (Figura 2).



*Figura 2: Plaza principal de la ciudad de Catacaos.*

El distrito de Catacaos es uno de los diez distritos que conforman la provincia de Piura, región Piura. Presenta una extensión de 2565.00 km<sup>2</sup>, con una densidad poblacional de 30 hab. /km<sup>2</sup>. Situado en el centro sur de la región Piura, en el valle bajo del río Piura y a una altitud promedio de 23 m.s.n.m., limita por el norte con los distritos de Piura y Castilla, por el sur con los distritos de La Arena, Cura Mori y Sechura, por el este con las provincias de Morropón, y Lambayeque y al oeste con las provincias de Paita y Sechura (Figura 3)

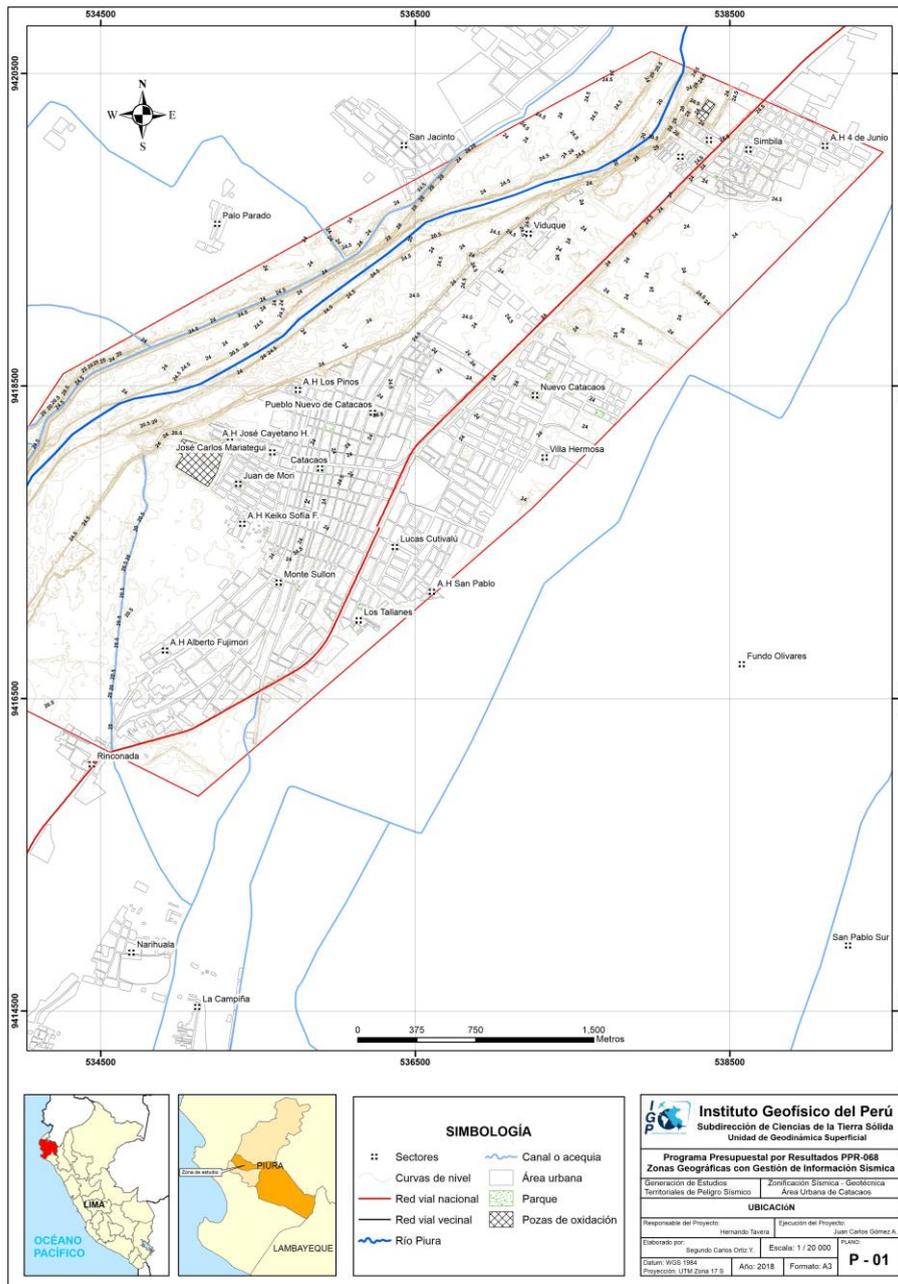


Figura 3. Mapa de ubicación geográfica de la ciudad de Catacaos.

El área de estudio es una zona ondulada plana que se encuentra en la margen izquierda del río Piura, se asienta sobre un antiguo abanico aluvial que formó el río Piura antes de su desembocadura en la laguna San Ramón. El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:20000, tiene un área total de 1300 Has cuyo crecimiento poblacional en los últimos años ha sido acelerado y desordenado ante el constante ingreso migratorio, principalmente de la sierra de Piura. La población beneficiada con el presente estudio del área urbana de Catacaos, es igual a 72,863 habitantes (INEI, 2015).

### 1.3. Accesibilidad y Clima

El acceso a la ciudad de Catacaos se realiza de la siguiente manera:

- Vía aérea: Lima-Piura (1:30 horas), luego se continua por la carretera afirmada Piura-Catacaos (13.5 km).
- Vía terrestre: Lima-Piura (988.70 km), a través de la carretera Panamericana Norte, luego se continua por la carretera afirmada Piura-Catacaos (13.5 km).

Para determinar las condiciones climáticas en la ciudad de Catacaos se ha tomado los datos referenciales de la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). La estación San Miguel está ubicada en las coordenadas geográficas; Latitud: 5°14'46.33", Longitud: 80°41'3.69", cota 24 m.s.n.m. y, 2.35 km al noroeste del centro urbano. Según la información registrada en esta estación (período 2013-2017), la ciudad presenta un clima seco con temperatura media mensual, que durante los meses de verano oscila entre 33 y 35°C; mientras que, en invierno, desciende hasta 15 °C, Figuras 4 y 5; Tablas 1 y 2.



Figura 4: Estación meteorológica San Miguel ubicada a 2.35 km al noroeste del centro urbano de Catacaos, Fuente: SENAMHI.

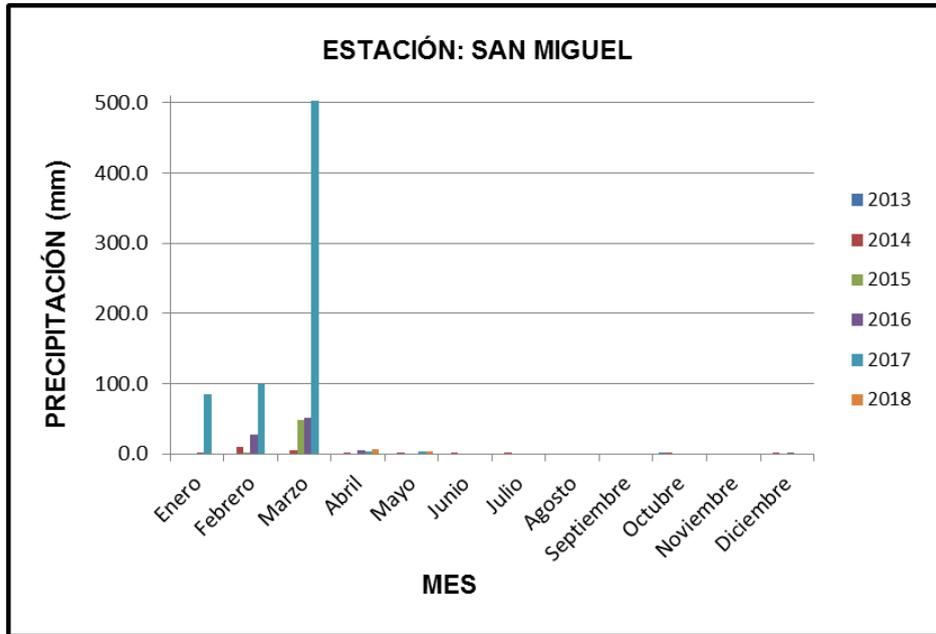


Figura 5: Registro de los meses de enero, febrero y marzo del 2017 con las máximas precipitaciones (503 mm), esto corresponde al evento “NIÑO”, Fuente: SENAMHI

Tabla 1: Temperaturas máximas (color amarillo) y mínimas (color verde) medias mensuales, período 2013-2018, recopilados de la estación meteorológica San Miguel, para el área de estudio (Fuente SENAMHI, 2018)

Estación: SAN MIGUEL							
Tipo Convencional - Meteorológica							
Departamento	Piura	Provincia	Piura	Distrito	Catacaos		
Latitud	5° 14' 46.33"	Longitud	80° 41' 3.69"	Altitud	24		
Mes	Temperatura Promedio	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	T° Max. Media mensual (°)	SD	45.01	34.80	34.92	35.36	35.06
	T° Min. Media mensual (°)		21.76	20.96	22.81	22.41	20.24
Febrero	T° Max. Media mensual (°)		35.90	35.25	36.19	34.83	35.73
	T° Min. Media mensual (°)		21.75	23.05	23.99	23.53	22.04
Marzo	T° Max. Media mensual (°)		36.23	34.65	35.83	33.75	35.52
	T° Min. Media mensual (°)		21.75	23.27	23.82	24.00	21.24
Abril	T° Max. Media mensual (°)		44.82	33.46	34.00	32.94	34.22
	T° Min. Media mensual (°)		20.07	22.04	22.02	22.07	20.14
Mayo	T° Max. Media mensual (°)		32.64	31.99	32.16	30.72	31.28
	T° Min. Media mensual (°)		21.59	21.65	19.38	20.60	18.51
Junio	T° Max. Media mensual (°)		31.82	31.13	31.33	28.84	28.68
	T° Min. Media mensual (°)		20.05	20.02	17.80	18.76	17.13
Julio	T° Max. Media mensual (°)		30.37	30.46	30.63	26.67	28.57
	T° Min. Media mensual (°)		17.09	18.32	17.26	17.72	17.13
Agosto	T° Max. Media mensual (°)	29.96	30.12	30.85	27.66	29.85	
	T° Min. Media mensual (°)	16.87	18.12	17.07	16.86	17.46	
Septiembre	T° Max. Media mensual (°)	31.13	31.62	31.33	29.23	30.49	
	T° Min. Media mensual (°)	16.84	18.81	17.86	16.72	16.89	
Octubre	T° Max. Media mensual (°)	30.28	31.12	31.29	31.21	29.81	SD
	T° Min. Media mensual (°)	16.48	17.52	19.57	17.67	16.77	
Noviembre	T° Max. Media mensual (°)	30.69	31.31	31.27	32.27	29.95	
	T° Min. Media mensual (°)	15.70	17.58	19.61	16.36	16.33	
Diciembre	T° Max. Media mensual (°)	33.39	32.86	33.00	33.81	32.86	
	T° Min. Media mensual (°)	18.37	18.66	21.39	19.21	18.91	

Tabla 2: Precipitaciones mensuales, período 2013-2018, recopilados de la estación meteorológica San Miguel, para el área de estudio. (Fuente SENAMHI, 2018)

AÑO	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2013	SD									1.2	0	0
2014	0	9.5	5.3	2.1	0.4	0.2	1.1	0	0	1.6	0	0.5
2015	0	0.9	47.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0.6	28	50.7	5.6	0	0	0	0	0	0	0	1.1
2017	84	99.4	503	4.2	2.8	0	0	0	0	0	0	0
2018	0	0	0	7.2	3	0	0	0	0	SD		

#### 1.4. Economía

La actividad agrícola constituye la principal ocupación de la población económicamente activa, albergando el 32.1% de ella; y por la grave crisis que atraviesa este sector, no, constituye como el motor capaz de poner en acción la economía distrital.

Cultivos como el algodón, ayer considerado el oro blanco norteño que tenía en las exuberantes tierras Cataquenses las mejores condiciones para brindar cosechas generosas, hoy solo forma parte secundaria de la cédula de cultivo agrícola donde el arroz ha pasado a ocupar el papel principal, tanto por el área instalada como por sus producción obtenida.

La población económica activa (PEA) es de 22697 pobladores, ellos constituye el 34.20% de la población total.

#### 1.5. Estudios previos

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

- Moreano (2003): Estudio de suelos y mapa de peligros de la ciudad de Catacaos. Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI)-PNUD-PER/02/251. Contiene la geología local de Catacaos. Además, se ha realizado estudios geotécnicos dentro de los cuales destacan: 62 calicatas en toda el área urbana,

10 ensayos SPT, muestreo de suelos, ensayos de mecánica de suelos (análisis granulométrico por tamizado, límite líquido, límite plástico, corte directo con especímenes remoldeados y saturados, peso específico de sólidos) y ensayos químicos (contenido de sales agresivas al concreto). Para la caracterización de los suelos, el autor ha distribuido la zona de estudio en 8 sectores, tomado desde el sector Rinconada hasta Viduque (de suroeste-noreste), evidenciando 5 tipos de suelos (CL, SP, SP-SM, SM, SC-SM).

- Mapa de estimación de zonas inundables, CONIDA, (2017): En este mapa la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA), ha identificado 03 zonas inundables de PELIGRO ALTO en los sectores de Simbilá, Viduque y José Carlos Mariátegui, pertenecientes al distrito de Catacaos. Dichas inundaciones se dan en eventos extremos a lo largo del río Piura.
  
- CENEPRED, (2017); Informe de evaluación de riesgo por desborde del río Piura e inundación pluvial en el centro poblado de Catacaos, distrito de Catacaos, provincia y departamento de Piura. En este estudio se identificó que el área urbana de Catacaos se encuentra en zona de Alto y Muy Alto riesgo ante inundación pluvial y fluvial. El tipo de suelo es de origen aluvial caracterizado por arenas con ciertos horizontes de material fino. El suelo superficial se asienta sobre roca madre de origen marino (Formación Zapallal), la salinidad es trasladada a la superficie por efecto del nivel freático y por capilaridad afectando principalmente a los cimientos de las estructuras.

## 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.

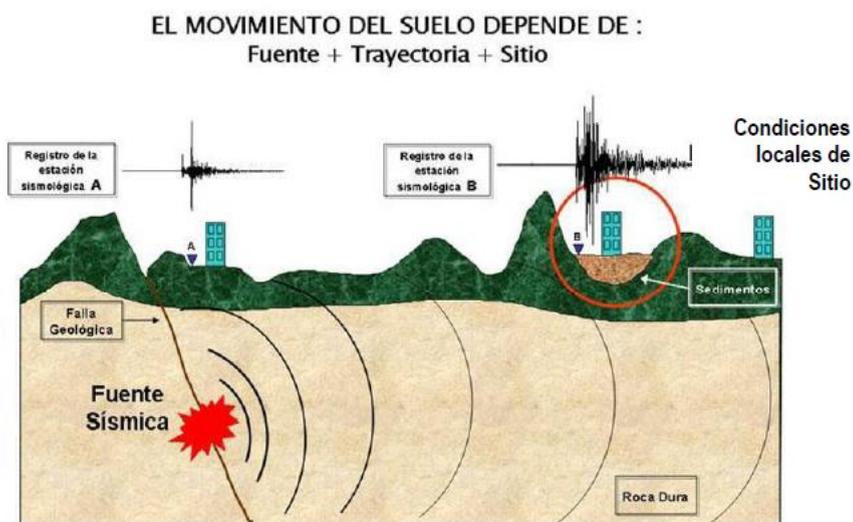


Figura 6: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

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

- **Perfil Tipo  $S_0$ : Roca Dura**, corresponde a las rocas sanas con velocidades de propagación de ondas de corte ( $V_s$ ) mayor a 1500 m/s.
- **Perfil Tipo  $S_1$ : Roca o Suelos Muy Rígidos**, a este tipo corresponden rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte  $V_s$ , entre 500 y 1500 m/s.
- **Perfil Tipo  $S_2$ : Suelos Intermedios**, son suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte  $V_s$  entre 180 y 500 m/s (Tabla 3).

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

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

- **Perfil Tipo S<sub>3</sub>: 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).

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

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

Dónde:

$d_i$  = espesor de cada uno de los estratos n.

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

En general, para cualquier estudio se deberá considerar el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de cada zona de interés. Para este estudio, la Zonificación Sísmica – Geotécnica se realiza en función de las características mecánicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas por Norma E.030 (Diseño Sismorresistente). En tal sentido y de acuerdo a los estudios realizados, se establece la existencia de 5 zonas cuyas características son:

**ZONA I:** Zona conformada por estratos de grava coluvial-eluvial que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene comportamiento rígido con periodos de vibración natural determinados por las mediciones de microtrepidaciones (registros de vibración ambiental) que varían entre 0.1 y 0.3 s, con velocidad de las ondas de corte ( $V_s$ ) varía entre 500 y 1500 m/s. Corresponden a suelos Tipo S1 de la norma sismorresistente peruana.

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

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

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

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

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

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica para la ciudad de Catacaos, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

### Conclusiones

- Se han identificado dos eventos geodinámicos: inundaciones fluviales que se producen en los A.H 03 de Octubre, Simbila, Viduque, Nuevo Catacaos, Villa Hermosa, Pueblo Nuevo Catacaos, Los Pinos, A.H José Cayetano, casco urbano de Catacaos, José Carlos Mariátegui, Juan de Mori, Keiko Sofía, Monte Sullón, Los Tallanes, Alberto Fujimori, Rinconada, Narihualá, La Campiña, Pedregal Chico, entre otros. Así como, pluviales debido a las depresiones existentes y falta de mantenimiento de los drenes en los sectores de San Jacinto, Simbila, Viduque, Nuevo Catacaos, Monte Sullón, Alberto Fujimori y Rinconada.
- De los resultados obtenidos con el método sísmico, en el área de estudio predominan en superficie los suelos blandos (142 a 177 m/s) de 2 a 5 metros de espesor que se encuentran sobre suelos moderadamente rígidos (Vs 227 a 342 m/s), este último con espesores que varían entre 9 a 17 metros se encuentran emplazados por debajo de la capa superficial y en gran parte del área urbana de Catacaos. A mayor profundidad, se encuentran los suelos rígidos (Vs 359 a 445 m/s) con espesores que superan la profundidad investigada.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Catacaos, a partir de sus características físicas y dinámicas del suelo, han permitido identificar, de acuerdo a las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E-030, la existencia de suelos de Tipo S2, S3 y S4, los mismos que son parte del mapa del informe sísmico – Geotécnico para la unidad de Catacaos ( Figura 7)

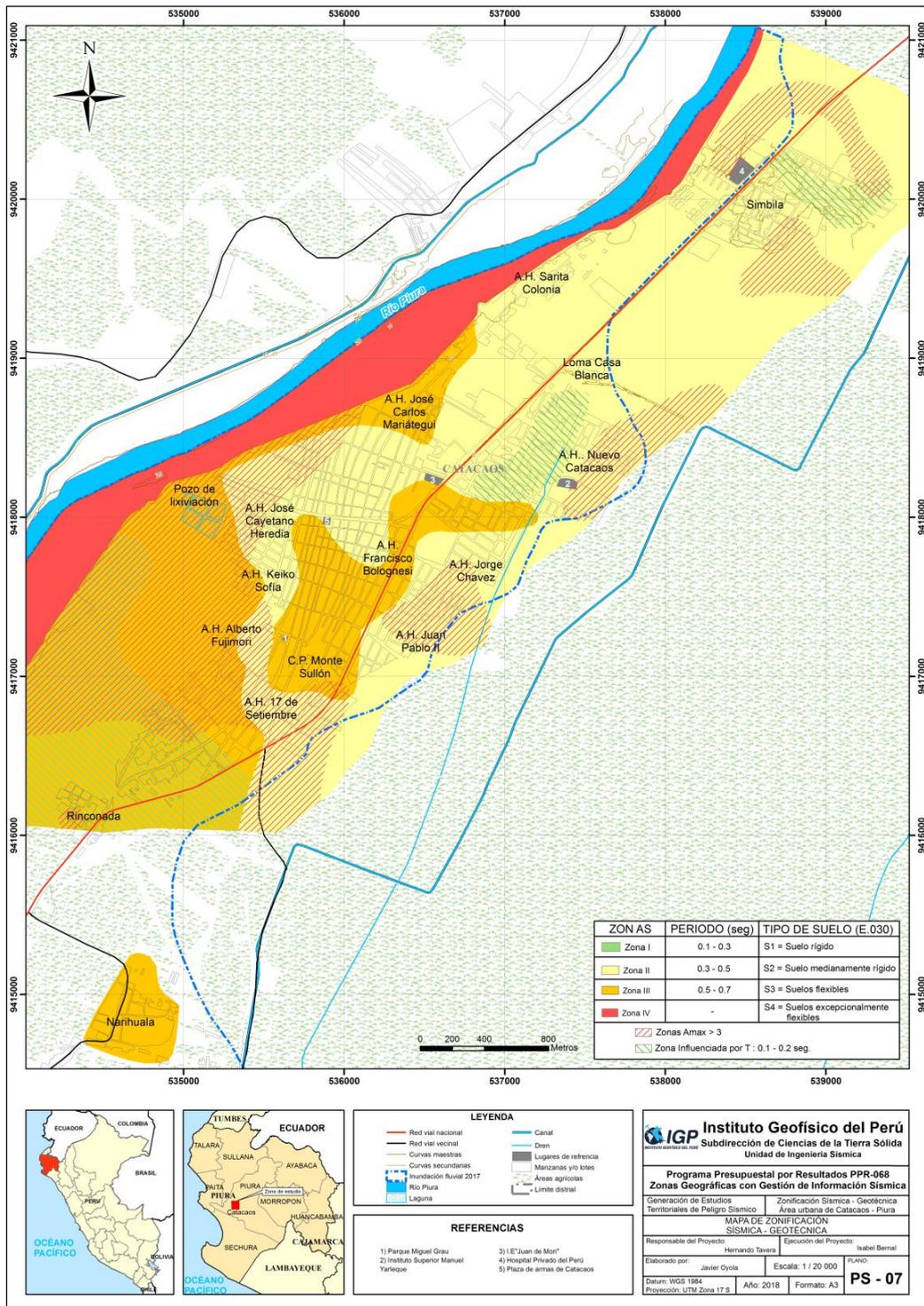


Figura 7: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para la ciudad de Catacaos.

## Recomendaciones

Este documento técnico debe ser complementado con los estudios geotécnicos para finalmente generar el mapa de “Zonificación Sísmica - Geotécnica”. Del mismo modo, para aportar con las normativas necesarias para el desarrollo y expansión urbana de la ciudad de Catacaos.

Asimismo, se debe tener en cuenta que los suelos de la ciudad de Catacaos presentan dos características importantes, la primera es que están conformados por arenas muy sueltas, arenas limosas, limos y arcillas, la segunda es la presencia de nivel freático superficial en los sectores: Simbila, Nuevo Catacaos, Lucas Cutivalú, Monte Sullon, y Alberto Fujimori. Ambos factores podrían contribuir a la ocurrencia de licuación de suelos y asentamientos.

Además, se debe considerar las zonas de relleno antrópico, ya que estas presentan capacidad de carga admisible muy baja, pudiendo afectar la cimentación de viviendas, las cuales se han localizado al sureste de Nuevo Catacaos, A.H José Cayetano Heredia, AH San Pablo y al extremo sureste de Monte Sullon y A.H Alberto Fujimori.

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

## CONTENIDO

1. METODOLOGÍA
2. GEOMORFOLOGÍA
  - 2.1. Levantamiento fotogramétrico
  - 2.2. Modelo Digital de Elevación (MDE)
  - 2.3. Pendientes
    - 2.3.1. Clasificación del grado de pendientes
  - 2.4. Unidades geomorfológicas
3. GEOLOGÍA
  - 3.1. Geología regional
    - 3.1.1. Geología histórica
  - 3.2. Geología local
    - 3.2.1. Formación Chira (Te-ch)
4. GEODINÁMICA
  - 4.1. Procesos de geodinámica interna
  - 4.2. Procesos de geodinámica externa
    - 4.2.1. Inundación
5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS
  - 5.1. Exploraciones a cielo abierto
    - 5.1.1. Densidad del suelo in-situ
  - 5.2. Exploraciones con posteadora
  - 5.3. Ensayo de penetración dinámica ligera - DPL
  - 5.4. Clasificación de suelos SUCS
  - 5.5. Ensayos de corte directo
    - 5.5.1. Capacidad de carga admisible

## CONCLUSIONES

## 1. METODOLOGÍA

Para realizar la caracterización geológica y geotécnica de los suelos en la ciudad de Catacaos, se ha seguido la siguiente metodología:

- **Gabinete I:** Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales (Orto imagen con 3.0 m. de resolución del servidor Perú SAT-1, año 2017) que fue georreferenciada haciendo uso de sistemas de información geográfica (SIG). Asimismo, se procedió con la recopilación de información geológica-geotécnica regional y local existente (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).
  
- **Campo I:** Se realizó el reconocimiento y delimitación de las unidades geomorfológicas, geológicas y eventos geodinámicos, tales como: inundaciones fluviales (desborde del río Piura sobre la margen izquierda) que afecta los sectores de Simbila, Viduque, Pueblo Nuevo, Los Tallanes, Juan de Mori, José Cayetano H., Monte Sullón, Alberto Fujimori, Rinconada, Narihualá y La Campiña, así como pluviales (acumulación de las aguas de escorrentía en zonas de depresión) en los sectores de José Carlos Mariátegui, Juan de Mori, Monte Sullón y Alberto Fujimori. También se identificaron zonas libres y accesibilidad para ejecutar las exploraciones geotécnicas tales como calicatas, DPL y posteos.
  
- **Campo II:** Elaboración de ensayos geotécnicos de acuerdo al siguiente detalle: Elaboración de calicatas: Éstas se realizaron a una profundidad promedio de 3.00 m. En Catacaos se realizaron 10 calicatas distribuidas en las inmediaciones de la zona urbana.

Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), elaborados con el fin de determinar la resistencia de los suelos al ser penetrado. En Catacaos se realizaron 14 DPLs.

Ejecución de auscultaciones haciendo uso de posteadora, éstas se distribuyeron en zonas intermedias a la ubicación de las calicatas más próximas, con el fin de determinar el tipo de suelo. En el área de estudio se llevaron a cabo 15 posteos.

- **Laboratorio:** Análisis de las muestras de suelos, a través de ensayos de laboratorio, tales como granulometría y límites de Atterberg (tipo de suelos SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad portante).
  
- **Gabinete II:** Análisis de los resultados obtenidos en campo y de laboratorio de Mecánica de suelos. Cálculo de las capacidades portantes de los suelos y registro de resultados de los ensayos geotécnicos realizados en campo. Además, de la elaboración de fichas geotécnicas (Densidades, logueo de calicatas, clasificación SUCS, etc.).

