



Ministerio  
del Ambiente

Instituto  
Geofísico del Perú



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

### ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN SISMO-GEOTÉCNICA DEL DISTRITO DE TAMBOGRANDE



Lima - Perú

2020

## **ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN SISMO-GEOTÉCNICA DEL DISTRITO DE TAMBOGRANDE**

**Provincia de Morropón - Departamento de Piura  
(Características dinámicas del suelo)**

### **Responsable del Proyecto**

Dr. Hernando Tavera

### **Desarrollo del Proyecto**

Dra. Isabel Bernal Esquia

MSc. Juan Carlos Gómez Avalos

### **Personal Participante**

Juan Carlos Villegas Lanza

Segundo Ortiz Yovera

Mariana Vivanco Manrique

Pilar Vivanco López

Héctor Lavado Sánchez

Gustavo Namay Poncca

Henry Salas

Liliana Torres Velarde

Jesús Huarachi Berroa

Kely Pari Rondón

Wilfredo Sulla Huilca

Javier Oyola

José Millones Jauregui

Manuel Medina

### **Apoyo Técnico**

Marisol Enríquez Huamán

Esther Campos Cordova

Augusto Cárdenas Ausejo

Roberth Yupanqui Zelada



## RESUMEN EJECUTIVO

*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 “Caracterización Geomorfológica, Geológica, Geodinámica y Geotécnica” obteniéndose como resultado final, los Mapas de Eventos Geodinámicos Tipos de Suelos y Capacidad Portante área urbana de Tambogrande, distrito de Tambogrande, provincia y departamento de Piura. El estudio permite conocer el Comportamiento Físico del Suelo a partir de la recolección de información geológica, geomorfológica, así como de áreas expuestas a eventos geodinámicos y la aplicación de métodos geotécnicos.*

*Los resultados obtenidos para el área urbana de Tambogrande han permitido identificar la existencia de cinco (5) tipos de suelos que corresponden a: arenas limosas (SM) con capacidad portante baja (1.0 – 2.0 kg/cm<sup>2</sup>), limos inorgánicos de baja plasticidad (ML), arcillas inorgánicas de baja plasticidad (CL) y arcillas inorgánicas con limos de baja plasticidad (CL – ML), con capacidad portante muy baja (< 1.0 kg/cm<sup>2</sup>).*

*Los resultados obtenidos para el área urbana de Tambogrande han permitido identificar, considerando lo indicado en la Norma sismorresistente E.030, la existencia de dos (2) zonas correspondientes a suelos Tipo S2 y S4 que comprenden a suelos blandos a medianamente rígidos y excepcionales. Aproximadamente el 90 % del área de estudio presenta suelos que responden a periodos que varían entre 0.3 y 0.4 segundo. Las amplificaciones relativas mayores a 3 veces se identifican en sectores próximos al río Piura, a la quebrada Carneros, a los drenajes de regadío y en áreas que anteriormente fueron considerados como terrenos de cultivo (AA.HH. San Martín, José Carlos Mariátegui, Sagrado Corazón de Jesús). Y de manera sectorizada, hacia el sur del estadio municipal, se identifica periodos secundarios a 0.1 y 0.2 segundos. En estos sectores, los resultados sugieren la presencia de suelos de baja consistencia a nivel superficial, con alto nivel freático (2.4 metros de profundidad) que, al estar constituido por arcillas, limos inorgánicos y arenas, permite el almacenamiento del agua en el subsuelo.*

*El Mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana de Tambogrande se constituye como información primaria a ser utilizada por ingenieros civiles y arquitectos para el diseño y construcción de estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos identificados en este estudio. Asimismo, como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.*

## CONTENIDO



Investigación para la Prevención de Desastres

[www.igp.gob.pe](http://www.igp.gob.pe) Calle Badajoz 169 Urb. Mayorazgo IV Etapa-Ate

Central

Telefónica: (511) 3172300 - 141

RESUMEN EJECUTIVO.....	3
PRIMERA PARTE: ESTUDIO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO.....	8
1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. OBJETIVOS.....	9
2.1 Objetivo general.....	9
2.2 Objetivo específico.....	9
3. METODOLOGÍA.....	9
4. ANTECEDENTES.....	10
4.1 Recopilación de la información.....	10
5. ASPECTOS GENERALES.....	15
5.1 Ubicación y accesibilidad.....	15
5.2 Población.....	15
5.3 Clima.....	16
5.4 Hidrografía.....	18
6. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA, GEOLÓGICA Y GEODINÁMICA.....	18
6.1 Geomorfología.....	18
6.1.1 Modelo Digital de Elevación (MDE).....	19
6.1.2 Pendientes.....	19
6.1.2.1 Clasificación del grado de pendientes.....	20
6.1.3 Unidades Geomorfológicas.....	20
6.1.3.1 Loma.....	22
6.1.3.2 Terraza aluvial.....	22
6.1.3.3 Lecho fluvial.....	23
6.2 Geología.....	25
6.2.1 Geología local.....	25
6.2.1.1 Volcánico Ereó (Ki-ve).....	26
6.2.1.2 Formación Tambogrande (NQ-tg).....	26
6.2.1.3 Depósitos Cuaternarios.....	28
6.2.1.3.1 Depósitos fluviales (Qh-fl).....	28
6.3 Geodinámica Superficial.....	29
6.3.1 Inundación.....	30
6.3.1.1 Inundación fluvial.....	30
6.3.1.2 Inundación pluvial.....	30
6.3.2 Elementos expuestos.....	37
7. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	38
7.1. Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM 420).....	40



7.2. Exploraciones con posteadora manual.....	42
7.3. Ensayo de penetración dinámica ligera-LDPT (norma DIN 4094).....	43
7.4 Resultados de los ensayos de laboratorio.....	44
7.4.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS en la ciudad de Tambogrande.....	44
7.5 Ensayo de corte directo (Norma ASTM D - 3080).....	48
7.5.1 Capacidad de carga portante.....	48
7.5.1.1 Tipos de capacidad de carga portante.....	50
8. DISCUSIÓN.....	50
PARTE II: GEOFÍSICA Y ZONIFICACIÓN SISMOGEO TÉCNICA	51
1.- INTRODUCCIÓN.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.1.- Objetivo.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.2.- Área de estudio.....	52
1.2.1.- Antecedentes.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.3.- Condiciones locales de Sitio.....	56
1.4.- Zonificación, Norma Técnica E.030.....	57
2.- METODOLOGÍA Y DATOS.....	59
2.1.- Método de Razones Espectrales (H/V).....	59
2.1.1.- Procesamiento y análisis.....	63
2.2.- Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
2.2.1.- Procesamiento y análisis.....	66
2.3.- Método de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT).....	67
2.3.1.- Procesamiento y análisis.....	70
3.- RESULTADOS.....	71
3.1.- Razones espectrales (H/V).....	71
3.1.1.- Frecuencias Predominantes.....	71
3.1.2.- Periodos dominantes.....	77
3.2.- Perfiles de MASW.....	79
3.3.- Perfiles de Tomografía Eléctrica.....	83
4. ZONIFICACIÓN SISMO-GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS.....	87
4.1. Integración de resultados.....	87
4.2. Mapa de Zonificación Geofísica.....	90
9. CONCLUSIONES.....	93
10. RECOMENDACIONES.....	95
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96



### RELACIÓN DE FIGURAS

- Figura 01: Geología regional, el área de estudio comprende el cuadrado rojo, Fuente: INGEMMET, 2010
- Figura 02: Mapa de ubicación de poblaciones vulnerables por activación de la quebrada Carneros, distrito de Tambogrande-Piura, Fuente: ANA
- Figura 03: Mapa de riesgo zona rural, Fuente: Equipo técnico PPRRD distrital
- Figura 04: Mapa de riesgo zona urbana, Fuente: Equipo técnico PPRRD distrital
- Figura 05: La estación meteorológica Partidor se ubica a 22.60 km al noreste del casco urbano de Tambogrande, Fuente: SENAHMI
- Figura 06: Los meses de febrero y marzo del 2017 se registran las máximas precipitaciones (1220.40 mm), esto corresponde al evento "EL NIÑO". Fuente: SENAMHI
- Figura 07: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio
- Figura 08: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de movimientos en masa en la localidad de Tambogrande
- Figura 09: Formación de los suelos (Adaptado de Gonzales de Vallejo, 2002)

### RELACIÓN DE CUADROS

- Cuadro 01: Temperaturas máximas (color amarillo) y mínimas (color verde) medias mensuales, período 2017-2019, recopilados de la estación meteorológica Partidor, para el área de estudio.
- Cuadro 02: Precipitaciones mensuales, periodo 2017-2019, recopilados de la estación meteorológica Partidor, para el área de estudio
- Cuadro 03: Determinación de geoformas en la ciudad de Tambogrande en base a las características físicas y su origen
- Cuadro 04: Población estimada de la localidad expuesta a eventos de origen natural
- Cuadro 05: Viviendas de la localidad expuestas a eventos de origen natural (se consideró la delimitación del área de influencia de la inundación realizada en el capítulo de geodinámica)
- Cuadro 06: Ubicación de calicatas
- Cuadro 07: Resultado de densidades in - situ
- Cuadro 08: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS
- Cuadro 09: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetros obtenidos
- Cuadro 10: Clasificación SUCS de los suelos de las ocho (08) calicatas elaboradas en la ciudad de Tambogrande
- Cuadro 11: Capacidad portante de ocho (08) muestras extraídas en el ciudad de Tambogrande
- Cuadro 12: Capacidad portante (Criterio de falla general y local) en base al ángulo de fricción corregido del N del DPL vs SPT y cohesión obtenida del ensayo de corte directo

### RELACIÓN DE TABLAS

- Tabla 01: Rangos de pendientes del terreno



## RELACIÓN DE ANEXOS

### ANEXO 01: PERFILES SÍSMICOS MASW

### ANEXO 02: PERFILES DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA ERT

### ANEXO 03: LEVANTAMIENTO FOTOGRAFÉMICO

### ANEXO 04: ANÁLISIS DE ELEMENTOS EXPUESTOS

- Cuadros de aspectos socioeconómicos y condiciones de vulnerabilidad.

### ANEXO 05: PLANOS

- P-01 Ubicación y Accesibilidad
- P-02 Modelo Digital de Elevaciones
- P-03 Pendientes
- P-04 Geomorfología
- P-05 Geología
- P-06 Geodinámica
- P-07 Geotecnia
- P-08 Tipos de Suelos
- P-09 Capacidad Portante

### ANEXO 06: MODELADO DE INUNDACIONES

### ANEXOS 07: GEOTECNIA

- Correlación N° DPL – SPT / Capacidad portante
- Fichas geotécnicas
  - ✓ Fichas de Logueo de Calicatas
  - ✓ Fichas de Densidad de Campo
  - ✓ Fichas de Ensayos de Penetración Dinámica Ligera-DPL
  - ✓ Ficha de Logueo de Posteos
  - ✓ Fichas de Análisis Granulométrico
  - ✓ Fichas de Correlación DPL-SPT
  - ✓ Fichas de Cálculo de Carga portante



## PRIMERA PARTE: ESTUDIO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

### 1. INTRODUCCIÓN

La Caracterización Geológica Geotécnica del distrito de Tambogrande se desarrolló como parte del informe Zonificación Sísmica Geotécnica del distrito en mención (dinámica de los suelos de cimentación), para ello se realizó el cartografiado geológico, geomorfológico y geodinámico en el distrito Tambogrande a escala 1:12 500 en un área de 3110 hectáreas (ha) apoyados en imágenes obtenidas mediante el uso del Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) del área de estudio, lo que permitió obtener curvas de nivel con equidistancia de 5 m. Así mismo, se realizó la zonificación de los suelos apoyados en ensayos geotécnicos con la finalidad de determinar las propiedades físico-mecánicas de los suelos, estos consistieron en exploraciones a cielo abierto (calicatas), ensayos de densidad de campo in situ, ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL) y auscultaciones con posteadora manual (escala 1:15 000).

Los estudios en conjunto citados anteriormente permiten identificar zonas susceptibles ante la ocurrencia de eventos naturales tales como: movimientos en masa (huaycos, deslizamientos, caída de rocas, entre otros) e inundaciones generadas por fenómenos hidrometeorológicos (precipitaciones extremas “El Niño costero”) que puedan afectar la seguridad física del distrito en mención.

La información proporcionada en el presente informe servirá como material de apoyo a las instituciones de primera línea (gobiernos regionales, municipalidades, entre otros) para ejecutar las medidas correctivas en apoyo a la Gestión del Riesgo de Desastres.

### 2. OBJETIVOS



## 2.1 Objetivo general

Realizar la zonificación de suelos con sus respectivas capacidades portantes en base a sus características físico-mecánicas obtenidas de los ensayos de laboratorio y determinar las áreas expuestas a peligros por eventos geodinámicos presentes en la ciudad de Tambogrande, con el fin de contribuir al desarrollo y planificación urbana preventiva en la ejecución de proyectos futuros.

## 2.2 Objetivo específico

Realizar el cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico y ensayos geotécnicos en la ciudad de Tambogrande a escala 1:12 5 000.

Determinar las propiedades físico-mecánicas de los suelos de la ciudad de Tambogrande (centro urbano y área de expansión urbana), en laboratorio y calcular sus respectivas capacidades portantes para realizar los mapas de tipos de suelos y capacidad portante a escala 1:15 000.

## 3. METODOLOGÍA

Para realizar el informe geológico-geotécnico de Tambogrande se dividió en 2 fases: gabinete y campo, que se describen a continuación

### *Gabinete:*

Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales de la zona de Tambogrande, obtenidas del servidor Perú SAT-1, año 2017, con la finalidad de delimitar la zona de estudio, así como la recopilación de información geológica regional y local existente (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).

### *Campo:*

Cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico a escala 1:15000, para lo cual se utilizó la ortofoto del área de estudio obtenida a través del RPAS (Anexo 01).

Se realizaron exploraciones geotécnicas que incluyeron la ejecución de 8 calicatas, 5 densidades de campo, 8 ensayos de Penetración Dinámica Ligera-DLP y 8 auscultaciones manuales (posteos).



Asimismo, las muestras extraídas fueron analizadas en el laboratorio de mecánica de suelos para determinar la humedad natural, límites de Atterberg, granulometría y corte directo (para obtener parámetros de cohesión y ángulo de fricción de los suelos) que servirán para el cálculo de la capacidad portante.

Finalmente, la información recopilada en gabinete, así como, en campo y resultados de laboratorio se procesó y analizó para la elaboración del presente informe final.

## 4. ANTECEDENTES

En este capítulo se ha realizado la recopilación de informes técnicos en donde se describe la geología regional, ocurrencia de eventos naturales (inundaciones, deslizamientos, huaycos, sismos, entre otros) que afectaron la seguridad física del distrito en mención, así como, características físicas de los suelos, datos que serán discutidos en el Capítulo 8 junto con los resultados obtenidos en el presente informe.

### 4.1 Recopilación de la información

- **SALCEDO, F., ET AL, (2012) - GEOLOGÍA DEL CUADRÁNGULO DE LAS LOMAS (10 – C) BOLETÍN N° 146 SERIE A, CARTA GEOLÓGICA NACIONAL 1:50: 000**

En este informe se describe que el cuadrángulo de Las Lomas (10-c) se localiza en el noroeste del Perú, en la zona de transición de los Andes centrales a los Andes septentrionales conocida como deflexión de Huancabamba, toda el área del cuadrángulo abarca gran parte del sector oriental de la cuenca Lancones. Geomorfológicamente ocupa espacios de la Cordillera Occidental, que se caracteriza por presentar cumbres elevadas con altitudes que varían entre 600 a 2000 ms.n.m., lomas con altitudes que varían entre 200 a 670 ms.n.m., valles o depresiones con altitudes entre 180 a 200 ms.n.m., extensas planicies entre 100 a 200 ms.n.m. y diversas quebradas.

Las últimas depositaciones de la cuenca están conformadas por dos unidades conglomerádicas, el primero corresponde a conglomerados con clastos redondeados de cuarcitas muy compactas denominados como formación Yapatera (Paleógeno), el segundo que cubre gran parte de las planicies con secuencias de conglomerados, areniscas y niveles lenticulares de cenizas poco consolidadas corresponden a la formación Tambogrande (Neógeno) y, finalmente, cubriendo a todas las secuencias antiguas se depositan materiales aluviales, fluviales y morrénicos, Figura 01.



# Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del distrito de Tambogrande

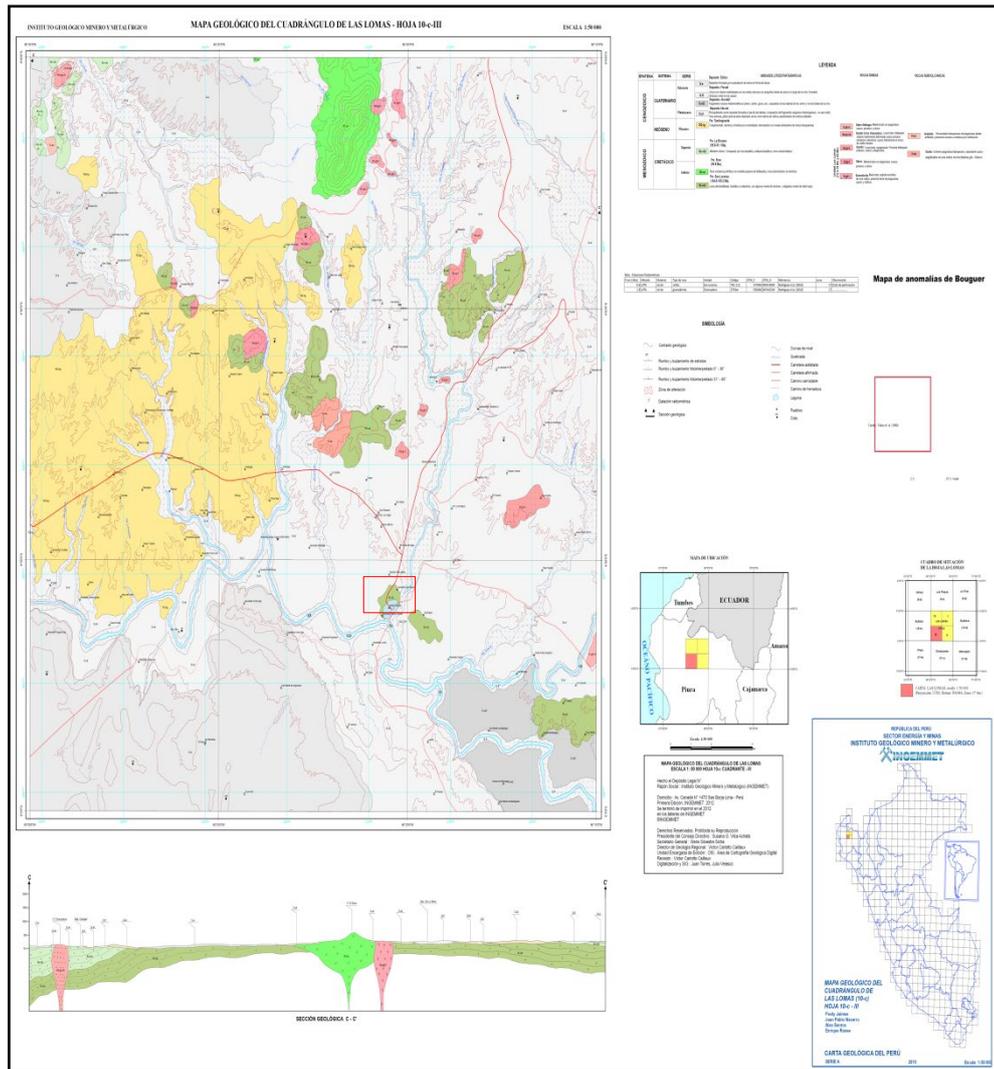


Figura 01: Geología regional, el área de estudio comprende el cuadrado rojo, Fuente: INGEMMET, 2010

- ANA, (2017) - MAPA DE UBICACIÓN DE POBLACIONES VULNERABLES POR ACTIVACIÓN DE LA QUEBRADA CARNEROS, DISTRITO DE TAMBOGRANDE – PIURA. AUTORIDAD NACIONAL DE AGUA

En este mapa se ven las zonas inundables en color líneas entrecortadas de color rojo (Quebrada Carneros), el polígono va en dirección de norte a sur. Figura 02.

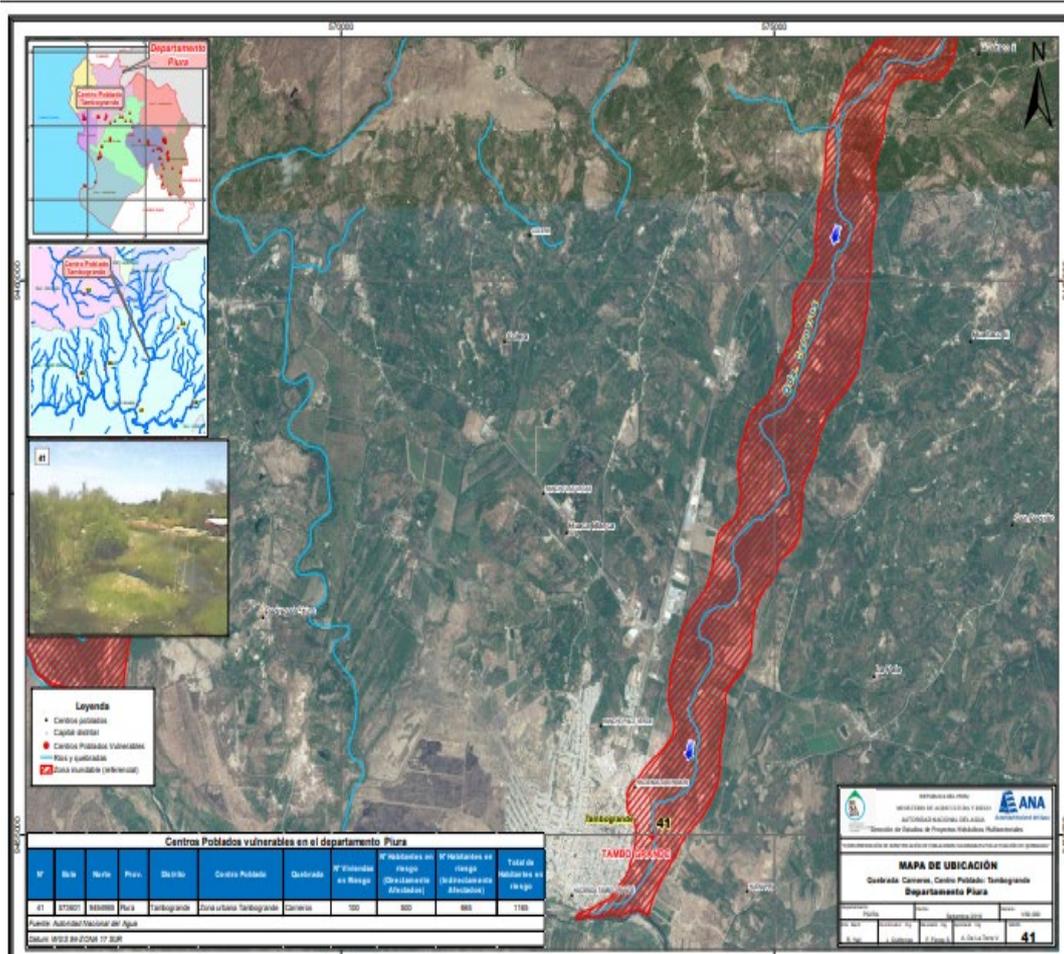


Figura 02: Mapa de Ubicación de poblaciones vulnerables por activación de la quebrada Carneros, distrito de Tambogrande - Piura, Fuente: ANA

- **MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE TAMBO GRANDE, PIURA, (MD, TAMBO GRANDE 200114) - PLAN DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES 2018 -2021-DISTRITO TAMBOGRANDE**

En este informe se describe que Tambogrande se encuentra en la parte media de la cuenca del río Piura, que concentra el 49% de las amenazas del departamento de Piura entre 1970- 2003.

El 83% de los desastres en la región están relacionados directa o indirectamente a factores climáticos.

El distrito de Tambogrande se encuentra en crecimiento y los factores antrópicos hacen vulnerables a los ciudadanos ante fenómenos naturales, desastres y siniestros. La limitada política distrital que rige el ordenamiento y acondicionamiento territorial, la

tugurizarían y hacinamiento de grandes espacios de convivencia, el desordenado poblamiento, la ubicación y construcción de viviendas junto a los ríos, habitar en zonas bajas con alto riesgo de inundación, etc.; conlleva a la inseguridad ciudadana ante la ocurrencia de fenómenos naturales y antrópicos.

Tambogrande tiene una serie de peligros identificados, de origen natural o inducidos por la actividad humana.

Los peligros recurrentes son: sismos, hidrometeorológicos y antrópicos.

En este informe se hace una descripción del riesgo por zonas, en el cual en las zonas urbanas se tiene:

- Zona urbana: inundación de viviendas; desborde de río Piura y quebradas.
- Altimetrías favorables al cauce del río Piura. Mapa N°12 (PDC-DT 2012- 2021)
- Comprende 12 asentamientos humanos, 6 agrupaciones vecinales y 1 casco urbano
- Edificaciones precarias con sistemas constructivos inadecuados; trayendo como consecuencia derrumbe de las viviendas.
- Bajo nivel de accesibilidad por destrucción de trochas carrozables, población totalmente aislada lo que hace difícil la ayuda inmediata.
- Vertimiento de aguas servidas y arrojo de residuos sólidos a quebradas, canales de riego, causando daño a la salud pública. Zona con nivel de riesgo Alto y Muy Alto.

Así mismo en este informe “Plan de prevención y reducción del riesgo de desastres 2018 – 2021, Distrito Tambogrande” (PPRRD), Año: 2018, se adjuntan dos mapas de riesgos, uno para zonas rural y otros para zonas urbanas: Figuras 03 y 04.



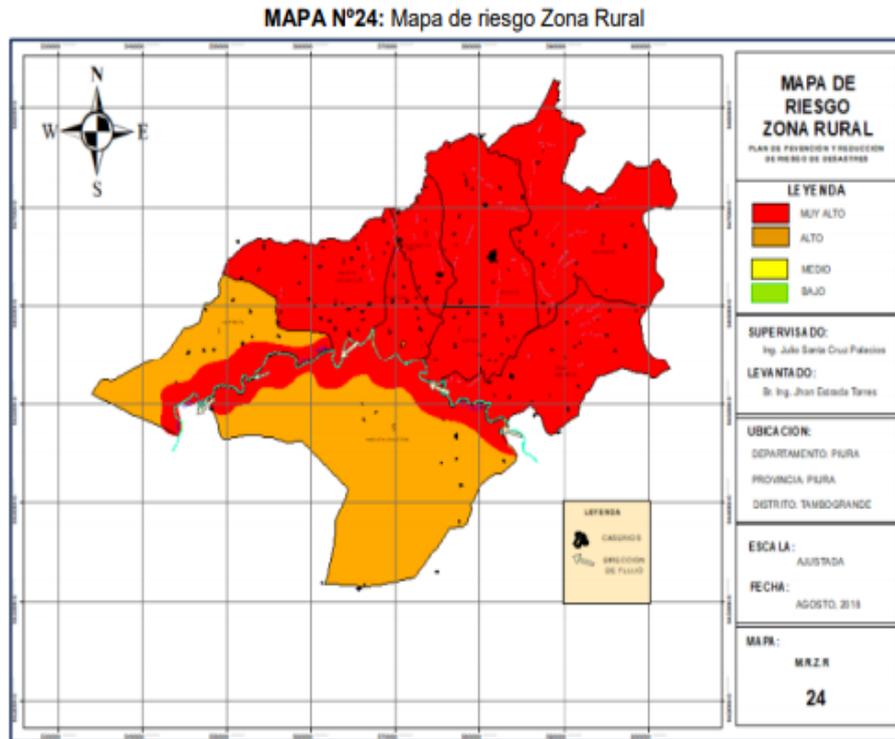


Figura 03: Mapa de riesgo zona rural, fuente: Equipo técnico PPRRD distrital

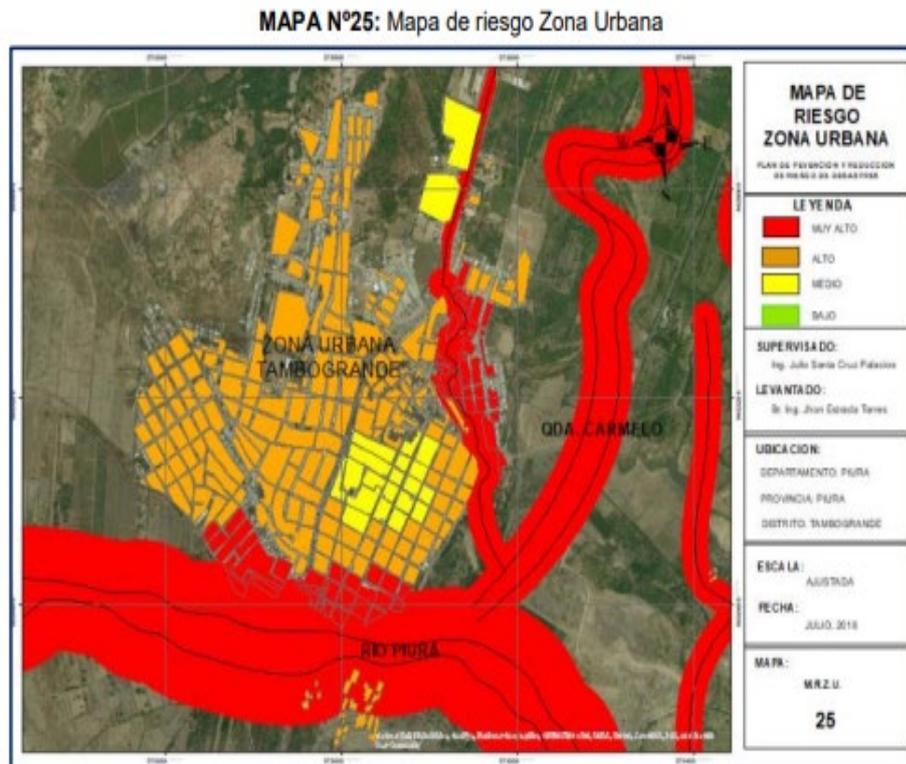


Figura 04: Mapa de riesgo zona urbana, fuente: Equipo técnico PPRRD distrital

## 5. ASPECTOS GENERALES

En este ítem se describe de manera sucinta aspectos generales de la ciudad de Tambogrande.

### 5.1 Ubicación y accesibilidad

El distrito de Tambogrande se encuentra ubicado en la costa norte del Perú en la margen derecha del río Piura, a 49.70 km al noreste de Piura, provincia y departamento de Piura, en las coordenadas UTM: 572921 E, 9453960 N y cota promedio de 72 m.s.n.m.

Límites:

Noroeste: con el distrito de Sullana.

Noreste: con el distrito de Las Lomas.

Sur: con el distrito de Chulucanas (Morropón).

Este: con los distritos de Frías y Sapillica (Ayabaca).

Oeste: con los distritos de Piura y Castilla.

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

Vía aérea: Lima-Piura (1:30 horas), luego se continua por la carretera afirmada Piura – Tambogrande (49.70 km).

Vía terrestre: Lima-Piura (988.70 km), a través de la carretera Panamericana Norte, luego se continua por la carretera afirmada Piura – Tambogrande (49.70 km).

### 5.2 Población

Tambogrande cuenta con una población de 107 495 habitantes distribuidos en una superficie de 1442.81 km<sup>2</sup> y un total de 29 942 viviendas (Fuente: INEI-Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas).

Cabe resaltar que el área de estudio por parte del IGP es de 21.75 km<sup>2</sup>, esto representa el 1.50 % del área total del distrito (Fuente: INEI, 2017). Los aspectos socioeconómicos se describen en el Anexo 02.

### 5.3 Clima

Para determinar las condiciones climáticas en la ciudad de Tambogrande se ha tomado los datos referenciales de la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). La estación Partidor está ubicada en las coordenadas geográficas; Latitud: 4°43'55.09", Longitud: 80°16'47.36", cota 218 m.s.n.m. y a 22.60 km al noreste del centro urbano. Según la información registrada en esta estación (período 2017-2019), la ciudad presenta un clima cálido con temperatura media mensual, que durante los meses de verano llega hasta 35.2°C, mientras que, en invierno, desciende hasta 15.72 °C, Figuras 05 y 06, Cuadros 01 y 02.

Cabe mencionar que estos datos meteorológicos varían cuando se presenta el fenómeno El Niño.



**Figura 05: La estación meteorológica Partidor se ubica a 22.60 km al noreste del casco urbano de Tambogrande, Fuente: SENAMHI**



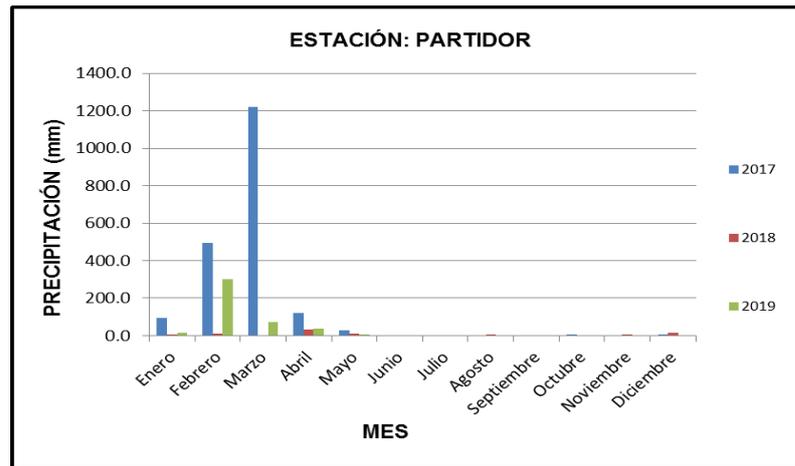


Figura 06: Los meses de febrero y marzo del 2017 se registran las máximas precipitaciones (1220.4 mm), esto corresponde al evento “EL NIÑO”, Fuente: SENAMHI

Cuadro 01: Temperaturas máximas (color amarillo) y mínimas (color verde) medias mensuales, período 2017-2019, recopilados de la estación meteorológica Partidor, para el área de estudio

Estación: PARTIDOR					
Tipo Convencional - Co - Metereológica					
Departamento	Piura	Provincia	Piura	Distrito	Las Lomas
Latitud	4° 43' 55.09"	Longitud	80° 16' 47.36"	Altitud	218 msnm
Mes	Temperatura Promedio	2017	2018	2019	
Enero	T° Max. Media mensual (°)	33.69	34.35	34.15	
	T° Min. Media mensual (°)	22.67	20.93	22.36	
Febrero	T° Max. Media mensual (°)	32.23	34.28	32.50	
	T° Min. Media mensual (°)	22.81	22.54	22.98	
Marzo	T° Max. Media mensual (°)	31.90	<b>35.20</b>	32.54	
	T° Min. Media mensual (°)	23.05	22.23	22.43	
Abril	T° Max. Media mensual (°)	30.87	33.72	33.16	
	T° Min. Media mensual (°)	21.89	21.09	21.03	
Mayo	T° Max. Media mensual (°)	29.34	31.57	32.12	
	T° Min. Media mensual (°)	20.39	18.71	20.05	
Junio	T° Max. Media mensual (°)	27.63	30.23	31.48	
	T° Min. Media mensual (°)	19.00	17.19	17.98	
Julio	T° Max. Media mensual (°)	27.98	29.68	30.79	
	T° Min. Media mensual (°)	17.43	16.54	16.39	
Agosto	T° Max. Media mensual (°)	28.80	31.55	30.50	
	T° Min. Media mensual (°)	16.57	16.92	<b>15.72</b>	
Septiembre	T° Max. Media mensual (°)	30.84	33.07	31.36	
	T° Min. Media mensual (°)	16.43	16.71	15.94	
Octubre	T° Max. Media mensual (°)	31.61	32.20	31.46	
	T° Min. Media mensual (°)	16.65	17.69	16.61	
Noviembre	T° Max. Media mensual (°)	30.68	33.00	SD	
	T° Min. Media mensual (°)	16.75	19.20	SD	
Diciembre	T° Max. Media mensual (°)	32.89	33.30	SD	
	T° Min. Media mensual (°)	19.33	20.49	SD	

Fuente: SENAMHI, 2019. Dónde: SD Sin datos

**Cuadro 02: Precipitaciones mensuales, período 2017-2019, recopilados de la estación meteorológica Partidor, para el área de estudio**

AÑO	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2017	93.8	495.3	1220.4	119.6	26.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	2.2
2018	6.5	13.1	0.0	32.6	10.1	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	2.9	14.4
2019	15.9	302.9	73.3	35.7	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Fuente: SENAMHI, 2019. Dónde: SD Sin datos

## 5.4 Hidrografía

La red hidrográfica distrital, bien organizada y jerarquizada, permite efectuar la distribución entre cuencas íntegramente distritales y cuencas compartidas o extra distritales.

Los núcleos fundamentales de las aguas distritales van a las cuencas de las Quebradas San Francisco, Carneros y Colera y de éstas hacia la cuenca del río Piura, colector principal de jerarquía regional. En general, el régimen de los ríos locales es pluvial.

El perfil de la mayor parte de las quebradas muestra torrencialidad en los cursos. Las pendientes medias de los cursos altos de las quebradas oscilan entre 10 % y 25 %, mientras que en los cursos bajos las pendientes son inferiores al 3 %. La quebradas Carrizalillo- San Francisco y Miraflores nacen en alturas por encima de los 1,000 metros por lo que se consideran ríos de montaña; otras como la quebrada Carneros, Colera y Chica nacen en las estribaciones de un sistema por debajo de los 1,000 metros (Fuente: Plan de acondicionamiento territorial, 2015).

## 6. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA, GEOLÓGICA Y GEODINÁMICA

### 6.1 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 (Gutiérrez, 2008).

El estudio de la geodinámica externa se efectúa en un sistema proceso-respuesta, siendo el primero el agente creador (origen) y el segundo la geoforma resultante. El término geoforma es un concepto genérico que designa todos los tipos de formas de relieve independientemente de su origen y dimensión (Zinck, 1988; Zinck & Valenzuela, 1990). En este capítulo se describen las características físicas de las geoformas existentes en la ciudad de Tambogrande, en relación a su origen.

En este capítulo se describen las características físicas de las geoformas existentes en la ciudad de Tambogrande, en relación a su origen. Previamente, para la digitalización del plano geomorfológico se ha elaborado los planos de: Modelo Digital de Elevación (MDE) y Pendientes (Planos P-02 y P-03), mediante herramientas computacionales (SIG), que permiten caracterizar y delimitar las unidades geomorfológicas del terreno (geoformas), éstas fueron verificadas y validadas durante el trabajo de campo en Tambogrande, Plano P-04.

### **6.1.1 Modelo Digital de Elevación (MDE)**

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

Para la elaboración del MDE de la ciudad de Tambogrande 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.

En base al MDE elaborado de la ciudad de Tambogrande se ha reconocido que la zona urbana se asienta sobre una terraza aluvial la cual presenta un rango de cotas entre 77 y 87 m.s.n.m. El AA.HH. Cerro Santa Cruz se encuentra asentada sobre una lomada con un rango de cotas entre 87 y 117 m.s.n.m.

### **6.1.2 Pendientes**

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



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

### 6.1.2.1 Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó como base el informe: “Estudio de riesgos geológicos del Perú” – (Fidel, 2006), Tabla 01:

**Tabla 01: Rangos de pendientes del terreno**

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

**Fuente: Fidel et al., (2006)**

El casco urbano se encuentra asentada sobre una terraza aluvial con rango de pendientes de 5° - 10°.

### 6.1.3 Unidades Geomorfológicas

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

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

#### A. Características físicas

Las características físicas de la forma, es decir, su relieve, expresan 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.

### B. Procesos

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

En base a las características físicas de las geoformas y su origen en la ciudad Tambogrande se cartografiaron tres unidades: loma, terraza aluvial y lecho fluvial, Cuadro 03 y Plano P-04.

**Cuadro 03: Determinación de geoformas en la ciudad de Tambogrande en base a las características físicas y su origen**

CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE TAMBOGRANDE					
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		PROCESO	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ÁREA (HAS)	ÁREA (%)
Pendiente	20°-35°	Mixta Estructural Denudacional	Lomas	1104.30	50.70
Altura	100-300 m				
Geometría	Alargada				
Drenaje	Dendrítico				
Pendiente	5°-20°	Mixta Depositacional Denudacional	Terraza aluvial	974.80	44.70
Altura	<100 m				
Geometría	Alargada				
Drenaje	Radial				
Pendiente	<5°	Denudacional	Lecho fluvial	95.80	4.40
Altura	<100 m				
Geometría	Alargada				
Drenaje	Paralelo				

Fuente: IGP, 2019

**6.1.3.1 Loma.-** Esta geoforma presenta pendiente menor a 35°, altura menor a 300 m, geometría alargada, drenaje dendrítico y un origen denudacional. Recientemente han sido modificadas (redondeadas y/o cubiertas por mantos de arena) por la acción del viento (erosión eólica), escorrentía de las aguas superficiales y por la actividad antrópica

Sobre esta unidad se asienta el AA.HH. Cerro Santa Cruz. Abarca el 51 % del área de estudio, Foto 01.



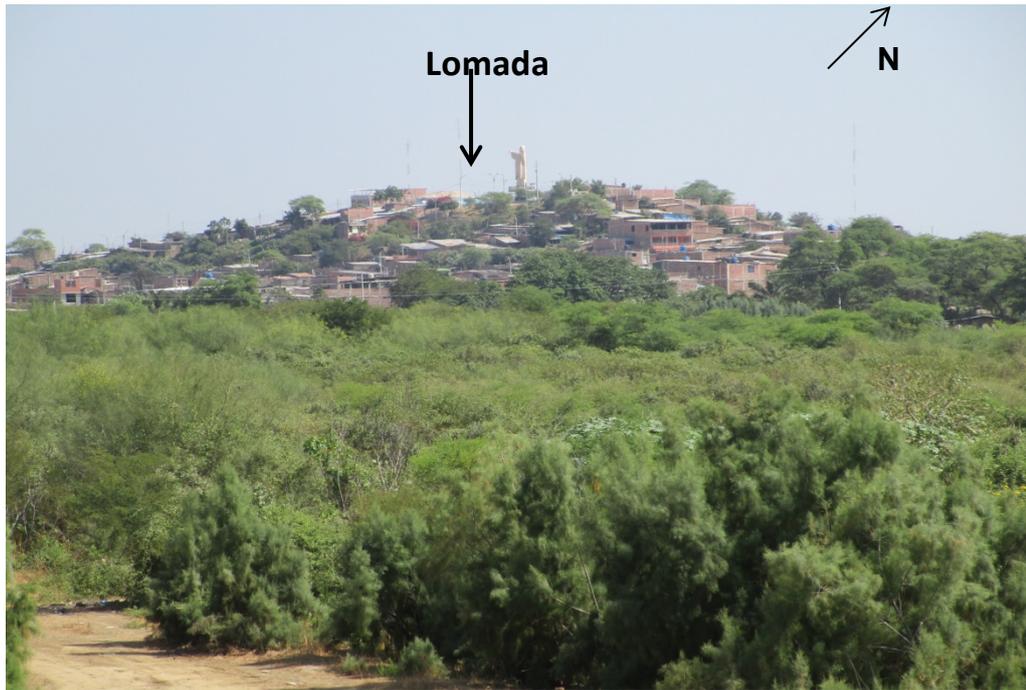


Foto 01: Sobre esta lomada se asienta el AA.HH. Cerro Santa Cruz, lugar donde se encuentra el mirador de Tambogrande

**6.1.3.2 Terraza aluvial.-** Las terrazas aluviales son plataformas planas, más o menos extensas y continuas que tiene un desnivel constante en relación con el lecho fluvial. Esta unidad geomorfológica de origen depositacional presenta una pendiente  $< 10^\circ$ , así como una geometría irregular y drenaje variable.

Cabe destacar que esta terraza aluvial tiene una altura de 5 metros con respecto al nivel del río Piura, aunque éste varía de acuerdo a la ubicación, y se sitúan en ambas márgenes del río Piura y la quebrada Carneros.

Esta unidad representa el 44 % del área de estudio, Foto 02.





**Foto 02: Las terrazas se sitúan en ambas márgenes del río Piura y la quebrada Carneros, sobre esta unidad se asienta la mayor parte de la población de Tambogrande**

**6.1.3.3 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 Tambogrande (margen derecha) presenta una pendiente de 0.16 % (menor a 1°), el ancho del cauce llega a medir entre 41 m y 114 m, aproximadamente, y se observan islotes en la parte central. Representa el 5 % del área de estudio, Foto 03 y 04.





Foto 03: Lecho fluvial del río Piura, tiene un recorrido de este a oeste



Foto 04: La ciudad de Tambogrande se sitúa en la margen derecha del río Piura



## 6.2 Geología

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

El intemperismo asociado a los procesos de meteorización es básicamente un proceso químico, el agua actúa como disolvente, la remoción de los elementos más pequeños del cuerpo de roca deja espacios, por ende, el agua sigue penetrando y acelerando el proceso de desintegración. La roca se vuelve porosa, después, se descompone en fragmentos cada vez más pequeños, hasta que, al ser transportada y asociada se convierte en suelo. Los procesos químicos son complejos y dependen de los diversos minerales que constituyen las rocas lo que determina también su naturaleza y fragilidad. Por ejemplo: la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) 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 el suelo, dando como resultado las geoformas que componen el relieve, los factores condicionantes como la litología, pendiente, hidrología, etc.; así como, los detonantes: sismos y precipitaciones pluviales ocasionan movimientos en masa (deslizamientos, flujos, caídas de rocas, entre otros).

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

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

### 6.2.1 Geología local

Consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de Tambogrande a escala 1:12,500, que abarcó un área de 21.60 km<sup>2</sup> aproximadamente, Plano P-05. A continuación, se describen estas unidades, Figura 07.



CRONOESTRATIGRAFIA			LITOESTRATIGRAFIA		
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD ESTRATIGRAFICA	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos fluviales	<b>Qh-fl</b>	Gravas sub-redondeadas y sub-ángulosas en matriz areno limosa.
	NEÓGENO	PLIOCENO	Formación Tambogrande	<b>NQ-tg</b>	Conglomerado, arenisca y limolita poco consolidada, intercalados con niveles lenticulares de cenizas blanquesinas
MESOZOICO	CRETÁCICO	INFERIOR	VOLCÁNICO EREO	<b>Ki-ve</b>	Roca volcánica de grano grueso, brechado

Figura 07: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio

### 6.2.1.1 Volcánico Ereo (Ki-ve)

Constituye la unidad basal en el área de estudio. Litológicamente está compuesta por basaltos de grosor desconocido, donde predominan las brechas de flujo, se intercalan con andesitas gris verdosas a gris oscuras. Esta secuencia está cubierta por basaltos con estructura almohadillada que localmente alcanza un grosor de 100 m. Aflora en el mirador de Tambogrande y sobre esta unidad se asienta el A.H Cerro Santa Cruz, Foto 05.

### 6.2.1.2 Formación Tambogrande (NQ-tg)

Depósitos continentales que presentan naturaleza aluvial a lacustrina. Está conformada por conglomerados, areniscas arcósicas semi consolidadas y cenizas volcánicas. Aflora en el extremo sureste y noroeste del casco urbano de Tambogrande y sobre esta unidad se asienta el sector Catacaos Chiquito, AA.HH. Los Almendros y Ricardo Palma, Foto 06.





Foto 05: Afloramiento de Volcánico Ereo en el AA.HH. Cerro Santa Cruz



Foto 06: Afloramiento de rocas de la formación Tambogrande, situada en el sector sureste del casco urbano de Tambogrande



### 6.2.1.3 Depósitos Cuaternarios

Suprayaciendo al sustrato rocoso conformado por los volcánicos Ereo y la formación Tambogrande, se encuentran los depósitos Cuaternarios de edad Holocena. Entre los que mayor predomina en la zona de estudio son los depósitos fluviales.

#### 6.2.1.3.1 Depósitos fluviales (Qh-fl)

Están conformados mayormente por suelos gravosos, con elementos de diferentes diámetros y origen envueltos en matriz arenosa o areno-limosa.

Estos materiales son transportados por la dinámica y evolución del curso y cauce del río Piura y quebradas activas, sobre esta unidad se asienta los AA.HH. Sagrado Corazón de Jesús, Ricardo Palma, Renacer, José Carlos Mariátegui, Buenos Aires, Froilán Alama, Santa Ignacia, Sobrevivir y la zona Barrio sur, Fotos 07 y 08.



**Foto 07: Afloramiento de gravas con arenas y arcillas pertenecientes a los depósitos fluviales**



**Foto 08: Gravas de origen ígneo en matriz arenosa de grano grueso a medio que aflora en la quebrada Carneros**

### 6.3 Geodinámica Superficial

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

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

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

En la ciudad de Tambogrande se han identificado dos tipos de eventos geodinámicos como son:



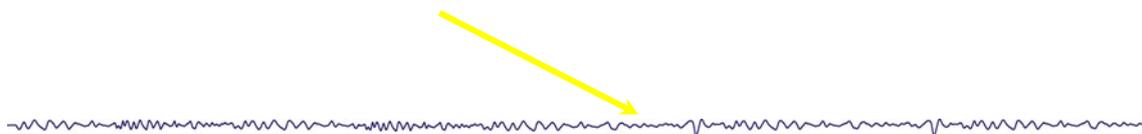
**6.3.1 Inundación.-** Se producen por el desborde del río y/o quebrada en épocas de incremento de las precipitaciones como ocurre durante el fenómeno “El Niño” frecuentemente en los meses de enero a marzo. El evento extraordinario se relaciona con el “Fenómeno del Niño” de los años 1925, 1972, 1982-1983, 1997-1998 y 2017, estos afectaron la seguridad física de la ciudad de Tambogrande. En la ciudad en mención se han identificado dos tipos de inundaciones como:

**6.3.1.1 Inundación fluvial.-** Se producen por el desborde del río Piura sobre la margen derecha, quebrada Carneros que inunda la margen derecha e izquierda. Las zonas afectadas por las inundaciones fluviales son: Barrio Sur, Catacaos Chiquito, AA.HH Froilán Alama, A.H Buenos Aires y mercado Central de Tambogrande, Fotos del 09 al 14.

**6.3.1.2 Inundación pluvial.-** Se generan por la presencia de depresiones y el desborde del canal vía que atraviesa el mercado central de Tambogrande, lo que afecta a los AA.HH. de Buenos Aires, mercado en mención, Urb. Mario León García y casco urbano de Tambogrande, Fotos del 14 al 21.



**Foto 09:** El badén que une Tambogrande – Malingas fue afectado por el desborde de la quebrada Carneros en el evento El Niño 2017, el mismo que dejó incomunicado a Tambogrande con sectores aledaños



[www.igp.gob.pe](http://www.igp.gob.pe) Calle Badajoz 169 Urb. Mayorazgo IV Etapa-Ate *Investigación para la Prevención de Desastres*

Central



**Foto. 10:** La quebrada Carneros pasa por el A.H. Froilán Alama, cuando se reactiva genera inundación afectando las viviendas aledañas



**Foto: 11:** Viviendas aledañas a la quebrada Carneros (flecha amarilla), las mismas que son afectadas por el desborde de la quebrada en mención. A pesar del enrocado existente, no es suficiente para controlar la erosión de las riveras de la quebrada





Foto. 12: Hasta este nivel (línea amarilla) llegó el desborde de la quebrada Carneros, el mismo que afectó viviendas aledañas, local comunal Cuna Más y el Centro Integral de Atención al Adulto Mayor (CIAM)



Foto 13: La línea amarilla el punto hasta donde llegó el nivel del desborde de la quebrada Carneros, cerca de la desembocadura en el río Piura





**Foto 14:** Límite de inundación por desborde del río Piura en el evento El Niño 2017 (línea amarilla), a pocos metros de la base de serenazgo del distrito de Tambogrande, sector Barrio Sur



**Foto 15:** Canal que pasa por el AA.HH. José Carlos Mariátegui se encuentra con agua estancada y con desechos sólidos, en época de precipitaciones se desborda generando inundación en las viviendas aledañas





**Foto 16: Falta de mantenimiento del canal que pasa por el AA.HH. Renacer, el mismo que en época de precipitaciones colapsa e inunda a las viviendas aledañas al canal**



**Foto 17: La falta de mantenimiento del canal que pasa por el AA.HH. Ricardo Palma, impide el flujo de las aguas, lo que permite el desborde del canal y afectar por inundación a las viviendas aledañas**





Foto 18: En el evento El Niño 2017 se desbordó este canal, afectando a la Institución Educativa Inicial (flecha amarilla) que se encuentra en el AA.HH. Los Almendros



Foto 19: Canal que pasa frente al mercado de Tambogrande, el mismo que en época de precipitaciones colapsa e inunda el mercado y zonas aledañas, además de ser foco de proliferación de enfermedades





Foto 20: Zona de inundación en el AA.HH. Buenos Aires, afectando el parque recreativo municipal y las vías de tránsito



Foto 21: Inundación en el casco urbano de Tambogrande, esto debido a que pasa un canal por la ciudad que no tiene desembocadura, formándose una “Cuenca ciega”

### 6.3.4 Elementos expuestos

En el área de estudio del distrito de Tambogrande se encuentran los elementos expuestos a nivel social susceptibles ante el impacto del peligro por ocurrencia de inundaciones, delimitado en el capítulo de geodinámica, los cuales son la población y vivienda. Las cantidades de estos elementos son estimaciones resultantes de la relación entre el área de influencia del peligro en mención y la ocupación del sector urbano, Cuadros 04 y 05.