Asimismo, se procederá a realizar la digitalización del cartografiado de campo a escala gráfica 1:20000, para obtener los mapas temáticos de geomorfología, geología, geodinámica, ubicación de exploraciones geotécnicas, zonificación de suelos y capacidad portante.

## 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 Catacaos, en relación a su origen.

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

## 2.1. Levantamiento fotogramétrico

Para la ejecución del levantamiento, se utilizó un vehículo aéreo no tripulado (VANT), servicio que fue contratado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) a una consultora particular para realizar las mediciones de la superficie del terreno, la metodología y los parámetros empleados en el levantamiento fotogramétrico se presentan en el anexo topografía.

A partir, del levantamiento fotogramétrico, se obtuvo un plano topográfico; obtuvo un plano topográfico a escala 1:20,000 que contiene curvas de nivel (líneas que unen puntos con igual altitud) con equidistancia de 0.50 m. (Figura 1).



Figura 1: Ortofoto de la zona de Catacaos.

## 2.2. Modelo Digital de Elevación (MDE)

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

Para la elaboración del MDE de la ciudad de Catacaos (Figura 2), se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel diseñadas anteriormente, obteniendo como resultado la representación digital de la superficie del terreno de la localidad, que cubre un área de 3864 ha.

En base al MDE elaborado de la ciudad de Catacaos, se ha reconocido que la zona urbana se asienta sobre una llanura aluvial, la cual presenta un rango de cotas entre 22 y 24 m.s.n.m. En los sectores de Simbila, A.H. 4 de Junio, A.H Juan Velazco y A.H 03 de Octubre, se asientan en rango de cotas de 24 y 26 m.s.n.m.

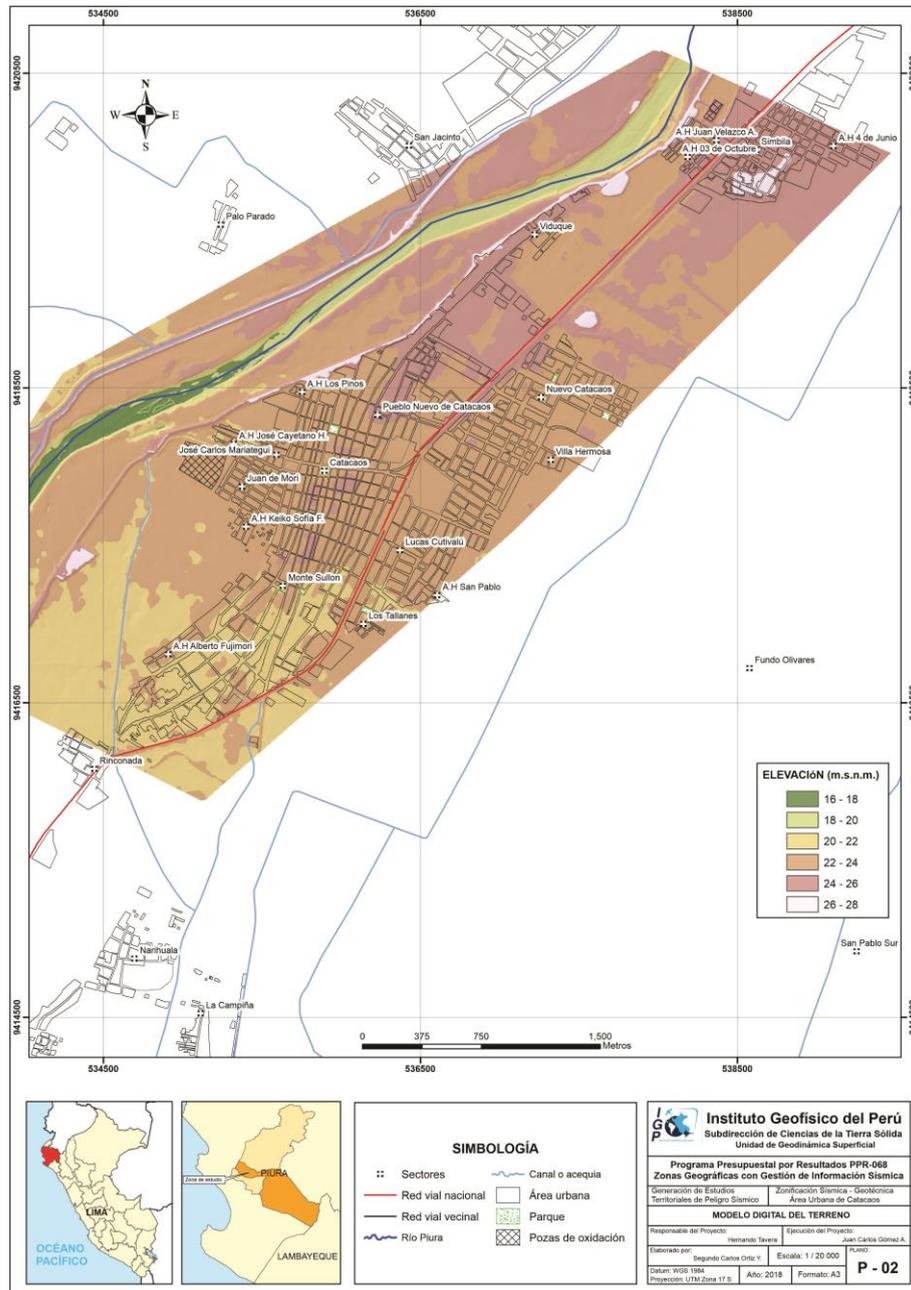


Figura 2: Mapa de modelo digital de elevación de la ciudad de Catacaos y alrededores.

### 2.3. Pendientes

Es el ángulo que se expresa en grados o porcentajes. Este parámetro influye en la formación de los suelos y condiciona el proceso erosivo, puesto que, mientras más

pronunciada sea la pendiente, la velocidad del agua de escorrentía será mayor, no permitiendo la infiltración del agua en el suelo (Belaústegui, 1999).

El diseño de mapa de pendientes de la ciudad de Cataaos fue desarrollado a partir del MDE elaborado anteriormente (Figura 3) haciendo usos de herramientas de geoprocésamiento (área de influencia, construcción de modelos, análisis espacial, etc.) para diferenciar gráficamente los ángulos de inclinación del relieve en el área de estudio.

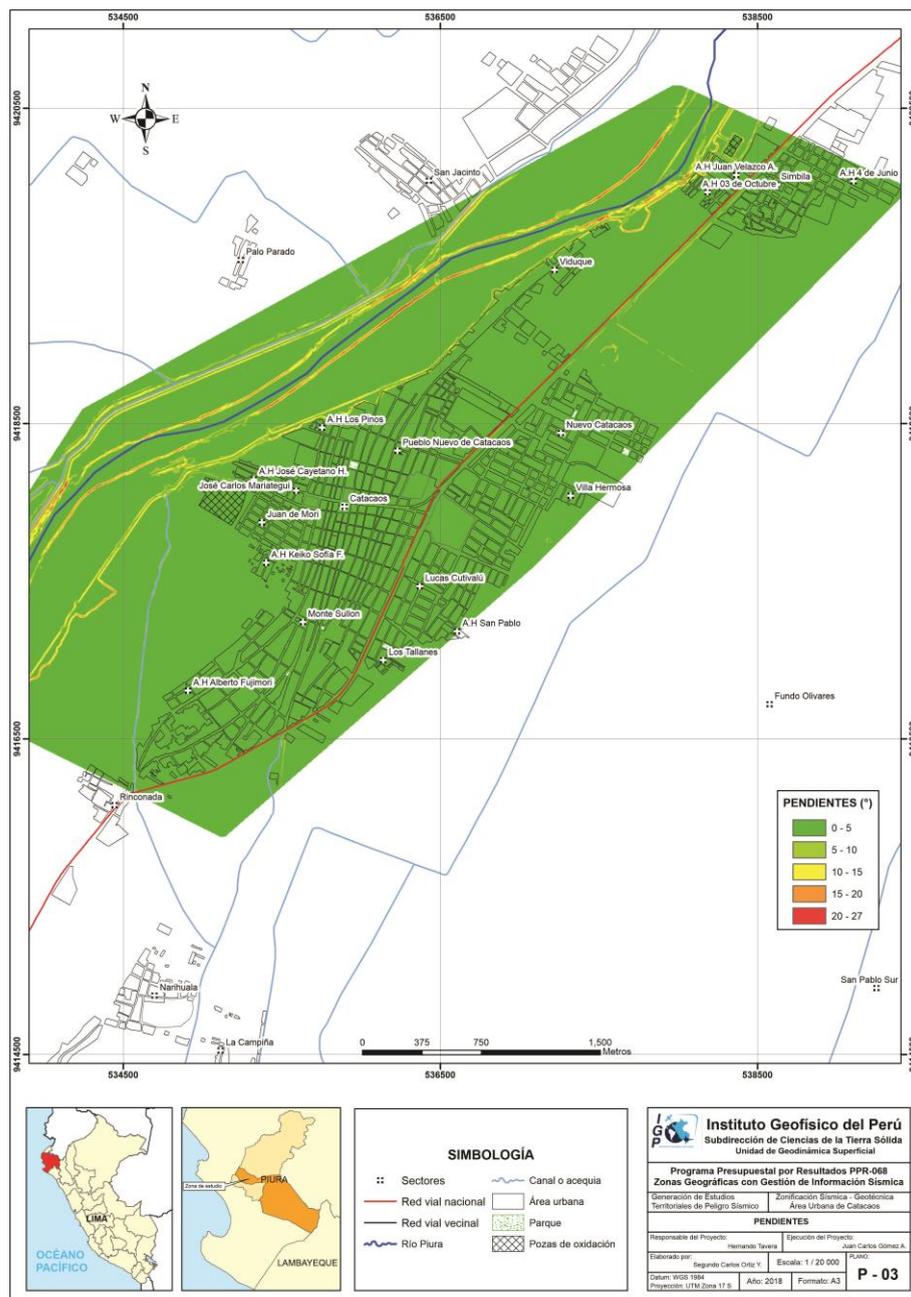


Figura 3: Mapa de pendientes del terreno de la ciudad de Catacaos y alrededores.

### 2.3.1. Clasificación del grado de pendientes

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

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

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

El casco urbano de Catacaos y anexos se encuentra asentada sobre una llanura aluvial que presenta pendientes que oscilan entre 0° y 5°.

### 2.4. Unidades geomorfológicas

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

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

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

En base a las características físicas de las geformas y su origen, en el distrito de Catacaos, se cartografiaron 4 unidades: Colina, llanura aluvial, terraza inundable y lecho fluvial. El mapa de unidades geomorfológicas se presenta en la Figura 4 y sus parámetros en la Tabla 2.

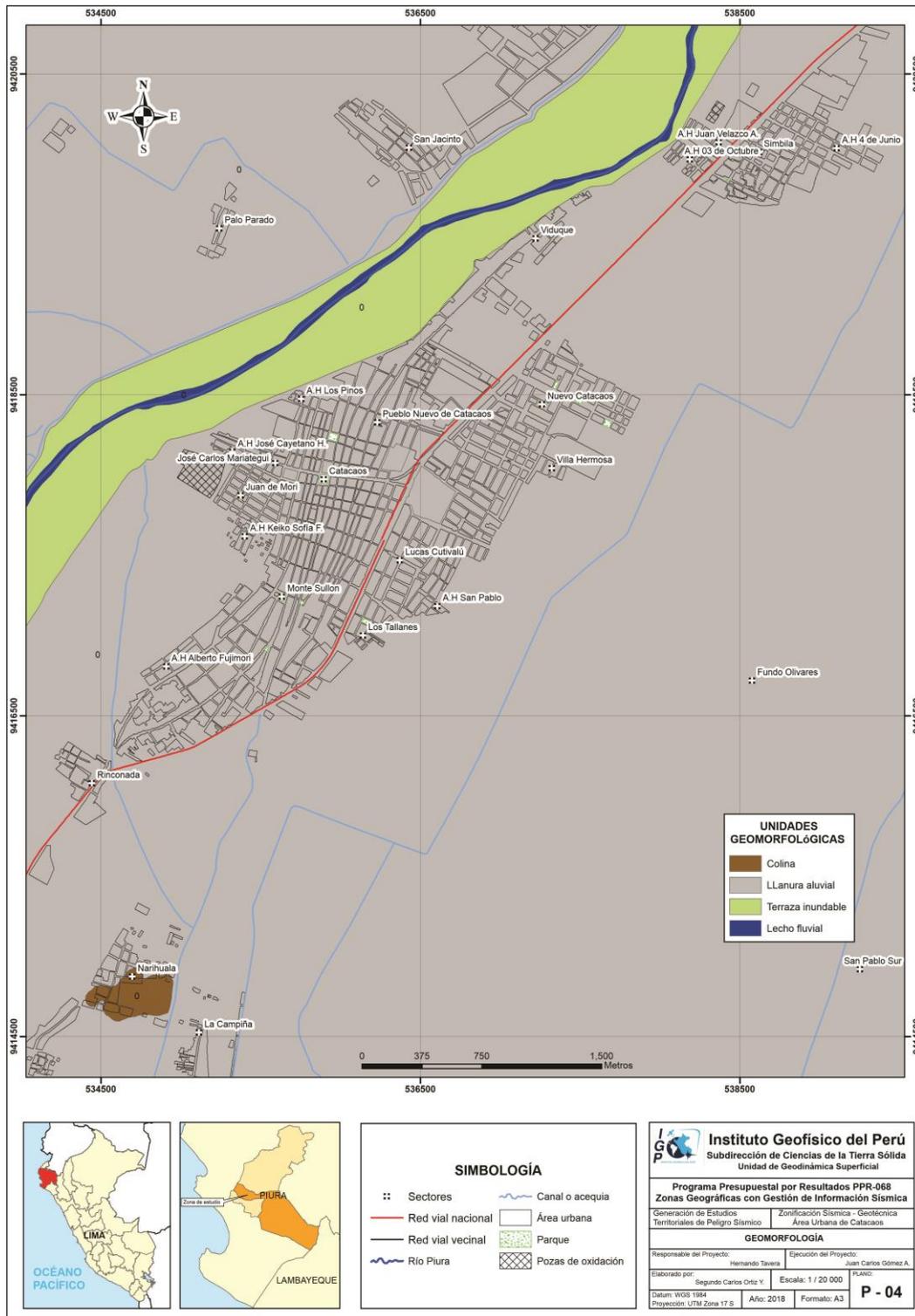


Figura 4: Mapa geomorfológico para la ciudad de Catacaos y alrededores.

Tabla 2: Determinación de geoformas en el distrito de Catacaos.

GEOMORFOLOGÍA CATACAOS			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		ORIGEN	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
Pendiente	<35°	Denudacional	Colina
Altura	<300 m		
Geometría	alargada		
Drenaje	dendrítico		
Pendiente	<5°	Deposicional	Llanura aluvial
Altura	0-100 m		
Geometría	alargada		
Drenaje	irregular		
Pendiente	<5°		Terraza inundable
Altura	0-100 m		
Geometría	alargada		
Drenaje	dendrítico		
Pendiente	<5°	Denudacional	Lecho fluvial
Altura	0-100 m		
Geometría	alargada		
Drenaje	rectangular		

**Colina:** Son elevaciones topográficas de altura menor a 100 m., cuyo relieve presenta pendientes menores de 20°, se caracteriza por tener forma redondeada. Abarca un área de 11.45 ha, que representa el 1% del total y se encuentra ubicada en el caserío de Narihualá, a 3 km., al suroeste de Catacaos. Sobre esta colina se encuentra el museo de Narihualá (Figura 5).



Figura 5: Límite entre la colina y llanura aluvial. Sobre esta colina se encuentran las ruinas de Narihualá, tiene una altura promedio de 20 m.

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

El lecho fluvial del río Piura se desplaza con dirección este – oeste, en el trayecto que colinda con la ciudad de Catacaos (margen izquierda) presenta una pendiente de 0.3% (menor a 1°), el ancho del cauce llega a medir entre 111 m. y 306 m. aproximadamente y se observan islotes en la parte central. Abarca un área de 26.51 ha, que representa el 1% del total. La ciudad de Catacaos se sitúa en la margen izquierda del río en mención, a 770 m, ver Figura 6.



Figura 6: Lecho fluvial del río Piura, situado a 770 m., al noroeste de la ciudad de Catacaos.

**Llanura aluvial:** Superficies horizontales o ligeramente inclinadas, cuyo relieve presenta pendientes menores a 7°. Generalmente, se encuentra conformada por materiales heterogéneos (clastos subangulosos a subredondeados envueltos en una matriz areno-limoso) y capas delgadas de limos.

Sobre esta unidad se asienta el casco urbano de Catacaos y sus anexos. Abarca un área de 3517.32 ha, que involucra un 90% del total, ver Figuras 7 y 8.



Figura 7: Llanura aluvial donde se encuentra asentada la ciudad de Catacaos y alrededores.



Figura 8: Imagen satelital de la llanura aluvial. Las líneas naranja delimita la terraza inundable.

**Terraza de inundación:** Es una superficie adyacente al lecho fluvial y que frecuentemente suele inundarse por presentar un relieve con pendientes inferiores a  $3^\circ$ . Cabe indicar que, ésta geoforma se encuentra constituida por materiales granulares

y/o finos, que los ríos han depositado en ambas márgenes. El ancho de las terrazas está en función al cauce del río.

En la zona de estudio, esta unidad ha sido formada por la acción del río Piura, que erosiona, transporta y deposita grandes volúmenes de sedimentos en la parte media y baja de la cuenca.

Esta unidad está conformada por material aluvial y tiene un ancho aproximado de 400 m., medido desde el lecho del río hasta la defensa ribereña. Esta unidad abarca un área de 25.51 ha, que representa el 2% del total (Figura 9).



*Figura 9: Terrazas de inundación (margen izquierda del río Piura). Tienen un aproximado de 400 m., medido desde el lecho del río hasta la defensa ribereña, dicho ancho varía a lo largo del cauce principal.*

### 3. GEOLOGÍA

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

El intemperismo asociado a los procesos de meteorización, es básicamente un proceso químico, el agua actúa como disolvente, la remoción de los elementos más pequeños del cuerpo de roca dejan espacios por donde el agua sigue penetrando y acelerando el proceso de desintegración. La roca se vuelve porosa, después, se descompone en fragmentos cada vez más pequeños, hasta que, al ser transportada y depositada se convierte en suelo. Los procesos químicos son complejos y dependen de los diversos minerales que constituyen las rocas lo que determina también su dureza y fragilidad. Por ejemplo: la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) en forma de cuarzo es estable en climas templados, pero en climas ecuatoriales, las altas temperaturas y las precipitaciones pluviales contribuyen a su descomposición; es por ello que, es importante conocer los tipos de rocas y sus características físicas (Harvey, 1987). Estos procesos de meteorización, modelan tanto la roca como del suelo, dando como resultado las geoformas que componen el relieve, los factores condicionantes como la litología, pendiente, hidrología, etc; así como, los detonantes: sismos y precipitaciones pluviales ocasionan movimientos en masa (deslizamientos, flujos, caída de rocas).

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

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



### 3.1.1. Geología histórica

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

En el Eoceno Superior, el mar alcanzó su máxima extensión entre Paita y Sullana e ingresando a la cuenca Sechura y en el Oligoceno se produce la transgresión de norte a sur. A fines del Mioceno un nuevo levantamiento reactiva fallas y fracturas ubicadas al noroeste y norte, dando lugar a la regresión del mar y erosión intensa. Nuevamente en el Plioceno los mares ingresan al continente por el norte y sur, depositando una secuencia clástica arcillo-arenosa, proceso que continuó hasta el Plio-Pleistoceno, formándose los tablazos a manera de terrazas.

### 3.2. Geología local

La geología local, consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de Catacaos a escala 1:20,000, sobre un área que abarcó 137.49 km<sup>2</sup> aproximadamente, (Figura 11). En la Tabla 3 se presenta las unidades geológicas y sus principales características son:

Tabla 3: Columna crono-litoestratigráfica de la zona de estudio.

CRONOESTRATIGRAFIA			LITOESTRATIGRAFIA		
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD ESTRATIGRAFICA	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos aluviales	<b>Qh-al</b>	Gravas sub-redondeadas y sub-ángulosas en matriz areno limosa.
			Depósitos eólicos	<b>Qh-e</b>	Arenas de grano fino a medio

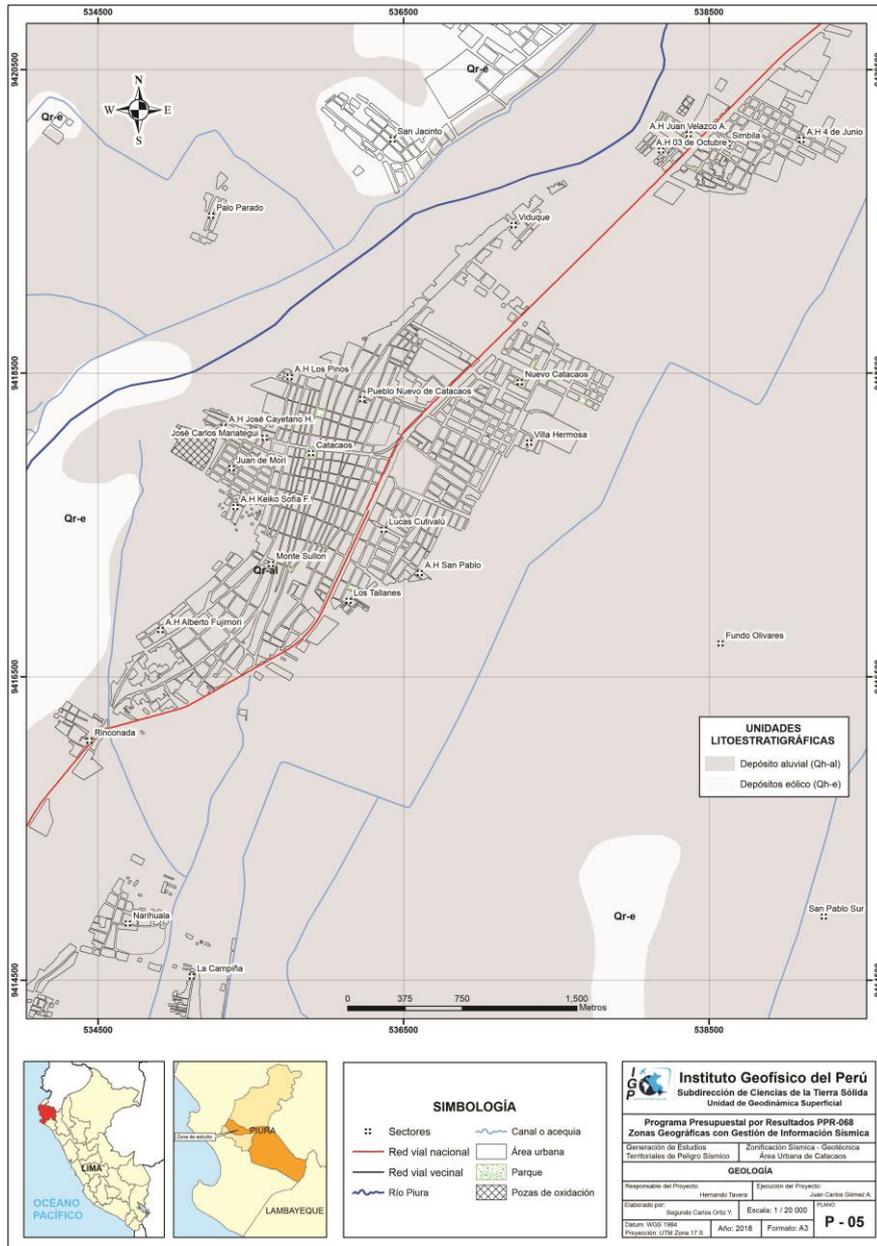


Figura 11: Mapa geológico de la ciudad Catacaos y alrededores.

### 3.2.1. Formación Chira (Te-ch)

Se encuentra suprayaciendo al sustrato rocoso conformado por rocas marino sedimentarias (Formación Zapallal), se encuentran los depósitos Cuaternarios de edad Holocena. Entre los que mayormente predominan en la zona de estudio son los depósitos aluviales y eólicos.

**Depósitos aluviales (Qh-al):** Están constituidos por arenas de grano grueso a fino de color beige a blanquecina, intercalado con limos de color marrón claro y pequeños lentes de arcillas de color marrón oscuro. Abarca el 92% del área de estudio y sobre

estos depósitos se encuentra asentada la ciudad de Catacaos y alrededores, ver Figura 12.



*Figura 12: Depósitos aluviales constituidos por arenas de grano fino con limos. Sobre estos depósitos se encuentra asentada la ciudad de Catacaos y alrededores.*

**Depósitos eólicos (Qh-e):** Constituidas por arenas de grano medio a fino, color gris a beige. Éstos han sido transportados por la acción de los vientos. Se han identificado al norte y oeste de la ciudad de Catacaos. Sobre estos depósitos se encuentra asentado el caserío de San Jacinto y abarca el 8% del área de estudio (Figura 13).



*Figura 13: Corte donde se observa la arenas de grano fino a medio con contenido de limos, pertenecientes a los depósitos eólicos recientes. Sobre estos depósitos se encuentra asentado el caserío de San Jacinto.*

## **4. GEODINÁMICA**

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

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

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

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

### **4.2. Procesos de geodinámica externa**

Entre estos procesos se encuentran la meteorización (física o mecánica) y la erosión (fluvial, eólica y marina). Estos procesos aprovechan la fuerza de la gravedad, es decir las rocas descienden algunos metros debido a desplazamientos masivos de terreno o son transportadas por medio de las corrientes fluviales hasta depositarse. En general, estos procesos, transportan materiales desde la parte alta de la cuenca hacia la parte baja de ésta.

Asimismo, estos procesos tienen como factores condicionantes: geomorfología (formas de relieve), litología (tipos de rocas y/o suelos), estructuras geológicas (pliegues y disposición de estratos) que interactúan con los factores detonantes como sísmicos (sismicidad de la zona), climatológicos (incremento de las precipitaciones) y

antrópicos (urbanismo, uso del suelo y construcción de vías de comunicación). Por otro lado, tal como se indicó anteriormente existen dos procesos descritos a continuación:

a) **Meteorización:** Las rocas que afloran en la superficie terrestre están expuestas a una lenta, pero a la vez efectiva, alteración. Ésta, puede ser física (la simple rotura de un bloque al caer, como química (la oxidación de un metal como resultado de la acción de los agentes externos, el tiempo de exposición de las rocas a estos agentes, de la naturaleza de la roca y del clima).

b) **Erosión:** Desgaste de los suelos y rocas de la superficie terrestre resultado de la acción combinada de varios factores, como la temperatura, los gases, el agua, el viento, la gravedad y la vida vegetal y animal, así como, se produce una erosión acelerada como el resultado de la acción humana. La erosión presenta tres fases: desgaste, transporte y depósito de los materiales, esto trae como consecuencia que se formen relieves por desgaste (degradación) y por depósito (agradación).

La acción por separado o en conjunto de los factores que dan origen a los procesos externos, favorecen a la ocurrencia de los eventos geodinámicos (Figura 14), los cuales se dividen según su origen en: fluvio-aluvial e hidro-gravitacional, descritos a continuación.

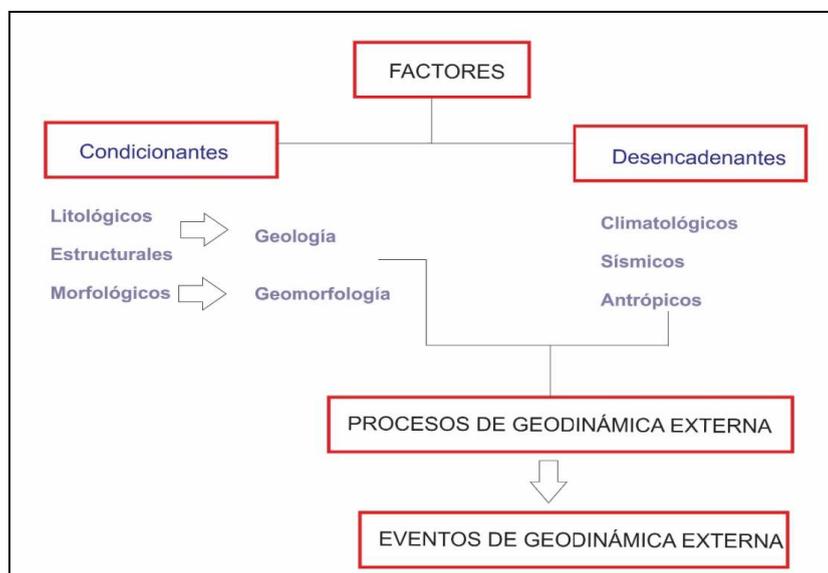


Figura 14: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos

- **Hidrometeorológico:** Entre estos se encuentra la inundación pluvial, fluvio-aluvial, costera. La primera se genera directamente de las precipitaciones pluviales, es decir, sin que el aporte del agua llegue a alguna escorrentía superficial, las agua se

acumulan en hondada o depresiones naturales y su proceso de infiltración puede tardar días.

La inundación fluvio-aluvial, producto del desborde de ríos o quebradas en períodos de precipitaciones extremas afectando extensiones de terreno adyacentes a la fuente de agua, finalmente, la costera afecta a zonas litorales causadas por maremotos, tsunamis y mareas generadas por vientos de ciclones.

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

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

#### 4.2.1 Inundación

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

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

Cuando las lluvias superan el promedio normal de precipitación (mayor al 50%) de una zona se le denominan lluvias extraordinarias o tormenta extrema. Estas al desarrollarse generan crecidas causando inundaciones de las áreas circundantes al río, esta anomalía es conocida como un evento hidrometeorológico (Figura 15).

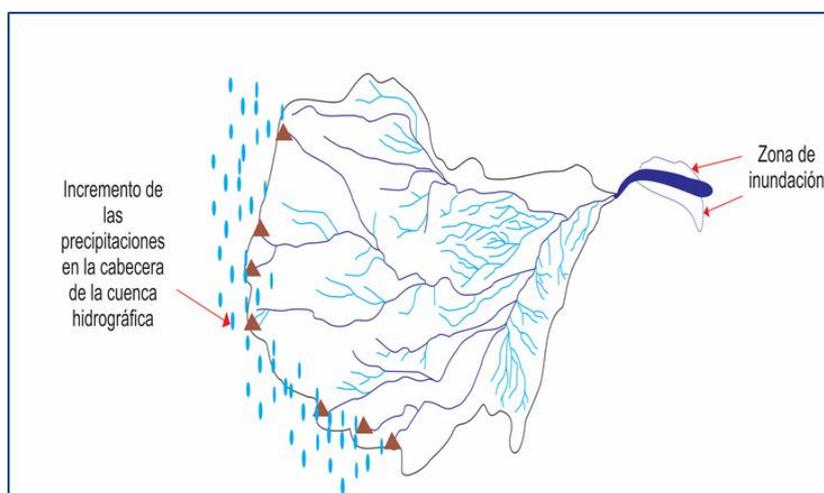


Figura 15: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica.

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

En la ciudad de Catacaos se han identificado dos tipos de inundaciones, lo cual ocurren frecuentemente en los meses de enero a marzo. El evento extraordinario se relaciona con el “Fenómeno del Niño” que se dieron en los años 1925, 1972, 1982-

1983, 1997-1998 y 2017, estos afectaron la seguridad física de Catacaos y alrededores (Figura 16). Estos tipos de inundaciones se describen a continuación:

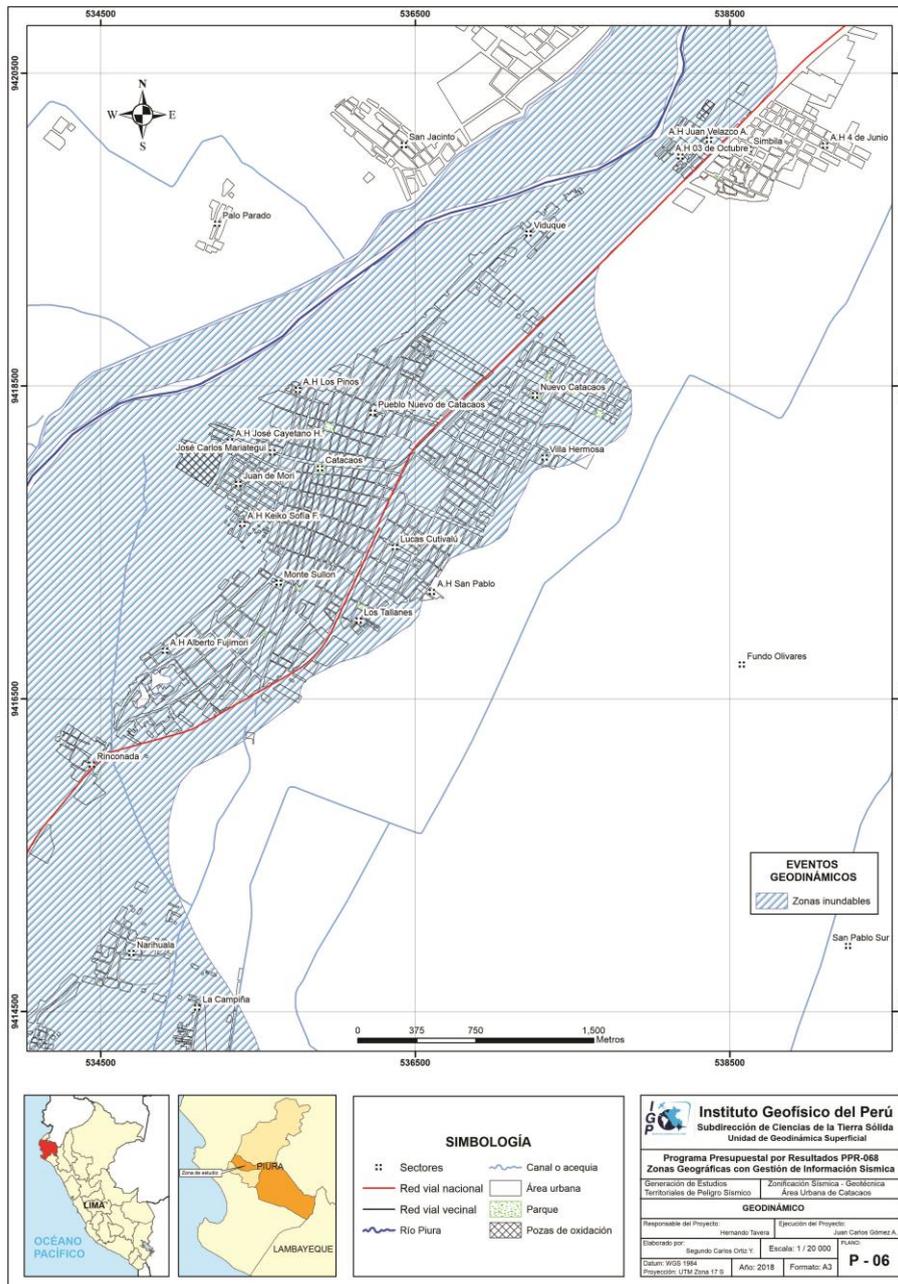


Figura 16: Mapa geodinámico de la ciudad de Catacaos y alrededores.

**-Inundaciones fluviales:** Se producen por el desborde, sobre la margen izquierda, del río Piura. Catacaos, pertenece a la región Piura y fue una de las ciudades más afectadas por este tipo de evento. Las afectaciones de las infraestructuras y actividad agrícola, repercutieron en el turismo, principal actividad económica de la localidad.

En el área de estudio existen tres zonas de rotura de diques, en Simbilá, Viduque y Pedregal Chico, produciendo inundaciones en los sectores de: A.H 03 de

Octubre, Simbila, Viduque, Nuevo Catacaos, Villa Hermosa, Pueblo Nuevo Catacaos, Los Pinos, A.H José Cayetano, casco urbano de Catacaos, José Carlos Mariátegui, Juan de Mori, Keiko Sofía, Monte Sullón, Los Tallanes, Alberto Fujimori, Rinconada, Narihualá, La Campiña, Pedregal Chico, entre otros. La altura máxima de inundación es de 1.70 m. y la mínima de 0.50 m., ver Figuras 17, 18, 19, 20, 21 y 22.



Figura 17: Sector Viduque en el cual existe una zona de ruptura de dique. En este sector se desbordó el río Piura afectando a las viviendas y áreas agrícolas de la población.



Figura 18: Inundación fluvial en el sector de Viduque, altura de inundación de 1.70 m.



Figura 19: En algunos sectores como Rinconada, el nivel de agua llegó a 0,70 m., en algunas viviendas aún se evidencia la marca.



Figura 20: En algunas viviendas aún queda la marca del nivel de agua que llegó a medir 1.70 m. (línea amarilla), esto en el sector de Pedregal Chico.



Figura 21: Inundación fluvial en el sector de Viduque, altura de inundación de 1.70 m.



Figura 22: Pozas de Oxidación que se sitúan a espaldas del hospital privado en el sector de Simbila, en época de lluvias extraordinarias superan su capacidad y se desborda, afectando las zonas aledañas.

**-Inundación pluvial:** Es la acumulación en forma de laguna del agua proveniente de las precipitaciones o por el desborde de los drenes; se genera en las zonas que presentan depresiones, como son: San Jacinto, Simbila, Viduque, Nuevo Catacaos, Monte Sullón, Alberto Fujimori y Rinconada, ver Figuras 23, 24, 25, 26 y 27.



*Figura 23: Canal que divide La Legua y San Jacinto, tiene una profundidad de 1.50 m. y un ancho de 2.30 m., en época de lluvias extraordinarias supera su capacidad y se desborda, afectando áreas agrícolas y algunas viviendas del sector.*



*Figura 24: Zona de inundación pluvial, en el sector de Nuevo Catacaos e incluso, a la fecha de exploración, aún existía agua estancada del evento Fenómeno del Niño del 2017. La línea amarilla señala la dirección del flujo.*



*Figura 25: Zona de inundación pluvial en el sector de Monte Sullón (al costado del coliseo Cristhian Requena Pasapera).*



*Figura 26: Estancamiento de agua en los drenes, debido a la falta de mantenimiento, esto podría ocasionar proliferación de enfermedades. Esto se observó en el sector Villa Hermosa.*



*Figura 27: Acumulación de desechos antrópicos en el dren situado en el sector de Monte Sullón. La falta de mantenimiento de estos drenes no deja que las aguas sigan su curso, aumentando la posibilidad de supere su capacidad y se desborde afectando las áreas agrícolas del sector y algunas viviendas.*



*Figura 28: Pozas de oxidación que se encuentran situadas en el sector Juan de Mori, las mismas que no tienen mantenimiento que, en caso de lluvias extraordinarias superan su capacidad y se desbordan afectando áreas agrícolas y viviendas del sector.*

## 5.- ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los suelos son materiales inconsolidados conformados por minerales, materia orgánica, agua y aire entre sus poros, que se generan a partir de la alteración de la roca madre por agentes atmosféricos, erosionándola y formando una cobertura de variado espesor de sedimentos, que posteriormente han sido transportados y redepositados en las partes bajas de las cuencas hidrográficas, sobre los cuales se asientan las áreas urbanas. En geotecnia para clasificar los tipos de suelos se hace uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) para determinar las características granulométricas y los límites plásticos, mientras que, la capacidad de carga admisible de los materiales (arcillas, limos, arenas, gravas y clastos) se encuentra condicionada a las características litológicas de las rocas pre-existentes y la dinámica con que fueron depositados. En el diagrama líneas abajo se indica el origen de los suelos (Figura 29).

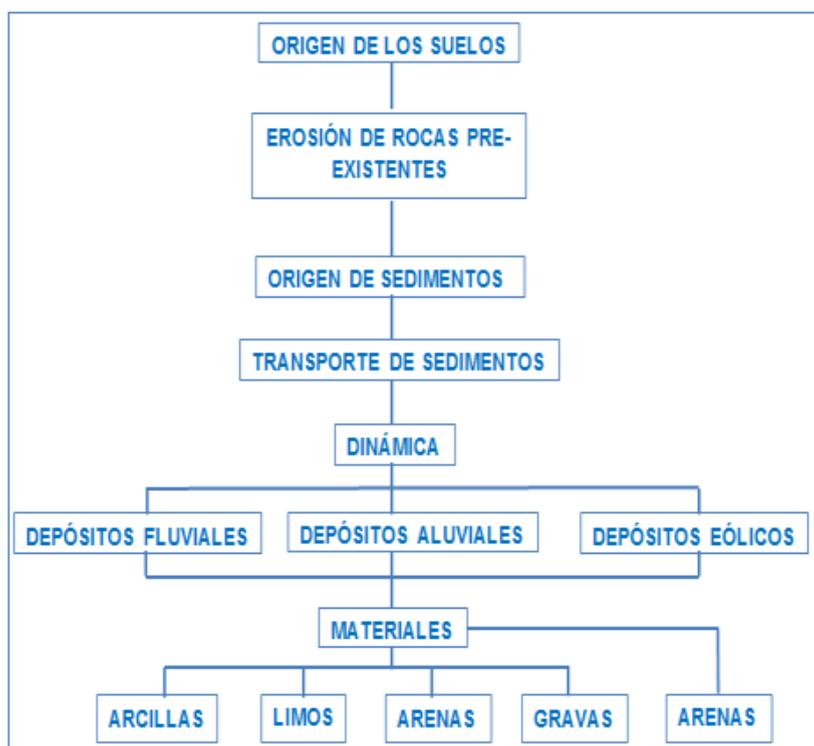


Figura 29: Diagrama del origen de los suelos.

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,



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

Es un método de exploración directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo a cierta profundidad (aproximadamente 3.00 m.), a fin de describir los estratos que lo conforman, así como, extraer muestras en bolsas herméticas con capacidad de 5 Kg. en promedio, para la realización de ensayos y análisis (Tabla 4).

Tabla 4: Ubicación de calicatas.

CALICATA	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
CC - 01	538916	9420270	38	2.90	N.P
CC - 02	538742	9420070	35	3.60	3.60
CC - 03	537159	9419406	32	3.00	N.P
CC - 04	537319	9418299	34	2.90	2.90
CC - 05	536499	9418449	33	3.20	N.P
CC - 06	536574	9418049	8	3.00	2.30
CC - 07	535863	9418494	23	3.20	N.P
CC - 08	535824	9417046	28	2.70	1.40
CC - 09	535525	9416466	30	3.00	2.40
CC - 10	536515	9417377	32	3.10	3.10

Cabe mencionar que, la profundidad de investigación promedio fue de 3.06 m., debido a que se encontraron arenas limosas con nivel freático superficial como es el caso de las calicatas CC-02, CC-04, CC06, CC-08, CC-09 Y CC-10, este último fue una limitante para continuar la excavación.

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

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

En cada estrato muestreado se debe llevar a cabo un ensayo de densidad de campo, haciendo uso del método del cono de arena, a fin de obtener el grado de

compacidad o consistencia y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales, en otros casos para obtener el grado de compactación. Esta información es necesaria para desarrollar los ensayos de corte directo, sin embargo, este ensayo no es aplicable en suelos que contengan cantidad excesiva de roca o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm).

En la Tabla 5 se presenta los resultados obtenidos para las densidades in situ de las diez (10) calicatas, información obtenida a través del método del cono de arena.

Tabla 5: Resultados obtenidos del ensayo de densidad de campo.

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
CC – 01	DC-CC - 01	1.45	1.60	1.23	23.41
CC – 02	DC-CC - 02	1.70	1.75	1.34	23.54
CC – 03	DC-CC - 03	1.70	1.60	1.32	17.92
CC – 04	DC-CC - 04	2.00	1.93	1.49	22.72
CC – 05	DC-CC - 05	1.50	1.69	1.31	22.48
CC – 06	DC-CC - 06	1.40	1.85	1.53	17.34
CC – 07	DC-CC - 07	1.80	1.51	1.46	3.13
CC – 08	DC-CC - 05	1.40	1.06	0.82	22.73
CC – 09	DC-CC - 06	1.60	1.09	0.81	25.37
CC - 10	DC-CC - 07	1.60	1.68	1.51	10.11

Según los resultados obtenidos, la densidad de campo para los suelos en la ciudad de Catacaos presentan rangos entre 1.06 – 1.93 gr/cm<sup>3</sup>, es decir, los materiales identificados en las calicatas corresponden a arenas pobremente graduadas muy sueltas a sueltas (Tabla 6). El contenido de humedad, en condiciones naturales, es de rango 3-13% hasta 25.37%. Los suelos que presentan mayor humedad corresponden a la calicata CC-08, debido a la presencia del nivel freático superficial (1.40 m.).

Tabla 6: Valores típicos de densidad de suelos (Fuente: 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

## 5.2. Exploraciones con posteadora

Se define como posteadora a un barredor manual en forma de “T” que permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta una profundidades 5 a 6 m. Las muestras extraídas se obtienen trituradas y completamente alteradas; sin embargo, sirven para reconocer los tipos de suelos y el contenido de humedad que presentan.

La posteadora presenta restricciones en suelos con presencia de gravas y gravillas (la cuchara saca muestra se entrapa en este tipo de suelos).

Estas exploraciones fueron realizadas entre los puntos de las calicatas, tratando de cubrir el área de estudio o en los lugares donde no existía información geotécnica con la finalidad de obtener una mejor zonificación de los suelos de la ciudad de Piura. A continuación se muestran los resultados obtenidos y ubicación (Tabla 7).

Tabla 7: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS.

POSTEO	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO (SUCS)	PROF. DEL NIVEL FREÁTICO (m)
Post - 01	538782	9420109	9	2.50	CL	NP
Post - 02	538158	9419946	31	2.60	SM	NP
Post - 03	537422	9419629	36	0.60	SP	NP
Post - 04	536896	9419168	34	2.60	SP	NP
Post - 05	537342	9418890	30	2.60	SM	NP
Post - 06	537127	9418374	33	2.70	SM	2.50
Post - 07	536430	9418171	32	1.10	CL	NP
Post - 08	535335	9417620	31	2.50	SP	2.10
Post - 09	536359	9417325	28	2.50	SP	2.00
Post - 10	536170	9417028	33	2.90	SM	NP
Post - 11	535525	9416466	30	1.20	SC	0.80
Post - 12	535064	9416408	27	3.10	CL	2.80
Post - 13	534259	9416219	29	2.60	SP	NP
Post - 14	534680	9415106	28	1.10	CL	1.00
Post - 15	534820	9414930	31	3.00	SP	2.80

En el posteo (Post-03) se llegó a una profundidad de 0.60 m., debido a la probable presencia de suelos granulares que impidieron el avance de la posteadora.

### 5.3. Ensayo de penetración dinámica ligera DPL (Norma DIN 4094)

Se realizaron con un equipo de campo de registro continuo dónde se contabiliza y registra el “N”, que es el número de golpes dados por un martillo de 10 Kg. Este martillo se deja caer por gravedad desde una altura de 0.50 m., medida en la parte superior del tambor de acero, para profundizar tramos cada 10 cm. a través de una punta cónica de 60° que se encuentra en el extremo inferior. Este ensayo permite estimar el ángulo de fricción de suelos específicos, que ayudarán a calcular mediante fórmulas empíricas la capacidad portante (resistencia al corte) de los suelos en Kg/cm<sup>2</sup>, además, se puede tener las propiedades de compacidad de los suelos.

La ventaja del instrumento es que es un equipo muy práctico y se puede transportar fácilmente. Se hace mención que, este ensayo es aplicable en terrenos arenosos, areno-arcillosos y limo arenosos, no recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos.

La Tabla 8, indica la ubicación de los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizados en las inmediaciones de la ciudad de Catacaos, el número de golpes y el ángulo de fricción interna calculado en base a los parámetros de compacidad (correlación del valor de N) establecida por Terzaghi y Peck 1973 y densidad relativa según la fórmula de Meyerhof (1956).

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

Dónde:

$\Phi$ = Ángulo de fricción interna

Dr=Densidad relativa

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

DPL	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE GOLPES	$\Phi$
DPL-01	538782	9420109	9	2.50	4	27.60
DPL-02	538158	9419946	31	2.60	18	32.70
DPL-03	537159	9419406	32	2.60	4	27.60
DPL-04	536896	9419168	34	2.50	25	34.70
DPL-05	536499	9418449	33	1.80	14	31.40
DPL-06	537127	9418374	33	1.80	32	36.50
DPL-07	536430	9418171	32	2.60	7	28.90
DPL-08	536515	9417377	32	2.70	27	35.20
DPL-09	535824	9417046	28	2.40	46	40.00
DPL-10	535335	9417620	31	2.60	20	33.30
DPL-11	534954	9416648	27	2.60	14	31.40
DPL-12	534259	9416219	29	2.60	10	30.0
DPL-13	534680	9415106	28	2.60	23	34.10
DPL-14	534820	9414930	31	2.60	15	31.70

En los ensayos se logró alcanzar una profundidad mínima de 2.0 m., y de penetró 1.80 m., debido a la presencia de materiales más compactos. Asimismo, la profundidad alcanzada a través de la elaboración de estos ensayos permitió inferir que los suelos ubicados en la ciudad de Catacaos y alrededores presentan consistencia suelta a media.

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

En base a la información geotécnica recopilada de estudios anteriores, así como de calicatas y posteos, realizados en la ciudad de Catacaos, los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad realizados en el laboratorio

de Mecánica de Suelos (Anexo de Geotécnica – Resultados de Laboratorio), se han identificado 05 tipos de suelos, los mismos que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ver Figura 31.

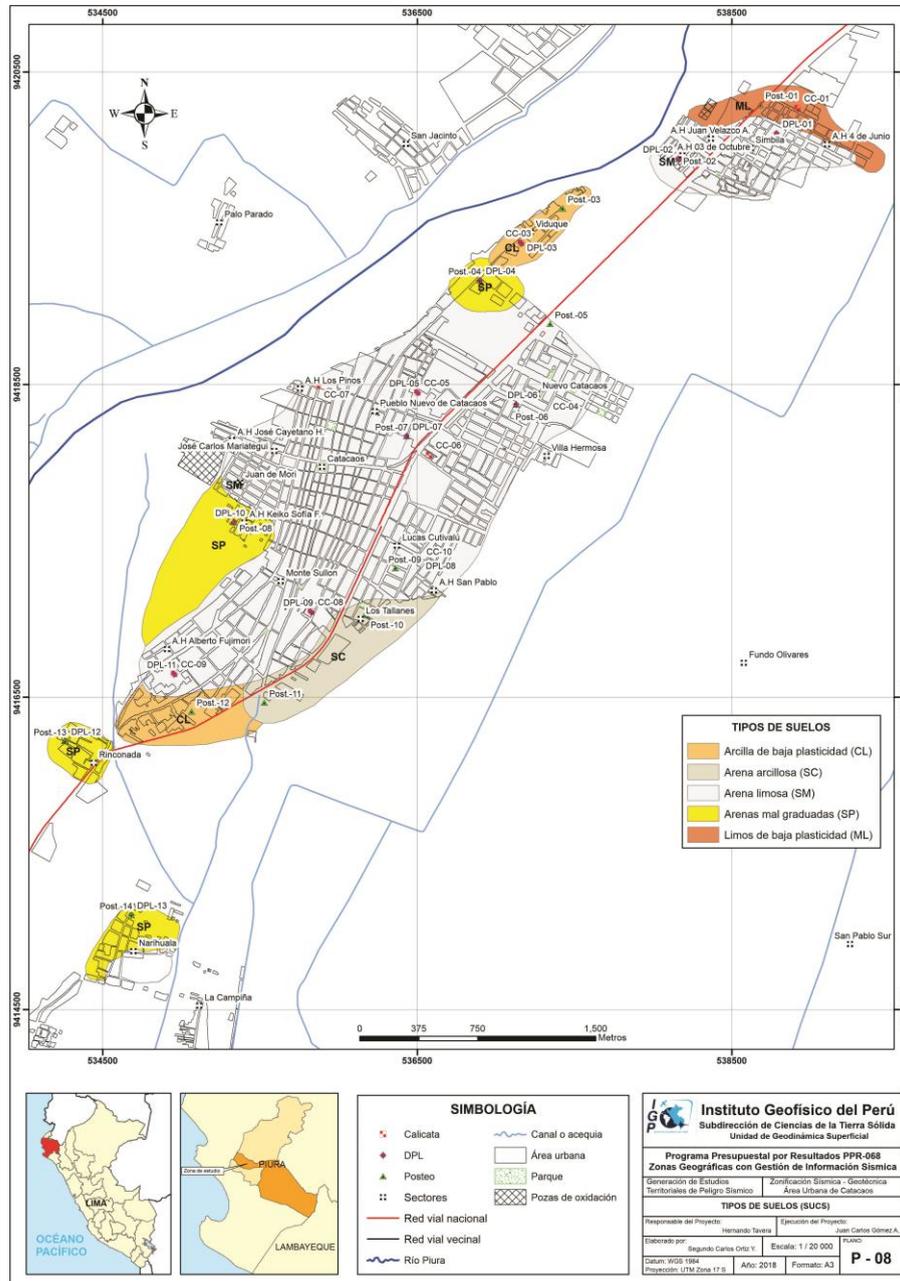


Figura 31: Mapa de clasificación SUCS de suelos para la ciudad de Catacaos y alrededores.