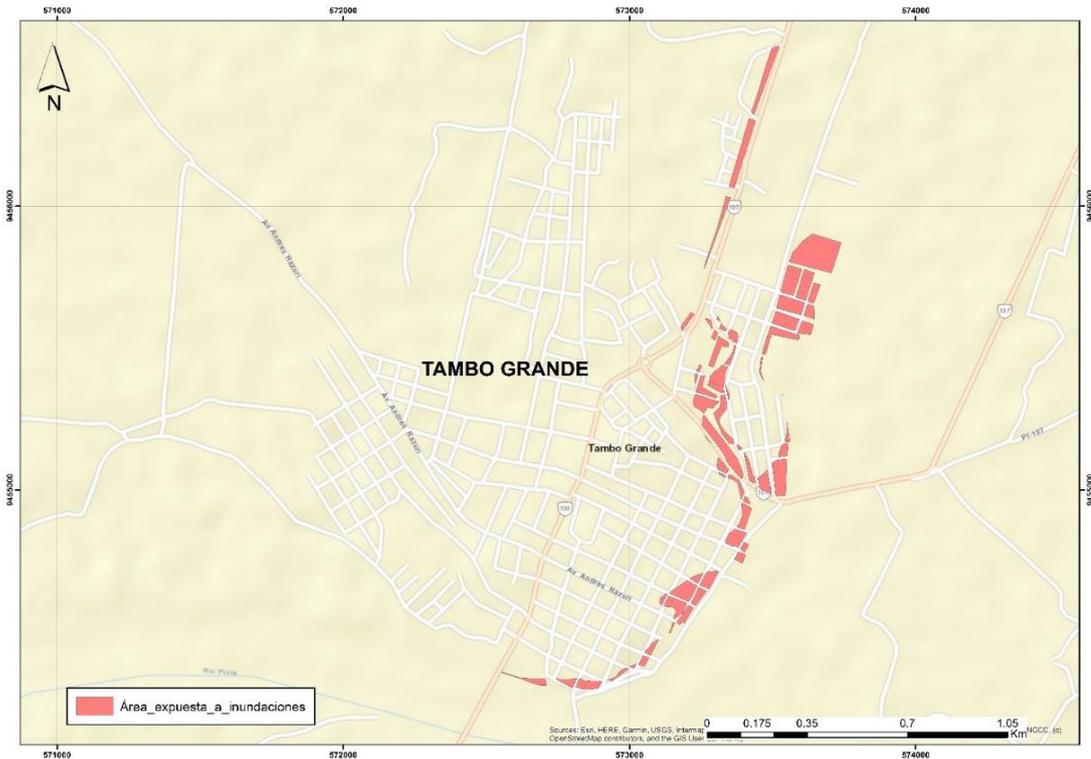
**Cuadro 04: Población estimada de la localidad expuesta a eventos de origen natural**

Evento geodinámico	Población expuesta
Inundaciones	2800

**Cuadro 05: Viviendas de la localidad expuestas a eventos de origen natural (se consideró la delimitación del área de influencia de la inundación realizada en el capítulo de geodinámica)**

Evento geodinámico	Viviendas expuestas
Inundaciones	820

Haciendo uso de la superposición del área de influencia de los eventos geodinámicos, delimitados anteriormente, con el área urbana de la localidad (en formato shapefile), se reconocieron las infraestructuras de interés social (viviendas), expuestas al evento citado, Figura 08.



**Figura 08: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de movimientos en masa en la localidad de Tambogrande**

## 7. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Los suelos son materiales inconsolidados conformados por minerales, materia orgánica, agua y aire entre sus poros, generados a partir de la alteración de la roca madre por agentes atmosféricos mediante procesos de meteorización y erosión hasta formar 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 el diagrama líneas abajo se indica el origen de los suelos, Figura 09.



## Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del distrito de Tambogrande

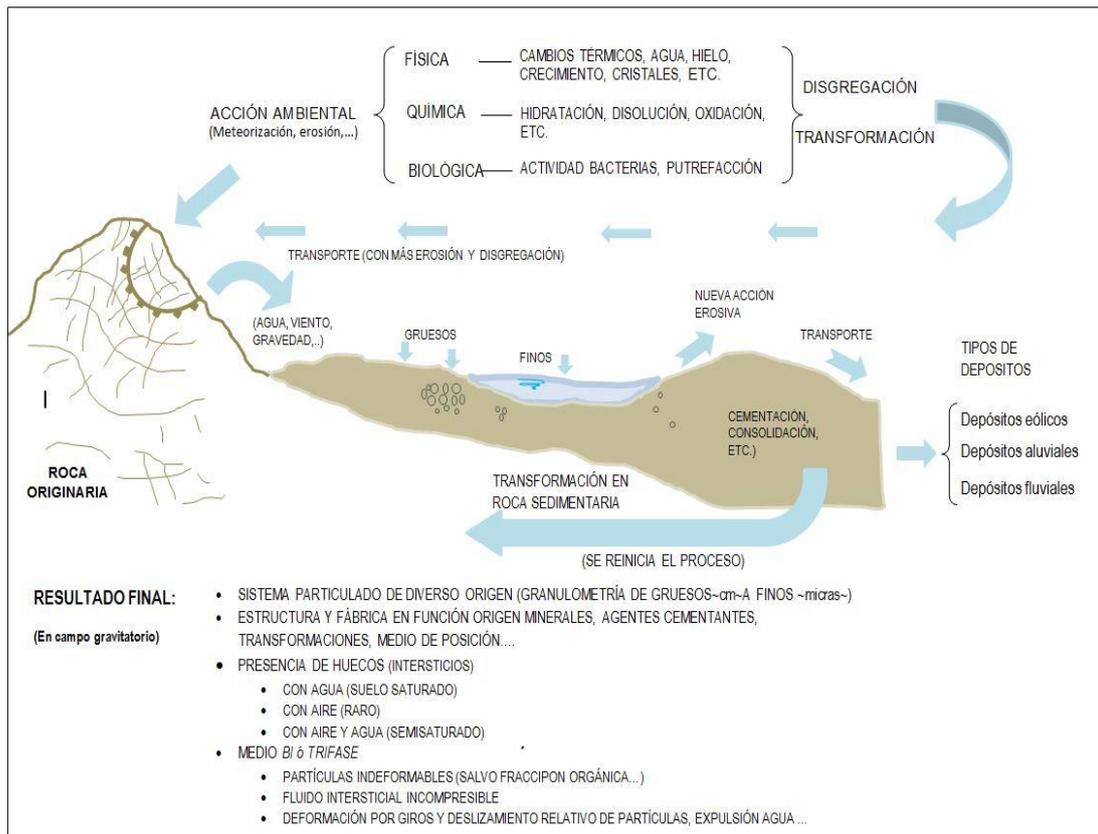


Figura 09: Formación de los suelos (Adaptado de Gonzales de Vallejo, 2002)

La geotecnia es la rama de la geología aplicada a la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de cimentación antes mencionados, en condiciones estáticas mediante la aplicación de técnicas de exploración (calicatas, auscultaciones, perforaciones, ensayos de DPL, SPT, etc.), por ello, la clasificación del suelo es de suma importancia para la elaboración de modelos geotécnicos y el diseño de cimentaciones en un terreno específico.

Para la zonificación geotécnica de suelos, se hizo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) a partir de las características granulométricas, la carta de plasticidad de Casagrande, tipo de depósito, Consistencia o Densidad Relativa, permeabilidad, y parámetros de resistencia (capacidad portante de los materiales).

En la ciudad de Tambogrande, se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de 8 calicatas, 5 ensayos de densidad de campo, 8 postes y 9 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), indicadas en el Plano P-07. De las muestras extraídas, 5 se analizaron en el laboratorio de mecánica de suelos del IGP y 3 muestras representativas se enviaron a un laboratorio certificado para validar los resultados, con la finalidad de determinar la composición

granulométrica, plasticidad, corte directo y realizar el cálculo de la capacidad portante de los suelos de cimentación.

A continuación, se detallan las técnicas de exploración geotécnica.

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

Es un método de exploración directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo. Estas exploraciones se realizaron a aproximadamente 3 m de profundidad, a fin de describir los estratos que lo conforman (Anexo de geotecnia - fichas de descripción), así como, extraer muestras en bolsas herméticas con capacidad de 5 Kg. aproximadamente. Las excavaciones realizadas se localizan en las siguientes coordenadas UTM, Cuadro 06 y Plano P-07.

**Cuadro 06: Ubicación de calicatas**

CALICATA	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)			
CTG-01	574030	9457612	76	2.70	NP
CTG-02	573503	9456570	70	2.80	NP
CTG-03	572870	9456347	70	2.90	NP
CTG-04	572490	9458822	71	3.00	NP
CTG-05	572897	9455623	77	2.70	NP
CTG-06	573511	9455379	61	2.70	2.40
CTG-07	572310	9455403	75	2.80	NP
CTG-08	572177	9454945	76	3.10	NP

Dónde: N.P. = No presenta

Cabe mencionar que la profundidad de investigación promedio fue de 2.80 m, debido a que se encontraron arenas, arenas limosas, limos y arcillas. A la fecha de exploración geotécnica no se evidenció nivel freático en ninguna de las calicatas.

#### 7.1.1. 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. Este ensayo se realiza en el estrato muestreado mediante el método del cono de arena, a fin de obtener el grado de compactación o consistencia y el contenido de humedad del mismo 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 clastos o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm).

En el Cuadro 07 se presentan los resultados de las densidades in situ de las cinco (5) calicatas y la ficha de densidad se ha adjuntado en los Anexos 05.

**Cuadro 07: Resultado de densidades in - situ**

CÓDIGO DE CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
CTG – 01	DC-CLL - 01	NO SE REALIZÓ POR PRESENCIA DE SUELOS DE ALTA COMPACTACIÓN			
CTG – 02	DC-CLL - 02	2.80	1.73	1.70	1.29
CTG– 03	DC-CLL - 03	2.90	1.52	1.47	3.47
CTG – 04	DC-CLL - 04	3.00	1.96	1.75	10.76
CTG – 05	DC-CLL - 05	2.70	1.85	1.71	7.46
CTG – 06	DC-CLL - 06	NO SE REALIZÓ POR PRESENCIA DE NIVEL FREÁTICO			
CTG – 07	DC-CLL – 07	NO SE REALIZÓ POR PRESENCIA DE SUELOS ALTAMENTE PLÁSTICOS			
CTG – 08	DC-CLL - 08	2.80	1.61	1.36	15.71

A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de densidad de campo y laboratorio, los suelos de cimentación de la ciudad de Tambogrande presentan rangos de densidad entre 1.52 – 1.96 gr/cm<sup>3</sup>, es decir, los materiales identificados en las calicatas corresponden a arenas, arcillas y limos, de acuerdo a la referencia de la Tabla A del Anexo 05. El contenido de humedad esta desde muy bajo a moderado, en condiciones naturales, es de rango 1.29% hasta 15.71%.



## 7.2. Exploraciones con posteadora manual

Se define posteadora como un barredor manual en forma de “T” que permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta una profundidad de 5 a 6 m. a fin de obtener muestras del suelo. En cada uno de los ensayos se llevó a cabo una detallada descripción de los tipos de suelos encontrados, si bien es cierto, las muestras extraídas se obtienen trituradas y completamente alteradas, sin embargo, sirven para conocer el tipo de suelo y contenido de humedad que presenta. Una de las restricciones para la ejecución de este ensayo, es la presencia de gravas y gravillas (la cuchara saca muestra se entrampan con este tipo de suelos).

La distribución de las exploraciones se efectuó entre los puntos de las calicatas, con la finalidad de abarcar toda el área de estudio, para obtener una mejor zonificación de los suelos de la ciudad de Tambogrande. La ubicación y resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 08, mientras que el registro de perforaciones se describe en el Anexo 05.

**Cuadro 08: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS**

CÓDIGO DE POSTEO	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	NIVEL FREÁTICO A (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)				
POST- 01	572598	9455817	63	3.00	CL	N.P
POST- 02	572602	9455578	76	2.80	CL	N.P
POST- 03	573287	9455484	48	2.70	SM	N.P
POST- 04	573225	9455683	74	2.50	SM	N.P
POST- 05	573861	9454992	72	3.00	CL	N.P
POST- 06	571854	9454977	73	3.20	ML	N.P
POST- 07	572385	9454866	76	3.00	ML	N.P
POST- 08	572763	9454317	72	0.40	SM	N.P

En el posteo Post-08 se llegó a una profundidad de 0.40 m, debido la presencia de gravillas que impiden que la cuchara saca muestra avance en profundidad.



### 7.3. Ensayo de penetración dinámica ligera-LDPT (norma DIN 4094)

El DPL es un equipo de campo de registro continuo donde 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, sin embargo, se restringe su aplicación a terrenos arenosos, areno-arcillosos y limo-arenosos, no recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos. Por otro lado, los ensayos de DPL deben ubicarse a inmediaciones de una o dos calicatas donde se tienen suelos conocidos con la finalidad de conocer la resistencia al corte de los distintos estratos. La ficha del ensayo se adjunta en el Anexo de Geotecnia.

En el Cuadro 09 se indica la ubicación de los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizados en las inmediaciones de la ciudad de Tambogrande, 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

**Cuadro 09: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetros obtenidos**

CÓDIGO DE DPL	COORDENADAS UTM		ELEV. (m.s.n.m.)	PROF. (m)	N° DE GOLPES	$\Phi$
	ESTE (m)	NORTE (m)				
DPL-01	574030	9457612	76	0.30	50	41.00
DPL-02	573504	9456572	79	2.70	34	37.00
DPL-03	572650	9455448	72	2.70	12	30.70
DPL-04	573225	9455683	74	2.00	9	29.60



DPL-05	573287	9455484	48	2.50	37	37.70
DPL-06	571844	9454962	73	2.60	8	29.30
DPL-07	572121	9454934	91	2.70	4	27.60
DPL-08	572385	9454866	76	2.70	23	34.10
DPL-09	573861	9454992	72	2.60	6	28.50

**Dónde:  $\Phi$  = ángulo de fricción interna**

La compacidad relativa y consistencia de suelos se infiere a partir de la Tabla B del Anexo 03. Según los parámetros obtenidos, se establece que el DPL-01 alcanzó una profundidad de 0.30 m, esto debido a la presencia de materiales granulares (gravillas con arenas de grano grueso) que impidieron el avance del ensayo, mientras que, el resto de DPL alcanzaron la profundidad requerida para el nivel de estudio.

Asimismo, la profundidad alcanzada a través de la elaboración de estos ensayos permitió inferir que los suelos ubicados en la ciudad de Tambogrande y anexos presentan consistencia suelta a media.

#### **7.4 Resultados de los ensayos de laboratorio**

Los ensayos realizados a las muestras se realizaron en base a las normas establecidas por la *American Society For Testing Materials* (ASTM), cuyos resultados se describen a continuación:

##### **7.4.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS en la ciudad de Tambogrande**

El Sistema SUCS, abarca los suelos granulares y finos, diferenciados por la cantidad de materiales que pasa la malla N° 200 (Juárez & Rico, 2005), mientras que entre los granulares se encuentran dos grupos, tales como: arenas y gravas, separadas por la malla N° 4.

En base a la información geotécnica recopilada de estudios anteriores, así como los resultados de las calicatas y posteos, realizados en la ciudad de Tambogrande, los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad realizados en el laboratorio de Mecánica de Suelos (Anexo de Geotecnia – Resultados de Laboratorio), se han identificado 4 tipos de suelos, los mismos que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), Cuadro 10 y Plano P-08.



– **Suelo tipo SM**

Están conformados por arenas limosas mal graduadas, de color beige oscuro, el contenido de humedad varía de 1.29 % a 4.15 %, por lo cual se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es baja, constituyen suelos de compacidad suelta, presenta ángulo de fricción de 29° y una densidad natural de 1.73 gr/cm<sup>2</sup>. Abarca el 19% de la zona de estudio y se identificaron en el AA.HH Buenos Aires y sector norte de Tambogrande.

– **Suelo tipo ML**

Están conformados limos inorgánicos de baja plasticidad de color beige claro a oscuro, el contenido de humedad varía de 1.83 % a 15.71%, por lo cual se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es de muy baja a moderada, constituyen suelos de compacidad suelta a media, presenta ángulo de fricción de 11.14° y una densidad natural de rango 1.61 - 196 gr/cm<sup>2</sup>. Abarca el 53% de la zona de estudio y de identificaron en los AA.HH. de: Sagrado Corazón de Jesús, Sobrevivir, Santa Ignacia, Cerro Santa Cruz, Froilán Alama, zona Barrio Sur y casco urbano de Tambogrande.

– **Suelo tipo CL**

Están conformados arcillas inorgánicas de baja plasticidad de color beige claro a oscuro, el contenido de humedad varía de 0.96 % a 7.46%, por lo cual se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es baja, constituyen suelos de compacidad suelta a media, presenta ángulo de fricción de 8.57° y una densidad natural de 1.85 gr/cm<sup>2</sup>. Abarca el 23% de la zona de estudio y de identificaron en los AA.HH. José Carlos Mariátegui, Renacer, Ricardo Palma, Los Almendros, Urb. Mario León García y sector Catacaos Chiquito.



– **Suelo tipo CL – ML**

Están conformados por arcillas y limos inorgánicas de baja plasticidad con contenido de arenas finas mal graduadas, el contenido de humedad es de 3.47 % por lo cual se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es baja, constituyen suelos con grado de consistencia baja. Presenta ángulo de fricción de  $19.74^\circ$ , y una densidad natural de  $1.47 \text{ gr/cm}^2$ . Abarca el 5 % de la zona de estudio y se identificó en el sector noroeste de la ciudad de Tambogrande.



**Cuadro 10: Clasificación SUCS de los suelos de las ocho (08) calicatas elaboradas en la ciudad de Tambogrande**

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)	GRAVAS % (>4.76 mm)	ARENAS % (>0.074 mm, <4.76 mm)	FINOS % (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
CTG- 01	2.70	N.P	4.6	53.20	42.23	24.90	17.05	7.86	4.15	SM	Arena limosa
CTG- 02	2.80	N.P	0.00	58.70	41.26	21.14	--	2.14	1.29	SM	Arena limosa
CTG- 03	2.90	N.P	0.00	24.12	75.88	24.25	19.77	4.48	7.43	CL – ML	Arcillas inorgánicas con limos
CTG- 04	3.00	N.P	0.20	30.10	69.73	--	--	--	10.76	ML	Limos inorgánicos
CTG- 05	2.70	N.P	0.00	5.67	94.33	49.94	27.14	22.80	17.39	CL	Arcillas inorgánicas
CTG- 06	2.70	2.40	3.70	41.80	54.43	20.39	--	20.39	1.86	ML	Limos inorgánicos
CTG- 07	2.80	N.P	14.90	25.40	59.68	35.00	20.00	15.00	0.96	CL	Arcillas inorgánicas
CTG- 08	3.10	N.P	0.00	2.47	97.53	38.73	26.65	12.08	29.35	ML	Limos inorgánicos

ónde: N.P. =No presenta



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

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

Los valores finales de la capacidad portante de los suelos en la ciudad de Tambogrande están basados en datos de laboratorio de Mecánica de Suelos (Anexo de Geotécnia – Resultados de Laboratorio), corroborados con datos teóricos de los parámetros de ángulo de fricción y cohesión de Terzaghi e información de DPL realizados en campo, haciendo uso de las fórmulas de falla general o local, según el tipo de suelo.

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

**7.5.1 Capacidad de carga portante (**

Es la máxima presión ejercida por una cimentación transmitida a un suelo sin que se produzcan asentamientos excesivos, es decir, que la presión de la cimentación no sea mayor a la admisible, manteniendo el mismo factor de seguridad especificado en la Norma E 0.50 de diseño de cimentación.

Los resultados de capacidad portante de las 8 muestras de suelos extraídas en la ciudad de Tambogrande se presentan en el Cuadro 11.

**Cuadro 11: Capacidad portante de ocho (08) muestras extraídas en la ciudad de Tambogrande**

CÓDIGO DE MUESTRA	Capacidad de carga última (Kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad portante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Falla de corte
CTG – 01	4.14	1.38	Falla Local
CTG – 02	4.38	1.46	Falla Local
CTG – 03	1.76	0.59	Falla Local
CTG – 04	2.71	0.90	Falla Local
CTG – 05	0.82	0.27	Falla Local
CTG – 06	2.68	0.89	Falla Local



CTG – 07	2.62	0.87	Falla Local
CTG – 08	0.84	0.28	Falla Local
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00 m		

Fuente: Anexo de Geotecnia. Datos del ensayo de DPL y SPT corregidos y datos de Terzaghi

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

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

ENSAYO	Capacidad de carga última (kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad portante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Falla de corte
DPL-02	4.46	1.49	Falla Local
DPL-03	1.42	0.47	Falla Local
DPL-04	4.46	1.49	Falla Local
DPL-05	4.46	1.49	Falla Local
DPL-06	2.11	0.70	Falla Local
DPL-07	1.47	0.49	Falla Local
DPL-08	2.11	0.70	Falla Local
DPL-09	2.92	0.97	Falla Local
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho: 1.00 m		

De los resultados citados anteriormente y tomando en cuenta la en cuenta la Tabla D del Anexo 03, se ha determinado que, la zona urbana de la ciudad de Tambogrande en su mayoría ha sido construida con cimentaciones de 1 m de profundidad. Ante ello, se ha realizado la siguiente clasificación:

### 7.5.1.1 Tipos de capacidad de carga portante

En la localidad de Tambogrande se han identificado el siguiente tipo de capacidad portante.

#### A) Capacidad portante muy baja

Comprende rangos de capacidad portante menores a 1 kg/cm<sup>2</sup>, se consideran suelos cohesivos con contenido de arenas de grano fino de compacidad muy suelta a suelta. Abarca el 81 % de la zona de estudio y se identificó en los Asentamientos Humanos de: Santa Ignacia, Sobrevivir, Sagrado Corazón de Jesús, José Carlos Mariátegui, Renacer, Ricardo Palma, Los Almendros, Cerro Santa Cruz, Froilán Alama, Zona Barrio Sur, sector Catacaos Chiquito, Urb. Mario León García y casco urbano de Tambogrande.

#### B) Capacidad portante baja

Comprende rangos de capacidad portante entre 1 – 2 kg/cm<sup>2</sup>, se consideran suelos granulares con un mínimo porcentaje de finos de compacidad suelta a media. Abarca el 19 % del área estudiada. Sobre este tipo de suelos se asienta el AA.HH. Buenos Aires y sector norte de Tambogrande.

## 8. DISCUSIÓN

Estudios regionales (geología del cuadrángulo de Las Lomas hoja 10-C-III a escala 1: 50000) señalan que en el área de estudio existen rocas volcánicas porfiríticas y subvolcánica con brechas de la Formación Ereo, sin embargo, a escala 1:12500 se han delimitado conglomerados y areniscas de la Formación Tambogrande hacia el noroeste y este de la ciudad, así como, depósitos fluviales en ambas márgenes del río Piura y sobre los cuales se asienta la mayor parte del área urbana.



## SEGUNDA PARTE: GEOFÍSICA Y ZONIFICACIÓN SISMOGEO TÉCNICA

### 1. INTRODUCCIÓN

Dentro del Programa Presupuestal por Resultados N°068 “**Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres**”, el Instituto Geofísico del Perú ejecutó durante el año 2019 el Proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**” y como parte del mismo, las Unidades de Ingeniería Sísmica y Geodinámica Superficial de la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrollan la Actividad “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para las áreas urbanas de los siguientes distritos:

**La Arena**, distrito La Arena, provincia y departamento de Piura.

**La Unión**, distrito La Unión, provincia y departamento de Piura.

**Morropón**, capital del distrito y provincia de Morropón, departamento de Piura.

**Máncora**, distrito de Máncora, provincia de Talara, departamento de Piura.

**Talara**, distrito de Pariñas, provincia de Talara, departamento de Piura.

**Querecotillo**, distrito de Querecotillo, provincia de Sullana, departamento de Piura.

**Las Lomas**, distrito Las Lomas, provincia y departamento de Piura.

**Tambogrande**, distrito de Tambogrande, provincia y departamento 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 sacudimiento del suelo, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en el departamento 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.

Los estudios de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del suelo sobre el cual se levantan las ciudades y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran información sísmica, tsunamis, geofísica, geológica, geodinámica,



geomorfológica y geotécnica. 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 adecuadas para cada tipo de suelo.

Finalmente, remarcar que los Mapas de Zonificación Geofísica – Geotécnica permiten conocer las características dinámicas del suelo y se constituyen como información primaria a ser utilizada por los ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de las estructuras apropiadas para cada tipo de suelos identificados en cada zona de estudio. Asimismo, debe considerarse como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.

### 1.1 Objetivo

El principal objetivo del presente estudio es obtener el Mapa de Zonificación Geofísica-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana del distrito de Tambogrande, provincia y departamento de Piura, ver Figura 1. Asimismo, es de interés que las autoridades locales y regionales dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión del riesgo de desastres ante la ocurrencia de sismos, lo cual conlleva a mejorar la calidad de vida de sus pobladores, así como proyectar hacia el futuro una adecuada expansión urbana.



Figura 1. Vista panorámica de la Plaza de Armas y la Catedral del área urbana de Tambogrande.

## 1.2. Área de estudio

El ámbito de estudio corresponde al área urbana del distrito Tambogrande, se encuentra al norte de la zona occidental del Perú y forma parte de los 10 distritos que conforman la provincia y departamento de Piura, ver Figura 2. Situado en la margen derecha del río Piura y de la quebrada Carneros, a una altitud promedio de 85 m.s.n.m, Limita por el norte con el distrito Las Lomas, por el Sur con el distrito de Chulucanas, al Este con los distritos de Frías y Sapillica de la provincia de Ayabaca y al Oeste con los distritos de Piura y Castilla.

El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:15000, tiene un área total de 5.4 km<sup>2</sup> y la población beneficiada con el presente estudio es de 107,495 habitantes (INEI, 2017).

Según la historia sísmica en Piura, en los años 1814, 1912, 1953, 1963 y 2014 (documentado por Silgado, 1978, Sieberg, 1930 y Tavera, 2016), estos distritos fueron afectados por sismos de gran magnitud que sacudieron los suelos con gran intensidad y como consecuencia causó daños materiales y personales en diversas localidades de esta región.



# Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del distrito de Tambogrande

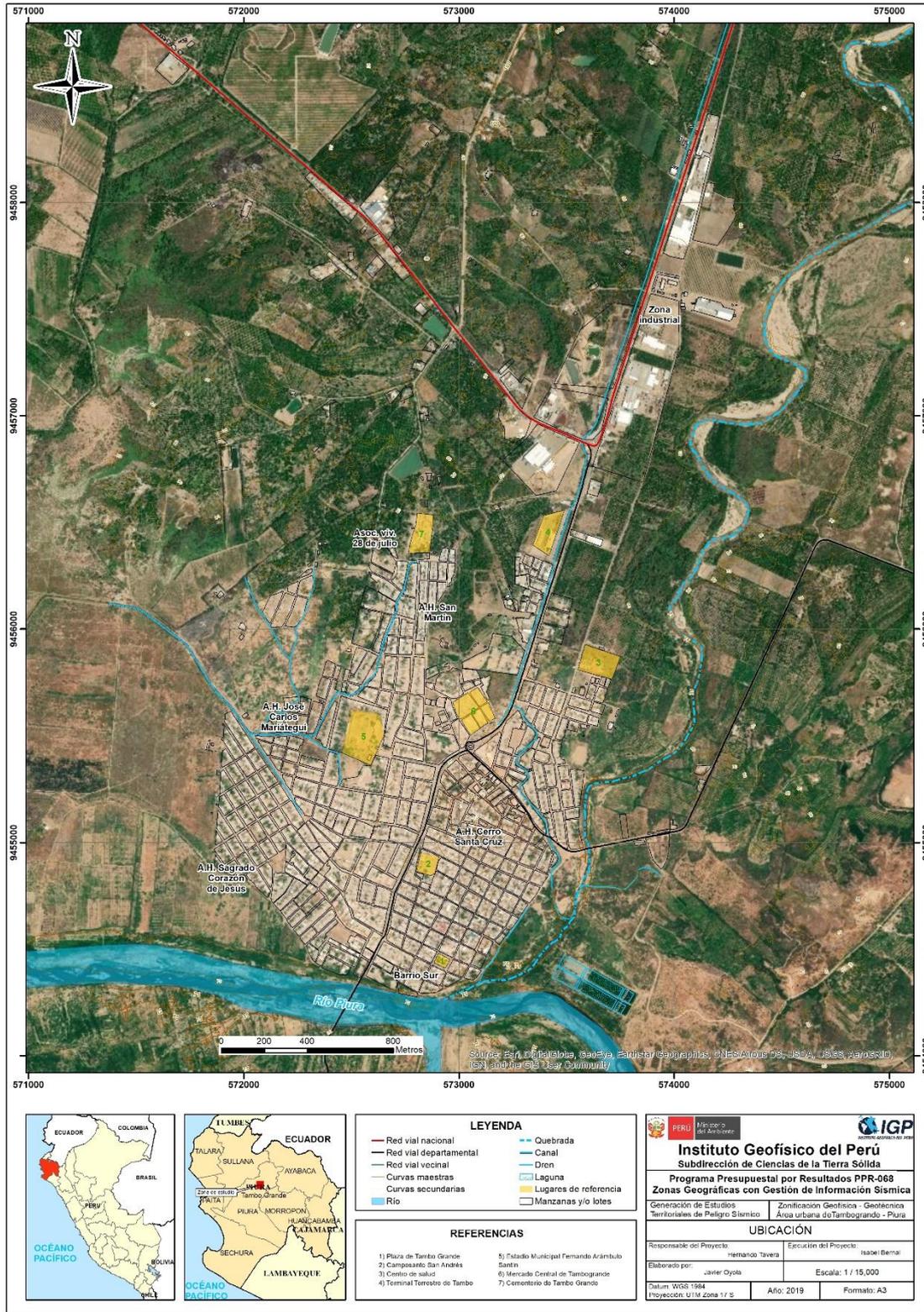


Figura 2. Ubicación del área de estudio.