- **Suelo tipo SP:** Constituido por arenas mal graduadas con gravas y con un contenido de humedad de 2.78 %. Asimismo, compuestos por constituyen suelos de compacidad muy suelta a suelta, no presentan plasticidad (debido a la escasa presencia de material fino). Presentan ángulo de fricción de rango 23.80° - 28.00° y una densidad natural de 1.30-1.61 gr/cm<sup>2</sup>. Abarcan el 13% de la zona de

estudio y se identificaron en el anexo de Viduque, A.H Keiko Sofía, sector Rinconada y Anexo de Narihualá.

- **Suelos tipo SM:** Están conformados por arenas limosas mal graduadas de color beige claro a oscuro, el contenido de humedad varía de 10.11 a 25.37%; por lo cual, se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es moderada. Constituyen suelos de compacidad muy suelta a suelta con un ángulo de fricción entre 18.78° a 29.90° y una densidad natural de 1.06-1.75 gr/cm<sup>2</sup>, no presentan plasticidad.

Estos suelos, abarcan el 69% de la zona de estudio: Juan Velazco A., 03 de Octubre, Nuevo Catacaos, Los Pinos, San Pablo, José Cayetano H., Juan de Mori, San Pablo, Alberto Fujimori y los Anexos de Monte Sullón, Los Tallanes y Pueblo Nuevo de Catacaos.

- **Suelos tipo SC:** Están conformados por arenas arcillosas de humedad media a saturada y de color marrón claro a oscuro. Constituyen suelos de compacidad suelta con un ángulo de fricción de 28.20°, y una densidad natural de 1.85 gr/cm<sup>2</sup>.

Estos suelos, abarcan el 7% de la zona de estudio y se identificaron en el sector Los Tallanes.

- **Suelos tipo ML:** Están conformados por limos inorgánicos y arenas muy finas de baja plasticidad, el contenido de humedad es de 23.41%. Constituyen suelos con grado de consistencia compacta a muy compacta. Presentan un ángulo de fricción de 15.49° y una densidad natural de 1.60 gr/cm<sup>2</sup>. Estos suelos abarcan el 4% de la zona de estudio: Anexo de Simbilá

- **Suelos tipo CL:** Están conformados por arcillas inorgánicas y arenas muy finas de baja plasticidad, el contenido de humedad es de 17.92%. Constituyen suelos con grado de consistencia muy compacta a dura. Presentan ángulo de fricción de rango 15.57 a 24.80°, y una densidad natural de 1.60 gr/cm<sup>2</sup>.

Estos suelos abarcan el 7% de la zona estudio y se identificaron en el Anexo de Viduque y en el extremo suroeste del Anexo de Monte Sullón.

En la Tabla 9 se describe los tipos de suelos existentes en la ciudad de Catacaos.

Tabla 9: Clasificación SUCS de los suelos en la ciudad de Catacaos.

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)	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
CC-01	2.90	N.P.	0.00	13.50	86.50	-	-	-	23.41	ML	Limo arenoso
CC-02	3.60	3.60	0.00	80.10	19.10	-	-	-	23.54	SM	Areno limosa
CC-03	3.00	N.P.	0.00	31.90	68.10	32.00	23.20	8.80	39.40	CL	Arcillas de baja plasticidad
CC-04	2.90	2.90	0.00	79.00	21.00	-	-	-	22.72	SM	Arena limosa
CC-05	3.20	N.P.	0.00	68.80	31.20	-	-	-	22.48	SM	Areno limosa
CC-06	3.00	2.30	0.00	62.15	37.85	-	-	-	17.34	SM	Areno limosa
CC-07	3.20	N.P.	0.00	67.70	32.33	-	-	-	3.13	SM	Areno limosa
CC-08	2.70	1.40	0.00	60.50	39.50	-	-	-	22.73	SM	Areno limosa
CC-09	3.00	2.40	0.00	81.30	18.70	-	-	-	24.70	SM	Arena limosa
CC-10	3.10	3.10	0.00	70.81	29.19	-	-	-	10.11	SM	Areno limosa

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

La finalidad de este ensayo es determinar la resistencia al esfuerzo de corte de una muestra de suelo sometida a fatigas y/o deformaciones (esfuerzos verticales y horizontales) que simulen la que existe o existiría en el terreno producto de la aplicación de una carga. Esta resistencia al corte se debe a dos componentes: la cohesión (comportamiento plástico que presentan las partículas finas de una muestra) y el ángulo de fricción interna (rozamiento que existe en las partículas granulares).

Los valores finales de la capacidad portante de los suelos en la ciudad de Catacaos han sido basados en el análisis laboratorio debidamente corroborado con datos teóricos de los parámetros de ángulo de fricción y cohesión de Terzaghi e información de DPL realizados en campo.

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

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

En las Tabla 10 y 11 se describe los resultados de capacidad de carga admisible de los 03 tipos de suelos analizados.

Tabla 10: Capacidad de carga admisible de diez (10) muestras extraídas en la ciudad de Catacaos.

MUESTRA	Capacidad de carga última (Kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga última (Kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )
CC - 01	0.59	0.20	0.82	0.27
CC - 02	1.57	0.52	2.24	0.75
CC - 03	0.90	0.30	1.13	0.38
CC - 04	0.73	0.24	1.01	0.34
CC - 05	1.26	0.42	1.80	0.60
CC - 06	1.67	0.56	2.38	0.79
CC - 07	1.16	0.39	1.65	0.55
CC - 08	0.79	0.26	1.13	0.38
CC - 09	1.85	0.62	2.24	0.75
CC - 10	1.28	0.43	1.82	0.61
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

Tabla 11: Capacidad de carga admisible (criterio de falla general y local) en base a los ensayos de DPL en la ciudad de Catacaos.

ENSAYO	Capacidad de carga última (kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga última (kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )
DPL-01	1.33	0.44	1.54	0.51
DPL-02	1.17	0.39	1.46	0.49
DPL-03	1.68	0.56	2.20	0.73
DPL-04	1.45	0.48	1.81	0.60
DPL-05	1.83	0.61	3.31	1.10
DPL-06	1.11	0.37	2.34	0.78
DPL-07	1.71	0.57	1.52	0.51
DPL-08	1.09	0.36	1.82	0.61
DPL-09	1.04	0.35	1.75	0.58
DPL-10	0.80	0.27	1.34	0.45
DPL-11	1.68	0.56	2.19	0.73
DPL-12	1.03	0.34	2.02	0.67
DPL-13	0.88	0.29	1.36	0.45
DPL-14	0.92	0.31	1.18	0.39
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

De los resultados citados anteriormente y tomando en cuenta la Tabla 12, se ha determinado que, la zona urbana de la ciudad de Catacaos en su mayoría ha sido construida sobre suelos con capacidad de carga admisible muy baja. Ante ello, se ha realizado la siguiente clasificación:

Tabla 12: Rango de capacidad de carga admisible

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

### Tipos de capacidad de carga admisible

En la localidad de Catacaos se han identificado el siguiente tipo de capacidad de carga admisible:

#### - Capacidad de carga admisible muy baja

Comprende rangos de capacidad de carga admisible menores a 1.00 kg/cm<sup>2</sup>, se consideran suelos granulares con contenido de finos de compacidad muy suelta a suelta. Abarca el 100% del área estudiada: ciudad de Catacaos y los anexos de:

Simbila, Viduque, Nuevo Catacaos, Pueblo Nuevo Catacaos, Los Pinos, José Cayetano Heredia, José Carlos Mariátegui, Juan de Mori, Monte Sullón, Los Tallanes, Rinconada y Narihualá (Figura 32 ).

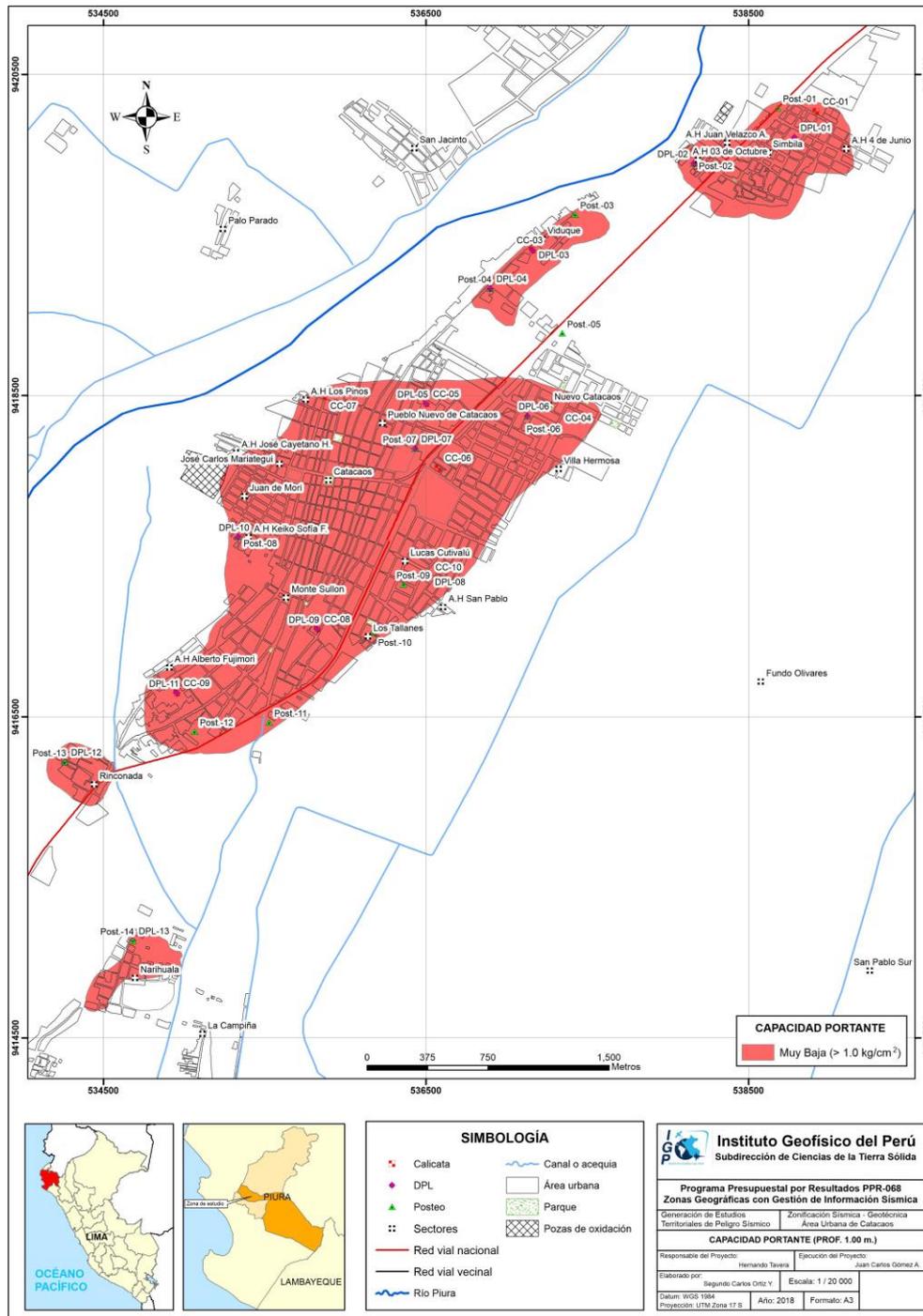


Figura 32: Mapa de capacidad portante de la ciudad de Catacaos y alrededores.

## 6. CONCLUSIONES

- Existen cuatro unidades geomorfológicas en la ciudad de Catacaos como son: colina, llanura aluvial, terraza inundable y lecho fluvial.
- El sustrato rocoso consta de rocas de origen marino complementando a la Formación Zapallal y suprayaciendo a este sustrato, se encuentran los depósitos del Cuaternario conformados por materiales aluviales y eólicos. Sobre el primero, se asienta la ciudad en mención y anexos.
- La geodinámica en la ciudad de Catacaos está representada por inundaciones fluviales que se producen en: A.H 03 de Octubre, Simbila, Viduque, Nuevo Catacaos, Villa Hermosa, Pueblo Nuevo Catacaos, Los Pinos, A.H José Cayetano, casco urbano de Catacaos, José Carlos Mariátegui, Juan de Mori, Keiko Sofía, Monte Sullón, Los Tallanes, Alberto Fujimori, Rinconada, Narihualá, La Campiña, Pedregal Chico, entre otros, para el caso de inundaciones pluviales, se deben a la existencia de depresiones de mantenimiento en los drenes: sectores de San Jacinto, Simbila, Viduque, Nuevo Catacaos, Monte Sullón, Alberto Fujimori y Rinconada.
- Se realizaron ensayos geotécnicos y los tipos de suelos presentes en la ciudad de Piura son: arenas mal graduadas (SP), arenas limosas (SM), arenas arcillosas (SC), limos inorgánicos (ML) y arcillas inorgánicas (CL), los cuales presentan capacidad de carga admisible muy baja ( $<1\text{kg/cm}^2$ ).

**CARACTERIZACIÓN SÍSMICA -GEOFÍSICA  
DE LA CIUDAD DE CATACAOS**

## CONTENIDO

### 1. METODOLOGÍA

#### 1.1. Razones Espectrales H/V

##### 1.1.1. Adquisición de datos

##### 1.1.2. Procesamiento de datos

##### 1.1.3. Análisis y resultados

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

##### 1.2.1. Adquisición de datos

##### 1.2.2. Procesamiento de datos

##### 1.2.3. Análisis y resultados

#### 1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica ERT

##### 1.3.1. Adquisición de datos

##### 1.3.2. Procesamiento de datos

##### 1.3.3. Análisis y resultados

### 2. ZONIFICACIÓN DE SUELOS

#### 2.1. Integración de resultados

#### 2.2. Mapa de Zonificación Sísmica- Geotécnica

### CONCLUSIONES

## 1. METODOLOGÍA

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

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

El método de razones espectrales (H/V) descrito por Nakamura (1989), permite caracterizar la respuesta dinámica del sitio y estimar la amplificación sísmica.

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

### 1.1.1. Adquisición de datos

Los registros de vibración ambiental son obtenidos con equipos sísmicos compuesto 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 Catacaos: sensor Lennartz (2N) y registradores CityShark II.

Para la aplicación de esta técnica se procedió, sobre el mapa catastral del área urbana de Catacaos, 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 urbana de Catacaos, se consideró 127 registros de vibración ambiental obtenidos de manera puntual (Figura 3).

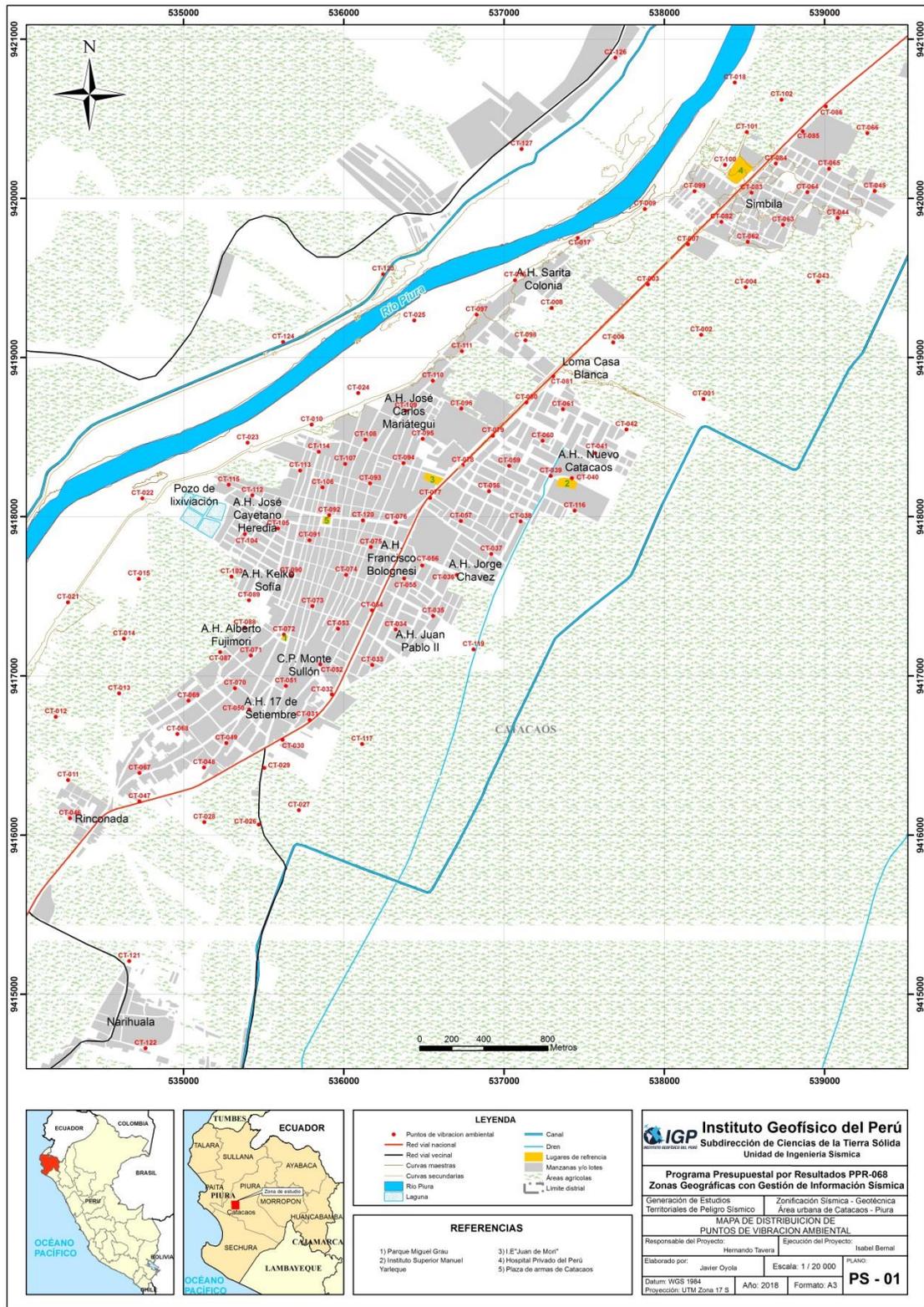


Figura 3: Mapa catastral del área urbana de Catacaos y la distribución de puntos donde se tomaron los registro de vibración ambiental HV.

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 CT-27 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en CT-57, 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.

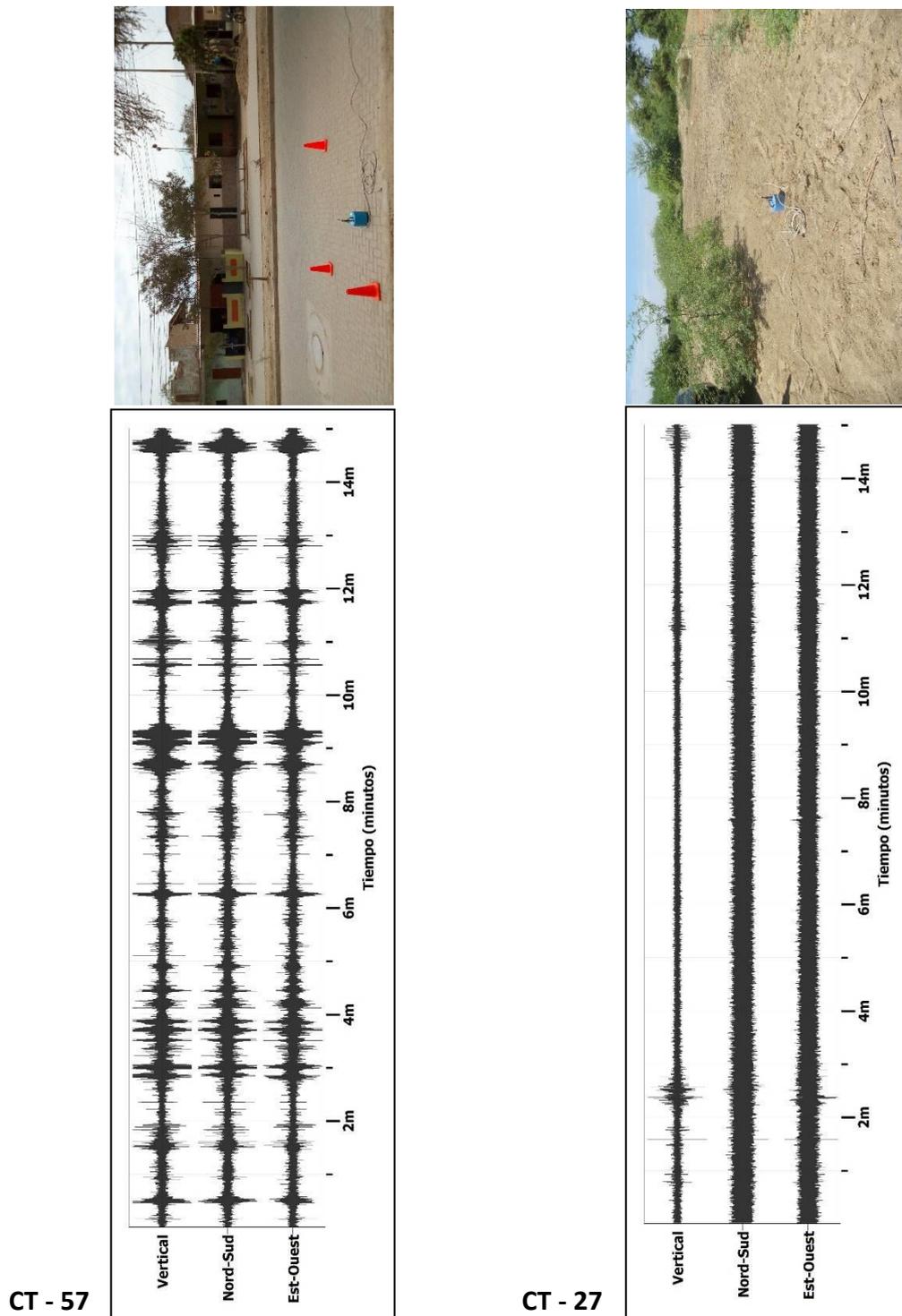


Figura 4: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (CT-57) y otro con ruido de fondo constante (CT-27). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada 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 sin 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 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).

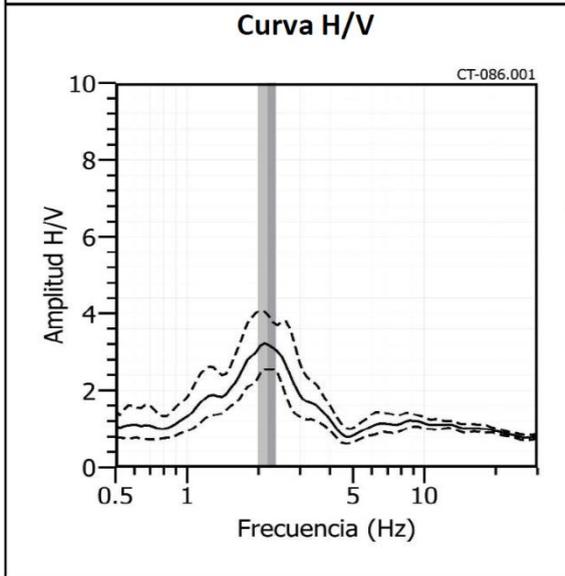
El procesamiento de la información se ha realizado con el programa computacional GEOPSY. En la Figura 5, se muestra un ejemplo del procedimiento seguido para el total de la información obtenida en campo. El primer recuadro presenta la selección de las ventanas de procesamiento para las tres componentes de la señal registrada (Vertical, N-S y E-O), seguidamente la curva H/V, en la cual la curva continua negra es el promedio del cociente H/V; mientras que, las curvas discontinuas son la desviación estándar y las bandas grises identifican 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 a fin de correlacionar resultados; 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).

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

CT-86



Interpretación de resultados				
Dudoso	Pico(s) H/V (Hz)	<input type="checkbox"/>	f0	f1
Ningún pico		<input checked="" type="checkbox"/>	–	2.81
Observaciones				
Var. azimuthal	Homogénea		Amplitud max. Entre y°	

Figura 5: Ejemplo de la ficha H/V para el punto CT-86 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua y Abajo; resultados.

### 1.1.3. 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. Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permitió definir dos rangos de frecuencias F0 ( $F \leq 3.0$  Hz) y F1 ( $F > 3.0$  Hz), mostrando un pico de frecuencia bien definido y en algunos lugares dos picos de frecuencia. A continuación se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en el área urbana de Catacaos.

#### Frecuencias Predominantes

- **Frecuencia predominante  $F_0$ :** En la Figura 6, se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de  $F_0$ , en la cual predominan valores entre 1.3 a 2.6 Hz. Estos están presentes de manera uniforme en toda el área de estudio, esto evidencia que existe una capa sedimentaria de gran espesor en el área urbana de Catacaos.

En la Figura 7 se muestra ejemplos de razones espectrales para los puntos SU-03(A), SU-178 (E) y SU-179(F), ubicados al sur este por la urb. Los Olivos. Presentan un pico definido con frecuencias de 0.93, 0.69 y 0.70 Hz y amplificaciones de 3.2, 2.7 y 2.6 veces respectivamente, los resultados muestran la existencia de una capa sedimentaria de gran espesor que se manifiesta en esta zona.

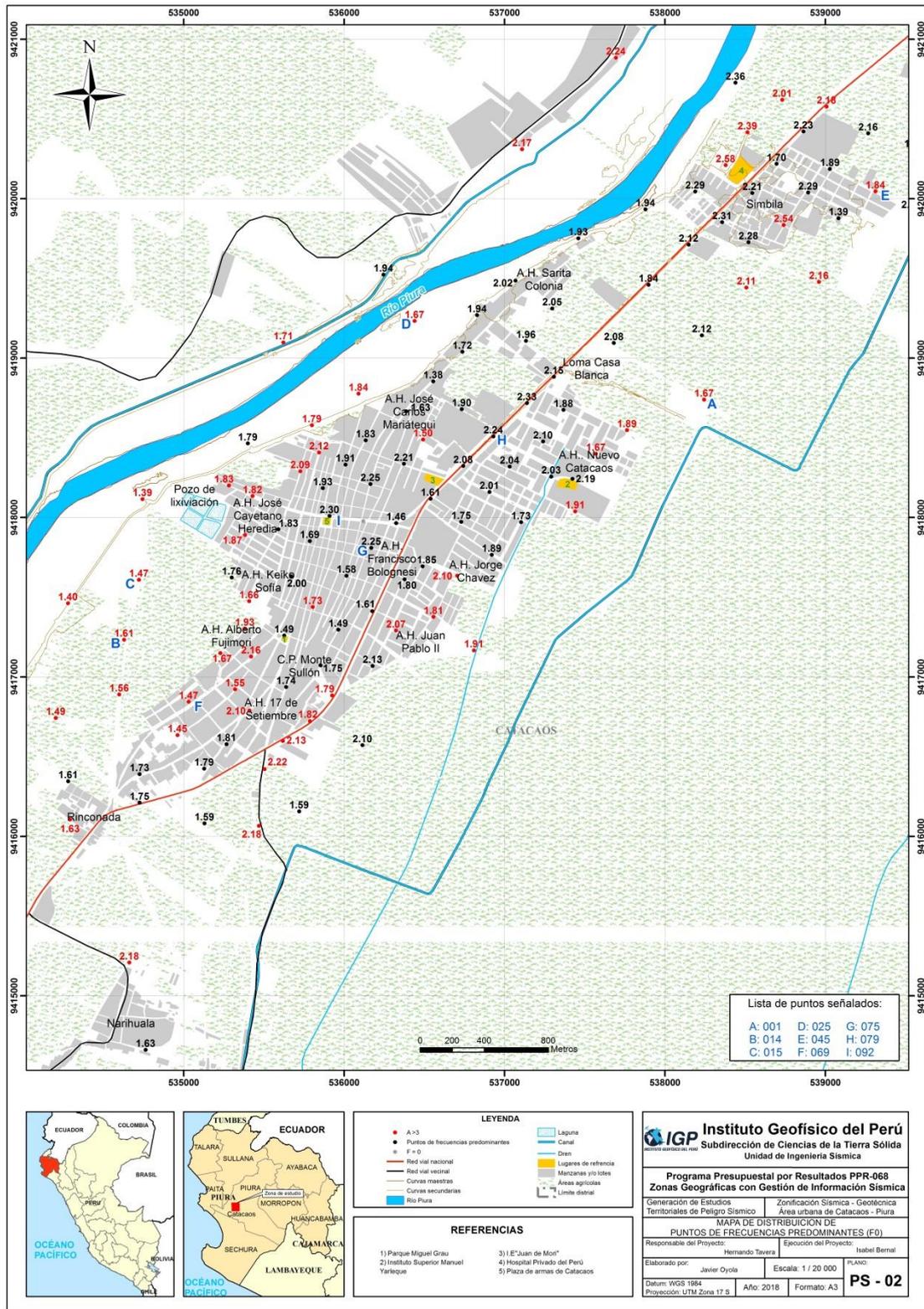
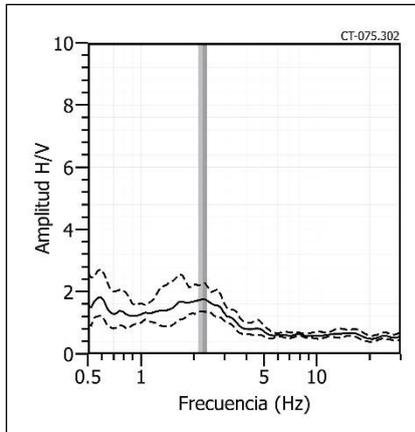
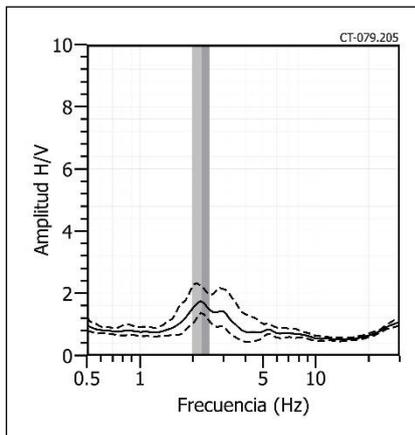


Figura 6: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes  $F_0$  ( $F \leq 3.0\text{Hz}$ ) definidas en cada punto.

**CT - 75**



**CT - 79**



**CT - 92**

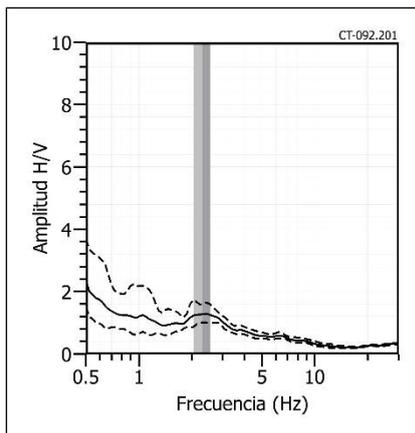
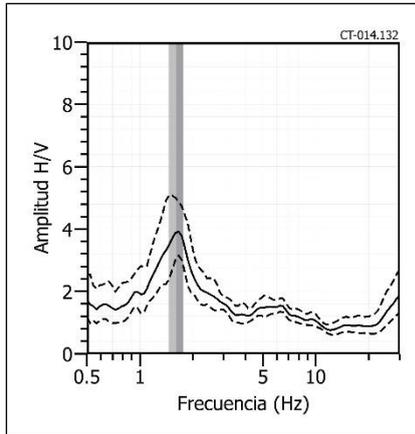
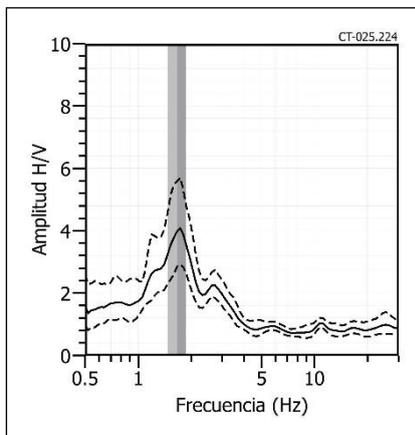


Figura 7: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango  $F_0$  ( $F \leq 3.0\text{Hz}$ ): Puntos CT-75(G), CT-79 (H) y CT-92(I), ubicados en el centro de la ciudad, por la IE Juan de Mori y la plaza de armas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**CT - 14**



**CT - 25**



**CT - 69**

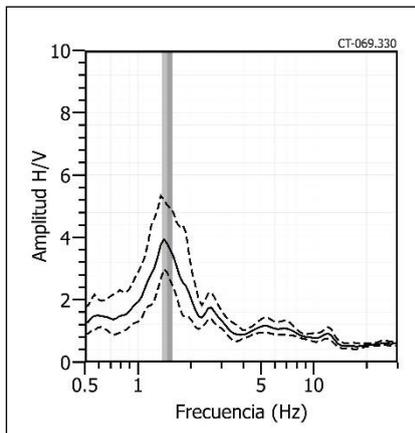
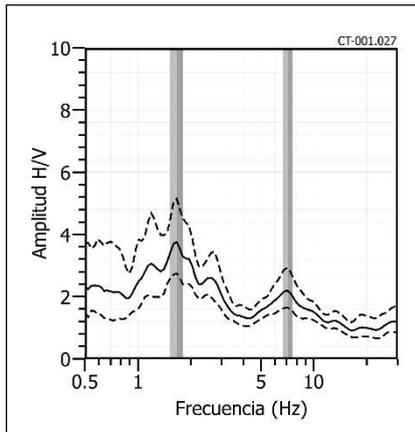
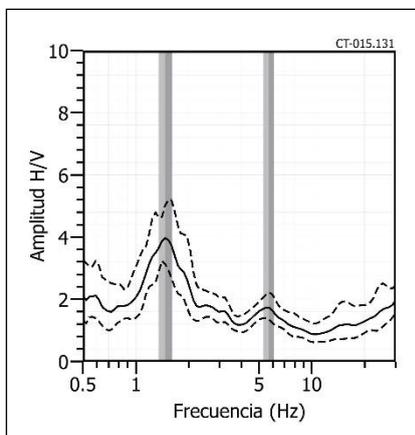


Figura 7: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango  $F_0$  ( $F \leq 3.0\text{Hz}$ ): Los puntos CT-14(B), CT-25(D) y CT-69(F), ubicados al oeste y suroeste, hacia el río Piura. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**CT - 01**



**CT - 15**



**CT - 45**

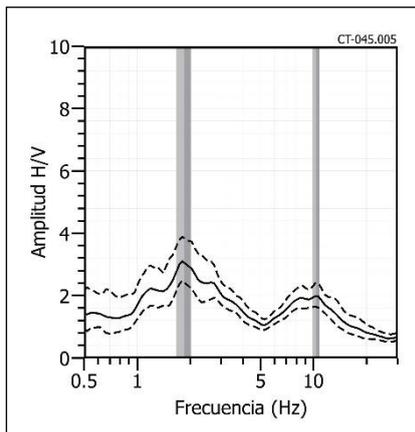


Figura 7: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango  $F_0$  ( $F \leq 3.0\text{Hz}$ ): Los puntos CT-01(A), CT-15(C) y CT-45(E), ubicados el primero al este, el segundo al oeste próximo al río Piura y el tercero ubicado al norte. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Las razones (H/V) obtenidas para los puntos CT-14(B), CT-25 (D) y CT-69(F), ubicados al oeste y suroeste por el A.H. Alberto Fujimori, presentan un pico bien definido a frecuencias de 1.61, 1.67 y 1.47 Hz y amplificaciones de 3.8, 4 y 3.7 veces respectivamente. En estos sectores se presentan las amplificaciones máximas del suelo, lo que evidencia un menor grado de consolidación y/o compactación de los suelos.

Finalmente, los puntos CT-01(A), CT-15(C) y CT-45(G), ubicados el primero al este, el segundo al oeste por el A.H. Alberto Fujimori próximo al río Piura y el tercero, al norte por la urbanización Simbila, responden a frecuencias predominantes entre 1.67, 1.47 y 1.84 Hz y amplificaciones de 3.7, 3.9 y 3 veces respectivamente. Además estos suelos responden a un segundo rango de frecuencias de 7.12, 5.68 y 10.33 Hz con amplificaciones de 2.1, 1.7 y 1.9 veces. Esto muestra que en estos sectores, los suelos presentan sensibilidad a dos rangos de frecuencias, lo que evidencia mayor complejidad en su respuesta dinámica, a pesar de presentar baja amplificación.

Los resultados muestran la existencia de una capa sedimentaria de gran espesor que se manifiesta claramente en toda el área estudiada, además el segundo pico muestra que los suelos de esos sectores, tienen sensibilidad a dos rangos de frecuencia ante la ocurrencia de un evento sísmico. En el 99% del área analizada, los suelos responden en este rango de frecuencias ( $F_0$ ) con amplificaciones mayores a 2 veces y en algunas zonas mayores a 3 veces.

- **Frecuencia predominante  $F_1$ :** En la Figura 8 se muestra la distribución espacial de las frecuencias predominantes  $F_1$  ( $F > 3.0\text{Hz}$ ). En este rango predominan frecuencias entre 5.6 a 15 Hz, y está presente al suroeste, al este por el Instituto superior Manuel Yarleque y al norte por Simbila. En la Figura 9, se muestra ejemplos de los gráficos de razones espectrales que caracterizan los suelos de esta ciudad, en este rango de frecuencias.

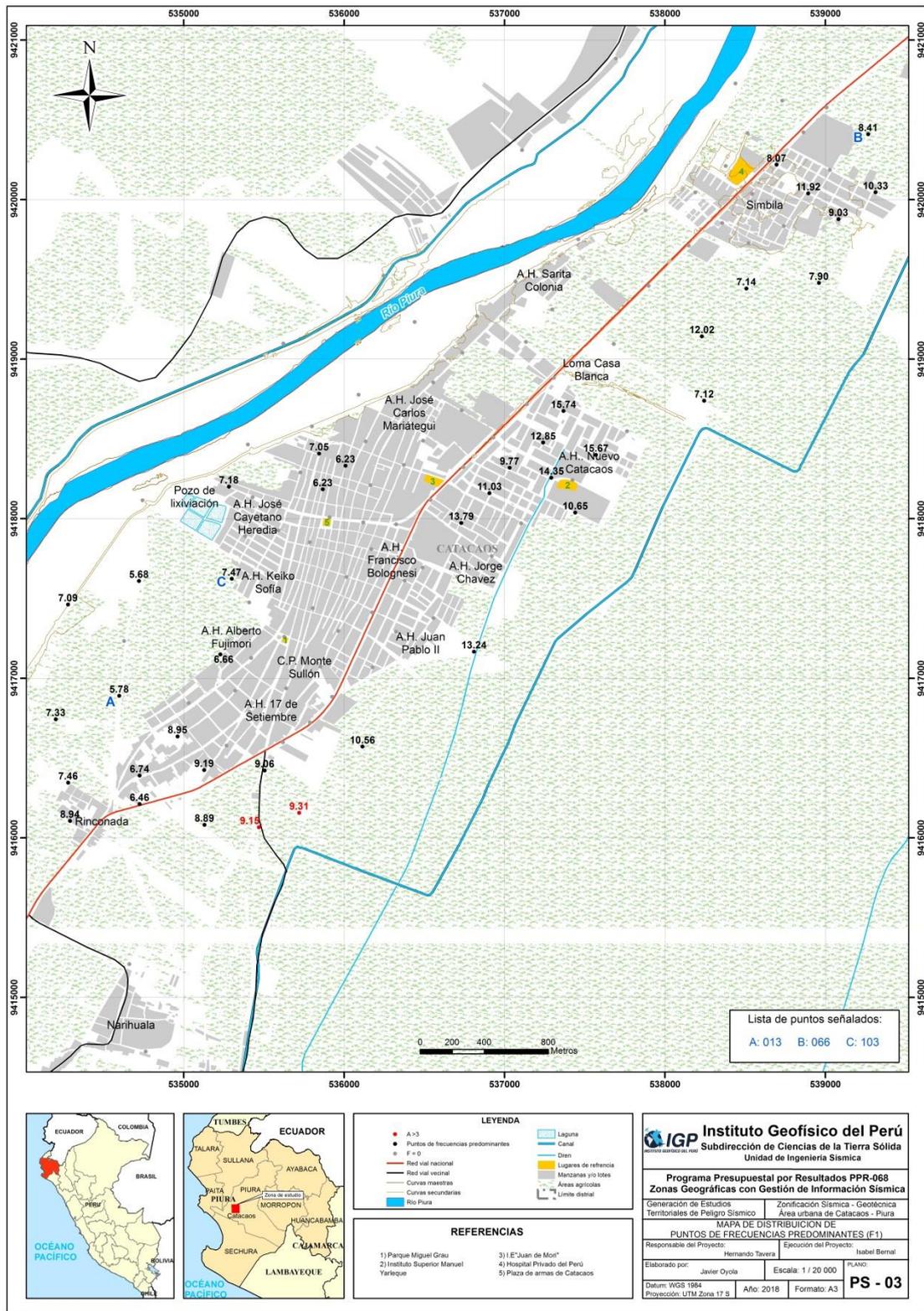
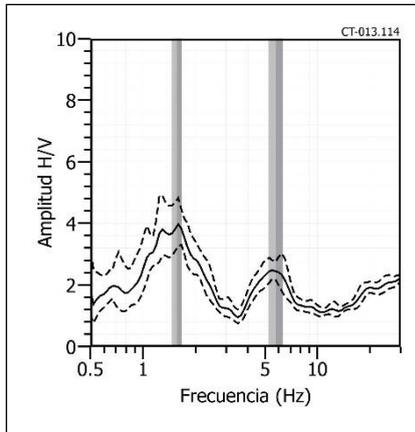
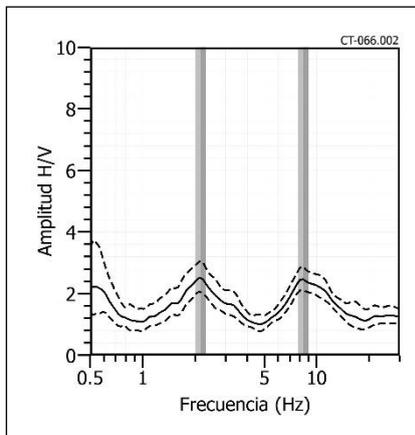


Figura 8: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 (F > 3.0Hz).

**CT- 13**



**CT - 66**



**CT - 103**

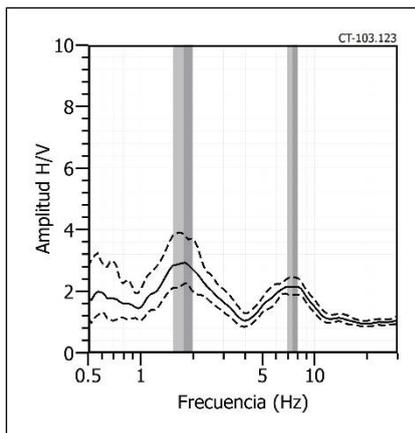


Figura 9: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ( $F > 3.0\text{Hz}$ ). Puntos ST-13(A), ST-66(B) y ST-103(C), ubicados al suroeste y al norte. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Los puntos CT-13 (A), CT-66 (B) y CT-103(C), los suelos responde a dos picos, (Figura 8) el primero con frecuencias predominantes de 1.56, 2.16 y 1.76 Hz con amplificaciones relativas mayores de 3.9, 2.4 y 2.9 veces. El segundo pico con frecuencias de 5.78, 8.41 y 7.47 Hz con amplificaciones mayores a dos veces, estos ejemplos evidencian mayor complejidad en su respuesta dinámica.

Los resultados obstáculos muestran que un 33% de la ciudad, los suelos responden a dos rangos de frecuencias (F0 y F1) con amplificaciones mayores a 2 veces.

El análisis de razones espectrales H/V para el área urbana de Catacaos ha permitido observar, la presencia de dos rangos de frecuencias, F<sub>0</sub> ( $\leq 3.0$  Hz) y F<sub>1</sub> ( $> 3.0$  Hz). El primero esta presente de manera uniforme en toda la zona estudiada. Para este rango de frecuencias, se observa amplificaciones mayores a 3 veces al sur y suroeste; lo cual sugiere la presencia de suelos menos consolidados en estas zonas.

El segundo rango de frecuencias (F<sub>1</sub>) presenta de manera dispersa en el área de estudio, al suroeste por el río Piura y al norte por la urbanización Simbila. Para este rango de frecuencias se observa amplificaciones menores a 3 veces.

Los suelos del área urbana de Catacaos responden a frecuencias entre 1.3 a 2.6 Hz, asociados a la presencia de una capa sedimentaria de gran espesor, suroeste siendo esta mayor en su extremo suroeste.

## **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 10.

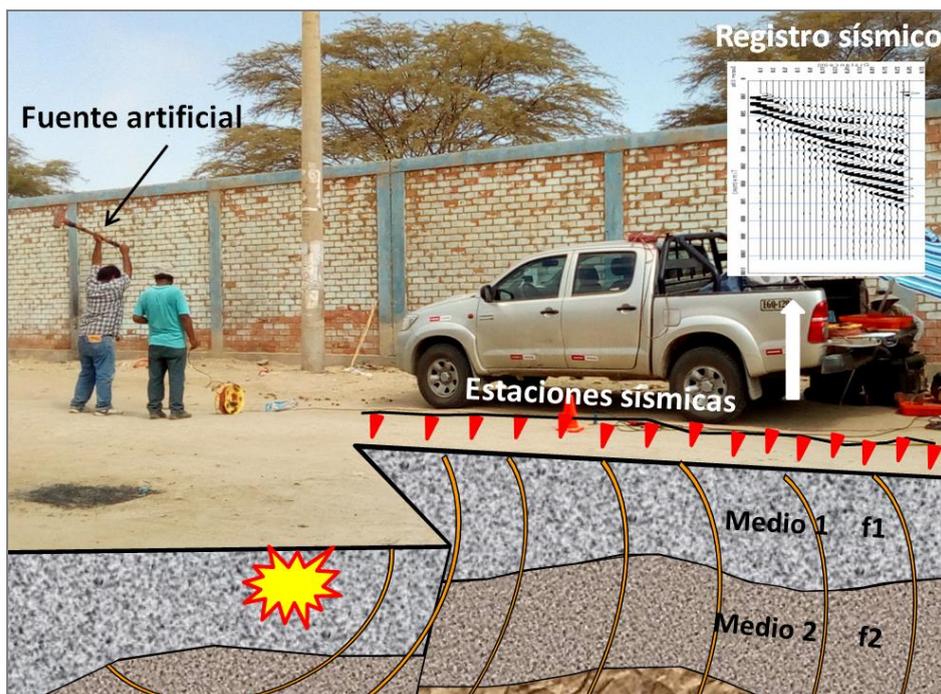


Figura 10: Generación de ondas Rayleigh con fuente artificial y su respectiva curva de dispersión.

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 11. 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.

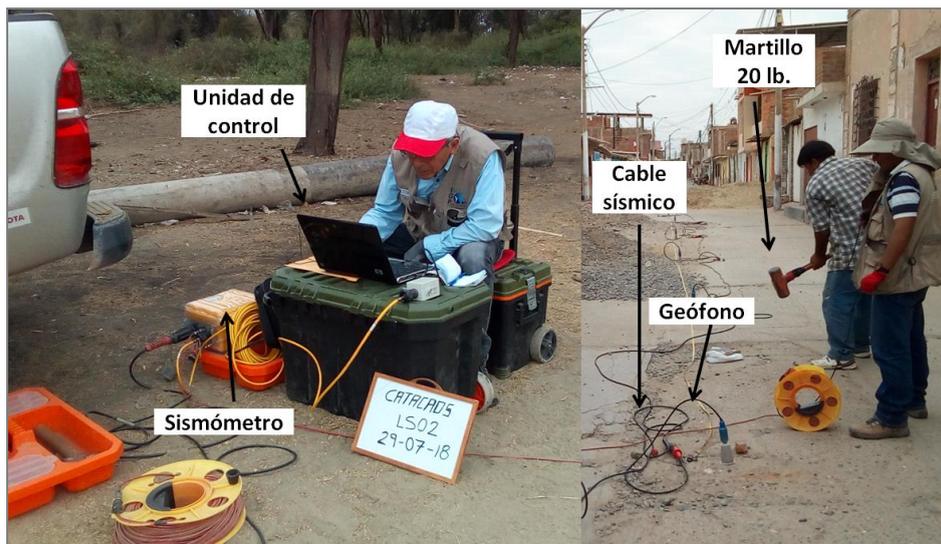


Figura 11: Equipo sísmico para la toma de datos de MASW en la Urb. Jardín

En el distrito de Catacaos se realizaron 11 arreglos lineales MASW cuyas coordenadas se muestran en la Tabla 1 y en la Figura 12, su distribución espacial codificadas como: LS01-CT, LS02-CT,...y LS11-CT.

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

Arreglo lineal MASW	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-CT	538789	9420137	33	4	92
	538752	9420051	36		
LS02-CT	537241	9419302	34	4	92
	537160	9419342	34		
LS03-CT	537401	9418420	33	4	92
	537486	9418381	34		
LS04-CT	536228	9418679	33	4	92
	536271	9418761	32		
LS05-CT	536637	9417306	32	4	92
	536594	9417229	33		
LS06-CT	535245	9418217	27	4	92
	535330	9418178	25		
LS07-CT	535486	9417408	31	4	94
	535532	9417487	32		
LS08-CT	535783	9417045	36	4	92
	535856	9417104	35		
LS09-CT	535019	9416686	21	4	92
	534967	9416760	20		
LS10-CT	535868	9417583	29	4	92
	535899	9417671	29		
LS11-CT	534697	9417724	33	4	92
	534668	9417633	32		

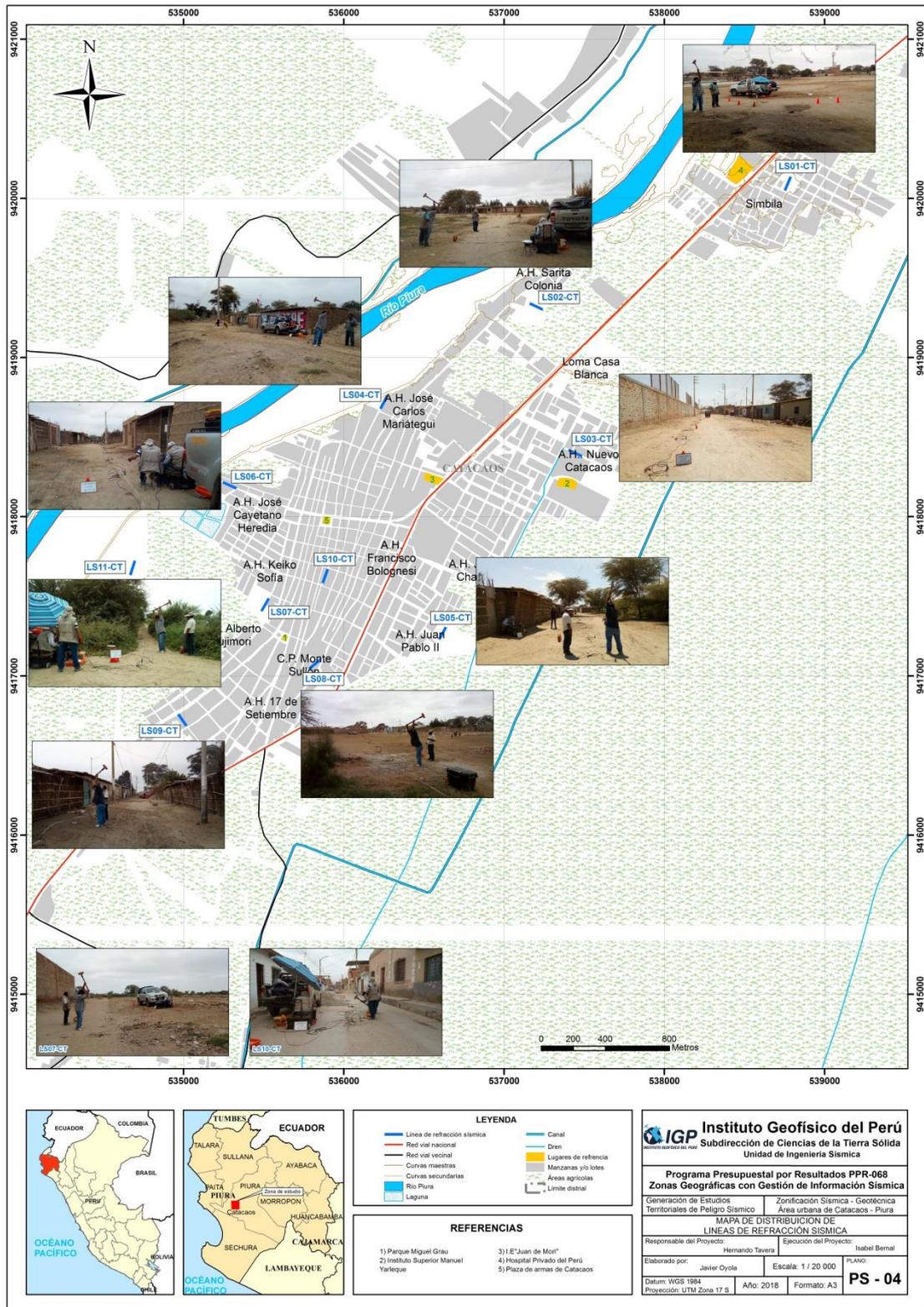


Figura 12: Mapa del área urbana de Catacaos y distribución espacial de los arreglos lineales MASW codificados como: LS01-CT, ..., LS11-CT.