### 1.2.1. Antecedentes

La historia sísmica del Perú ha mostrado que su borde occidental presenta un alto índice de ocurrencia de eventos sísmicos y de acuerdo a su magnitud, muchos de ellos han producido daños importantes en ciudades y localidades distribuidas cerca de la zona costera. La ocurrencia de efectos secundarios como asentamientos, licuación de suelos, derrumbes, caídas de roca y tsunamis propiciaron el incremento de pérdidas humanas y materiales en el área epicentral (Silgado, 1978; Dorbath et al., 1990; Tavera y Buforn, 2001).

Por otro lado, a partir de los años 80, muchas de las ciudades costeras han soportado procesos continuos de migración por la población proveniente de las provincias del interior del país y, debido a la falta de un adecuado ordenamiento territorial, la población inmigrante ha ocupado áreas de alto riesgo ante la ocurrencia de peligros como los sismos, tsunamis, deslizamientos y otros efectos secundarios. A estas condiciones se suma el hecho de que las viviendas fueron construidas de manera inadecuada, sin tener en cuenta lo establecido en la norma E.030 de Diseño Sismorresistente. Asimismo, en algunas ciudades las viviendas se asientan en laderas de cerros, riveras de ríos, cauces de quebradas secas y zonas de terrazas inundables, incrementando su riesgo sísmico

A partir del año 2012 y dentro del Programa Presupuestal por Resultados N°068 “Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres”, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) viene realizando estudios de Zonificación Geofísica-Geotécnica para las diferentes áreas urbanas que se encuentran ubicadas en su mayoría a lo largo de la costa del Perú.

Para el área urbana de Tambogrande, se ha recopilado estudios anteriores referentes a la geología, geotécnica, sísmica y geofísica realizados por diversos investigadores e instituciones. Entre los principales documentos técnicos consultados, se tiene:

En el 2018, la Municipalidad de Tambogrande presenta el estudio “**Plan de Prevención y reducción de Riesgo de Desastre**”, que tuvo como finalidad la implementación de políticas de prevención y reducción de riesgo de desastres. Los lugares vulnerables y de alto peligro se identificaron principalmente en la margen derecha de la quebrada los Carneros y del río Piura.

En el 2017, CENEPRED realiza el estudio “**Informe de evaluación de riesgo de inundación pluvial y fluvial originado por lluvias intensas en el área urbana del distrito de Tambogrande Piura**”. El distrito de Tambogrande se emplaza sobre depósitos aluviales y fluviales compuestos de arenas, limos y arcillas y por roca volcánica. Se encuentra caracterizada por tener pendiente moderada de 2° a 10° y canales de drenaje que se encuentran ubicados hacia su extremo oeste. Las lluvias intensas durante el “Niño Costero 2017”, categorizó a Tambogrande como



extremadamente lluvioso, se reportó 250 familias afectadas por inundaciones en sus viviendas en varios sectores del área urbana.

En el 2016, el MINAGRI y el ANA realizan el estudio “**Complementación de identificación de poblaciones vulnerables por activación de quebradas 2016 – 2017**”, con el objetivo de ser un instrumento de gestión para la toma de decisiones en eventos extremos hidrometeorológicos. En Tambogrande se concentra un gran número de habitantes en riesgo ante inundaciones y huaycos. De acuerdo al análisis realizado, ante un incremento de lluvias, se presentan las mayores inundaciones en ambas márgenes de la quebrada Carnero.

En el 2014, el IGP mediante el proyecto de cooperación con el Banco Mundial presenta el estudio “**Re-evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú**”, considerando que el Perú se encuentra en una región altamente sísmica se realiza el estudio de peligro sísmico con base de data sísmicas actualizadas. Se definen nuevas fuentes sismogénicas y se genera los mapas de aceleración horizontal (PGA), los resultados muestran que Tambogrande presenta aceleraciones de hasta 375 gals para un periodo de retorno de 500 años.

### 1.3.- 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 físicas y dinámicas del suelo. 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. Diversos estudios muestran, que los suelos ante la incidencia de ondas sísmicas asociadas a movimientos débiles y/o fuertes, responden de acuerdo a sus condiciones locales, pudiendo estos modificar el contenido frecuencial de las ondas y/o generar amplificaciones de las ondas sísmicas (Hartzell, 1992; Beresnev et al., 1995; Bard 1995; Lermo y Chávez-García, 1993, 1994 a, b; Bard y Sesame, 2004; Bernal, 2006; 2018).

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



En conclusión, los efectos que produce cada tipo de suelo sobre la propagación y amplitud de las ondas sísmicas, permiten tipificar los suelos y estimar su comportamiento dinámico. El resultado final es el Mapa de Zonificación Geofísica que debe constituirse como el documento más importante en las tareas y programas de gestión del riesgo ante la ocurrencia de sismos.

#### 1.4.- Zonificación, 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<sub>0</sub>: 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<sub>1</sub>: 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<sub>2</sub>: Suelos Intermedios**, son suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte  $V_s$  entre 180 y 500 m/s.
- **Perfil Tipo S<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).

Tabla 1: Clasificación de los perfiles de suelo según la norma E.030

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



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

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

Dónde:

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

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

Para este estudio, la Zonificación Geofísica - Geotécnica de las áreas urbanas se realiza en función de las características mecánicas, físicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas por la Norma E.030. En tal sentido y de acuerdo a los estudios realizados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), se establece la existencia de 4 zonas cuyas características son:

**ZONA I:** Comprende a suelos Tipo S1, cuyo periodo predominante varía entre 0.1 y 0.3 segundos.

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

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

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

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

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

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

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



## 2.- METODOLOGÍA Y DATOS

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

### 2.1.- Método de Razones Espectrales (H/V)

El método de razones espectrales (H/V) fue propuesto por Nakamura (1989) para caracterizar la respuesta dinámica del suelo y en algunos casos, estimar su amplificación, ante la solicitación sísmica. El método hace uso de registros de vibración ambiental que contienen información sobre las características físicas de los suelos en sus primeras decenas de metros por debajo de la superficie. Debe entenderse que la variación de las propiedades físicas de cada capa estratigráfica superficial, de diferente espesor, geometría y composición litológica, causaran o no, la amplificación de las ondas sísmicas incidentes a la ocurrencia de un sismo de gran magnitud.

La adquisición de datos en campo se realizó durante 3 días del mes de abril del 2019. Durante este periodo se recolectaron 270 registros de vibración ambiental utilizando sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 3). Los puntos de adquisición de datos se distribuyen espacialmente formando una grilla de puntos en el área urbana y zonas de expansión, con intervalos de 200 metros en promedio. Cada registro de vibración ambiental, tiene una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de datos para su posterior análisis.

En la Figura 4, se muestra la disposición del equipo sísmico durante el registro de información, además de ejemplos de registros de vibración ambiental para sus tres componentes (vertical, E-O y N-S).

Para aplicar la técnica de razones espectrales H/V, se calcula la Transformada Rápida de Fourier para cada componente de registro a fin de obtener los cocientes espectrales y relacionar ambas componentes horizontales con la vertical (E-O/V; N-S/V). Finalmente, en cada espectro se procede a identificar la frecuencia predominante, para ello se considera picos y/o rangos con amplificaciones relativas de al menos 2 veces y que fluctúe en el rango de interés entre 0.5 a 20 Hz (Figura 5).



# Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del distrito de Tambogrande

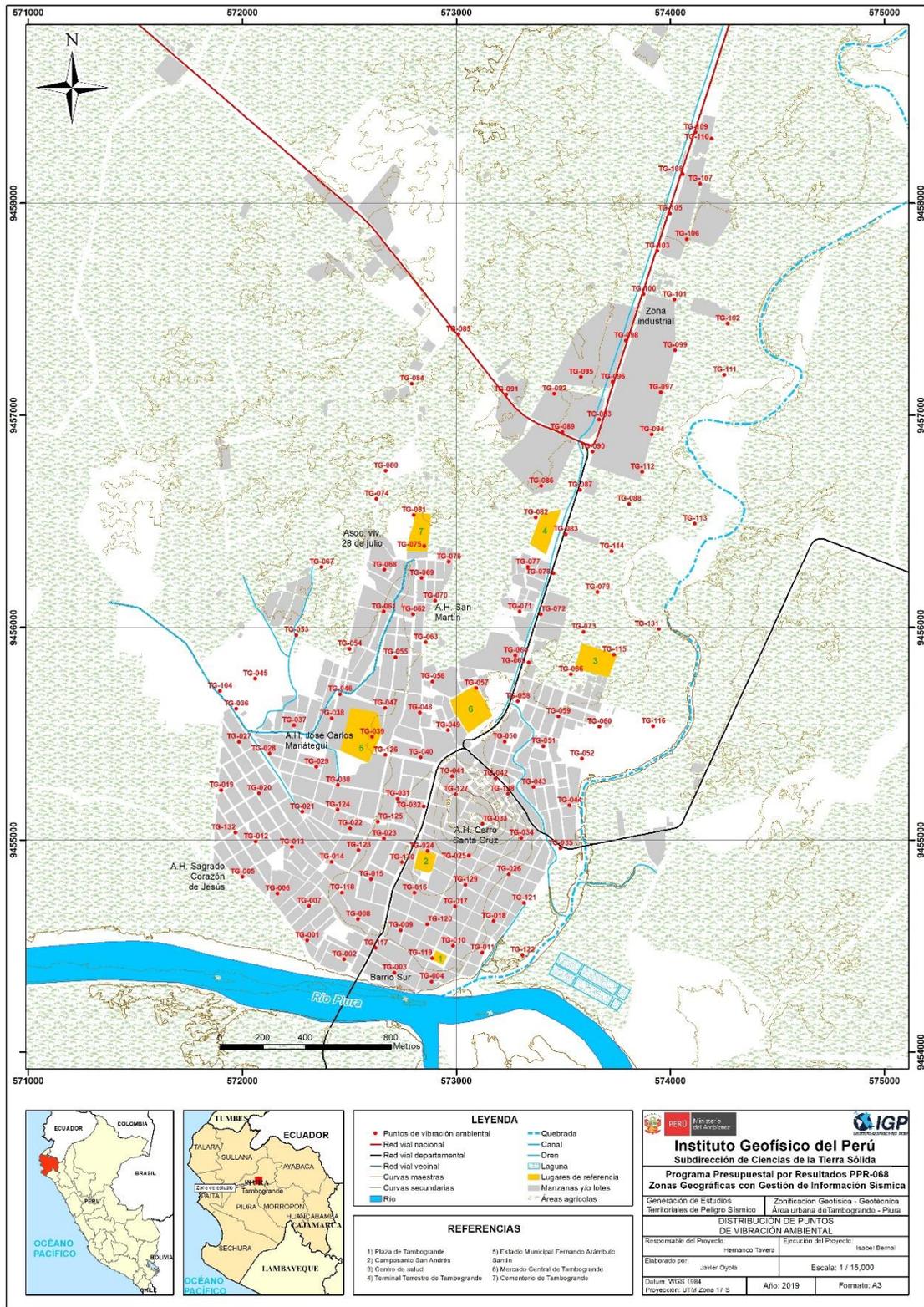


Figura 3. Distribución espacial de los puntos de registros de vibración ambiental del área urbana de Tambogrande.

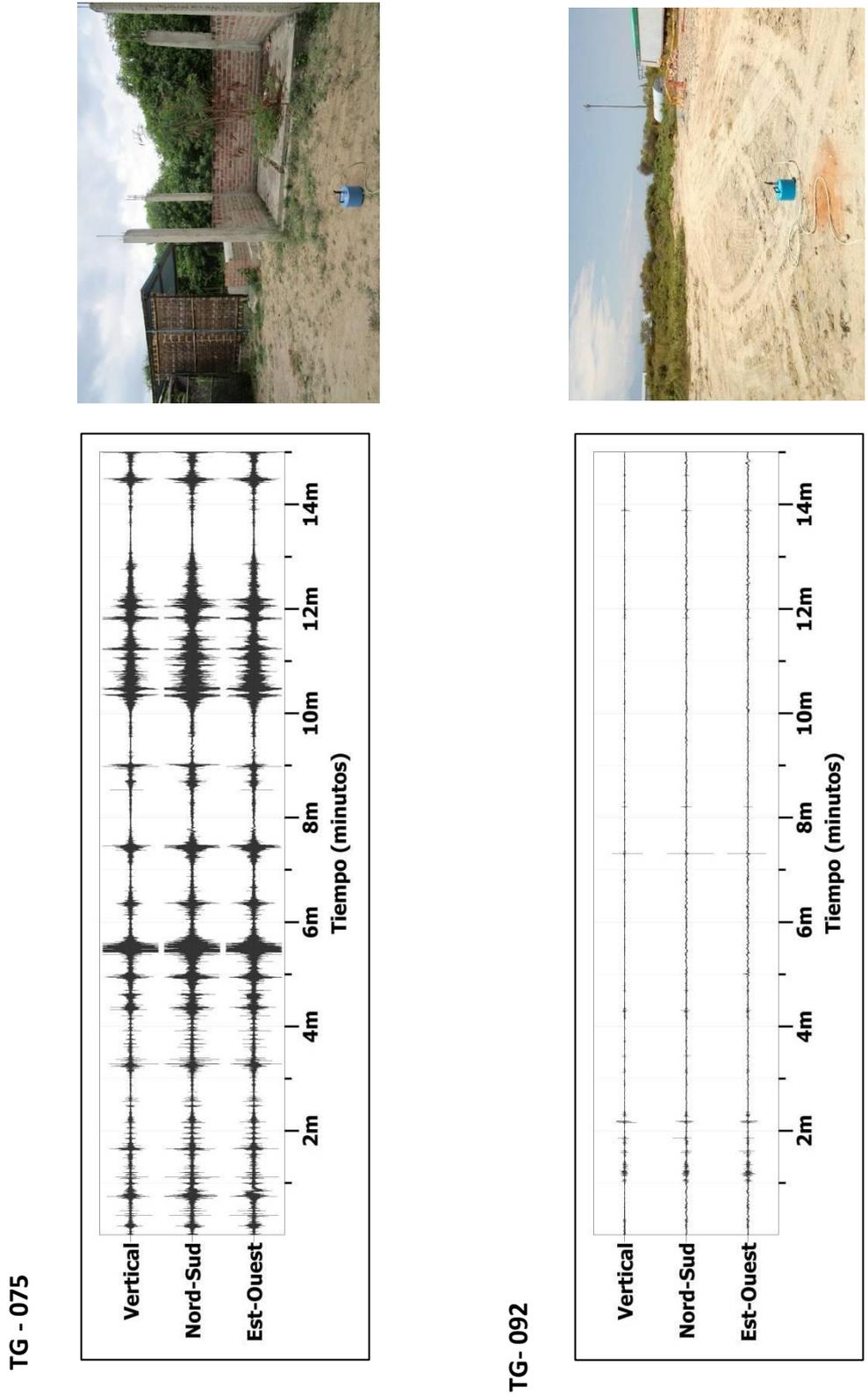


Figura 4. Disposición del equipo sísmico para la adquisición de los registros de vibración ambiental. Ejemplos de registros obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (TG-075) y otro con ruido de fondo constante (TG-092). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.



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

TG-20

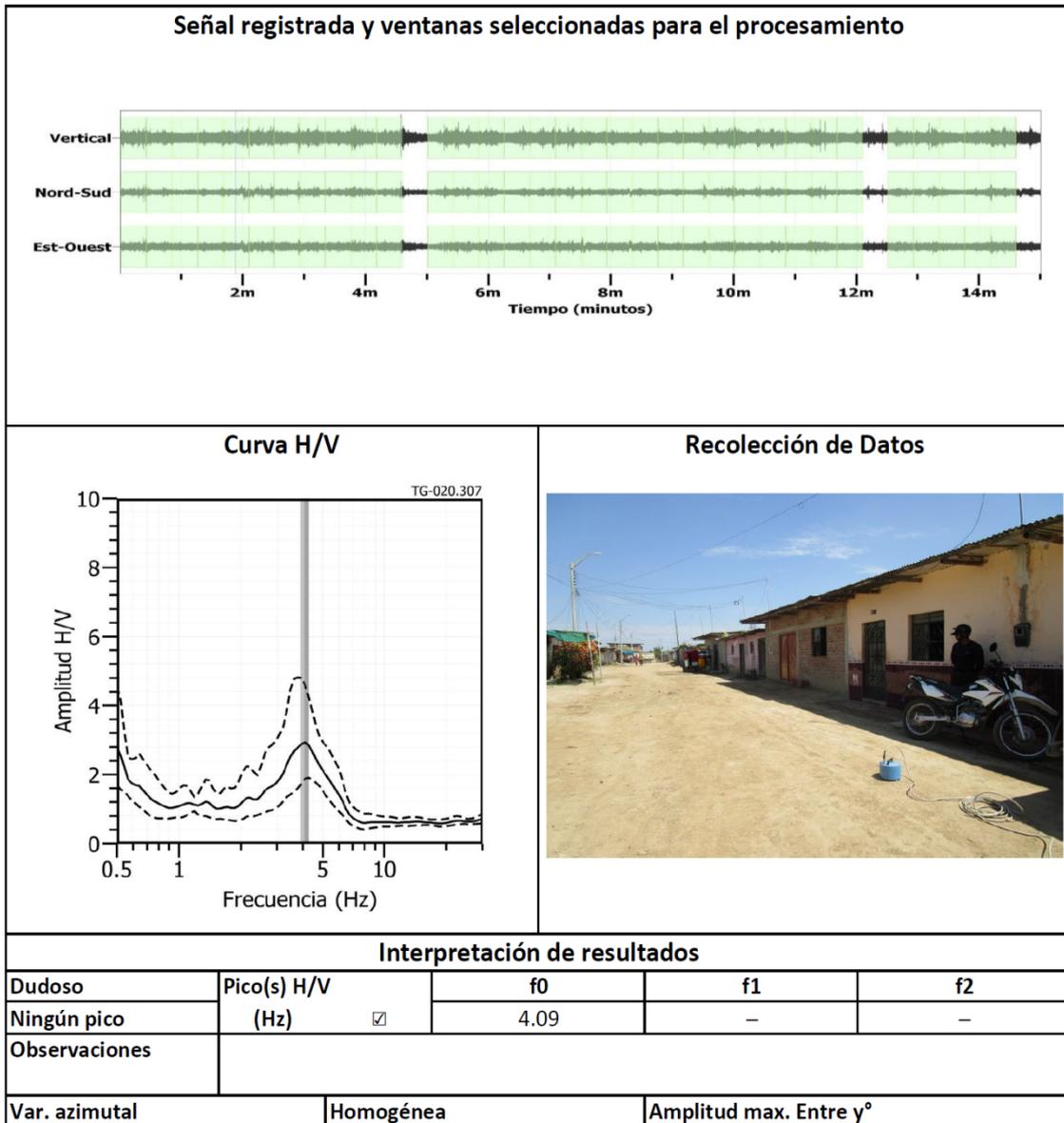


Figura 5. Ejemplo de la ficha H/V para el punto TG-020 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas y Abajo resultados.

### 2.1.1.- Procesamiento y análisis

Para el análisis de la información sísmica se debe considerar los siguientes criterios: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1.0 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).

En la Figura 5, se muestra un ejemplo del análisis, procesamiento y resultados obtenidos para el punto TG-020. El registro es sectorizado en ventanas de 20 segundos y analizado individualmente, para luego obtener el promedio espectral para las curvas, y así identificar el rango de las frecuencias y/o periodos predominantes, que caracterizan al suelo bajo el punto de observación. También es visible el factor de amplificación del suelo ante la incidencia de las ondas sísmicas.

### 2.2.- Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)

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

Para el registro de datos, según la técnica MASW se sigue el procedimiento y se utiliza un equipo sísmico modelo GEODE de Geometrics con 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas se utiliza un martillo de 20 lb. Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido y el espaciamiento entre geófonos, fueron variables ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio y de la accesibilidad a los puntos seleccionados.

En el área urbana de Tambogrande se realizaron 08 arreglos lineales MASW codificadas como LS01-TG, ... y LS08-TG (ver Tabla 2). La distribución espacial de estas líneas se muestra en la Figura 6. Durante los trabajos de campo, los datos y/o sismogramas eran visualizados a fin de verificar su calidad de registro y los niveles de ruido de fondo. En la Figura 7, se muestra como ejemplo el registro obtenido considerando un golpe con martillo a 3 metros al final del arreglo lineal.



**Tabla 2. Coordenadas y características de los arreglos lineales MASW realizados en Tambogrande.**

Arreglo lineal MASW	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-TG	572967	9454451	83	2.5	57.5
	572945	9454403	77		
LS02-TG	573126	9455093	110	4	92
	573044	9455135	107		
LS03-TG	572153	9455459	73	4	92
	572246	9455436	73		
LS04-TG	572851	9456116	80	4	92
	572854	9456206	75		
LS05-TG	573796	9457367	76	3	69
	573818	9457437	74		
LS06-TG	573301	9456384	80	4	92
	573378	9456339	80		
LS07-TG	572618	9455115	78	4	92
	572640	9455208	77		
LS08-TG	572049	9454901	63	3	69
	572013	9454955	74		



# Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del distrito de Tambogrande

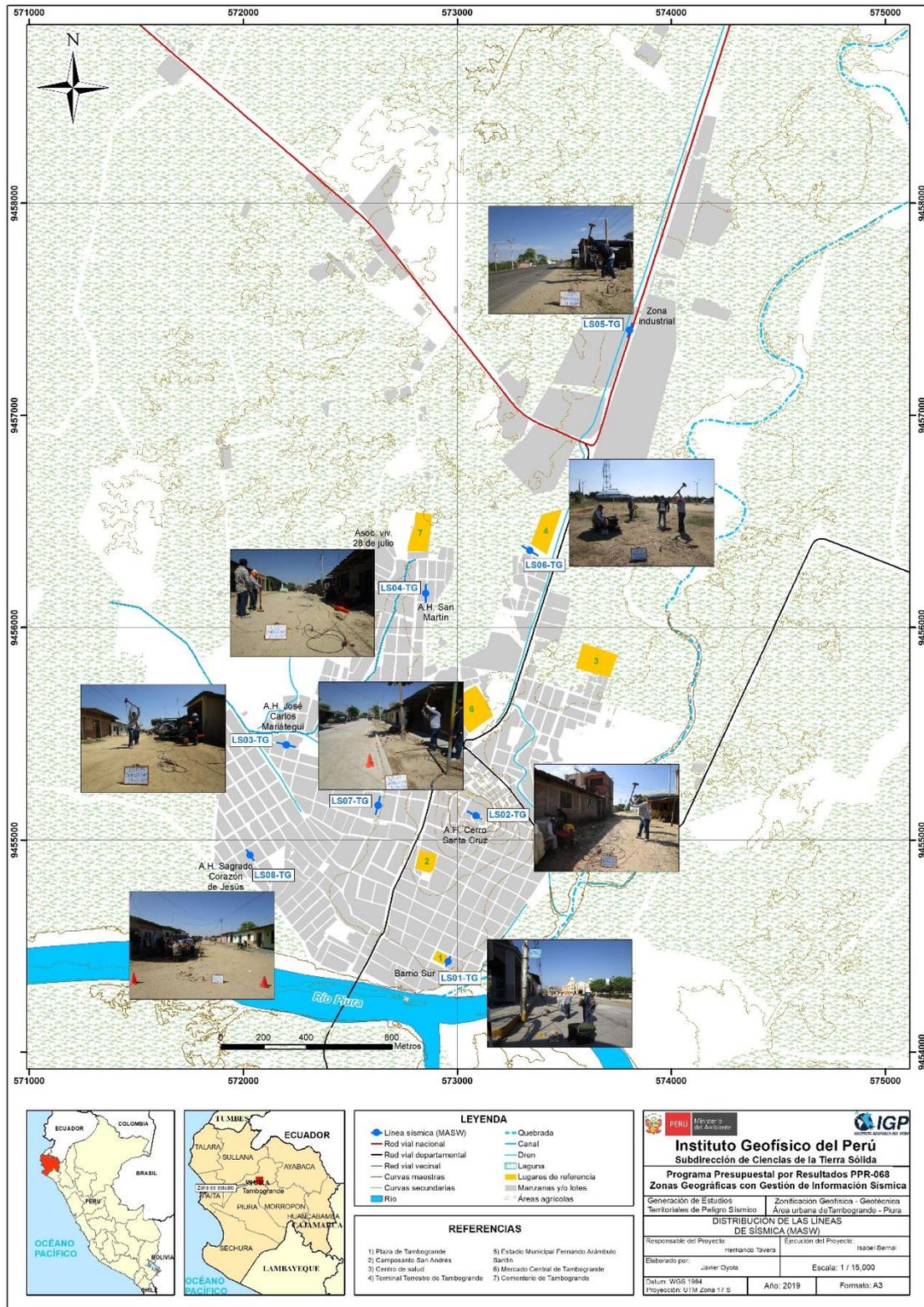


Figura 6. Distribución espacial de los ensayos MASW codificadas como LS01-TG, ..., LS08-TG en el área urbana de Tambogrande.

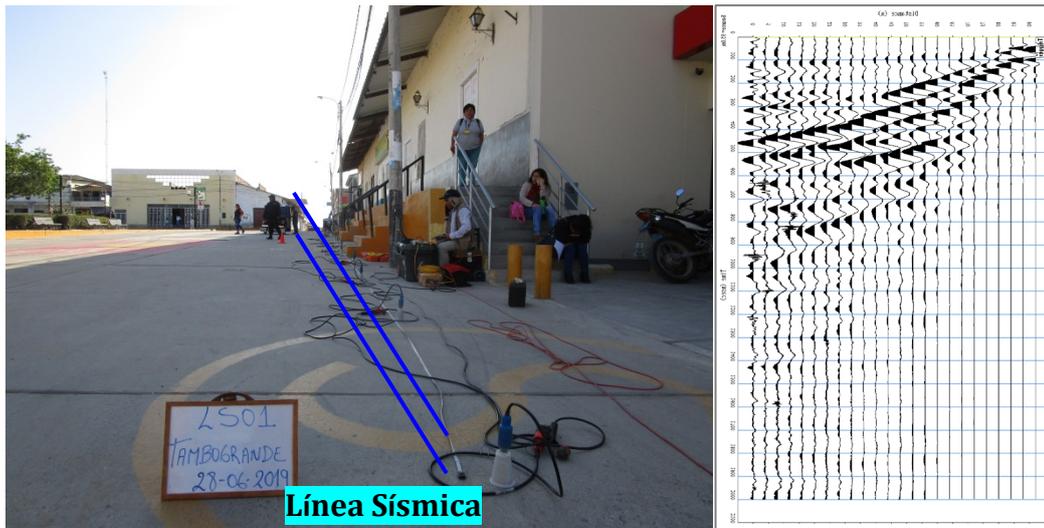


Figura 7. Disposición del equipo para la adquisición del registro sísmico.