Durante la adquisición de los datos, se visualizaron los sismogramas, a fin de verificar su calidad y el nivel de ruido, tal como se observa en la Figura 13. Para mejorar la relación señal/ruido fue necesario realizar apilamientos de señales (sumatoria de registros sísmicos), considerando de cuatro a cinco golpes en cada punto “shot”.

Finalmente, se realiza el procesamiento preliminar para determinar si la profundidad y la velocidad sísmica obtenida tienen coherencia la cual permite complementar los objetos de los estudios.

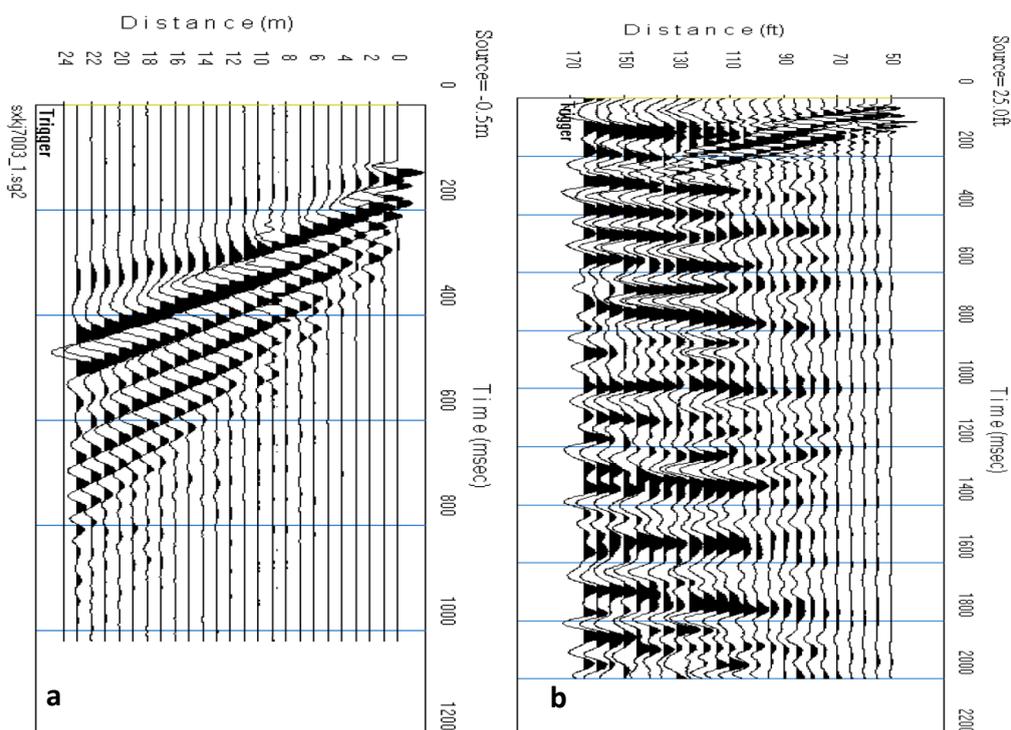


Figura 13: a) Registro sísmico con bajo contenido de ruido ambiental, es decir, alta calidad. b) Registro sísmico con alto contenido de ruido ambiental.

En la Figura 14, como ejemplo se muestra la disposición del equipo y el registro sísmico obtenido para la línea sísmica LS04-CT, ubicado en Simbilá. El sismograma contiene las señales sísmicas con presencia de bajo ruido ambiental, registrados por sensores ubicados a lo largo de la línea y cuyo punto de disparo se encuentra a una distancia de 3 metros al final de la línea sísmica.

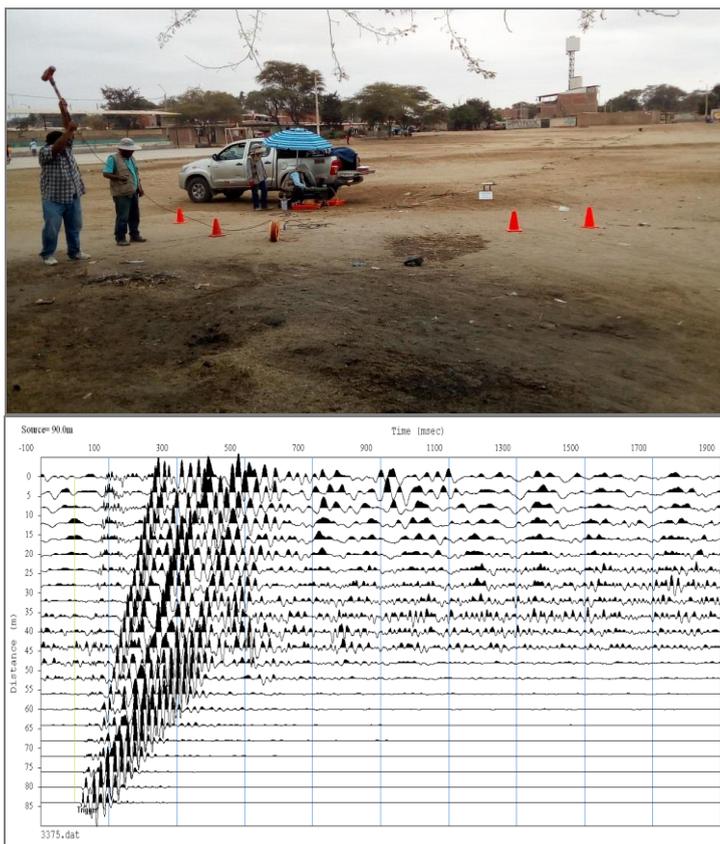


Figura 14. Disposición del equipo de adquisición por el método de MASW y el registro sísmico obtenido.

### 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), lo cual permite la transformación de los datos y como resultado una imagen de dispersión que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia. Una vez obtenidas las curvas de dispersión pertenecientes a un mismo arreglo MASW son sometidas de forma individual a un proceso matemático de inversión con el fin de obtener los perfiles  $V_s$  en una dimensión (1D), para ello se considera como parámetros de entrada la profundidad (30 m) y el número de capas (15 capas).

Finalmente, los perfiles  $V_s$  son promediados obteniendo un perfil unidimensional final para cada línea sísmica. Todo este procedimiento permite a través de una línea sísmica, obtener un perfil 1D con centro en la parte media de dicha línea. Los resultados proporcionan información útil sobre las características físicas del subsuelo (Park, 2014; Roma, 2010; Socco et al., 2008). El procesamiento fue realizado en el programa de computación Seislmager.

En la Figura 15, se muestra un ejemplo de los resultados que se obtiene a partir del arreglo MASW. La imagen de la izquierda muestra la curva de dispersión obtenida y de la derecha, muestra el perfil de velocidad de ondas de corte Vs (línea verde) que considera el promedio final de los perfiles obtenidos post inversión, los círculos de color verde representa la inversión de la curva de dispersión del dominio de frecuencia a profundidad. Esta curva permite verificar el nivel de confiabilidad o la profundidad mínima y máxima de investigación (área sombreada), en este caso; el perfil presenta una capa sísmica y un semiespacio, donde, el nivel de confiabilidad es de 2 a 30 metros de profundidad.

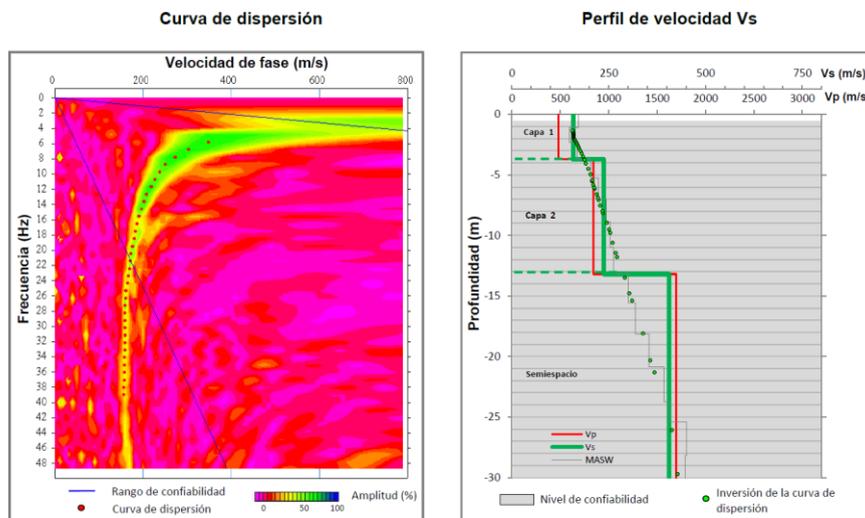


Figura 15. a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir de la técnica de MASW.

- **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 lo cual facilita su interpretación. Asimismo, en esta nueva clasificación del perfil del suelo es representado con colores, lo cual facilita su interpretación (Tabla 2).

Tabla 2. 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 entre las características de las capas sísmicas obtenidas con la geología local de la zona de estudio y con el contenido de humedad o nivel freático; ambos parámetros que influyen en la variación de velocidad de ondas Vs.

### 1.2.3. Análisis y resultados

Los modelos de velocidad de propagación (Vs) resultan ser 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 desde profundidades de 2 y 3 metros hasta 30 metros. A continuación se describe los resultados obtenidos, después de agrupar la información según similitud de velocidad Vs y ubicación.

#### Perfiles de velocidad de ondas de corte Vs

- **Líneas sísmicas LS01-CT, LS02-CT y LS03-CT:** Distribuidos hacia el noreste, en Simbilá (LS01), y en el caserío Viduque (LS02) y A.H. Nuevo Catacaos (LS03), Figura 15. Ellos indican presencia de suelos conformados por dos capas: la primera, con 2 a 4 metros de espesor y velocidades Vs entre 152 a 160 m/s, lo cual sugiere la presencia de suelos blandos. La segunda capa, con velocidades Vs que varían entre 238 a 299 m/s y espesores entre 9 a 16 metros; considera la presencia de suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades Vs > 392 m/s, es decir suelos rígidos.
- **Línea sísmica LS02-SU:** Realizada en la parte central del área urbana, en el A.H. 17 de Enero. Ella indica la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 4 metros de espesor y velocidades Vs de 163 m/s corresponden a suelos blandos. La segunda, con velocidades Vs de 476 m/s y 10 metros de espesor que sugiere suelo rígido, el semiespacio con velocidad de Vs > 883 m/s indicando la existencia de rocas moderadamente duras.
- **Línea sísmica LS04-CT:** Realizada al norte del cercado, en el A.H. José Carlos Mariátegui (Figura 15). Ella indica la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera con velocidades Vs de 188 m/s la segunda con velocidades

Vs de 245 m/s y el semiespacio (con velocidades de 318 m/s), en todos los perfiles se identifica la presencia sugiere suelos moderadamente rígidos.

- **Líneas sísmicas LS05-CT y LS08-CT:** Distribuidas hacia el sureste, en el A.H. Juan Pablo II (LS05) y en el C.P. Monte Sullón (LS08), Figura 15. Ellas indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera, de 4 metros de espesor y velocidades Vs entre 166 a 177 m/s, lo cual sugiere la presencia de suelos blandos. La segunda capa, con velocidades Vs que varía entre 226 a 294 m/s y espesores entre 9 a 17 metros, correspondiente a suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades Vs > 360 m/s, correspondiente a suelos rígidos.
  
- **Línea sísmica LS010-CT:** Realizada en el centro de Catacaos, Figura 15. Ella indica la presencia de suelos conformados por dos capas sísmicas: la primera de 5 metros de espesor y velocidades Vs de 187 m/s, la segunda, con velocidades Vs de 257 m/s que sugieren suelo moderadamente rígido. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades Vs > 359 m/s; lo cual sugiere suelo rígido.
  
- **Línea sísmica LS06-CT y LS07-CT:** Distribuidos hacia el oeste, ubicados en la ampliación del A.H. José Cayetano Heredia (LS06) y próximo al A.H. Keiko Sofía (LS06), Figura 15. Ellos indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera, de 5 metros de espesor y velocidades Vs entre 152 a 154 m/s, lo que sugiere la presencia de suelos blandos. La segunda capa, con velocidades Vs que varían entre 238 a 261 m/s y espesores entre 9 a 10 metros considera suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades Vs > 366 m/s; es decir, sugiere suelos rígidos.
  
- **Líneas sísmicas LS09-CT y LS11-CT:** Realizadas hacia el suroeste, en próximo al A.H. Alberto Fujimori (LS09) y en el sector agrícola (LS11), ver Figura 15. Ellos indican la presencia de suelos conformados por dos capas sísmicas; la primera de 5 metros de espesor con velocidad Vs entre 142 a 163 m/s suelos blandos. La segunda, con 10 metros de espesor y velocidades Vs que varían de 227 a 247 m/s correspondiente a suelos rígidos presenta velocidades Vs de 341 m/s, también corresponden a suelos rígidos

En la Tabla 3, se resume los valores de velocidades de ondas de corte Vs obtenidos para los distintos tipos de perfiles de suelo, según los valores de la Tabla 2. En la Figura 16, se presenta los resultados del arreglo sísmico LS01, como ejemplo y para los restantes, ver Anexos.

Tabla 3. Valores de espesor y Vs de los perfiles sísmicos obtenidos para el área urbana de Catacaos mediante el arreglo lineal MASW.

Línea Sísmica	Superficie → Profundidad						VS30 (m/s)
	N° DE CAPA						
	1		2		Semiespacio		
Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)		
LS01-CT	152	4	260	12	443	-	286
LS02-CT	159	4	238	9	406	-	278
LS03-CT	160	2	299	16	393	-	299
LS04-CT	188	5	245	10	318	-	261
LS05-CT	177	4	294	17	445	-	298
LS06-CT	152	5	261	16	366	-	246
LS07-CT	154	5	238	10	388	-	254
LS08-CT	166	4	226	9	360	-	269
LS09-CT	163	5	247	10	342	-	258
LS10-CT	187	5	257	8	359	-	284
LS11-CT	142	5	227	10	341	-	240

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

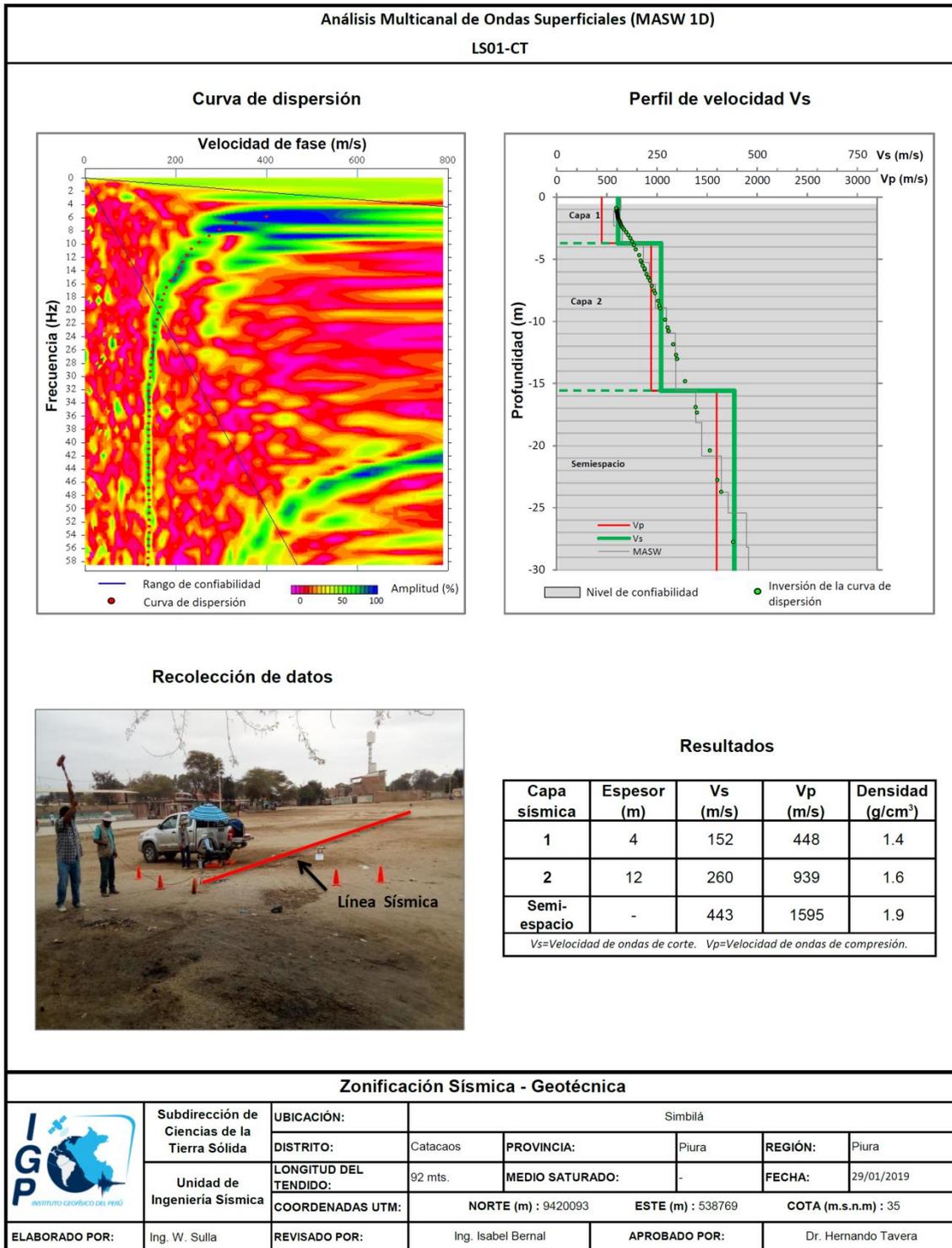


Figura 16: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS01-CT.

Finalmente, los resultados obtenidos definen principalmente las características de 2 capas sísmicas y un semiespacio. El análisis de los resultados, según cada capa sísmica y su correlación geológica, son descritos a continuación:

Catacaos presenta una geomorfología casi llana en gran parte del área urbana con una altura por debajo del nivel del cauce del río. Los perfiles de suelo obtenidos

indican el predominio de suelos blandos en superficie, con espesores casi homogéneos entre 4 a 5 metros, ver Figura 17. Sin embargo, también se identifica la presencia de suelos moderadamente rígidos en superficie y distribuidos en solo un sector (parte del centro del área urbana y el A.H. José Carlos Mariategui). Estos suelos moderadamente rígidos, a la vez se distribuyen por debajo de los suelos blandos que se emplazan en toda el área de estudio y conforme se dirige hacia el suroeste, se incrementa el espesor hasta superar la profundidad de 30 metros; por ejemplo, en el A.H. José Carlos Mariategui.

Conforme se incrementa la profundidad, los suelos presentan mayor rigidez desde la parte central hasta los sectores ubicados al noreste, ver Figura 18.

Asimismo, de acuerdo a la geología, el suelo superficial corresponde, en algunos sectores al material antrópico y a depósitos eólicos, este último con espesores que pueden superar los 30 metros, a mayor profundidad, mayor rigidez.



Figura 17: Diferentes lugares donde predominan la presencia suelos blandos en superficie.

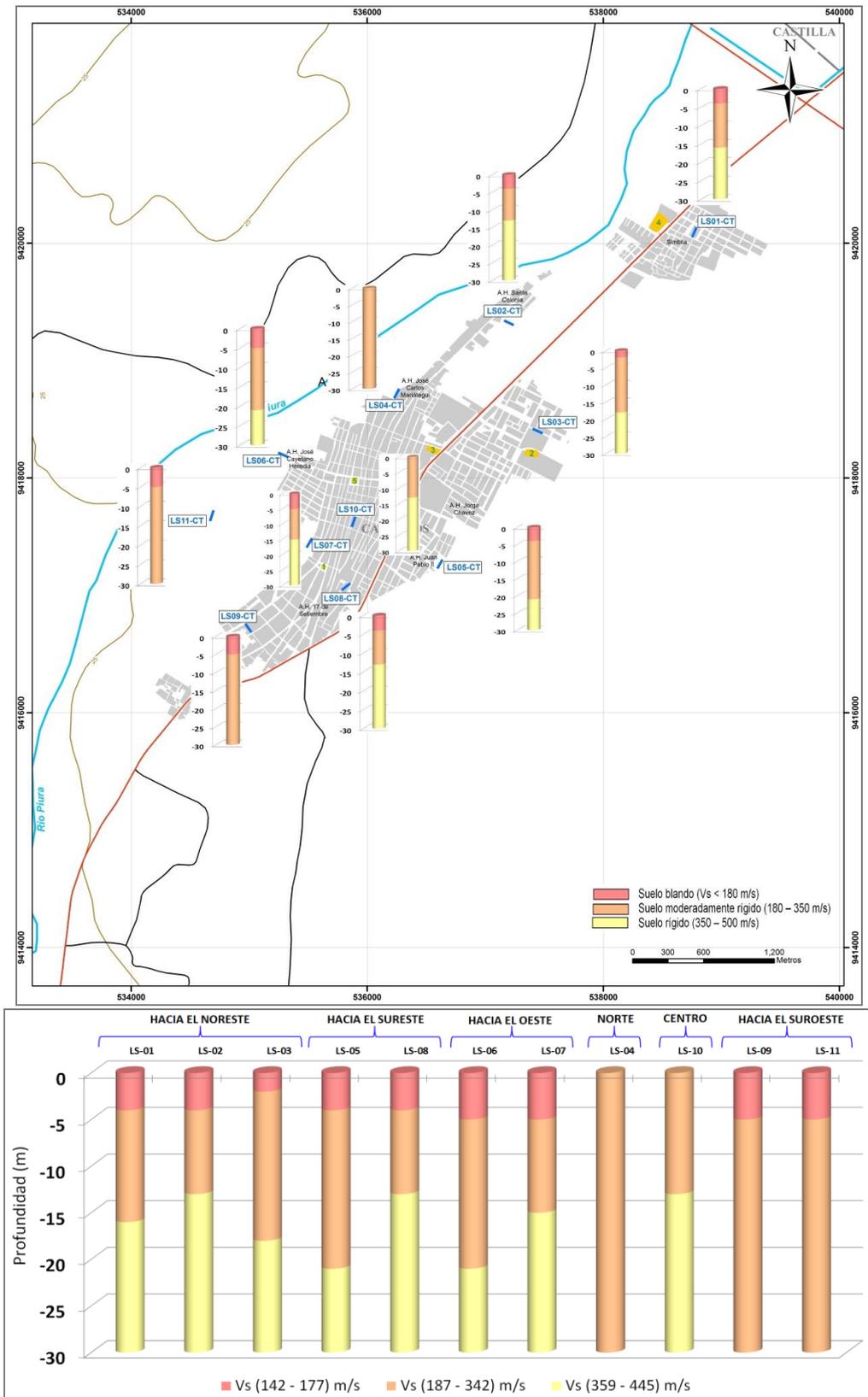


Figura 18: Variación de espesores de los suelos en el área urbana de Catacaos.

### 1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica ERT

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

La tomografía eléctrica es un método convencional que se basan en introducir en el terreno, un campo eléctrico de corriente continua mediante dos electrodos de corriente (A y B) conectados a un miliamperímetro, mientras que con los otros dos electrodos (M y N), que están conectados a un milivoltímetro donde se medirá cual es la diferencia de potencial eléctrica  $\Delta V$  entre esos dos puntos (Figura 19).

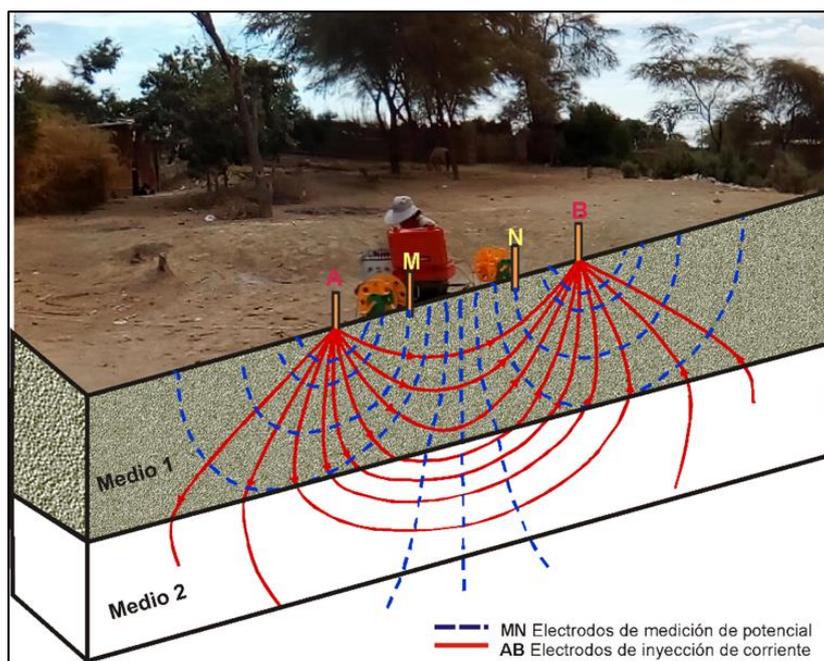


Figura 19. Principio del método de resistividad (LE02-CC).

#### 1.3.1 Adquisición de datos

Para el registro de información se utilizó un equipo de Resistividad / IP Syscal Pro de marca Iris Instruments, cables y accesorios. En el área urbana de Catacaos se han realizado 09 líneas de tomografía eléctrica (Tabla 4) 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 190 y 290 metros. Estas longitudes varían de acuerdo a los espacios libres encontrados en el área urbana.

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

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01- CT	538628	9420097	27	10	230
	538844	9420000	27		
LE02- CT	537084	9419383	28	10	260
	537325	9419262	25		
LE03- CT	537361	9418442	26	10	190
	537532	9418353	25		
LE04- CT	536261	9418792	28	10	290
	535984	9418677	26		
LE05- CT	537031	9417697	24	10	290
	536913	9417422	24		
LE06- CT	535206	9418262	24	10	190
	535392	9418190	23		
LE07- CT	535526	9417500	24	10	230
	535420	9417301	23		
LE08- CT	535815	9417005	25	10	270
	535638	9416783	23		
LE09- CT	535076	9416708	25	10	290
	534809	9416569	26		

En la Figura 20 se muestra la distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica consideradas para el área urbana de la ciudad de Catacaos.