### 2.2.1.- Procesamiento y análisis

Se procedió a aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT) a los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011), para luego tener como resultado, la imagen de dispersión de ondas que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia. Una vez obtenidas las curvas de dispersión, son sometidas de forma individual a un proceso de inversión, a fin de obtener los perfiles de velocidad  $V_s$  en una dimensión (1D), tal como se muestra en la Figura 8.



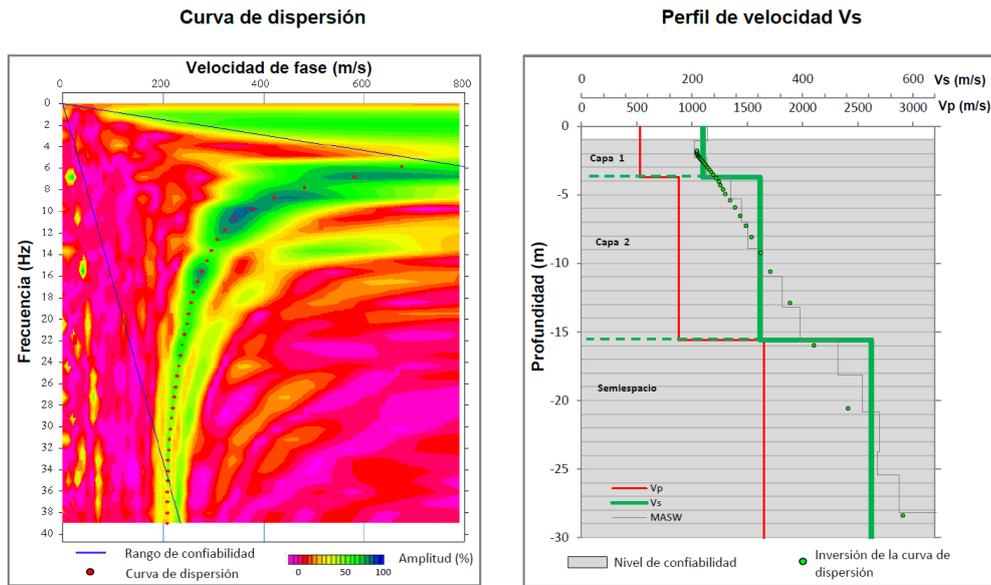


Figura 8. a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo MASW.

Para su análisis, se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030 (2018). En este caso, el rango de velocidades para los perfiles de suelo S1 y S2, se subdividen a fin de considerar dos clasificaciones adicionales, ver Tabla 3. Asimismo, los valores obtenidos son representados con colores a fin de facilitar su interpretación.

Tabla 3. Clasificación de perfiles de suelo, según 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

### 2.3.- Método de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

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

Los datos recolectados en campo corresponden al registro de valores de resistividad obtenidos en 05 líneas de ERT distribuidas en la zona de estudio, tal como se observa en la Figura 9. El instrumental utilizado en campo corresponde a un Equipo de Resistividad / IP Syscal Pro de marca Iris Instruments. En la Tabla 4, se detalla las características de las líneas de ERT realizadas en la localidad de Tambogrande. Para la instalación de los equipos y los tendidos de los cables para la adquisición de los datos, en algunos sectores se tuvieron limitaciones de acceso y de espacio.

**Tabla 4: Coordenadas y características del ensayo ERT realizados en Tambogrande.**

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-TG	572713	9454306	75	10	290
	573003	9454313	76		
LE02- TG	573241	9455038	92	10	220
	573033	9455136	103		
LE03- TG	9455539	572018	79	10	290
	9455289	572179	78		
LE04- TG	9456479	572760	87	10	260
	9456223	572685	83		
LE05- TG	9457774	573923	85	10	290
	9457494	573831	82		



# Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del distrito de Tambogrande

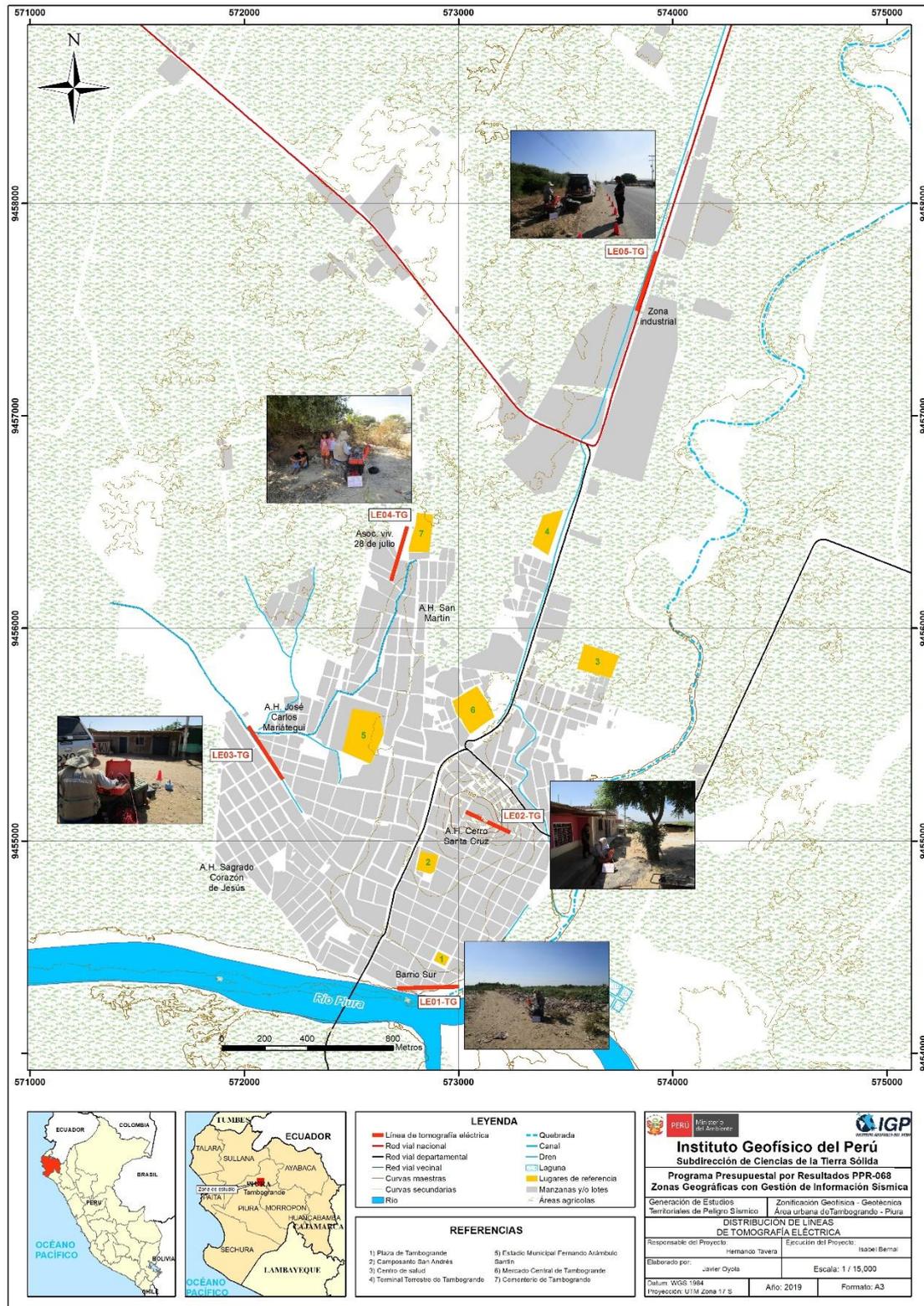


Figura 9. Distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como LE01-TG, ... LE05-TG en el área urbana de Tambogrande.

### 2.3.1.- Procesamiento y análisis

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

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

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

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



### 3.- RESULTADOS

La correlación de los resultados obtenidos con el procesamiento y análisis de los datos recolectados en campo y la aplicación de diversos métodos geofísicos, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

#### 3.1.- Razones espectrales (H/V)

En el área urbana de Tambogrande, los suelos responden principalmente a frecuencias predominantes ( $F_0$ ) menores a 6.0 Hz, con diferentes amplificaciones, sobresaliendo para algunos puntos dos picos de frecuencia. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias identificadas en el área urbana de Tambogrande.

##### 3.1.1.- Frecuencias Predominantes

- **La frecuencia predominante  $F_0$** , según la Figura 10, fluctúa principalmente entre 2.3 a 6.0 Hz, distribuyéndose de manera uniforme en toda el área de urbana. Sin embargo, se observa en algunos puntos, la presencia de un segundo pico ( $F_1$ ), dado entre 5.8 a 10.0 Hz. En la Figura 11, se muestra ejemplos de razones espectrales característicos de la zona.

##### **Para la Zona Céntrica**

Se muestra ejemplos de razones espectrales para los puntos TB-22(G), TB-123(H) y TB-125(I), ubicados al oeste del Camposanto San Andrés y al Barrió Sur, donde se identifica un pico predominante a frecuencias de 3.7, 3.2 y 3.5 Hz con amplificaciones relativas de 3.0, 3.5 y 2.0 veces; asimismo, se observa la presencia de un segundo pico a 6.4, 6.8 y 6.2 Hz con amplificaciones similares a lo observado para el primer pico. El predominio de dos picos de frecuencia con similares amplificaciones sugiere la presencia de dos capas del subsuelo, que influyen considerablemente en el comportamiento dinámico del suelo, incrementando su complejidad al responder ante la ocurrencia de un evento sísmico.

A diferencia de lo observado alrededor del Camposanto San Andrés, donde sobresale un pico predominante a frecuencias que fluctúan entre 3.0 y 4.0 Hz, con amplificaciones de hasta 3 veces; Y hacia la Plaza de armas, estos mismos picos presentan mínimas amplificaciones.

##### **Hacia su extremo NE**

En la Figura 11, se muestra ejemplos de razones espectrales para los puntos TG-073(C), TG-090(E) y TG-226(F), realizados próximos al centro de Salud y zona industrial de Tambogrande, donde se identifica un pico bien definido a frecuencias de 3.4, 3.4 y 2.9 Hz con amplificaciones de 3.5, 2.6 y 3.0 veces respectivamente. Conforme se tiende hacia el extremo Norte del área de estudio, la frecuencia disminuye, sugiriendo que hay un cambio en la respuesta dinámica del suelo.



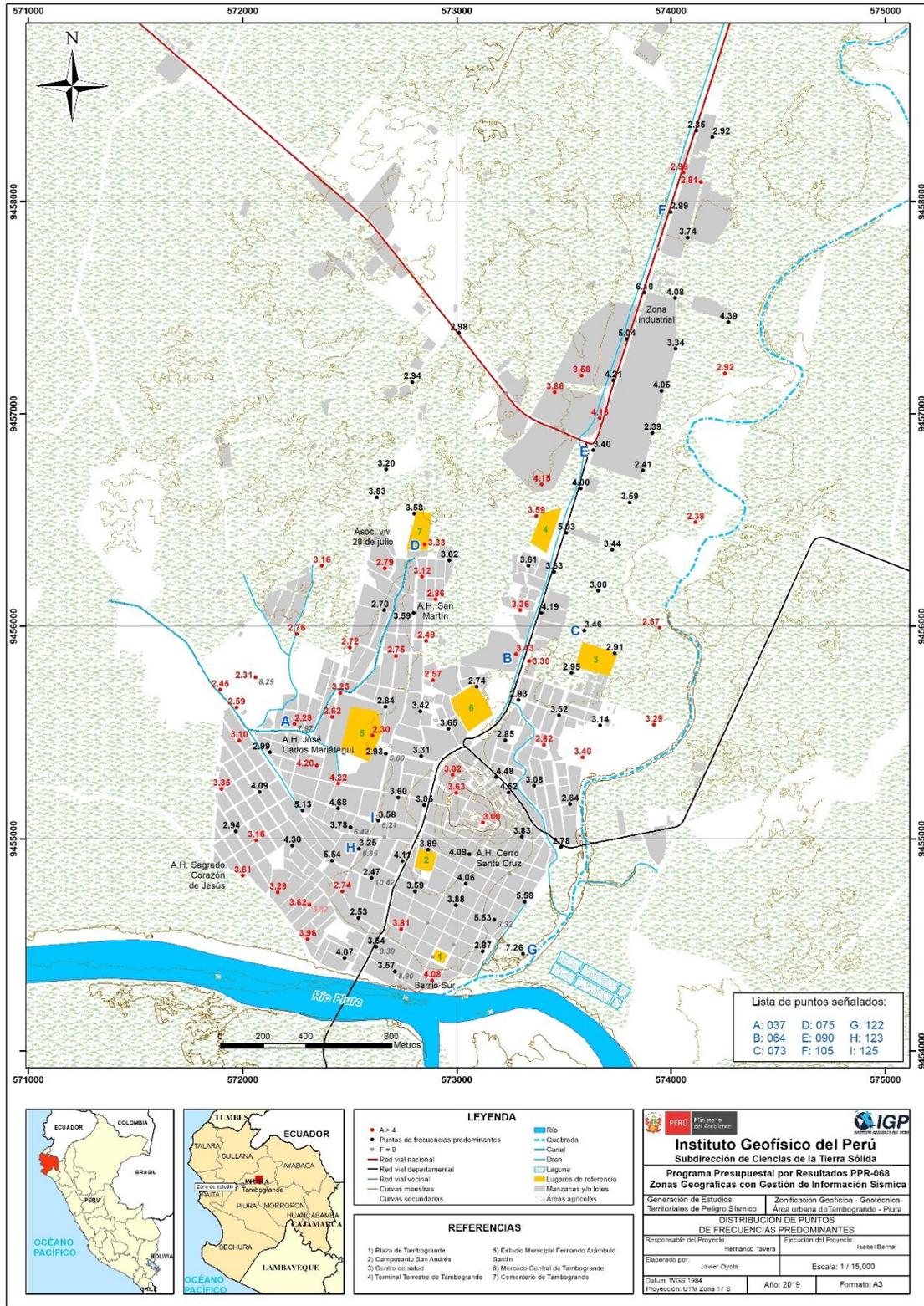
### Hacia su extremo NO

Las razones (H/V) obtenidas para los puntos TG-037(A), TG-064(B) y TG-075(D), realizados próximos al Estadio Municipal en el A.H. José Carlos Mariátegui, Mercado Central de Tambogrande y en la Asoc. Viv. 28 e Julio, permiten identificar frecuencias predominantes a 2.3, 3.4 y 3.3 Hz con amplificaciones de 6.9, 5.5 y 5.0 veces respectivamente. Los valores bajos de frecuencia se asocian a estratos del suelo de gran espesor y los factores de amplificación mayores a 4 veces, sugieren que estos suelos presentan baja consistencia.

En general, estos resultados sugieren que los suelos de menor consistencia principalmente distribuidos hacia el extremo oeste del área de estudio y en la margen derecha de la quebrada Carneros.

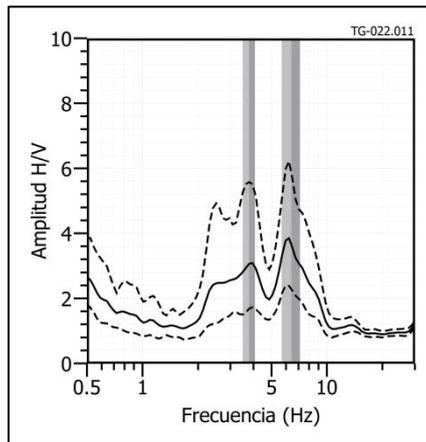


# Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del distrito de Tambogrande

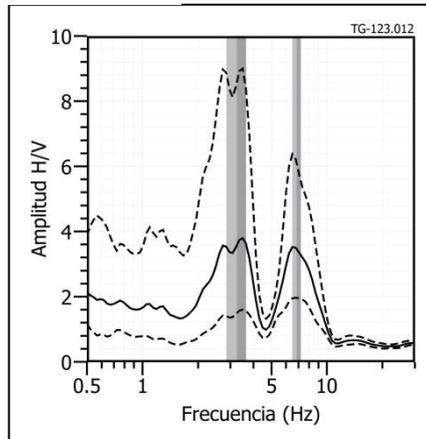


**Figura 10. Distribución espacial de las frecuencias predominantes (Fo). Los valores en gris corresponden a puntos donde sobresale un segundo pico de frecuencia y en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 4 veces. Las letras corresponden a los puntos cuyas razones espectrales son analizadas en el informe.**

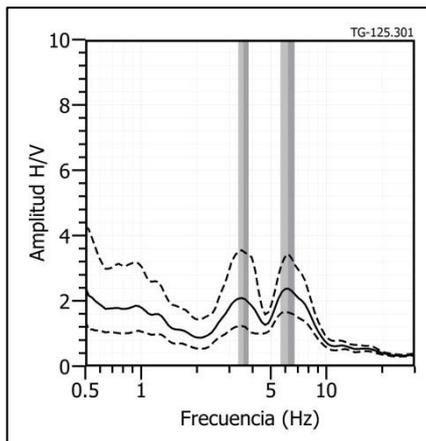
**TG - 022**



**TG - 123**



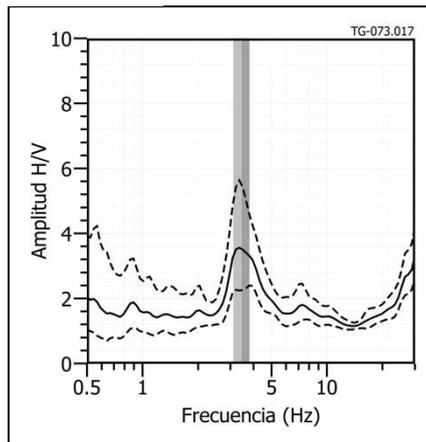
**TG - 125**



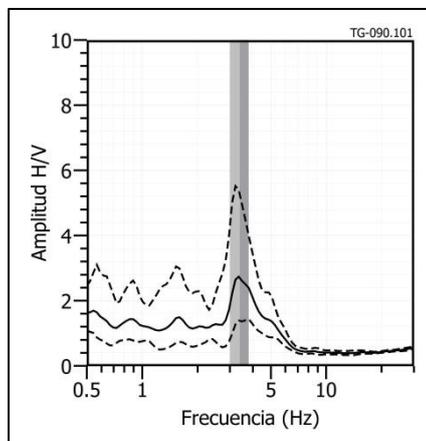
**Figura 11. Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos TG-022(G), TG-123(H) y TG-125(I), ubicados al oeste del camposanto San Andrés y al Barrio Sur. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.**



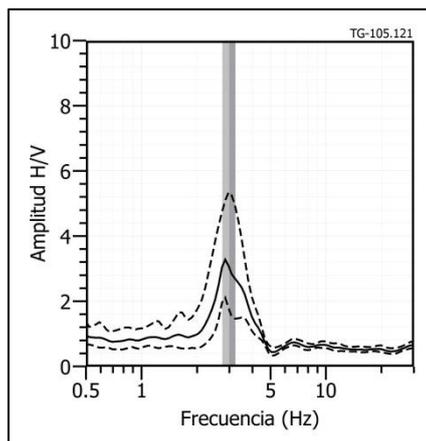
**TG - 073**



**TG - 090**



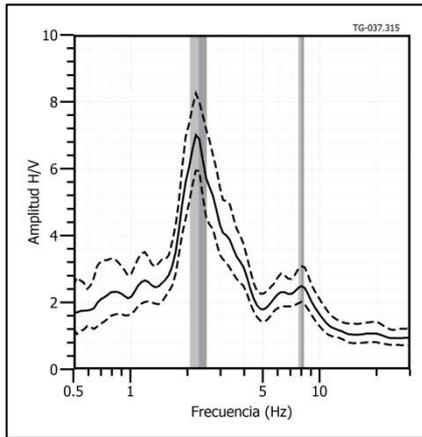
**TG - 105**



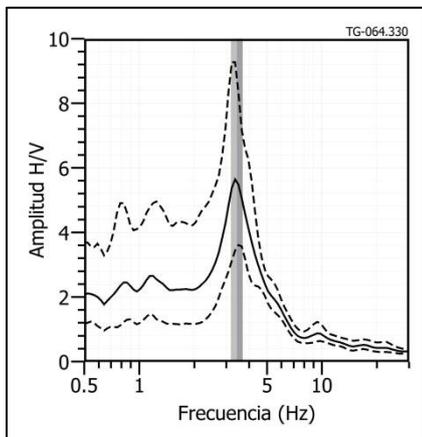
**Figura 11. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos TG-073(C), TG-090(E) y TG-105(F), realizados próximos al centro de Salud y zona industrial de Tambogrande. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.**



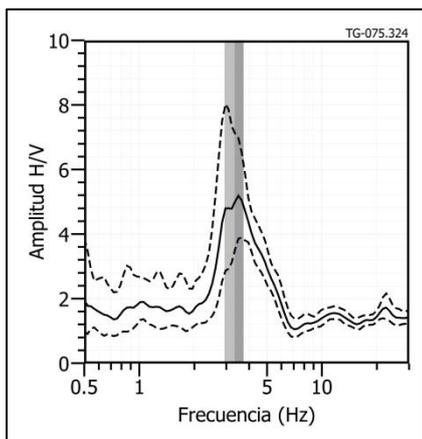
**TG - 037**



**TG - 064**



**TG - 075**



**Figura 11. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos TG-037(A), TG-064(B) y TG-075(D), realizados próximos al Estadio Municipal en el A.H. José Carlos Mariátegui, Mercado Central de Tambogrande y en la Asoc. Viv. 28 e Julio, respectivamente. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.**



### 3.1.2.- Periodos dominantes

Los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes a fin de construir el mapa de isoperiodos. En la Figura 12, se muestra la distribución espacial de los periodos ( $T_0$ ) de respuesta del suelo que varían entre 0.2 y 0.4 segundos, los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 4 veces y para los puntos en gris no presentan periodos dominantes. Los mayores periodos son identificados principalmente hacia el extremo oeste del área de estudio (AA.HH. José Carlos Mariátegui, AA.HH. San Martín y AA.HH. Sagrado Corazón de Jesús) y en la margen derecha de la quebrada Carneros. Por otro lado, de manera sectorizada hacia el sur del estadio municipal, se identifica periodos secundarios a 0.1 y 0.2 segundos.

Los periodos dominantes se encuentran relacionados con las condiciones físicas del suelo, a través de la relación  $T_0=4H/V_s$ , donde  $T_0$  es el periodo dominante,  $H$  el espesor del estrato y  $V_s$  es la velocidad de onda de corte. Asumiendo velocidades de 300 m/s y 350 m/s para las ondas de corte ( $V_s$ ) y periodos de 0.2 y 0.3 segundos, se estima una capa superficial con espesores de entre 15 y 20 metros. Hacia la zona oeste del área de estudio asumiendo velocidades de 200 y 250 m/s para las ondas de corte ( $V_s$ ) y periodos de 0.4 segundos, se estima una capa superficial con espesores de 20 y 25 metros. Los resultados de este análisis sugieren que la capa superficial del suelo presenta mayor espesor hacia el extremo oeste del área de estudio.



# Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del distrito de Tambogrande

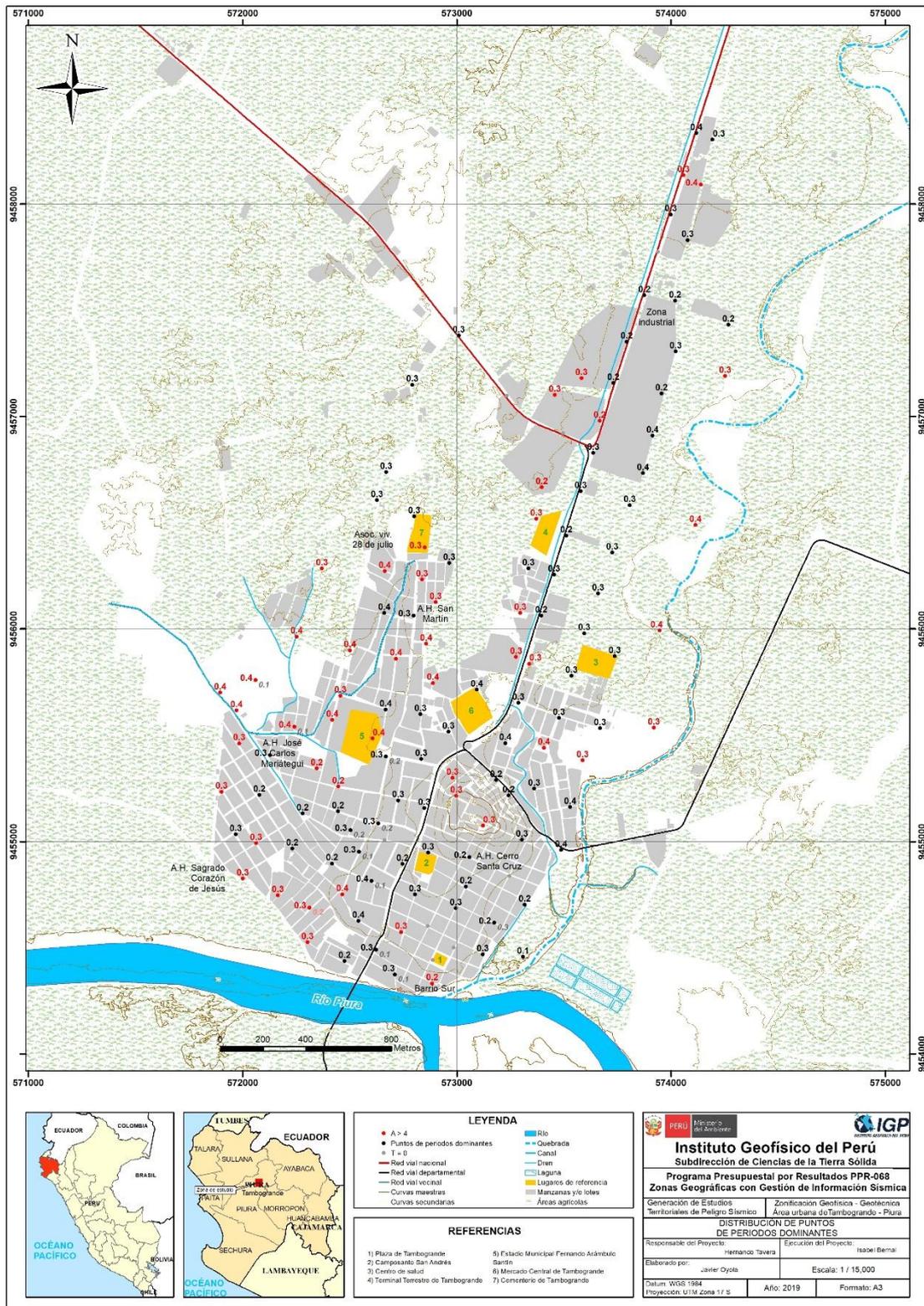


Figura 12. Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

### 3.2.- Perfiles de MASW

En el área de estudio se realizaron 08 líneas sísmicas aplicando la técnica MASW a fin de identificar velocidades de ondas de corte  $V_s$  confiables hasta los 30 metros de profundidad. En la Figura 6, se presenta el mapa con la ubicación de las líneas y en la Figura 13, los resultados obtenidos para la línea LS07-TG. Para el resto de los perfiles, ver Anexo I.