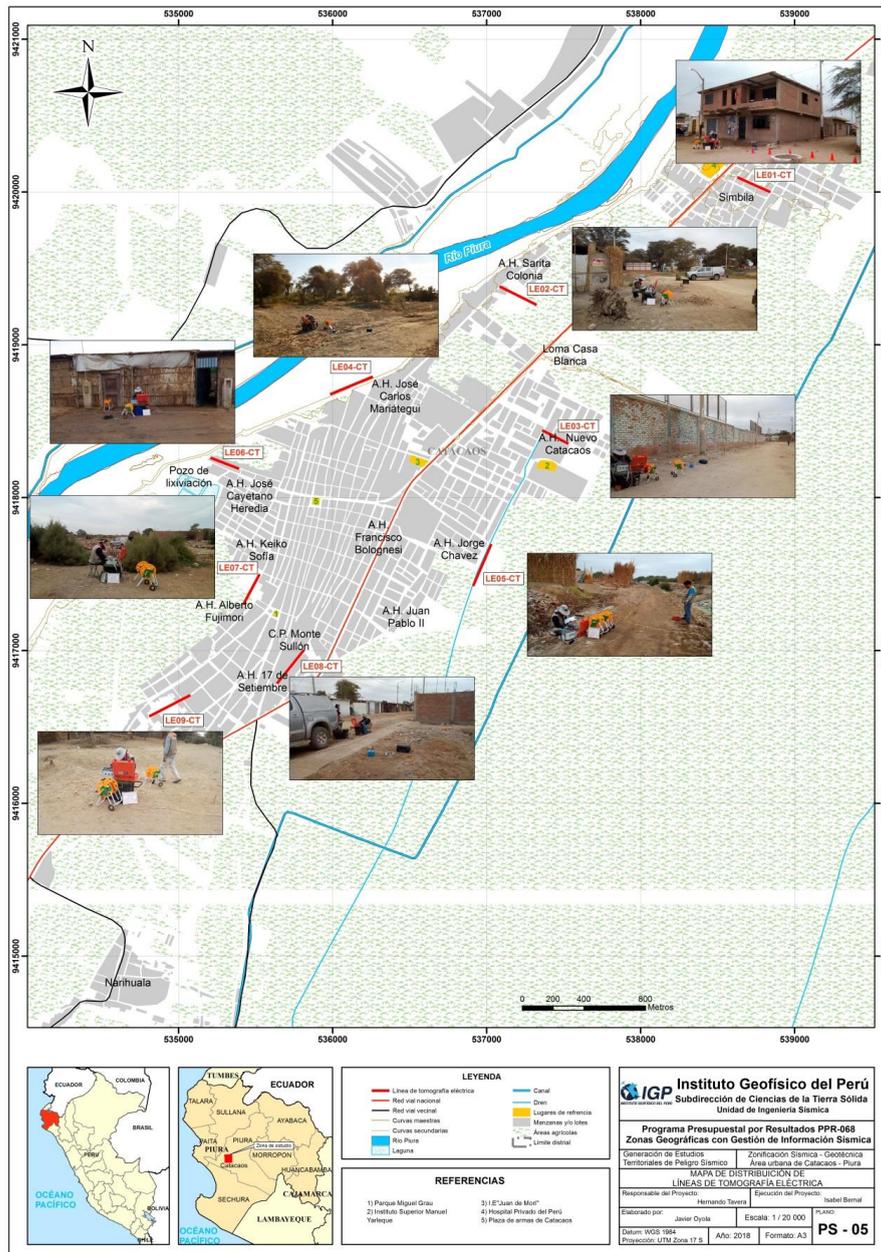


Figura 20. Mapa del área urbana de Catacaos y la distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-CT, ... LE09-CT.

La calidad de la señal eléctrica de todos los registros fue evaluada mediante un test de resistencia de contacto entre los electros y el terreno, garantizando la obtención de datos confiables para el procesamiento. Se busca mejorar las imágenes con el uso de filtros que disminuyan 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.

En general, para el análisis y procedimiento de los datos se considera 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  $\Omega\text{m}$ .

En la Figura 21, se presenta un ejemplo de la disposición del equipo eléctrico en campo y otro ejemplo de la información que se obtiene después del análisis preliminar del registro obtenido.

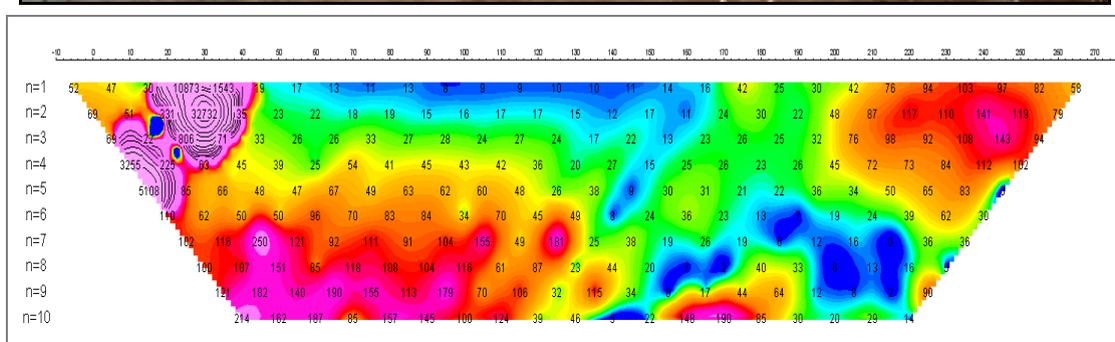


Figura 21: Adquisición de datos de la línea LE05-CT, arriba disposición del equipo de resistividad, abajo perfil obtenido.

### 1.3.2 Procesamiento de datos

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

Finalmente, los resultados son presentados mediante Secciones de Resistividad 2D (Resistividad) que relacionan la distancia - profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, así como secciones de interpretación donde se detallan las posibles estructuras que conforman el subsuelo, las zonas saturadas, los cambios de litología que pudiera existir y otra información que sean de utilidad para el interés del 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 considera todos los factores posibles que puedan influir en los resultados; es decir, grado de saturación del terreno, porosidad y la forma del poro, la salinidad del fluido, el tipo y composición de la roca, la temperatura, los procesos geológicos que afectan a los materiales y la presencia de materiales arcillosos con alta capacidad de intercambio catiónico. Considerando la existencia de una estrecha relación entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, es posible definir la posible ubicación de las áreas de filtración y las zonas saturadas en el subsuelo. De existir incrementos de fluidos en el terreno estos se verán reflejados por una disminución en valores de resistividad.

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

- **Muy Alto Resistivo (color rojo):** Comprende valores mayores a 1500 ohm.m. Se considera dentro de este grupo a rocas ígneas y metamórficas, y dentro de las sedimentarias, a los conglomerados. Un factor importante a señalar es que estos materiales estarán bajo condiciones de ausencia de agua; sin embargo, si hay

presencia de arcilla, su grado de alteración permitiría la disminución en los valores de resistividad del suelo.

- **Alto Resistivo (color anaranjado):** Comprende valores entre los 500 y 1500 ohm.m. Se considera dentro de este grupo a las rocas sedimentarias, ya sean de origen detrítico o químico. Asimismo, incluye a los suelos con muy baja composición de materiales orgánicos.
  
- **Medianamente Resistivo (color verde):** Comprende valores entre los 100 y 500 ohm.m. Dentro de este grupo se considera a suelos sedimentarios de composición variada; es decir, arenas, arcillas y limos, cada vez con mayor contenido de materiales orgánicos.
  
- **Bajo Resistivo (color celeste):** Comprende valores entre los 20 y 100 ohm.m. Según Loke (2001), estas resistividades corresponden a suelos saturados de agua y su variación depende de la relación existente entre la resistividad, porosidad y la permeabilidad de los materiales. Asimismo, se puede considerar dentro de este grupo a los suelos orgánicos, arcillosos, limosos y aquellos con contenido de carbón, los cuales se comportan como buenos conductores de corriente.
  
- **Muy Bajo Resistivo (color azul):** Comprende valores menores a 20 ohm.m. y estos están referidos a suelos con presencia de agua, material orgánico, arcillas. Se debe considerar que el grado de salinidad del agua afecta los valores de resistividad, permitiendo que estos alcancen valores del orden del 0.2 ohm.m., equivalente al agua de mar.

En la Tabla 5 se resume los rangos de resistividades para cada tipo de suelo.

Tabla 5. Rango de Resistividades

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

### 1.3.3. Análisis y resultados

Los valores de resistividad del suelo son una información muy útil puesto que permite identificar aquellos suelos que presentan alto contenido de humedad y la profundidad del nivel freático. En la ciudad de Catacaos se realizaron 09 líneas de tomografía eléctrica y el procesamiento de la información permitió llegar hasta profundidades de 40 metros. En el siguiente sub ítem se describe los resultados obtenidos.

#### Secciones Geo-eléctricas

A continuación, se describe los resultados obtenidos de los registros de tomografía eléctrica obtenidos para el área urbana de Catacaos:

Líneas eléctricas **LE01-CT, LE02- CT, LE03- CT, LE04-CT y LE05-CT** registradas en Simbila, Caserio Viduque - A.H. Sarita Colonia, A.H. Nuevo Catacaos II Etapa, A.H. José Carlos Mariategui y en A.H. Jorge Chávez. En estas líneas se identificó el predominio de valores muy bajo resistivos ( $<20 \Omega.m$ ), asociados a la presencia de arenas limosas saturadas y salitrosas debido a la influencia del río Piura, además de la presencia de terrenos agrícolas en los alrededores de estas, ver Figura 22.

Líneas eléctricas **LE06-CT, LE07-CT, LE08-CT y LE09-CT** realizadas en la ampliación del A.H. Cayetano Heredia II etapa, A.H. Keiko Sofia, A.H. 17 de setiembre, A.H. Alberto Fujimori.

En estas líneas también se observa el predominio de valores muy bajos resistivos ( $<20 \Omega.m$ ), asociados a la presencia de arenas limosas saturadas por la influencia del río Piura, (Figura 23); así como la presencia de terrenos agrícolas a los alrededores de estas también es necesario considerar que toda el área urbana de Catacaos es susceptible a sufrir inundaciones durante la ocurrencia del Fenómeno de El Niño.

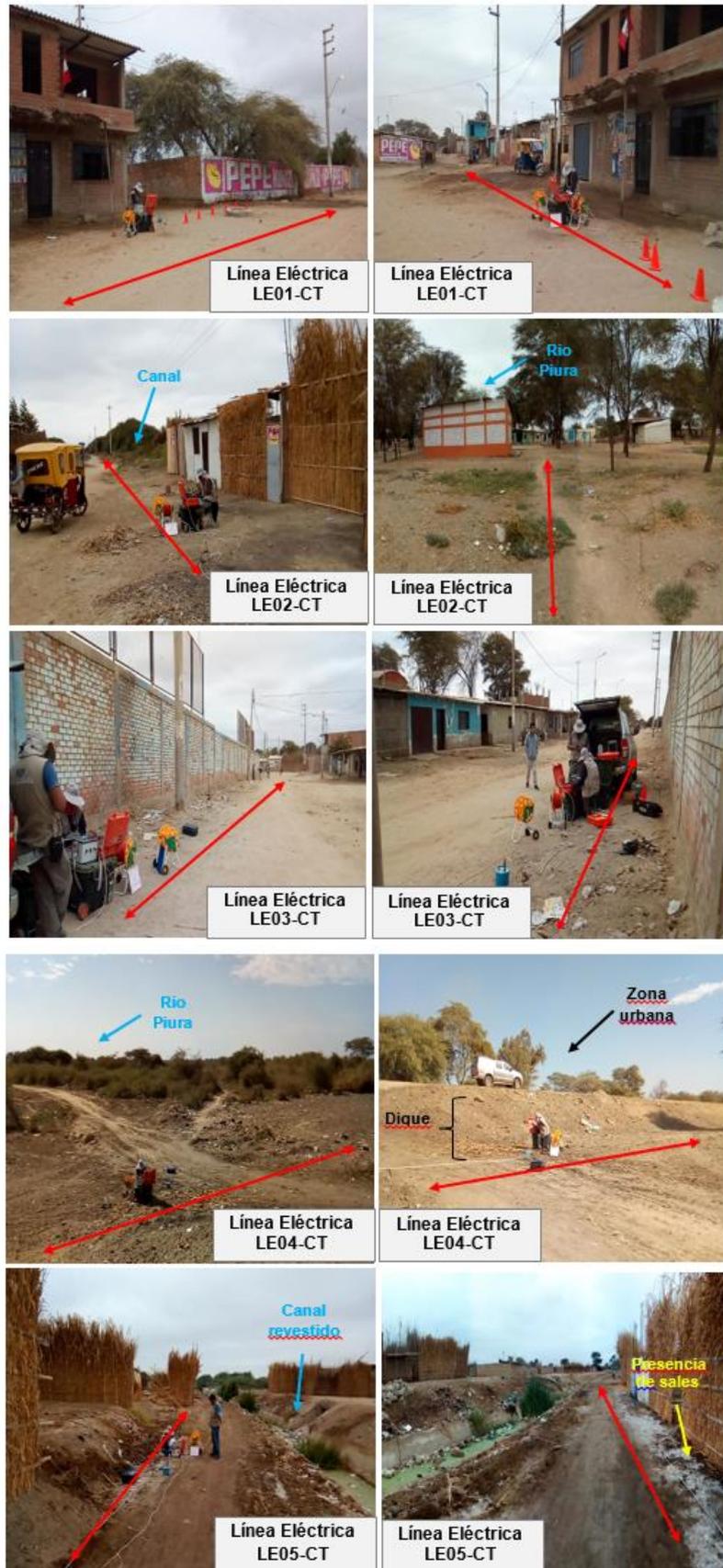


Figura 22: Vista de la línea eléctrica LE01-CT, LE02-CT, LE03-CT, LE04-CT y LE05-CT.



Figura 23. Vista de las líneas eléctrica LE06-CT, LE07-CT, LE08-CT y LE09-CT.

En la Tabla 6, se muestra el resumen sobre profundidad de la saturación del medio observando en todas las líneas de tomografía eléctrica. En la Figura 24, se presenta el resultado para la línea LE01–CT y en los Anexo los resultados para las líneas restantes.

De acuerdo a la información obtenida, los medios saturados son los que predominan en el área urbana de Catacaos, esto debido a la influencia del río Piura y a la presencia de sales. Asimismo geológicamente la ciudad de Catacaos esta sobre suelos cuaternarios conformados por depósitos eólicos, lacustrinos, aluviales y fluviales, que por sus características de material no consolidado, pueden almacenar agua subterránea hasta formar acuíferos.

Finalmente, el medio saturado en Catacaos se muestra a nivel superficial (< 3 metros), como es el caso del A.H. 17 de setiembre. Estos resultados se correlacionan con los estudios geotécnicos realizados en la zona por INDECI y PNUD (2003).

Tabla 6. Profundidad del medio saturado y material presente en el área urbana de Catacaos.

Línea Eléctrica	Profundidad de saturación (m)	Material
LE01-CT	3	Arcillas y limos
LE02- CT	3	Arcillas arenosas
LE03- CT	3	Arcillas arenosas
LE04- CT	3	Arenas
LE05- CT	3	Arcillas arenosas
LE06- CT	3	Arenas, arcillas y limos
LE07- CT	3	Arenas
LE08- CT	3	Arenas limosas
LE09- CT	3	Arenas limosas

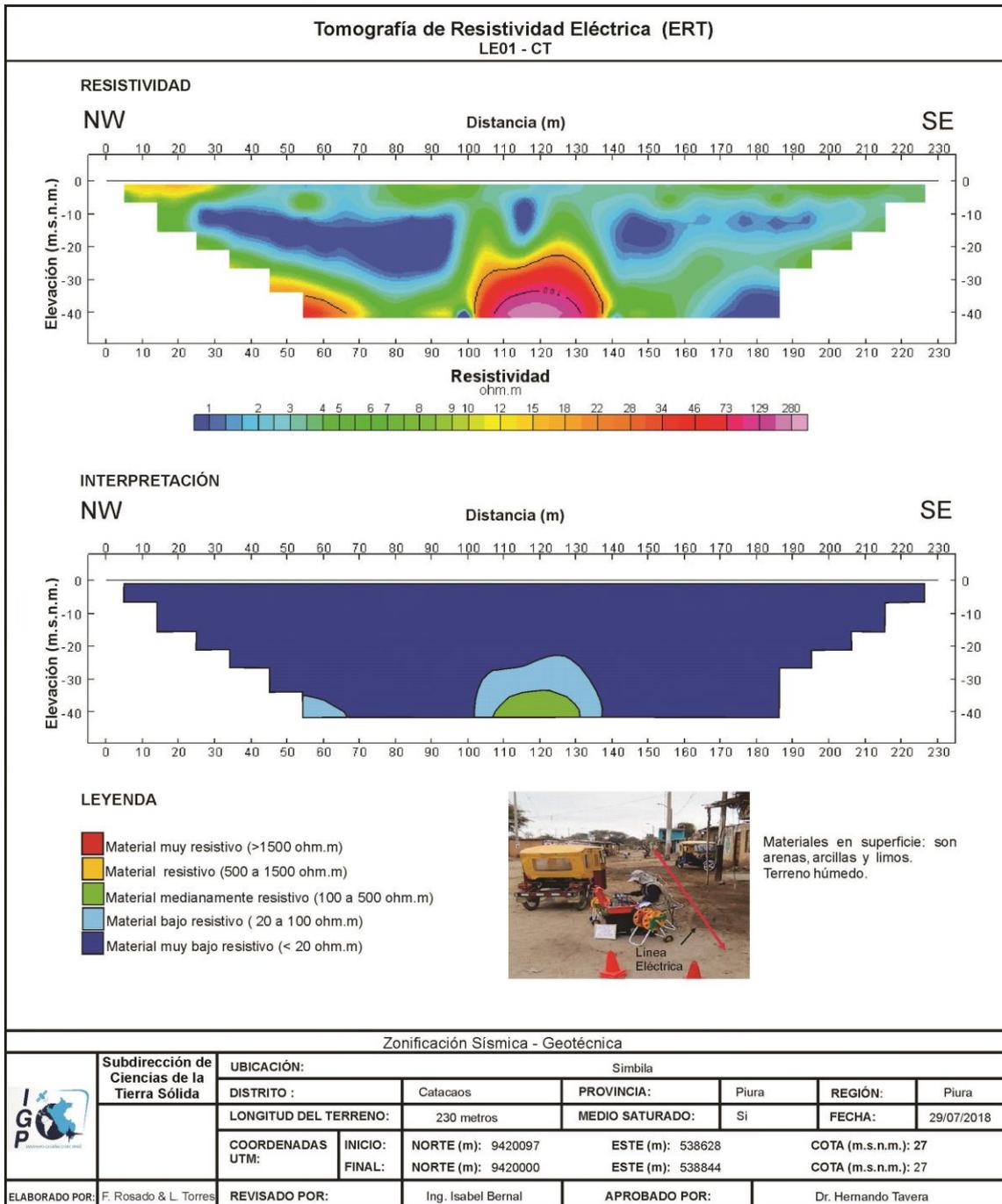


Figura 24: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-CT.

## 2. ZONIFICACIÓN DE SUELOS

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

### 2.1. Integración de resultados

Catacaos es uno de los distritos cuya área urbana se encuentra en la margen izquierda del río Piura, presenta una geomorfología plana ligeramente ondulada a una altura igual o por debajo del nivel del río en mención. De ahí la presencia de diques construidos en la margen izquierda del río Piura que actúan como una especie de barrera ante el crecimiento de su cauce, principalmente en temporada de lluvias extremas o durante el fenómeno de El Niño. Según INDECI y PNUD (2011), no existe cultura de mantenimiento de los diques, ni el desarrollo de áreas preventivas para la rehabilitación de zonas en riesgo. Estos factores juegan un papel importante en la duración de la defensa ribereña contra inundaciones.

- **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 25 se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes para el área urbana de Catacaos, los cuales han sido separados en dos grupos: en color negro para periodos menores a 0.5 segundos, en gris los periodos mayores y los que no presentan periodos son puntos de color gris.

Los periodos dominantes en la zona de estudio son de 0.4 a 0.7 segundos: en el rango de 0.4 y 0.5 segundos se presentan en el centro de la ciudad y hacia el extremo noreste; y los valores mayores a 0.6 segundos hacia el suroeste. Asimismo, el 33% de la zona de estudio presenta sensibilidad para periodos de 0.1 a 0.2 segundos: zona ubicada al extremo suroeste de la ciudad, por instituto superior Manuel Yarleque y por Simbila. Las mayores amplificaciones se

presentan al extremo suroeste por los AA.HH Alberto Fujimori, José Cayetano Heredia y 17 de Setiembre.

Los periodos dominantes que caracterizan a los suelos de Catacaos, están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación  $T_0=4H/V_s$ , donde  $T_0$  es el periodo dominante,  $H$  el espesor del estrato y  $V_s$  es la velocidad de onda de corte. Asumiendo velocidades de 300 m/s y 350 m/s para las ondas de corte ( $V_s$ ) y periodos de 0.5 y 0.6 segundos, se estima una capa sedimentaria con espesores de 25 a 30 metros, evidenciándose los mayores espesores hacia el extremo suroeste. Estos espesores han sido confirmados con los modelos de velocidad obtenidos con los arreglos sísmicos.

En la ciudad de Catacaos, el suelo muestra el predominio de periodos largos que varían entre 0.5 a 0.7 segundos: entre 0.4 y 0.5 segundos están presentes de manera sectorizada en la parte centro de Catacaos (A.H. José Carlos Mariátegui, A.H. 17 de Setiembre, A.H. Jorge Chavez y A.H. Nuevo Catacaos), y conforme se va en dirección noreste (A.H. Sarita Colonia – Caserío Viduque, y Simbilá), la distribución de estos periodos es mas uniforme. Este rango de periodos muestra el predominio de suelos moderadamente rígidos y rígidos, siendo la profundidad del basamento rocoso menor a 30 metros. Además, existe una capa superficial conformada por suelos blandos cuyo espesor no supera los 5 metros. Asimismo, se ha identificado al suelo muestra saturación, debido a la infiltración de agua generado por el río Piura y la presencia de zonas de cultivo.

Por otro lado, los periodos igual o mayores a segundos 0.6 segundos están presentes en el centro de Catacaos, en la margen izquierda del río Piura (A.H. José Carlos Mariátegui) y de manera mas uniforme en el extremo suroeste del área de estudio (A.H. Alberto Fujimori y áreas de cultivo). Este sector muestra el predominio de suelos moderadamente rígidos hasta la profundidad de 30 metros, aunque existe una capa superficial caracterizada como suelo blando con espesor menor a 5 metros. Al igual que la zona anterior, los suelos muestran mayor saturación a partir de los 3 metros de profundidad y es debido a la infiltración del agua por áreas de cultivo y por los diversos canales de regadío que existen en la zona.

El análisis de amplificación sísmica es de gran valor puesto que durante la ocurrencia de un evento sísmico, es el efecto de sitio toma mayor importancia. Dentro de este contexto en la Figura 25, se muestra los lugares cuyos suelos responderán a

amplificaciones, mayores a 3 veces (impresos de color rojo) En general, se observa que las amplificaciones del suelo se presentan en dos lugares; el primero y de manera sectorizada en Simbilla, y el segundo, desde la parte centro del área urbana hacia su extremo suroeste (A.H. José Carlos Mariátegui, A.H. Alberto Fujimori, La Rinconada y área de cultivo). Finalmente, es necesario remarcar que los sectores ubicados del suelo, en las márgenes y próximos al río Piura, soportar mayores sacudimientos del suelo puesto que el nivel freático es más superficial y (Figura 25).

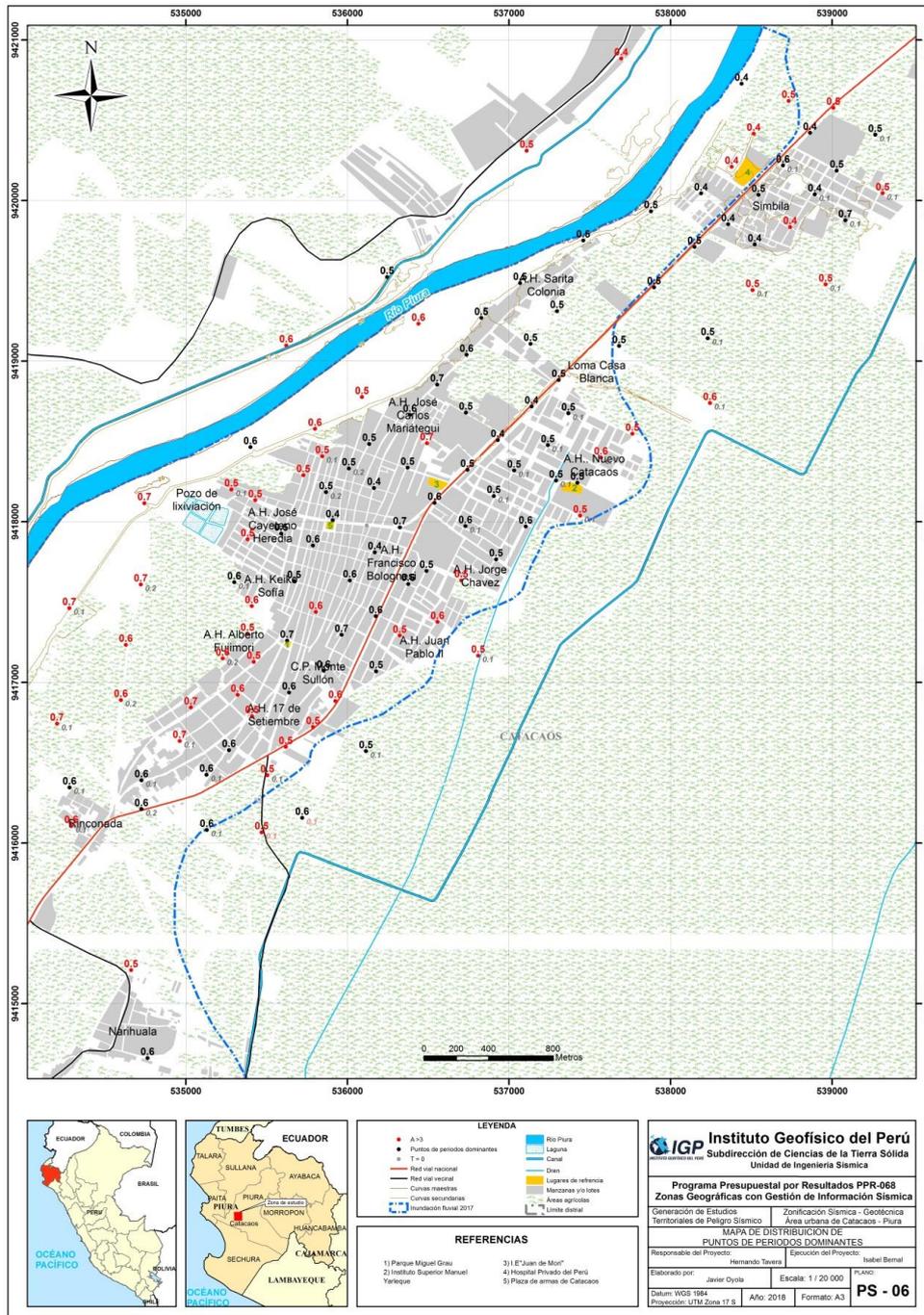


Figura 25: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

Por otra parte, el suelo también responde a rangos de periodos cortos (0.1 y 0.2 segundos) pero solo se ha identificado de forma sectorizada, tal como se muestra en la. Estos periodos podrían ser asociados a la presencia de una capa de suelos blandos superficial y con espesores que no supera los 5 metros. Este tipo de suelos están presentes en mayor parte del área urbana, lo cual sugiere que en el pasado los suelos eran utilizados como cultivo, ver Figura 26. De ocurren en sismos de elevada con magnitud, este tipo de este suelo, podría influir en las estructuras el comportamiento dinámico.