**Las líneas sísmicas LS1-TG y LS02-TG:** Ubicadas en la Plaza de Armas y en el cerro Santa Cruz respectivamente, permiten identificar una capa a 15 y 19 metros de profundidad con velocidades  $V_s$  menores (400 y 500 m/s) a las obtenidas a nivel superficial ( $V_s$ : 600 y 700m/s). En este caso los perfiles muestran velocidades altas para ambas capas, no muestran correlación con la geomorfología de la zona y con la geotecnia, motivo por el cual posteriormente se realizará un mayor análisis de estos resultados.

**Línea sísmica LS3-TG:** Ubicada en el A.H. José Carlos Mariátegui donde se identifica dos capas sísmicas: la primera de 4 metros de espesor con velocidad  $V_s$  de 135 m/s lo cual sugiere suelo blando. La segunda capa de 13 metros de espesor y con velocidad  $V_s$  de 192 m/s que, junto con el semi-espacio el cual presenta velocidades  $V_s > 320$  m/s, ambos sugieren suelos moderadamente rígidos.

**Línea sísmica LS4-TG:** Ubicada en el A.H. San Martín donde se identifica una capa sísmica de 13 metros de espesor con velocidades  $V_s$  que varían de 180 a 208 m/s considerando suelo blando a moderadamente rígido. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades  $V_s > 368$  m/s, corresponde a suelo rígido.

**Línea sísmica LS5-TG:** Ubicada en la zona industrial (costado de la carretera en dirección a Las Lomas). Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 4 metros de espesor con velocidad  $V_s$  de 220 m/s, la segunda, de 16 metros de espesor y velocidad  $V_s$  de 323 m/s, corresponden a suelos moderadamente rígidos. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades  $V_s > 425$  m/s, lo cual considera suelo rígido.

**Línea sísmica LS6-TG:** Ubicada en el terminal terrestre, donde se identifica dos capas sísmicas: la primera de 4 metros de espesor con velocidad  $V_s$  de 178 m/s lo cual considera suelo blando, la segunda, de 16 metros de espesor y velocidad  $V_s$  de 277 m/s corresponde a suelo moderadamente rígido. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades  $V_s > 567$  m/s, lo cual considera suelo muy rígido.

**Línea sísmica LS7-TG:** Ubicada en el mercado de Tambogrande, en la calle Andrés Rázuri. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 7 metros de espesor con velocidad  $V_s$  de 204 m/s corresponde a suelo moderadamente rígido, la segunda, de 18 metros de espesor y



velocidad  $V_s$  de 382 m/s corresponde a suelo rígido. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades  $V_s > 844$  m/s, lo cual considera roca moderadamente dura.

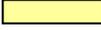
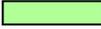
**Línea sísmica LS8-TG:** Ubicada hacia el suroeste del área urbana, en el AA.HH. Sagrado Corazón de Jesús. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 13 metros de espesor con velocidad  $V_s$  de 171 m/s correspondiendo a suelo blando, la segunda, de 12 metros de espesor y velocidad  $V_s$  de 318 m/s corresponde a suelo moderadamente rígido. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades  $V_s > 425$  m/s, lo cual considera suelo rígido.

En la Tabla 6, se muestra el resumen de la información obtenida, la velocidad de ondas de corte  $V_s$ , su espesor y la velocidad  $V_{s30}$ .

**Tabla 6. Valores de espesor y  $V_s$  de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.**

Línea Sísmica	Superficie		Profundidad				VS30 (m/s)
	N° DE CAPA						
	1		2		Semi-espacio		
$V_s$ (m/s)	Esp. (m)	$V_s$ (m/s)	Esp. (m)	$V_s$ (m/s)	Esp. (m)		
LS01-TG	756	9	457	15	658	-	612
LS02-TG	662	9	556	-	-	-	564
LS03-TG	135	4	192	13	320	-	232
LS04-TG	208	13	368	-	-	-	272
LS05-TG	220	4	323	16	425	-	372
LS06-TG	178	4	277	16	567	-	328
LS07-TG	204	7	382	18	844	-	386
LS08-TG	171	13	318	12	425	-	236

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



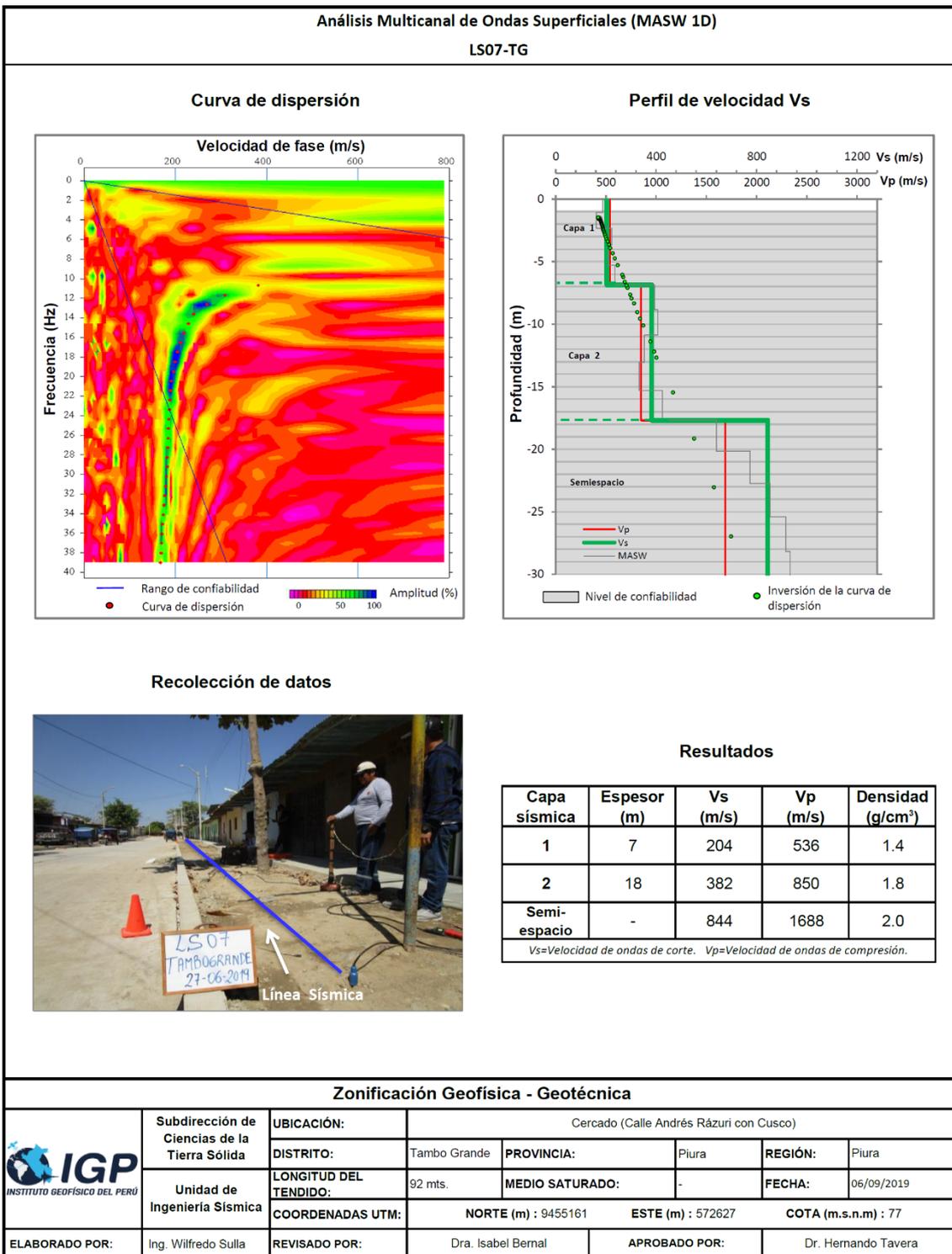


Figura 13. Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo lineal LS07-TG.

Según los resultados obtenidos con el método sísmico, en el área de estudio, se ha identificado dos tipos de suelo en superficie, el primero caracterizado por (1) suelo blando a moderadamente rígido, hacia el extremo Oeste del área de estudio, con espesores de hasta 13 metros (AA.HH. Sagrado Corazón de Jesús), esto es debido a la proximidad de áreas cultivo, canales de regadío y cuyos estratos se encuentran saturados, ver Figura 14, y (2) suelos moderadamente rígidos, hacia la zona industrial.

Los valores de velocidad  $V_s$  obtenidos en superficie se asocian a tres unidades litológicas; los depósitos fluviales que cubren parte del área próximo al río Piura (margen derecha), los depósitos aluviales, emplazados en la parte baja del área urbana y las rocas volcánicas que caracterizan la zona de mayor elevación (AA.HH. Cerro Santa Cruz).



Figura 14. Ensayos MASW ubicados al oeste (LS08) y norte (LS06) del área urbana, cuyos suelos son blandos en superficie.



### 3.3.- Perfiles de Tomografía Eléctrica

Se realizaron 05 líneas de tomografía eléctrica en el área urbana de Tambogrande a fin de conocer el grado de saturación del suelo mediante los valores de resistividad. En la Figura 9, se presenta el mapa con la ubicación de las líneas, en la Figura 15, imágenes con la disposición de las diferentes líneas y en la Figura 16, los resultados obtenidos para la línea LE01-TG. Para el resto de los perfiles, ver Anexo II.

La línea **LE01-TG** ubicada en el extremo sur de Tambogrande, en el Barrio Sur. Se identifica el predominio de valores bajo resistivos a muy bajo resistivos ( $<100 \Omega.m$ ), indica que el suelo presenta humedad y cuyo contenido aumenta en profundidad asociándose a la cercanía del río Piura, que sugiere la existencia de material húmedo característico de suelos conglomerados, arenas y arcillas que son observados en superficie, además, en esta zona también se tiene material de relleno sin compactar tal como se muestra en la Figura 15.

En estas líneas **LE02-TG, LE03-TG, LE04-TG y LE05-TG**, ubicadas en la zona centro y norte del área de estudio, en los sectores del A.H. Cerro Santa Cruz, A.H. José Carlos Mariátegui, Asoc. Viv. 28 de Julio y en la Zona Industrial. Se identifica el predominio de valores muy bajo resistivos ( $<20 \Omega.m$ ), asociados a depósitos de arenas, conglomerados y arcillas, de los depósitos aluviales, y a la presencia de terrenos de cultivo, con alto contenido de humedad. En la línea **LE02-TG** en superficie se observan valores medianamente resistivos (100 a 500  $\Omega.m$ ) y correspondería a afloramientos rocosos en superficie (Figura 15).



Figura15. Vista de la línea eléctrica LE01-TG, ..., y LE05-TG





Figura15. ...Continuación/ Vista de la línea eléctrica LE01-TG, ..., y LE05-TG.



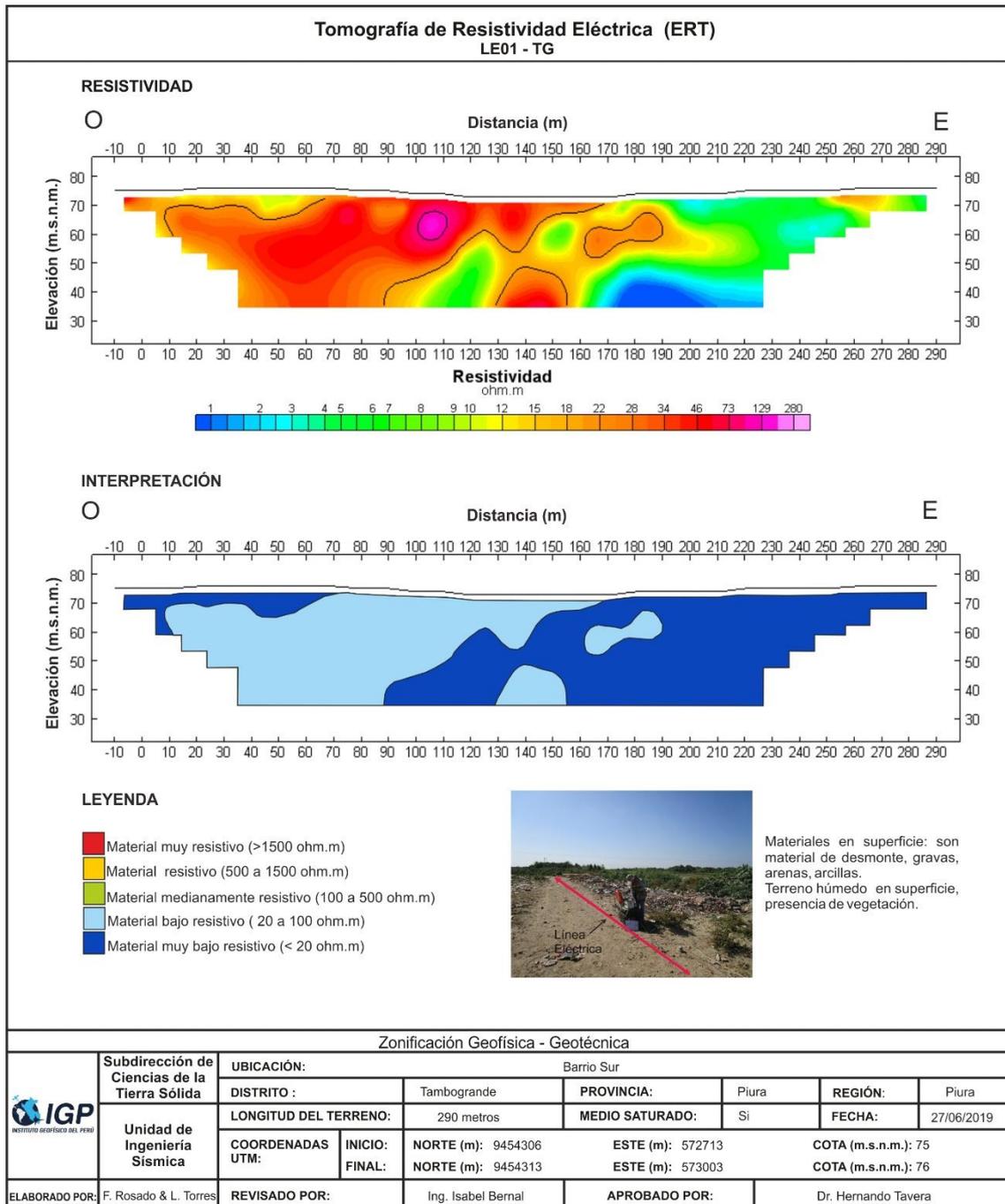


Figura 16. Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-TG.

Los niveles de saturación del suelo, en el área urbana de Tambogrande, presenta desde pocos metros de la superficie (entre 2.5 a 5 metros), principalmente por el A.H. José Carlos Mariátegui, debido a la proximidad de los terrenos de cultivos y a las lluvias intensas. Asimismo, en los sectores, próximos a la quebrada Carneros y del río Piura.

## 4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA DE LOS SUELOS

El mapa de zonificación Geofísica se realiza considerando la correlación de la información generada con la aplicación de las técnicas geofísicas y geotécnicas; así como, con los aspectos geológicos, geomorfológicos y geodinámicos que presenta la zona en estudio. Finalmente, con base en estos resultados y la información contenida en la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente, se delimita zonas cuyos suelos presenten similares características físicas y dinámicas.

### 4.1. Integración de resultados

El área urbana de Tambogrande se encuentra a una altura promedio de 85 m.s.n.m., presenta una superficie ligeramente ondulada cuya pendiente es baja a moderada, presentándose la mayor elevación hacia el extremo norte de la Plaza de Armas (A.H. Cerro Santa Cruz), condiciones geomorfológicas que influyen en los resultados.

En general el suelo responde a periodos de entre 0.2 y 0.4 segundos, cuya distribución es variada (Figura 17), los periodos de 0.4 segundos son identificados principalmente hacia el extremo oeste del área de estudio (por el A.H. José Carlos Mariátegui, A.H. San Martín y A.H. Sagrado Corazón de Jesús) y en la margen derecha de la quebrada Carneros. Esto sugiere que dichos sectores presentan suelos de mayor espesor. Asimismo, de forma sectorizada se identifica; suelos que responden a un segundo rango de periodos de entre 0.1 y 0.2 segundos, lo cual refleja su complejidad (entre el estadio y el AAH.H. Sagrado Corazón de Jesús) y suelos que no evidencian un periodo dominante (por la Plaza de Armas). De acuerdo al análisis sísmico, en superficie predomina suelos blandos y moderadamente rígidos ( $V_s = 135$  a  $323$  m/s), con espesores de entre 7 y 30 metros, siendo los mayores distribuidos hacia el oeste. Estos resultados son coherentes con la distribución de los periodos identificados en el área de estudio. En la Figura 17, se observa la correlación geofísica, hacia el noroeste (punto “a”) y hacia el sureste (punto “b”).

En el área urbana de Tambogrande, se identifica suelos saturados por el alto nivel freático que se presenta a pocos metros de la superficie (2.5 metros de profundidad), esto es debido a la influencia de los canales de regadío y terrenos de cultivo. Asimismo, por sectores próximos a la Plaza de Armas y AA.HH. Cerro Santa Cruz, los suelos se muestran parcialmente saturados. El suelo al estar caracterizado por sustratos permeables que favorecen a que el medio saturado se encuentre a partir de los 2.5 a 5 metros de profundidad. Asimismo, estudios anteriores sugieren que estos sectores se encuentran en alto riesgo a lluvias intensas y/ o el fenómeno de El Niño (CENEPRED, 2017).

Las amplificaciones máximas relativas, en el área de estudio, alcanzan valores de hasta 4 veces, evidenciando la presencia de suelos menos consistentes y con alto nivel freático, en los sectores del



AA.HH. José Carlos Mariátegui, AA.HH. San Martín y AA.HH. Sagrado Corazón de Jesús, y por el AA.HH. Cerro Santa Cruz, margen derecha de la quebrada Carneros y otros sectores puntuales.

En general, el suelo al estar constituido de arenas, limos y arcillas, sumado a la existencia de saturación a nivel superficial y a la ocurrencia de un evento sísmico de gran magnitud próximo a esta región, aumenta la probabilidad de generarse mayores amplificaciones (grandes sacudimientos) y procesos de licuación, principalmente los sectores ubicados hacia el oeste, próximos al canal de regadío (A.H. José Carlos Mariátegui). Por lo cual es necesario e indispensable que esta información sea considerada como base para nuevos proyectos de la GRD y en la toma de decisiones.



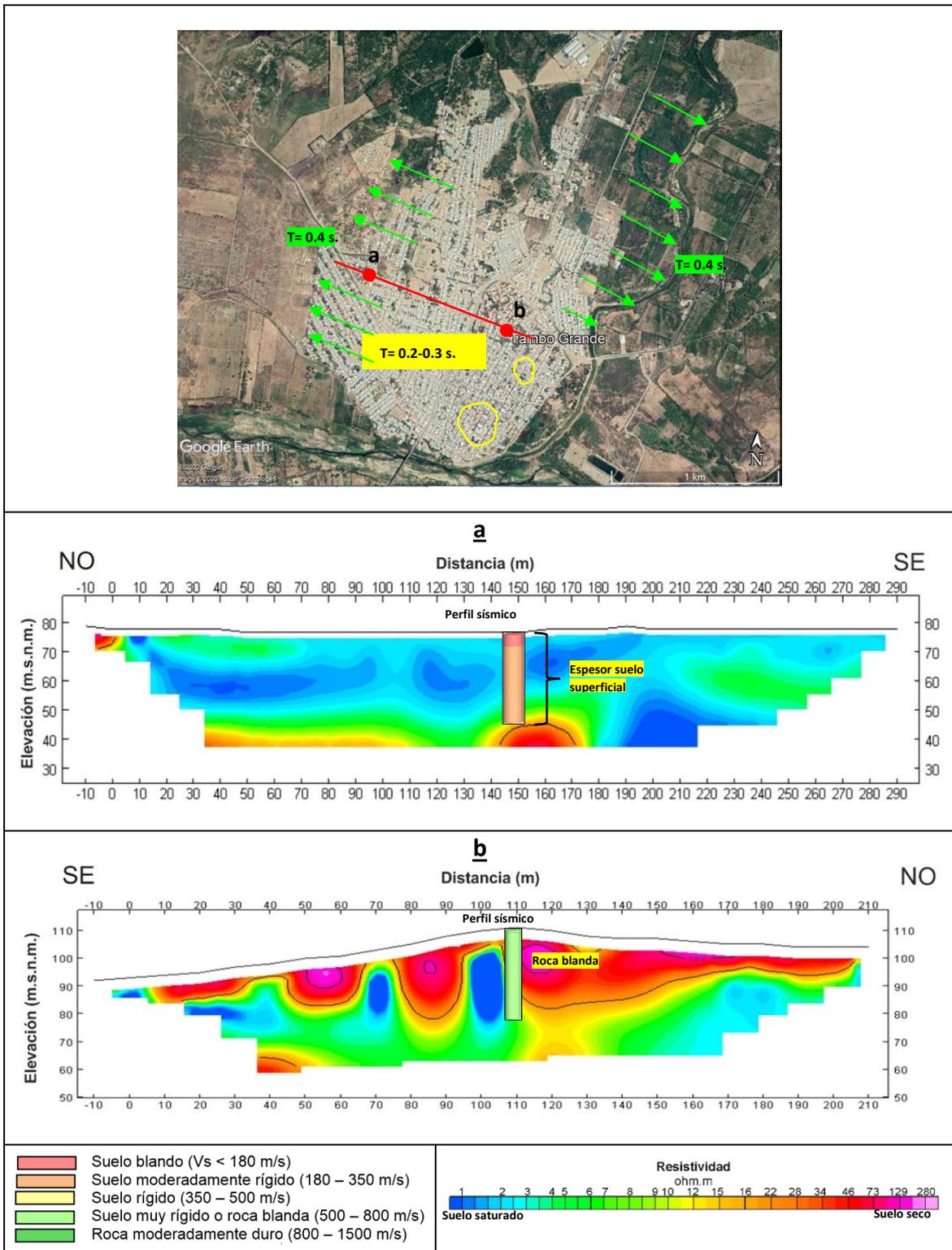


Figura 17. Correlación de los ensayos geofísicos, periodos dominantes, tipo de suelo y grado de saturación.

## 4.2. Mapa de Zonificación Geofísica

El mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana de Tambogrande, se elabora en función de la integración de los resultados obtenidos del análisis geofísico y geotécnico. Las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas, han permitido identificar en el área de estudio, considerando lo indicado en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S2 y S4. Estos tipos de suelo corresponden a las Zonas II y IV respectivamente, donde predominan periodos de 0.3 y 0.4 segundos.

Para el área urbana de Tambogrande, se propone la siguiente zonificación Geofísica - Geotécnica (Figura 18).

- **ZONA I:** En el área de estudio no se identificó suelos de Tipo S1, debido a que los suelos superficiales presentan velocidades de ondas de corte menores a 220 m/s.

- **ZONA II:** Considera suelos constituidos por estratos de arenas, limos y arcillas (depósito fluvial). Presenta velocidades de ondas de corte  $V_s$  de 200 m/s en promedio para la capa superficial y de hasta 500 m/s a la profundidad investigada de 30 metros, con periodos de vibración natural de 0.3 y 0.4 segundos, ambos definen la existencia de suelos Tipo S2, cuyo comportamiento es medianamente rígido (NTE.030). Los suelos presentan alta saturación (principalmente hacia el oeste) y una capacidad de carga admisible de entre 1.0 a 2.0 Kg/cm<sup>2</sup> hasta un metro de profundidad.

Las líneas inclinadas en rojo delimitan áreas donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 4 veces, sugiriendo que el mayor sacudimiento del suelo a la ocurrencia de un sismo se presentará en sectores próximos al río Piura, a la quebrada Carneros, en los AA.HA. de San Martín, José Carlos Mariátegui, A.H. Sagrado Corazón de Jesús, Cerro Santa Cruz, entre otros.

Las líneas inclinadas en negro, ver Figura 18, delimitan áreas de muy baja amplificación ubicado de manera local, sugiere que los suelos muestran mayor consistencia y por lo tanto menor el sacudimiento durante la ocurrencia de un evento sísmico. Se presenta principalmente por la Plaza de Armas.

Las líneas inclinadas de color verde delimitan áreas que se encuentra influenciado por un segundo rango de periodos que varían entre 0.2 y 0.3 segundos con bajas amplificaciones, comprende los sectores ubicados al suroeste del Tambogrande.

- **ZONAS III:** A esta zona le corresponde suelos Tipo S3, el cual no fue identificado en el área de estudio.



- **ZONA IV:** Esta zona corresponde a suelos cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales, por lo que su comportamiento comprende a suelos Tipo S4 (**Zona IVa**). Dichos suelos están constituidos por depósitos fluviales con alto contenido de humedad, corresponde a la quebrada Carneros y hacia el oeste, sectores próximos a drenes de regadío. Estos sectores son susceptibles a sufrir grandes amplificaciones (mayores sacudimientos), ver Figura 18. Presenta baja capacidad de carga admisible ( $< 1.0 \text{ Kg/cm}^2$ ), asimismo, puede generarse procesos geodinámicos externos como inundaciones y licuación de suelo durante la ocurrencia de un evento sísmico.

Asimismo, en la Figura 18 se delimita con una línea discontinua, los sectores con niveles de inundación pluvial y fluvial originada por el fenómeno El Niño en el año 2017. Estos sectores corresponden a áreas inundables corresponden a ambas márgenes de la quebrada Carneros.

Esta zonificación condiciona el tipo de estructura que se debiera construir, a fin evitar que esta experimente el fenómeno de resonancia suelo-estructura y/o una doble amplificación sísmica



# Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del distrito de Tambogrande

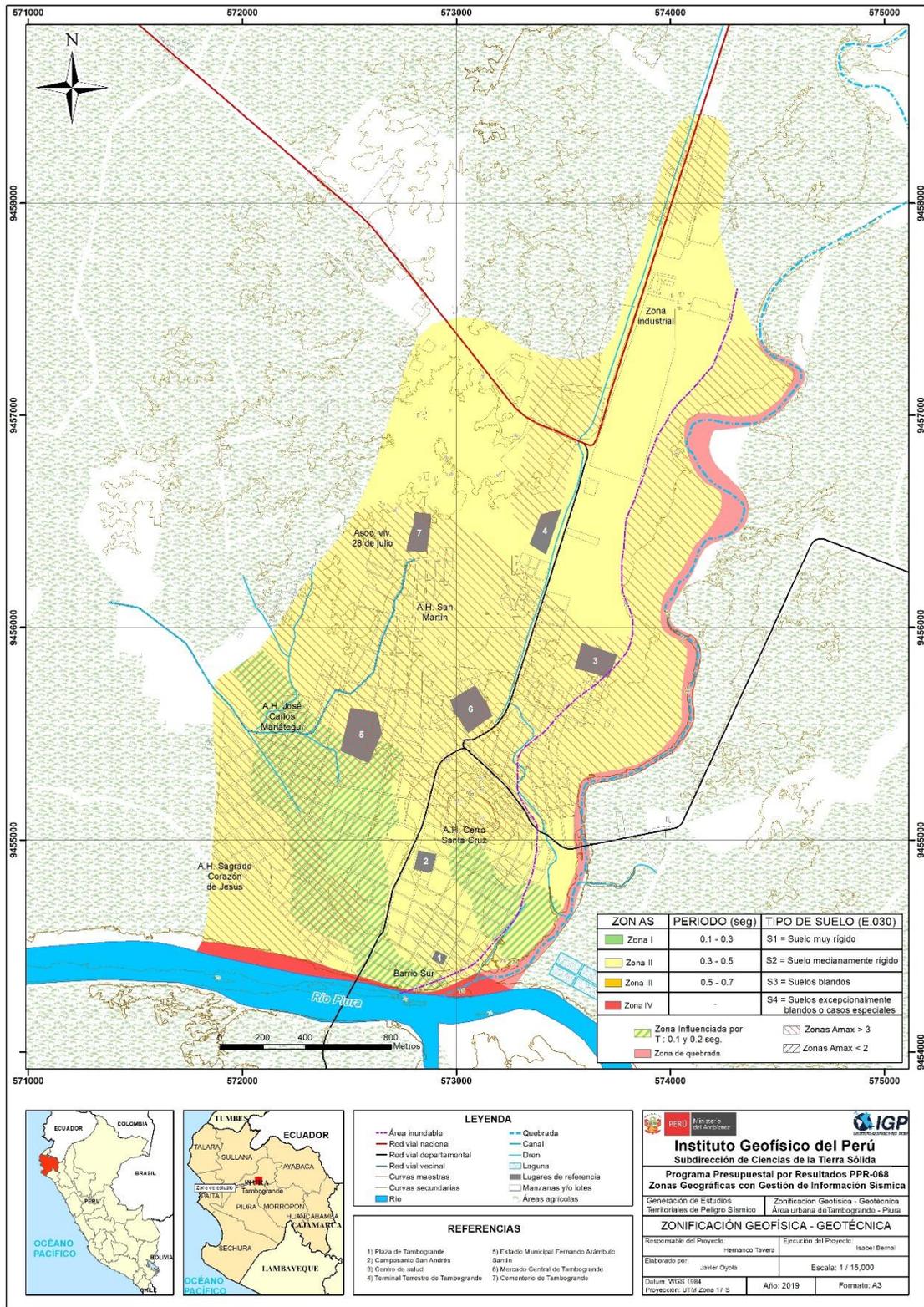


Figura 18. Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica del área urbana de Tambogrande.

## 9. CONCLUSIONES

- Tambogrande se caracteriza por presentar tres unidades geoformas como son: loma, lecho fluvial y terraza fluvial. La primera conformada por rocas de tipo andesita y las otras dos constituida por depósitos fluviales del Cuaternario y sobre la cual se asienta la mayor parte del área urbana. Asimismo, la terraza es afectada por inundaciones fluviales que se producen, tanto en la margen derecha del río Piura, como en la margen derecha de la quebrada Carneros, que han afectado al sector Barrio Sur y áreas agrícolas, AA.HH. Froilán Alama, Buenos Aires, sector Catacaos Chiquito y parte del casco urbano de Tambogrande. Otro evento son las inundaciones pluviales en las zonas de depresiones y debido a la falta de mantenimiento de los drenes, que han causado daños en los AA.HH. Buenos Aires, centro urbano, mercado Central y Urb. Mario León García. Las áreas expuestas involucran un total de 2800 habitantes y 820 viviendas expuestas.
- En base a los resultados de los ensayos geotécnicos y de laboratorio, se han determinado que los tipos de suelos presentes en la ciudad de Tambogrande son cuatro (4), entre los que se tienen: limos inorgánicos de baja plasticidad (ML), arcillas inorgánicas de baja plasticidad (CL), arcillas inorgánicas con limos de baja plasticidad (CL – ML) con presentan capacidad portante muy baja ( $< 1.0 \text{ kg/cm}^2$ ) y arenas limosas (SM) con capacidad portante baja ( $1.0 - 2.0 \text{ kg/cm}^2$ ).
- Los suelos del área urbana de Tambogrande responden principalmente a frecuencias de entre 2.3 y 6.0 Hz con amplificaciones de hasta 4 veces, principalmente en los AA.HH. José Carlos Mariátegui, AA.HH. San Martín y AA.HH. Sagrado Corazón de Jesús y en la margen derecha de la quebrada Carneros.
- El periodo dominante del suelo ( $T_0$ ) varían entre 0.2 y 0.4 segundos, distribuyéndose este último principalmente hacia el extremo oeste del área de estudio (A.H. José Carlos Mariátegui, A.H. San Martín y A.H. Sagrado Corazón de Jesús) y en la margen derecha de la quebrada Carneros. Y de manera sectorizada hacia el sur del estadio municipal, se identifica periodos secundarios a 0.1 y 0.2 segundos. Mediante la relación  $T_0=4H/V_s$ , y asumiendo velocidades de 300 m/s y 350 m/s para las ondas de corte ( $V_s$ ) y periodos de 0.2 y 0.3 segundos, se estima una capa superficial con espesores de entre 15 y 20 metros. Hacia la zona oeste del área de estudio asumiendo velocidades de 200 y 250 m/s para las ondas de corte ( $V_s$ ) y periodos de 0.4 segundos, se estima una capa superficial con espesores de 20 y 25 metros. Los resultados de este análisis sugieren que la capa superficial del suelo presenta mayor espesor en la zona oeste del área de estudio.
- De los resultados obtenidos con el método sísmico, el área de estudio está caracterizado por dos tipos de suelo en superficie; el primero considera **suelos blandos** ( $V_s$  135 a 171 m/s)



emplazados hacia el extremo oeste del área de estudio y **suelos moderadamente rígidos** ( $V_s$  208 a 220 m/s) hacia el norte. Conforme incrementa la profundidad, se encuentra caracterizado por suelos rígidos ( $V_s > 368$  m/s).

- Los valores de velocidad promedio calculados para los primeros 30 metros de profundidad ( $V_{s30}$ ), según la norma E030-2018, clasifica el área de estudio en dos tipos de suelo; el primero con rangos de velocidad  $V_s$  entre 564 a 612 m/s corresponde a suelo muy rígido o roca emplazado en la zona de mayor elevación. El segundo, con rangos de velocidad  $V_s$  entre 232 a 386 m/s considera un suelo medianamente rígido la cual está emplazado en la zona de baja elevación (gran parte del área urbana).
- En el área urbana de Tambogrande, se ha evidenciado que el nivel freático se encuentra a partir de los 2.4 metros de profundidad. El suelo está caracterizado por arcillas, limos inorgánicos y arenas no consolidadas que permiten el almacenamiento de agua subterránea.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Tambogrande 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 y S4.



## 10. RECOMENDACIONES

- Debido a la ocurrencia de las inundaciones fluviales y pluviales se deben realizar medidas estructurales tales como, diseño y mantenimiento de drenajes pluviales en calles o avenidas, vías de acceso, así como, reforzar las defensas ribereñas en la margen derecha del río Piura, sector Barrio Sur, también en la margen derecha de la quebrada Carneros, en el AA.HH. Froilán Alama y Sector Catacaos Chiquito.
- Realizar el mantenimiento de las cunetas o drenes que evacuan las aguas del casco urbano, pues se ha evidenciado que éstos se encuentran colmatados por materiales antrópicos y material orgánico, sobre todo el canal que pasa por el mercado municipal de Tambogrande.
- Se debe tener en cuenta que los suelos en la ciudad de Tambogrande presentan dos características geotécnicas especiales, la primera es que están conformados por arenas limosas sueltas y arcillas con limos de baja plasticidad, la segunda es la presencia de nivel freático superficial en el AA.HH. Froilán Alama, factor que produce fallas en suelos y las estructuras que se encuentran sobre éstos por efecto de licuación.



## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA y MINAGRI. (2016). Complementación de Identificación de poblaciones vulnerables por activación de quebradas 2016 – 2017. Pag. 80.
- Bard, P-Y. (1995) Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323
- Bard, P-Y y SESAME (2004) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 16, 2004 Paper No. 2207
- Beresnev, I.A., K.L. Wen, and Y.T. Yeh 1995a, "Nonlinear Soil Amplification: It's Corroboration in Taiwan. Bull, Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 496-515
- Bernal, I. (2006) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- Bernal, I., Tavera, H., Sulla, W., Arredondo, L., & Oyola, J. (2018). Geomorphology characterization of Ica basin and its influence on the dynamic response of soils for urban seismic hazards in Ica, Peru. International Journal of Geophysics, 2018, article ID 9434251, 12. <https://doi.org/10.1155/2018/9434251>.
- 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.
- CENEPRED. (2017). Informe de evaluación del riesgo de inundación pluvial y fluvial originado por lluvias intensas en el área urbana del distrito de Tambogrande. Pag. 98.
- CENEPRED y MUNICIPALIDAD DE TAMBOGRANDE. (2018). Plan de prevención y reducción de riesgo de desastres 2018 – 2021, distrito de Tambogrande. Pag. 131.
- CENAPRED (2004) – Inundaciones, Secretaría de gobernación, 1ra Edición. Delegación de Coyoacán. CP.04360. México, D.F
- Crespo V., C., (2004) - Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 5ta edición.
- CISMID, (2016) - Densidad de campo. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Laboratorio Geotécnico.



- Comité Interinstitucional, (2007) - Plan de Defensa Ribereñas y Encauzamiento de Ríos. Resumen del Diagnóstico Situacional. Autoridad Autónoma Cuenca Hidrográfica Chira – Piura.
- Cruden (1991): A Simple definition of a landslide: Bulletin of the International Association of Engineering Geology.
- De Marco, Pietro (2002) – Corrección del índice de resistencia de penetración. Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2002. 315 p.
- 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”.
- Enríquez-Beck, Juan (2016) – Estado Hidrológico, Hidráulico y Sedimentológico de los Embalses en la región Piura. Universidad de Piura.
- 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.
- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. Bull. Seism. Soc. Am. 82, 2308-2327
- Harvey, A., M., 1987. Patterns of Quaternary aggradational and dissectional landform development in the Almeria region, southeast Spain: a dry-region tectonically-active landscape. Die Erde 118, 193-215
- Howie D. & Sy (2003) – A Method for correlating large penetration test (LPT) to standard penetration test (SPT) blow counts.
- Hutchinson, J., N., (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.



- INDECI (2018); Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas – Tomo 4.
- Juaréz, E., y Rico, A., (2005) – Fundamentos de la Dinámica de Suelos. Segunda edición. Limusa S.A. México D.F.
- Lermo, J. and Chavez-Garcia, F.J. (1993). Site Effect Evaluation Using Spectral Ratios with Only One Station. Bulletin of the Seismological Society of America, 83, 1574-1594.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a). Are microtremors useful in site response evaluation?, Bull. Seism. Soc. Am. 84, 1350-1364 pp.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994b). Site effect evaluation at Mexico City. Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremors records, Soil. Dyn. & Earthq. Eng. 13, 413-423 pp.
- Loke, M.H. (2004). Tutorial 2D and 3D electrical imaging surveys.
- Meyerhof, G., G., (1956) – Penetration Test and Bearing Capacity of Cohesionless Soils. Journal of the Soils Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol 82 N°SM1, Proc. Paper 886, Jan. 1956, pp-19.
- Ministerio de Economía y Finanzas, (2017) - Informe de seguimiento y Gestión a la Inversión Pública.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) - <http://renac.mtc.gob.pe/inventariovial/default2.aspx>.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30.
- Norma Técnica de edificaciones E.030. 2018. Aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada por Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA.
- Orellana, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Park, C.B. (2015). Data acquisition. Retrieved 23 June, 2015, from <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>
- Park, C.B. (2014). MASW for geotechnical site investigation. The Leading Edge, 32(6):656-662.



## Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del distrito de Tambogrande

- Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW)—active and passive methods. *The Leading Edge*, 26 (1), 60–64.
- Park, C. B., Miller, R. D. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves *Geophysics* 64 800-8.
- Perrone, A., Iannuzzi, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Rizzo, E., and Sdao, F. (2004). Highresolution electrical imaging of the Varco d'Izzo earthflow (southern Italy), *J. Appl. Geophys.*, 5 56, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004
- Pike, R. J., I. S. Evans, and T. Hengl. 2009. *Geomorphometry: A brief Guide*. *Dev. Soil Sci.* 33: 3-30.
- 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).
- Reynolds, J.M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Salcedo, J., F., (2012) - Geología del cuadrángulo de Las Lomas. Serie A: Carta Geológica Nacional. Boletín N° 146. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico- INGEMMET.
- Samouëlian, A., I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand y G. Richard, (2006). Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil Till Res* 83, 173-193
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), (2018). <http://www.senamhi.gob.pe/>
- Sieberg, A. (1930). Los Terremotos en el Perú. Capítulo VI, Geología del Perú de G. Steinmann, Heidelberg Carl Winster Universitat-Shuchhan-Lunc, p. 406.
- Serrano G., Marco V., (2003) – Estudio Geológico – minero de la hoja 10 C-II, escala 1:50 000. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- 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.
- 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.
- Tarbuck, E., D. Lutgens, F., K., (2005) - *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física* Pretince Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.



- Tavera, H., Bernal, I., Condori, C., Ordaz, M., Zeballos, A. y Ishizawa, O. (2014) Re-evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú. Instituto Geofísico del Perú. P. 91.
- Tavera, H. y Buforn, E. (2001). Source Mechanism of Earthquakes in Perú, *Journal of Seismology*, 5, 519-539.
- Tavera, H., Agüero, C y Fernández, E. (2016). Catálogo general de isosistas para sismos peruano. Instituto Geofísico del Perú. Pag. 196
- Terzaghi, K. Peck, B., G. & Mesri, G., (1948) – Soil mechanics in engineering practice, New York: Wiley.
- Varnes, D.J., (1958) - Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., *Landslides and Engineering Practice*, Highway Research Board Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Washington, D.C. 20-47 p.
- Varnes, D. J., (1978) - Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster R. L. y Krizek, R. J., ed. *Landslides analysis and control*: Washington, D. C. National Academy Press, Transportation Research Board Special report 176. 9-33 p.
- Vilchez, et al, (2013) - Riesgo Geológico En La Región Piura. Ingemmet.
- 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.
- Zinck, J. & Valenzuela, C., (1990) – Soil geographic database: structure and application examples. *ITC Journal*, 1990 (3), 270-294



## ANEXO I

### Perfiles Sísmicos MASW



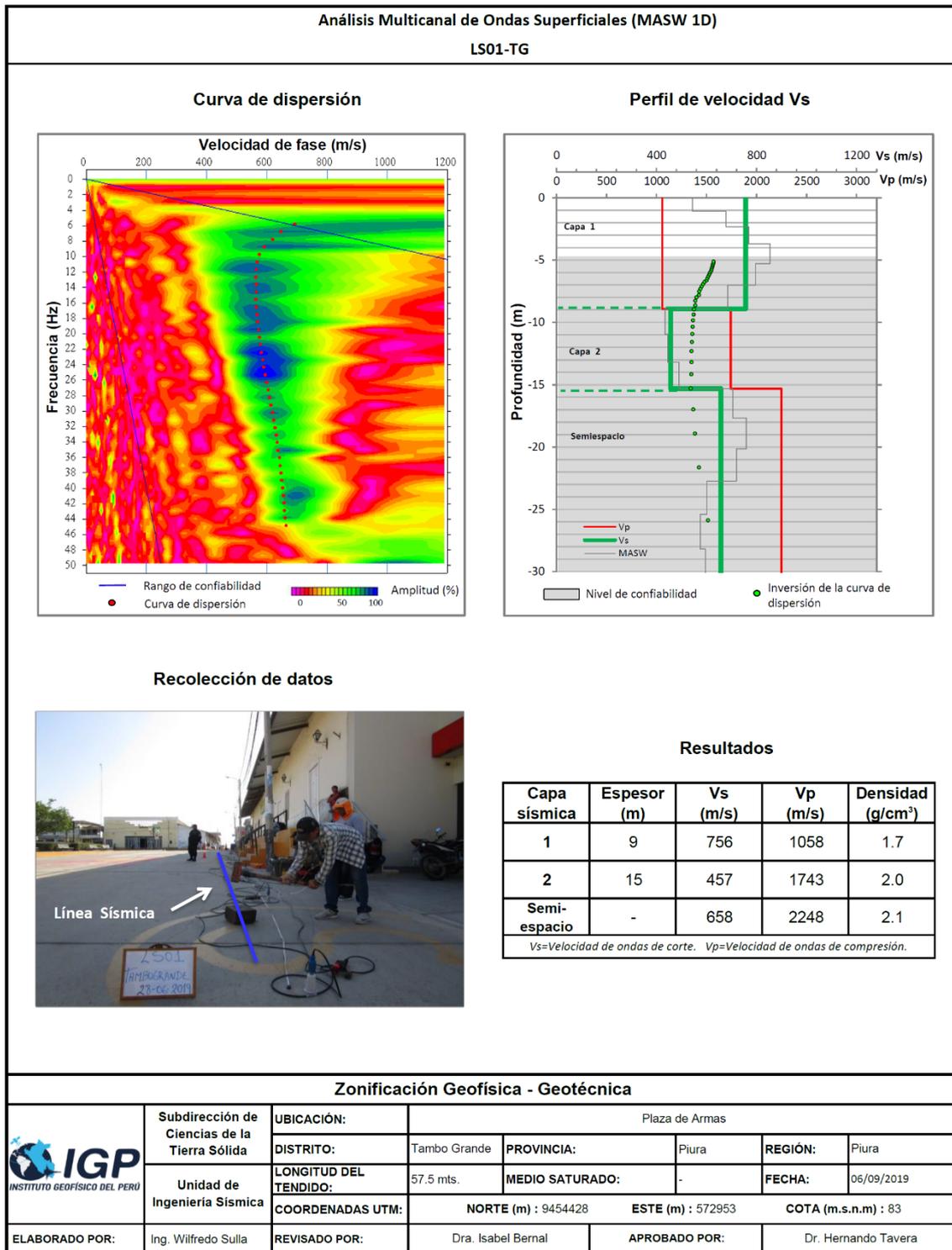


Figura 15. Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS01-TG.

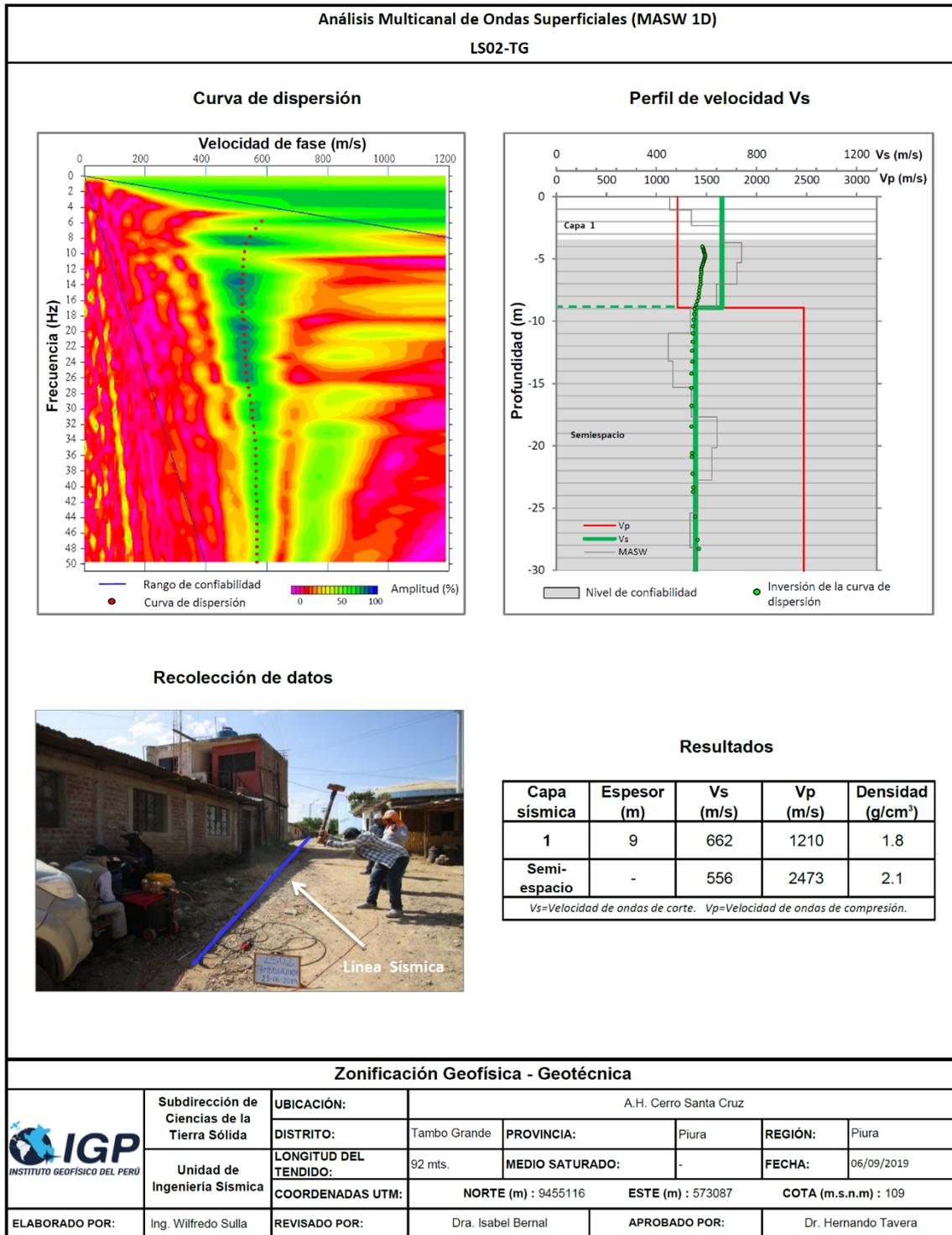


Figura 15. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS02-TG.

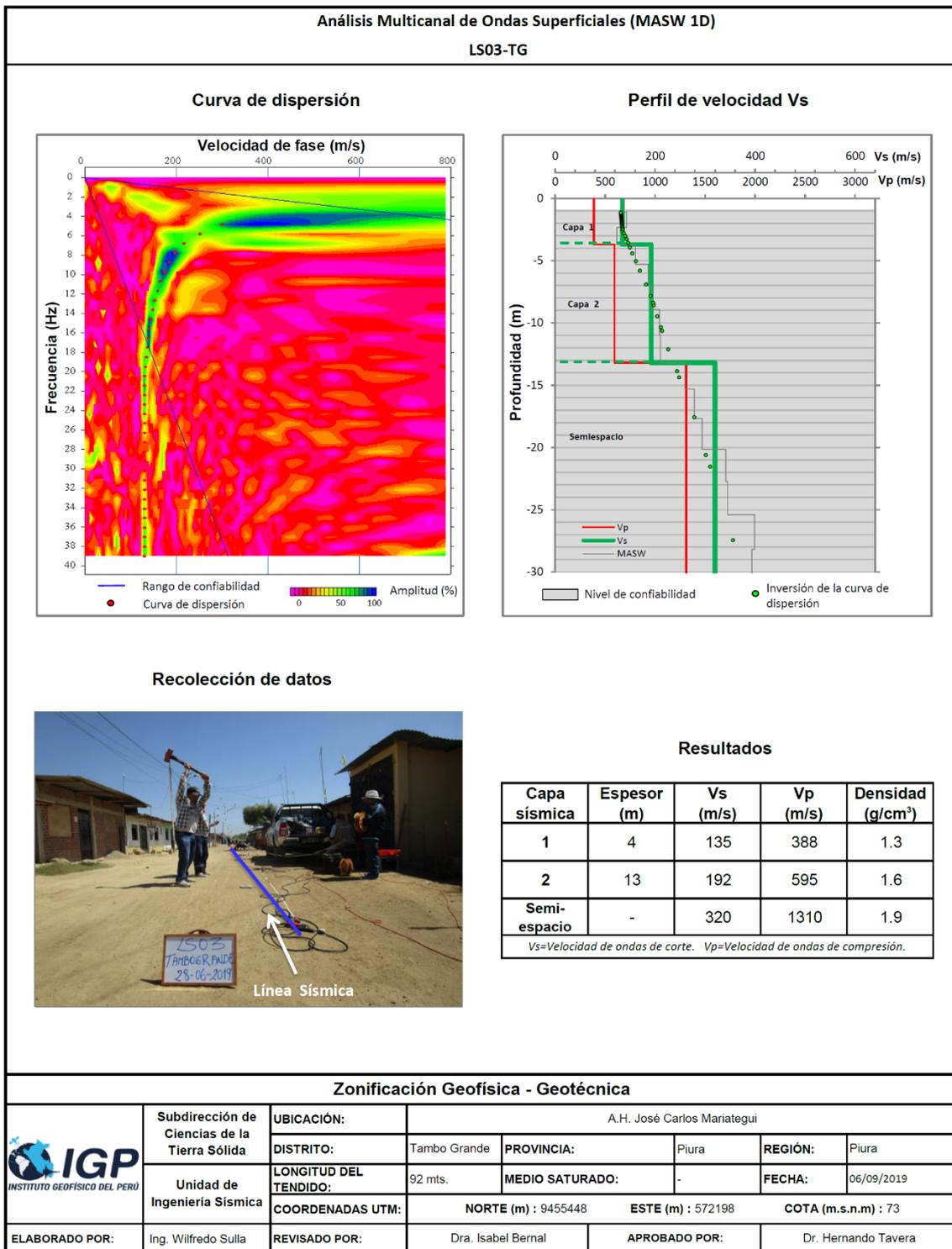


Figura 15. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS03-TG.

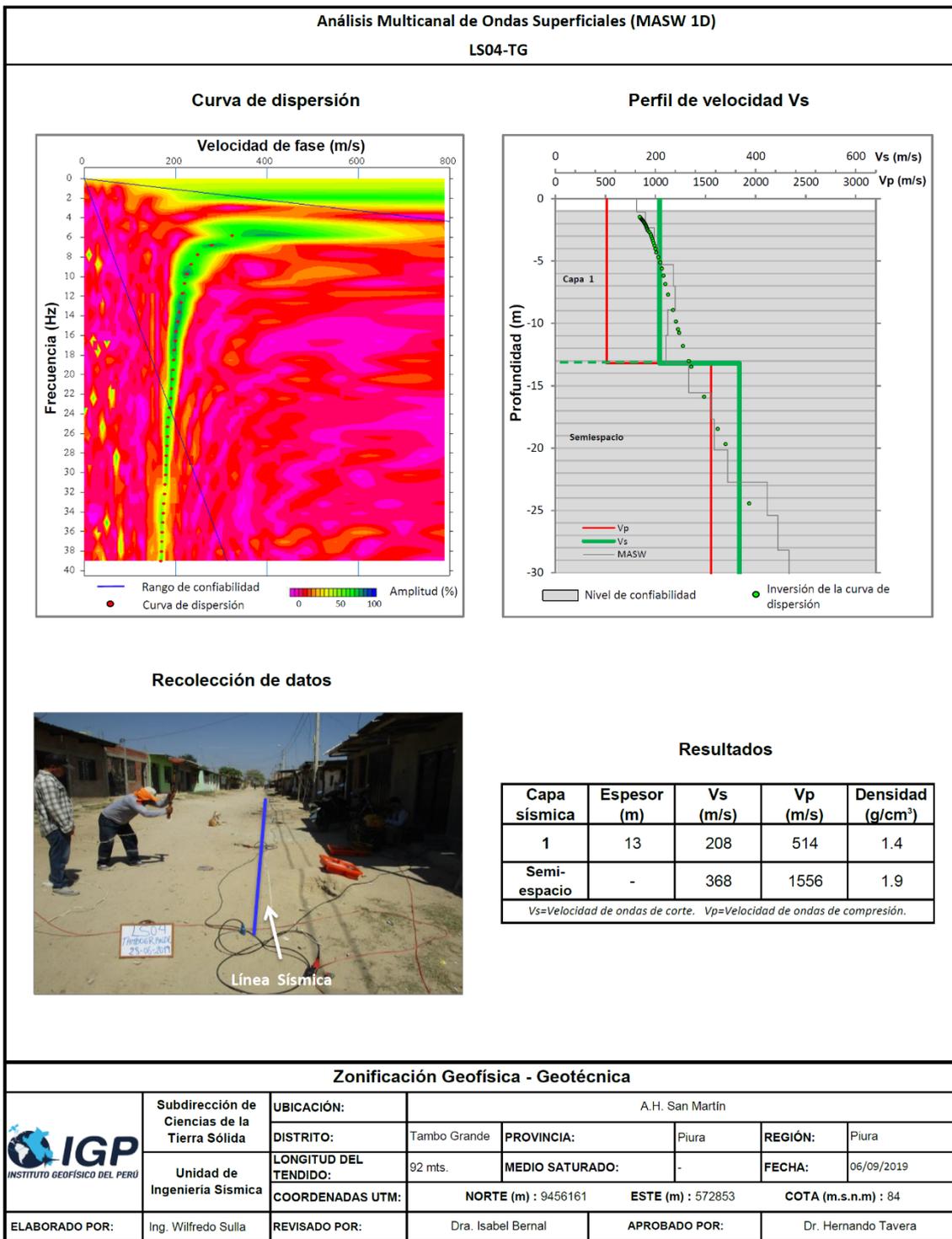


Figura 15. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS04-TG.