Por otro lado, los documentos históricos indican que el área urbana de Catacaos ha sido afectada fenómenos de origen climático, principalmente las inundaciones que se presentan durante los periodos de lluvias extremas relacionadas con el Fenómeno de El Niño, (INDECI y PNUD 2003 y 2011) y CENEPRED (2017). De acuerdo a este informe: ha identificado dos tipos de inundación: el primero denominado como inundación pluvial cuyo almacenamiento del agua son en las depresiones que existen en la zona de estudio y en difícil acceso. El segundo, denominado como inundación fluvial originado por la ruptura de los diques debido a la carga que se produjeron el incremento del cauce del río Piura. En el año 2017, Catacaos fue una de las áreas urbanas más afectadas por la rotura de diques en Simbilá, Viduque y Pedregal Chico, lo cual produjo inundaciones en más del 80 % de su área urbana con alturas máximas de 1.70 metros.

La importancia de conocer el nivel freático es para estimar los efectos posibles que puedan ocasionar a las estructuras debido a la posibilidad de producirse licuación de suelos, por la ocurrencia de un evento sísmico de gran magnitud. Mediante los ensayos geofísicos, se ha determinado que la profundidad a la cual se encuentran los suelos saturados es de 3 metros, siendo mas críticos en los sectores próximos a las áreas de cultivo y hacia el suroeste de la ciudad. Asimismo, que durante temporadas de lluvias extremas como el fenómeno de El Niño, el nivel freático ascenderá hacia la superficie principalmente en los suelos distribuidos próximo al río Piura y por los A.H. Alberto Fujimori, A.H. Keiko Sofía, A.H. 17 de Setiembre y A.H. Nuevo Catacaos. En el resto del área urbana, los suelos se encuentran eventualmente saturados. Sin embargo, se debe tener presente la existencia de diversos canales y drenes sin revestir presentes que incrementan y aportan a la saturación del suelo.

Los procesos de licuación de suelos se originan en aquellos suelos que se encuentran compuestos por arenas poco compactas y con mayor concentración de

agua (estado saturado). A partir de los ensayos geotécnicos, en el área de estudio se ha identificado que los depósitos aluviales muestran el predominio de arenas de grano grueso a fino saturados; por lo tanto, que cumplen con las condiciones necesarias para que se genere el proceso de licuación de suelos. En el estudio realizado por INDECI y PNUD (2011), se indica sobre la posibilidad de darse licuación se suelos en el área de estudio y principalmente, en las márgenes del río Piura y al suroeste del área urbana de Catacaos.

Según INDECI y PENUUD (2011), el área urbana de se encuentra suelos suelos tipo S3 con periodos de 0.6 segundos. Sin embargo, en este detallado estudio se concluye que el suelo responde a periodos predominantes entre 0.5 a 0.7 segundos (sectorizado en dos rangos), la cual diferencia la mayor complejidad del suelo.

De acuerdo a la caracterización física y dinámica de suelos de la ciudad de Catacaos es necesario e indispensable que esta información sea considerada como base para nuevos proyectos de GRD y la toma de decisiones.

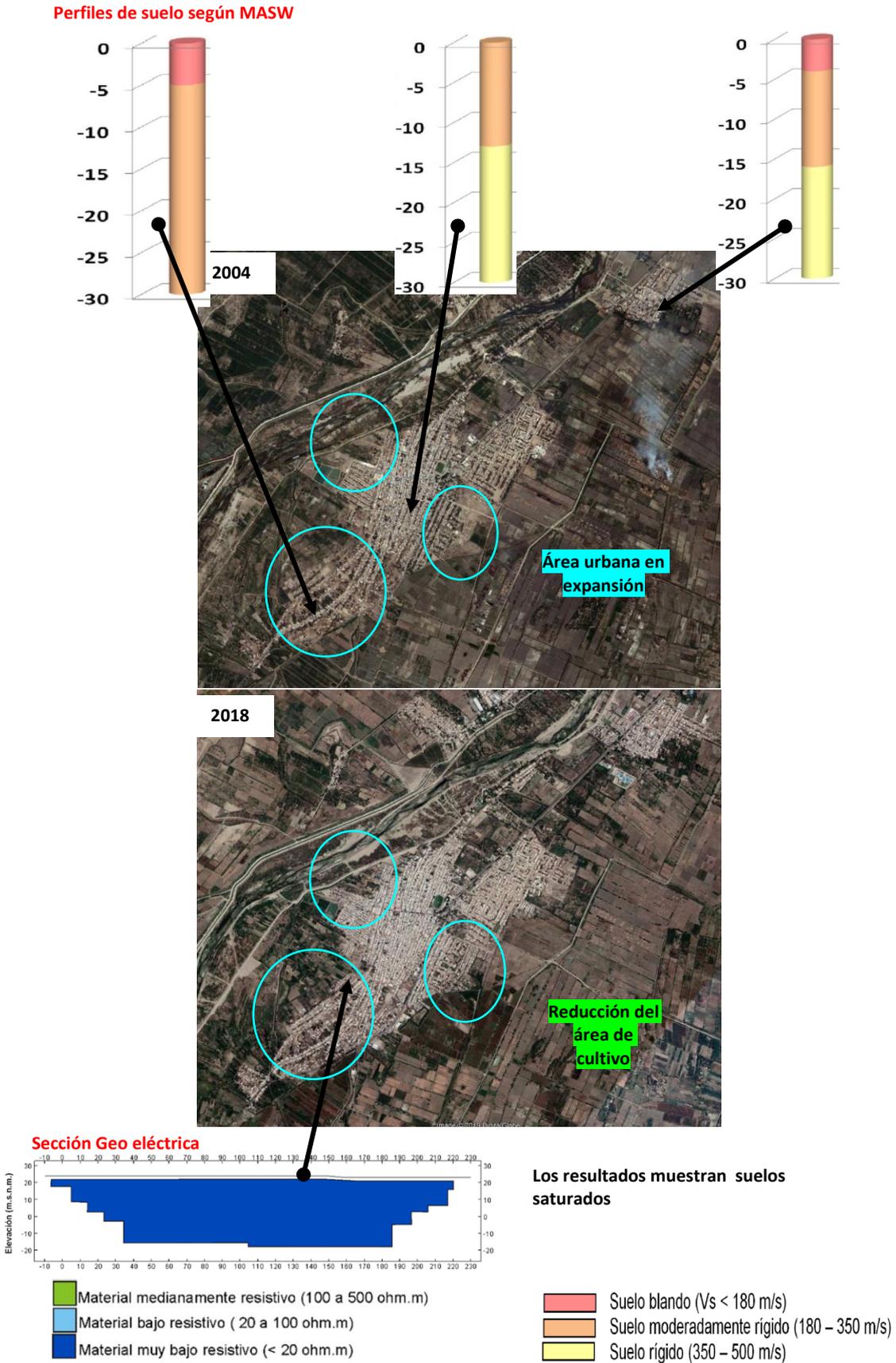


Figura 26: Interpretación de resultados obtenidos a partir de ensayos geofísicos.

## 2.2. Mapa de Zonificación Sísmica

El mapa de Zonificación sísmica-geotécnica para el área urbana de Catacaos, se elabora en función de la integración de los resultados de los estudios geológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos, delimitando zonas cuyos suelos presentan características de respuesta similares ante la ocurrencia de un sismo. De acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, en la ciudad de Catacaos se ha identificado la existencia de suelos Tipo S2, S3 y S4.

Para el área urbana de Catacaos, se propone la siguiente zonificación sísmica-

**ZONA I:** Considera suelos consolidados, caracterizados por la presencia de depósitos aluviales (desde el nivel superficial) constituidos principalmente por arenas. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte Vs de 160 m/s para la capa superficial y de 445 m/s a la profundidad de 30 metros. El periodo de vibración natural varía entre 0.4 y 0.5 segundos, tienen un comportamiento medianamente rígido y es considerado como suelos Tipo S2 según la Normas E030. 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 60 % del área de estudio: área central de Catacaos y A.H. José Cayetano Heredia, A.H. 17 de Setiembre, A.H. Juan Pablo II, A.H. Jorge Chavez, A.H. Nuevo Catacaos, A.H. Sarita Colonia y en el sector de Simbila.

**ZONA III:** Considera suelos poco consolidados y constituido por depósitos aluviales conformados por arenas de grano grueso a fino, desde el nivel superficial. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte Vs de 140 m/s para la capa superficial y de 360 m/s a la profundidad de 30 metros. El periodo de vibración natural varía entre 0.6 y 0.7 segundos, tienen un comportamiento medianamente rígido y es considerado como suelos Tipo S3 según la Norma E. 0.30. 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 30 % del área de estudio: H. Alberto Fujimori, la Rinconada y áreas de cultivo, en la margen izquierda del río Piura, A.H. José Carlos Mariátegui y ampliación A.H. José Cayetano Heredia y de manera sectorizada, en el centro del área urbana.

**Zona IV:** Esta zona corresponde a suelos cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales, por lo que su comportamiento corresponde a suelos Tipo S4 según Norma E. 030.

**Zona IVa:** Constituida por depósitos fluviales y aluviales caracterizado por arenas poco compactas y saturadas. Se encuentran emplazados en ambas márgenes del río Piura. 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, pueden generarse procesos de inundación. Además, debido a carga producida por el incremento del cauce del río Piura, puede debilitar el dique que protege el área urbana de Catacaos, tal como ocurrió en el 2017 debido a la ocurrencia del Fenómeno del Niño.

En las Zonas II y III, las líneas inclinadas en rojo delimitan áreas donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 3 veces; es decir, los mayores sacudimientos del suelo durante un evento sísmico se presentarán principalmente en dos lugares; el primero y de manera sectorizada se muestra en Simbila, y el segundo, desde la parte centro del área urbana hacia al extremo suroeste (A.H. José Carlos Mariátegui, A.H. Alberto Fujimori, La Rinconada y área de cultivo), tal como se muestra en la Figura 27. Esto evidencia la existencia de suelos más flexibles que en el resto del área estudiada.

Asimismo, las líneas inclinadas de color verde, delimitan áreas donde los suelos responden a un segundo rango de periodos, entre 0.1 y 0.2 segundos, que pueden ser asociados a la presencia de una capa superficial caracterizada como suelo blando y espesor menor a 5 metros. Este suelo se encuentra presente en por el sector de Simbila, por el A.H. Nuevo Catacaos y en el extremo el suroeste del área urbana (La Rinconada).

Esta zonificación condiciona el tipo de estructuras que se debe construir; es decir, tipo de material, geometría y el número de niveles 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 para evitar que se experimente el fenómeno de resonancia y/o una doble amplificación sísmica, ver Figura 27.

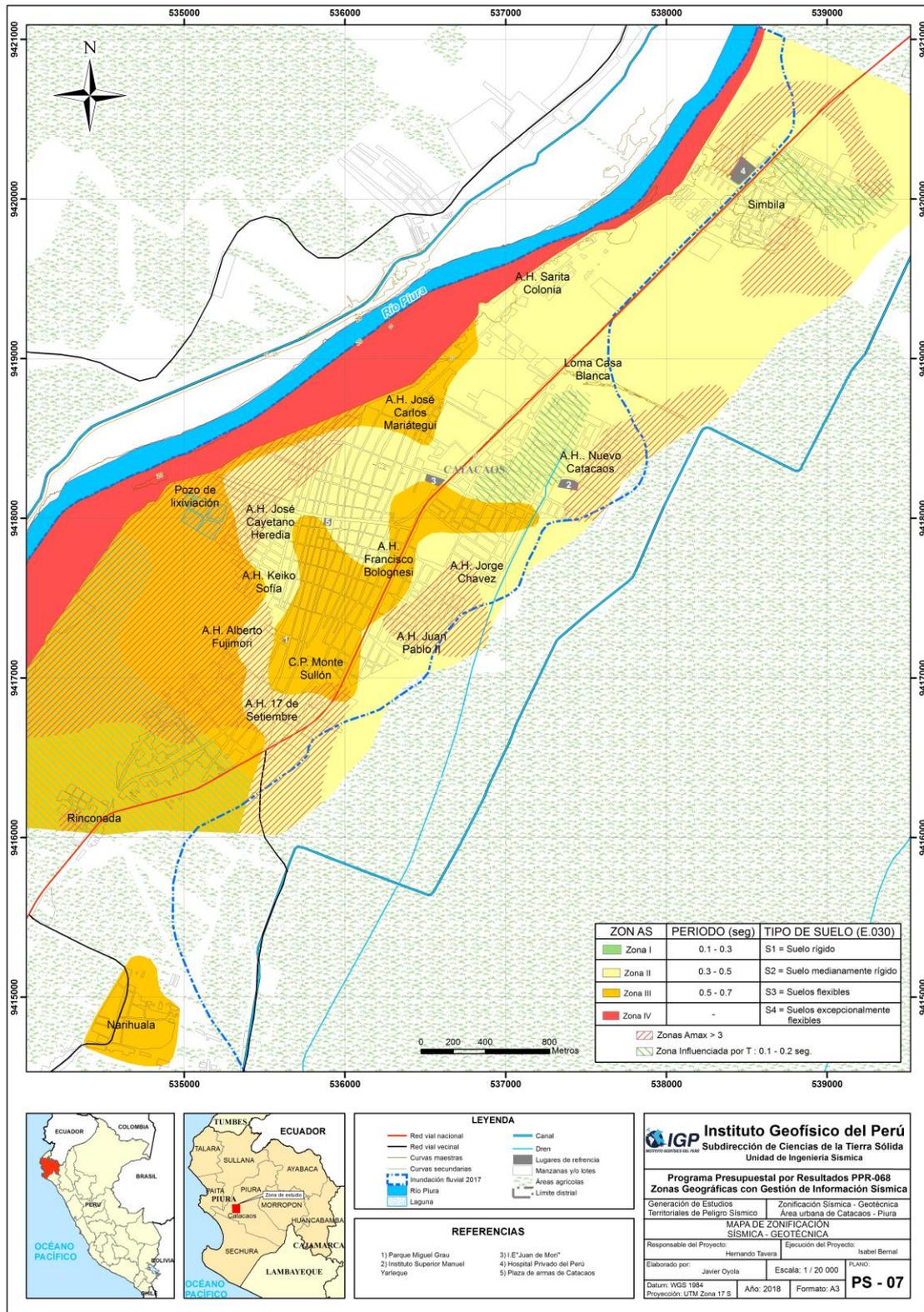


Figura 27: Mapa de Zonificación Sísmica del área urbana de Catacaos y alrededores.

## CONCLUSIONES

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

- Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permiten mostrar un pico de frecuencia bien definido, que se encuentra en toda el área urbana predominando (frecuencias entre 1.3 a 2.6 Hz) evidenciando la existencia de una capa sedimentaria de gran espesor.
- Las amplificaciones relativas mayores a 3 veces, se presentan en el suroeste, por los AA.HH Alberto Fujimori, José Cayetano Heredia y 17 de setiembre, esto evidencia la existencia de suelos más flexibles que en el resto del área estudiada.
- De los resultados obtenidos con el método sísmico, en el área de estudio predominan en superficie los suelos blandos (142 a 177 m/s) de 2 a 5 metros de espesor y que se encuentran, sobre suelos moderadamente rígidos ( $V_s$  227 a 342 m/s). Este último, con espesores que varían entre 9 a 17 metros, se encuentran emplazados por debajo de la capa superficial y en gran parte del área urbana de Catacaos. A mayor profundidad, se encuentran suelos rígidos ( $V_s$  359 a 445 m/s) con espesores que superan los 30 metros de profundidad.
- La aplicación del método de razones espectrales H/V ha permitido conocer el periodo dominante del suelo de la ciudad de Catacaos (0.4 a 0.7 segundos), evidenciando la presencia de una capa sedimentaria de gran espesor. Además, existen 3 zonas en donde los suelos responden a un segundo rango de periodos (0.1 y 0.2 segundos): Instituto Superior Manuel Yarleque en el Simbila. Por otro lado, se ha delimitado las áreas donde la amplificación relativa es mayor a tres veces: por los AA.HH Alberto Fujimori, José Cayetano Heredia y 17 de Setiembre, esto evidencia la existencia de suelos con mayor flexibilidad que el resto del área de estudio.
- Los periodos dominantes que caracterizan los suelos de Catacaos, están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación  $T_0=4H/V_s$ , donde  $T_0$  es el periodo dominante, H el espesor del estrato y  $V_s$  es la velocidad de

onda de corte. Asumiendo velocidades de 300 m/s y 350 m/s para las ondas de corte ( $V_s$ ) y periodos de 0.5 y 0.6 segundos, se estima la presencia de una capa sedimentaria con espesores de 25 a 30 metros, evidenciándose los mayores espesores hacia el extremo suroeste.

- Los A.H. 17 de Setiembre, C.P. Monte Sullón y la ampliación del A.H. José Cayetano Heredia II etapa, presentan medios saturados superficiales y el predominio de suelos constituidos por arenas poco compactas, lo cual incrementan la probabilidad de experimentar el fenómeno de licuación de suelos ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud. Asimismo, el sector de Viduque también esta propenso a sufrir el fenómeno de licuación de suelos.
  
- Catacaos se encuentra al mismo nivel topográfico que el río Piura y asentada sobre suelos con presencia de arcillas y limos, los cuales tienen la propiedad de retener agua. Los sectores de la Zona industrial, Urb. Los Olivos, I.E. Fe y Alegría, A.H. 17 de Enero y el estadio Melanio Coloma de Bellavista, que se encuentran próximos a las quebradas Cieneguillo, Cola de Alacrán y Boquerón de Núñez, suelos arenosos completamente saturados y en condiciones, estas condiciones incrementan la posibilidad de la ocurrencia del fenómeno de licuación de suelos ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud.
  
- La evaluación de las características físicas y dinámicas del suelo en la ciudad de Catacaos, ha permitido identificar, de acuerdo a las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E-030, la existencia de suelos de Tipo S2, S3 y S4.

## BIBLIOGRAFÍA

- 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
- 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
- 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.
- Braja Das, (2011) - Principles of Foundation Engineering, Seven Edition, pág. 139-140.
- Brusi, D., et al (2013) - Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. ISSN: 1132-9157. Pág. 181-194.
- Cahill & Isacks (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- CENAPRED (2004) – Inundaciones, Secretaría de gobernación, 1ra Edición. Delegación de Coyoacan. CP.04360. México, D.F
- Chow, V., T., Maidment, D., R., & Mays, L., W., (1994) - Hidrología Aplicada Bogotá, McGrawHill, pág. 584.
- CISMID, (2016) - Densidad de campo. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Laboratorio Geotécnico.
- Comité Interinstitucional, (2007) - Plan de Defensa Ribereñas y Encauzamiento de Ríos. Resumen del Diagnóstico Situacional. Autoridad Autónoma Cuenca Hidrográfica Chira – Piura.

CONIDA, (2017) – Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial.  
Mapa de Estimación de Zonas Inundables.

Crespo V., C., (2004) - Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 5ta edición.

Cruden (1991): A Simple definition of a landslide: Bulletin of the International  
Association of Engineering Geology.

Dorbath, L., Cisternas, A., Dorbath, C. (1990). Assessment of the size of large and  
great historical earthquakes in Peru. Bull. Seismol. Soc. Am., 80 (30), 551-576.

ENFEN, (2017) - Comisión Multisectorial Encargada del Estudio Nacional del  
Fenómeno “El Niño”.

Flores-Estrella, H., Lomnitz, C. y Yussim S. (2004). “Estimación de velocidades de fase  
a partir del análisis de microtemores con el método SPAC”, Geophysics, Vol.  
24, Nº 3, 438-445

Gasulla, M.; Jordana, J.; Pallás, R.; Torrents, J.M. (1998). Subsurface resistivity  
measurements using square waveforms. IEEE Transactions on Instrumentation  
and Measurement, 47(1): 74-77.

Gobierno Regional De Piura, (2005-2010) - Plan Regional de Prevención y Atención de  
Desastres de la Región Piura.

Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. Bull. Seism. Soc.  
Am. 82, 2308-2327

Harvey, A., M., 1987. Patterns of Quaternary aggradational and dissectional landform  
development in the Almeria region, southeast Spain: a dry-region tectonically-  
active landscape. Die Erde 118, 193-215

Heidelberg Carl Winster Universitat-Shuchhan-Lunc, p. 406.

Hutchinson, J., N., (1968) - Mass Movement. In the Enciclopedia of Geomorphology  
(Fairbridge, R.W., ed., Reinhold Book Corp., New York). 668-696 p.

- Hutchinson, J., N., (1988) - General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides, (Ed: Bonnard, C.). 1, 3-35 p. Rotterdam: Balkema.
- INDECI, (2017) – Instituto Nacional de Defensa Civil. Estado Situacional de la Emergencia.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a). Are microtremors useful in site response evaluation?, Bull. Seism. Soc. Am. 84, 1350-1364 pp.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994b). Site effect evaluation at Mexico City. Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremors records, Soil. Dyn. & Earthq. Eng. 13, 413-423 pp.
- Loke, M.H. (2004). Tutorial 2D and 3D electrical imaging surveys.
- Malaga, L., Kuroiwa J., Perez, A., Zerga, A., Cuadros, R., Torres, L. y Flores, J. (2003). Plan de prevención ante desastres: uso del suelo y medidas de mitigación de Catacaos. Programa Ciudades Sostenibles. Proyecto INDECI – PNUD PER/02/051, 239p.
- Meyerhof, G., G., (1956) – Penetración Test and Bearing Capacity of Cohesionless Soils. Journal of the Soils Mechanics and Foundations División, ASCE, Vol 82 N°SM1, Proc. Paper 886, Jan. 1956, pp-19.
- Ministerio de Economía y Finanzas, (2017) - Informe de seguimiento y Gestión a la Inversión Pública.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) - <http://renac.mtc.gob.pe/inventariovial/default2.aspx>.
- Moreano S., F. (2003): Estudio de Suelos y mapa de peligros de la ciudad de Catacaos-INDECI-PNUD.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quaterly Report Railway Tech. Res.

Inst., 30-1, 25-30.

Norma Técnica de edificaciones E.030. 2016. Aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada por Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA.

Orellana, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.

Pachon et al. (2000) - Implicaciones de la Red de Acelerógrafos de Bogotá en el estudio de Microzonificación Sísmica. INGEOMINAS.

Palacios, O, (1994) - Geología de los cuadrángulos Paita 11-a, Piura11-b, Talara 10-a , Sullana 10-b, Lobitos 9-a, Quebrada Seca 9-b, Zorritos 8-b, Tumbes 8-c y Zarumilla 7-c. Serie A: Carta Geológica Nacional . Boletín N° 54. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico- INGEMMET.

Palomino, L., Mosqueira, C., Parra, J., Perez, A., Balarezo, C., López, A., Chávez, M., La Madrid, W., Ramos, Gilberto y Quico, L. (2011). Estudio, Mapa de peligros, plan de usos del suelo ante desastres y medidas de mitigación de la ciudad de Catacaos. Programa Ciudades Sostenibles. Proyecto INDECI – PNUD PER/02/051, 411p.

Park, C. B., Miller, R. D. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves Geophysics 64 800-8.

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. (2014). MASW for geotechnical site investigation. The Leading Edge, 32(6):656-662.

Park, C.B. (2015). Data acquisition. Retrieved 23 June, 2015, from <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>

Perrone, A., Iannuzzi, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Rizzo, E., and Sdao, F. (2004). Highresolution electrical imaging of the Varco d'Izzo earthflow

(southern Italy), J. Appl. Geophys., 56, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004

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

Proyecto de Mapa de Peligros de Piura – (Apoyo INDECI, 2002)

Proyecto SEDI/AICD/AE/306/07 Programa de Reducción de Desastres para el Desarrollo Sostenible en las ciudades de Piura (Perú) y Machala (Ecuador). Estudio mapa de peligros de la ciudad de Piura (2008-2009).

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.

Roman, F., Jaimes, E., Moreno, M., Cuisano, V., Gallo, M., Yaipen, J. y Flores, M. (2017). Informe de evaluación del riesgo por desastre del río Piura e inundación pluvial en el centro poblado de Catacaos, distrito de Catacaos, provincia y departamento de Piura. p. 64.

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

Seed HB, Tokimatsu K, Harder LH & Chung R., (1984) - "The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations," Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No. EERC 84-15.

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.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), (2018).  
<http://www.senamhi.gob.pe/>

SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12: (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.

Sieberg, A. (1930). Los Terremotos en el Perú. Capítulo VI, Geología del Perú de G. Steinmann.

SIG INGENIEROS S.A.C., (2014) - Evaluación y Reformulación del Plan de Desarrollo Urbano de Piura, Castilla y Catacaos 2032 Ahora; Plan de Desarrollo Urbano de Piura, Veintiséis de Octubre, Castilla y Catacaos 2031

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 Wisen, R. (2008). Seismic characterization of an Alpine site. Near Surface Geophysics, 6(4):255-267.

Suárez, D., J., (1998) – Estabilidad de Taludes en Tropicales. Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos. Colombia. Ed. Ingeniería de Suelos Ltda. 550 p.

Tarback, E., D. Lutgens, F., K., (2005) - Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física Prentice Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.

Tavera, H., Agüero, C y Fernández, E. (2016). Catálogo general de isosistas para sismos peruano. Instituto Geofísico del Perú. p. 196

Terzaghi, K. Peck, B., G. & Mesri, G., (1948) – Soil mechanics in engineering practice, New York: Wiley.

Varnes, D. J., (1978) - Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster R. L. y Krizek, R. J., ed. Landslides analysis and control: Washington, D. C. National Academy

- Press, Transportation Research Board Special report 176. 9-33 p.
- 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.
- Vilchez, et al, (2013) - Riesgo Geológico En La Región Piura. Ingemmet.
- 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.
- 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

## ANEXO

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

### 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