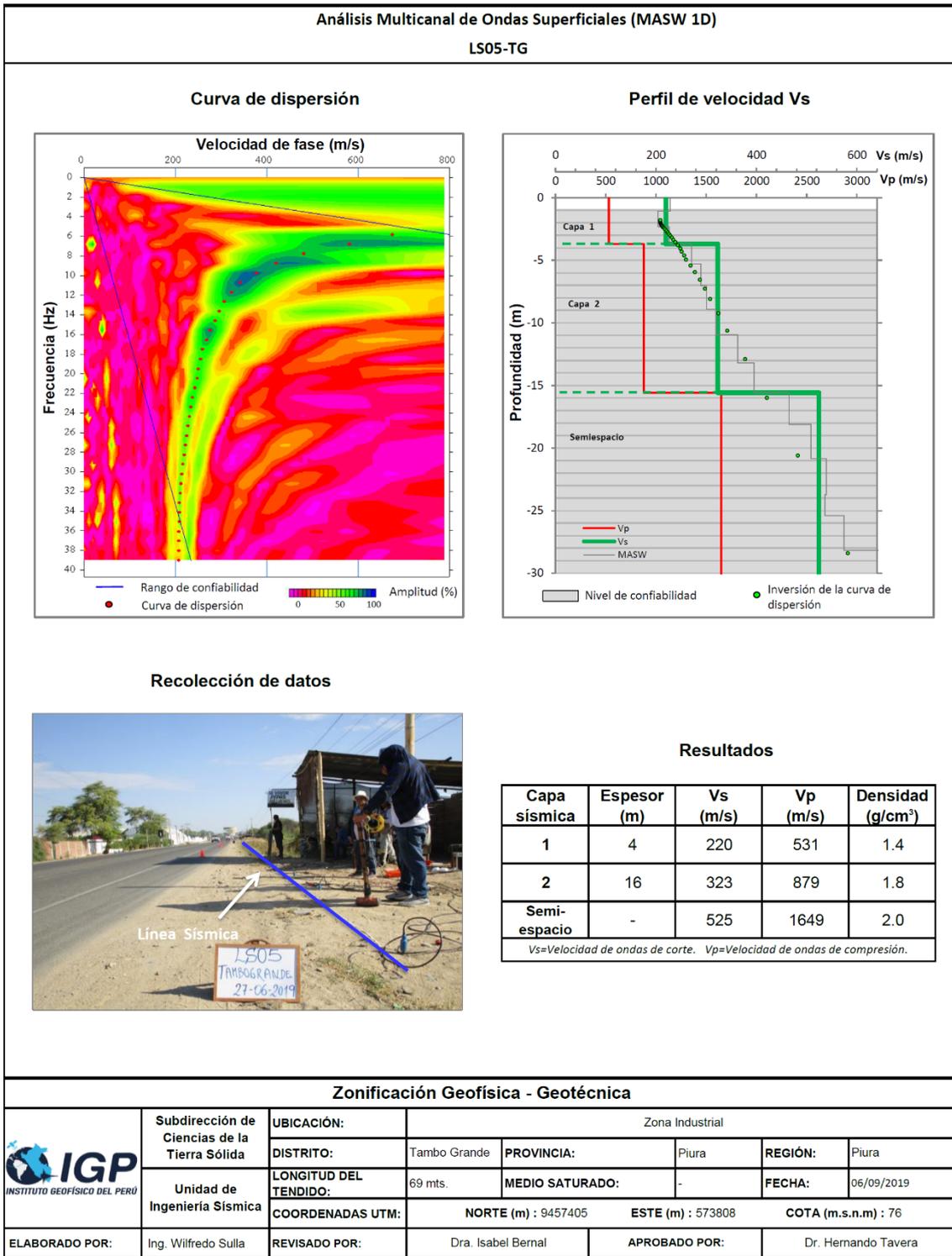


Figura 15. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS05-TG.

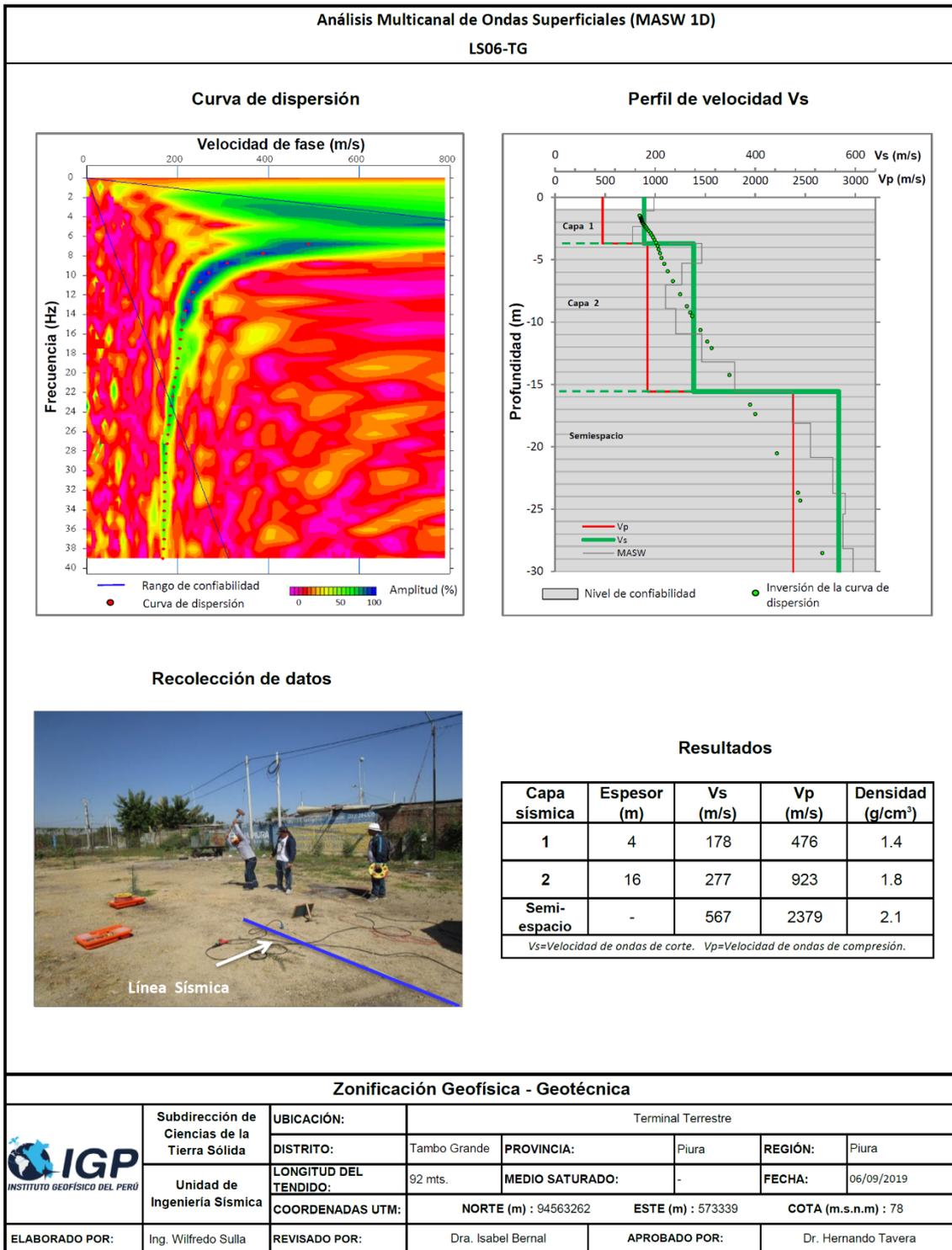


Figura 15. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS06-TG.

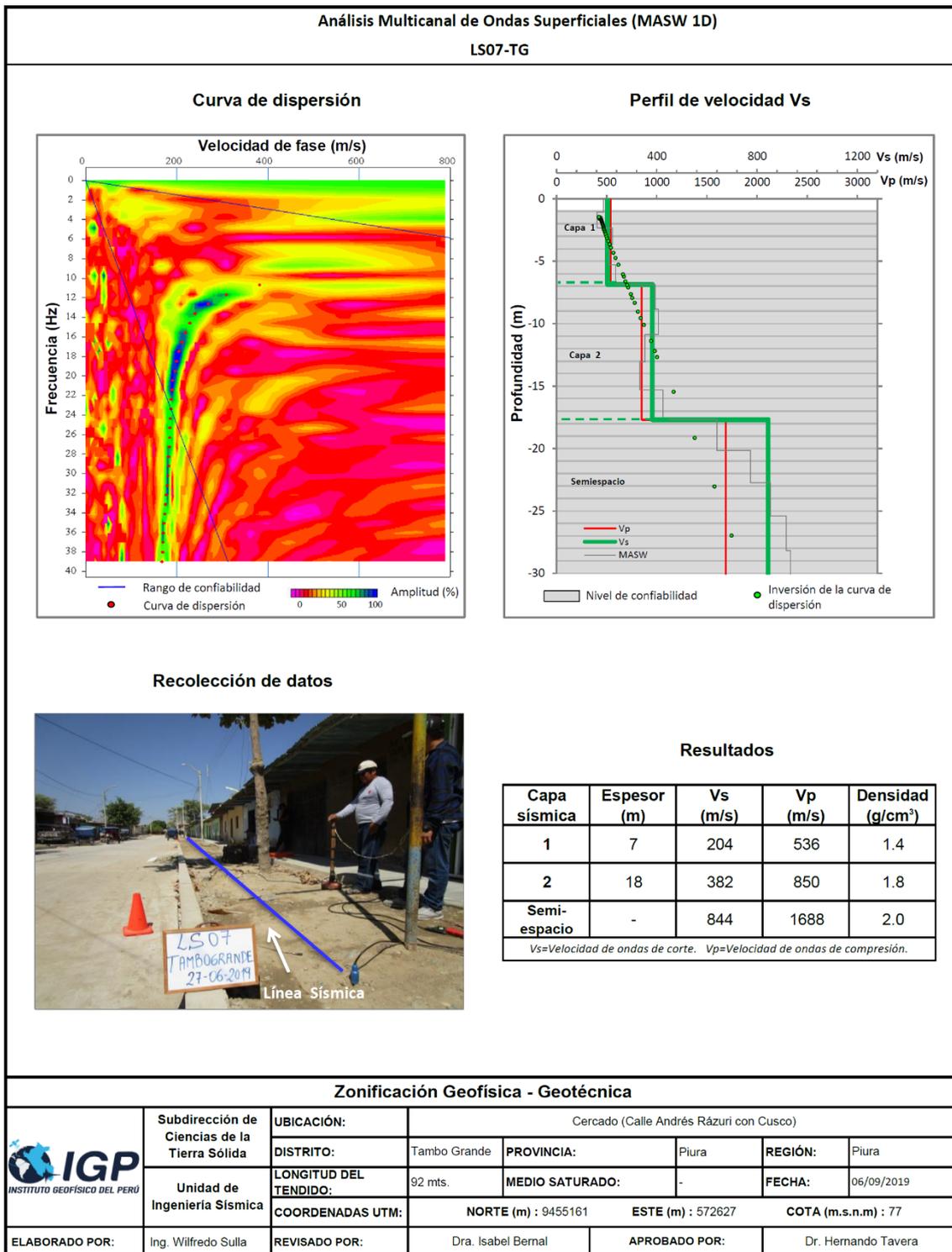


Figura 15. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS07-TG.

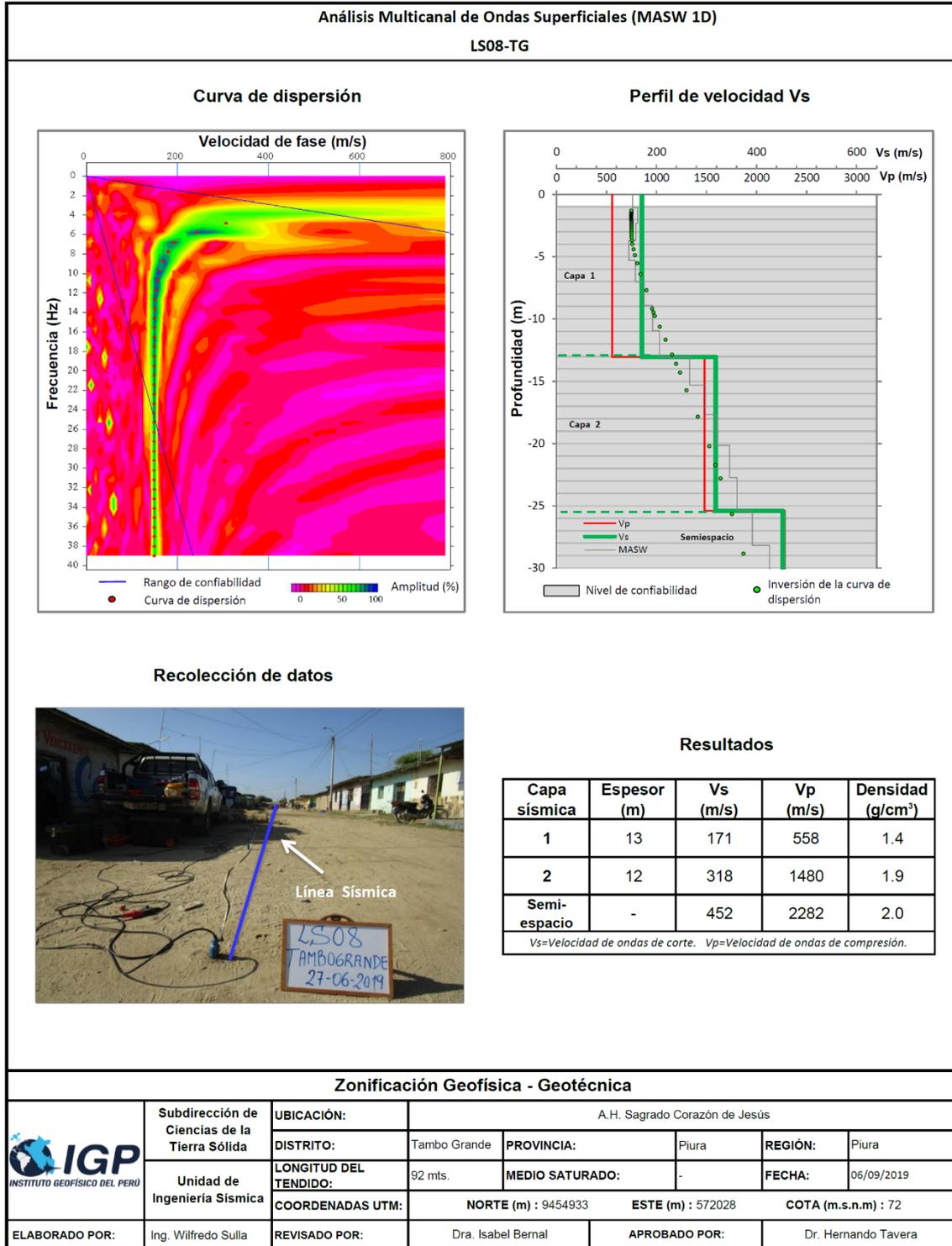


Figura 15. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS08-TG.

## ANEXO II

### Perfiles de Tomografía Eléctrica ERT



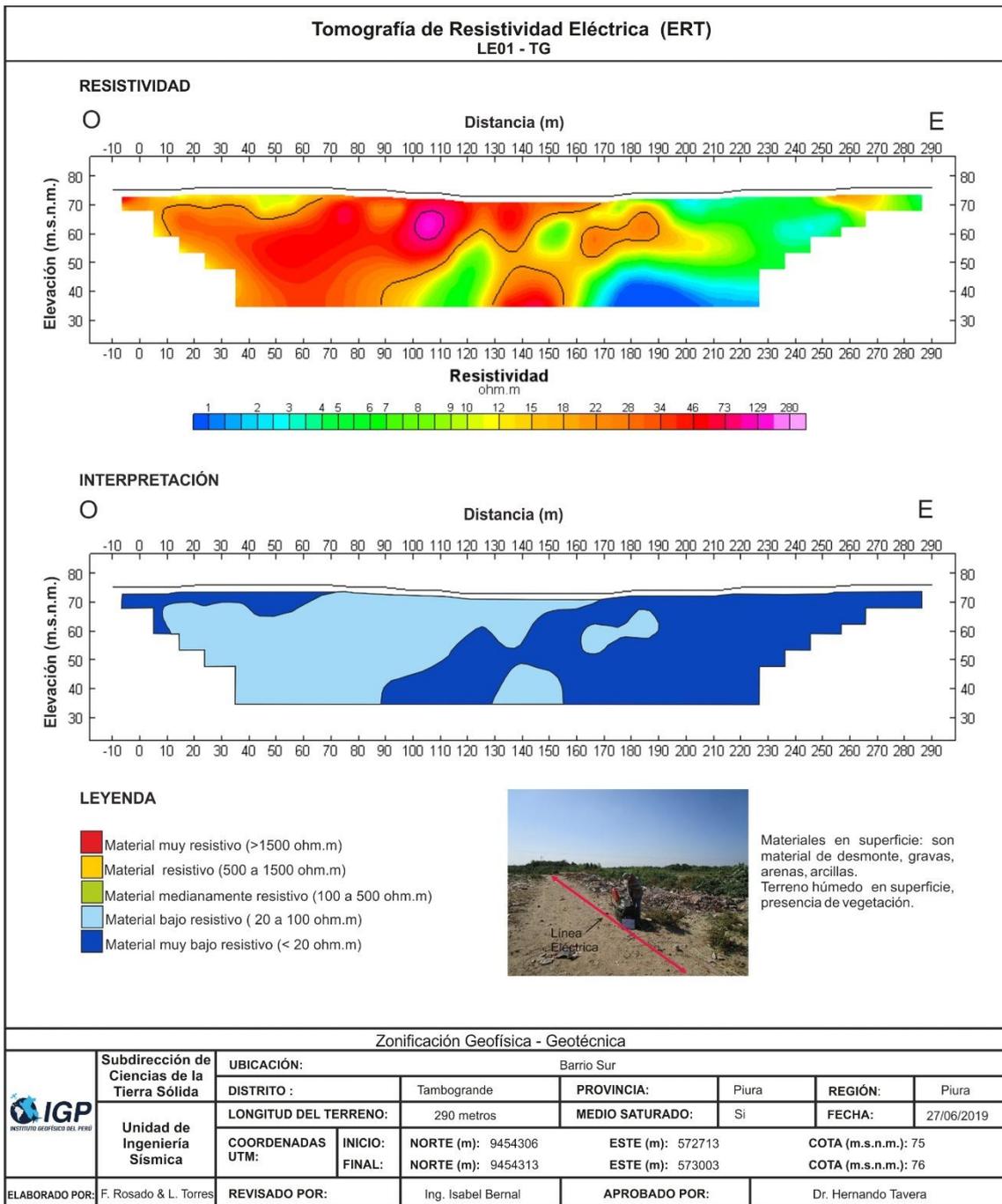


Figura 21. Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-TG

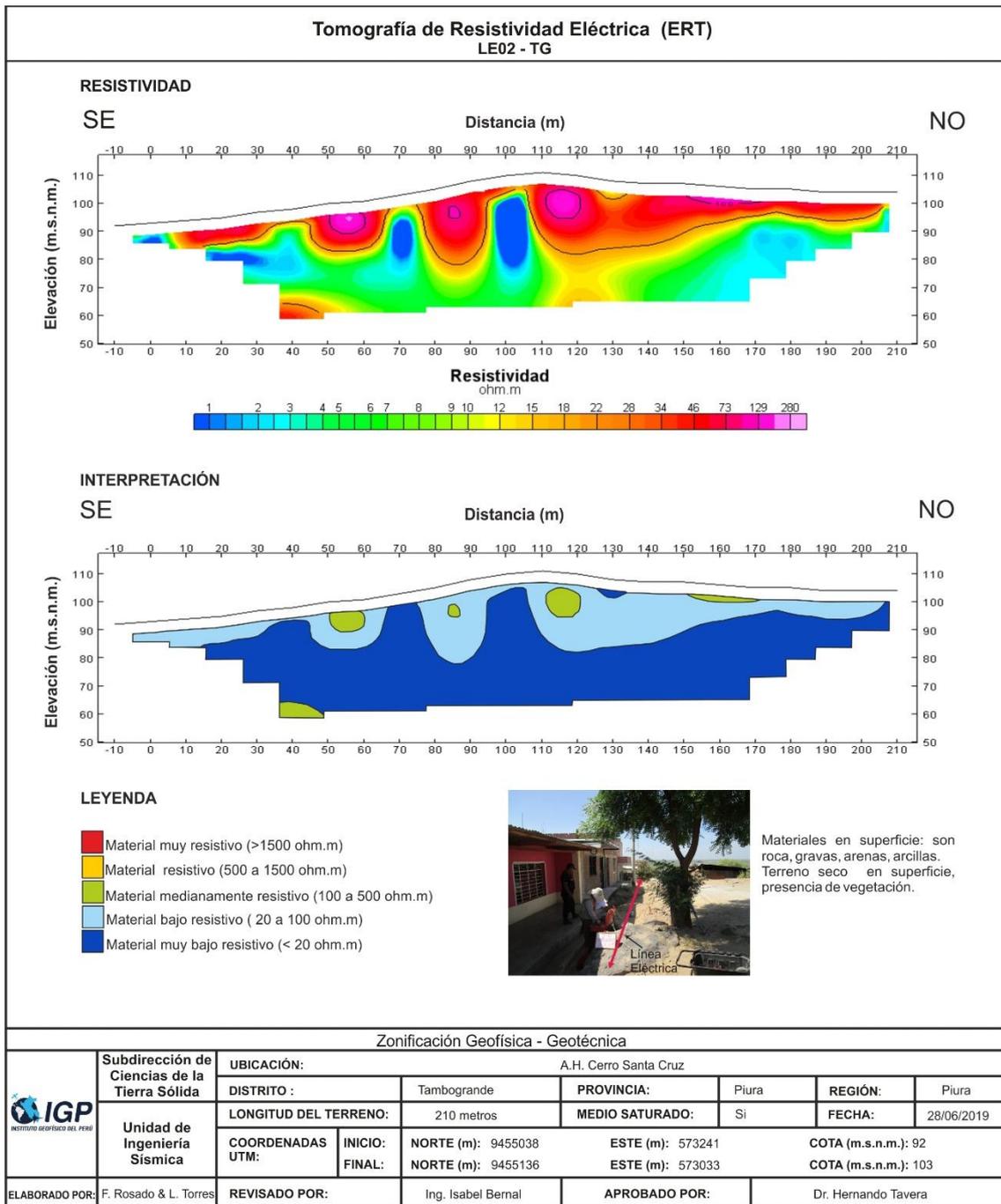


Figura 21. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE02-TG.

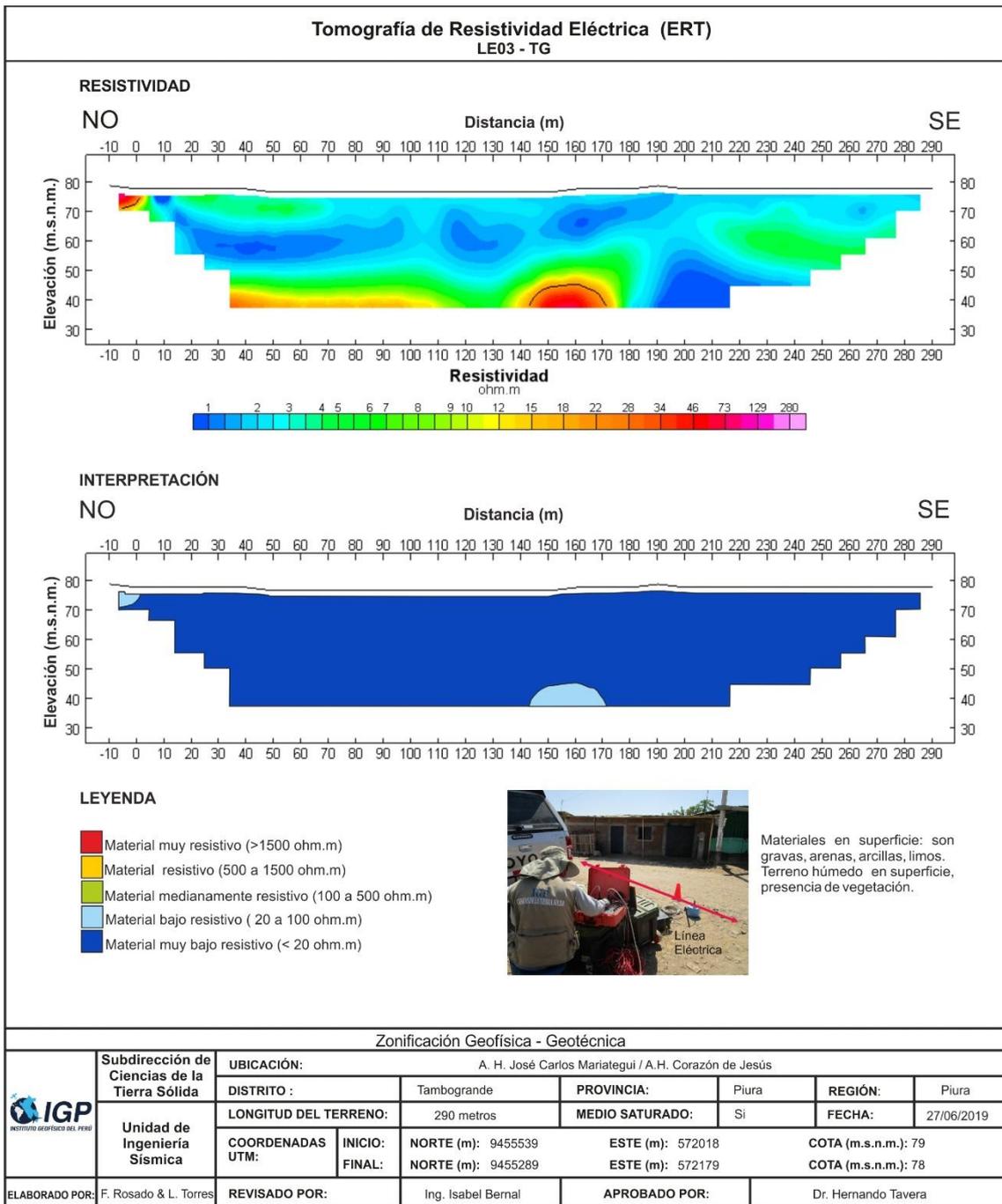


Figura 21. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE03-TG.

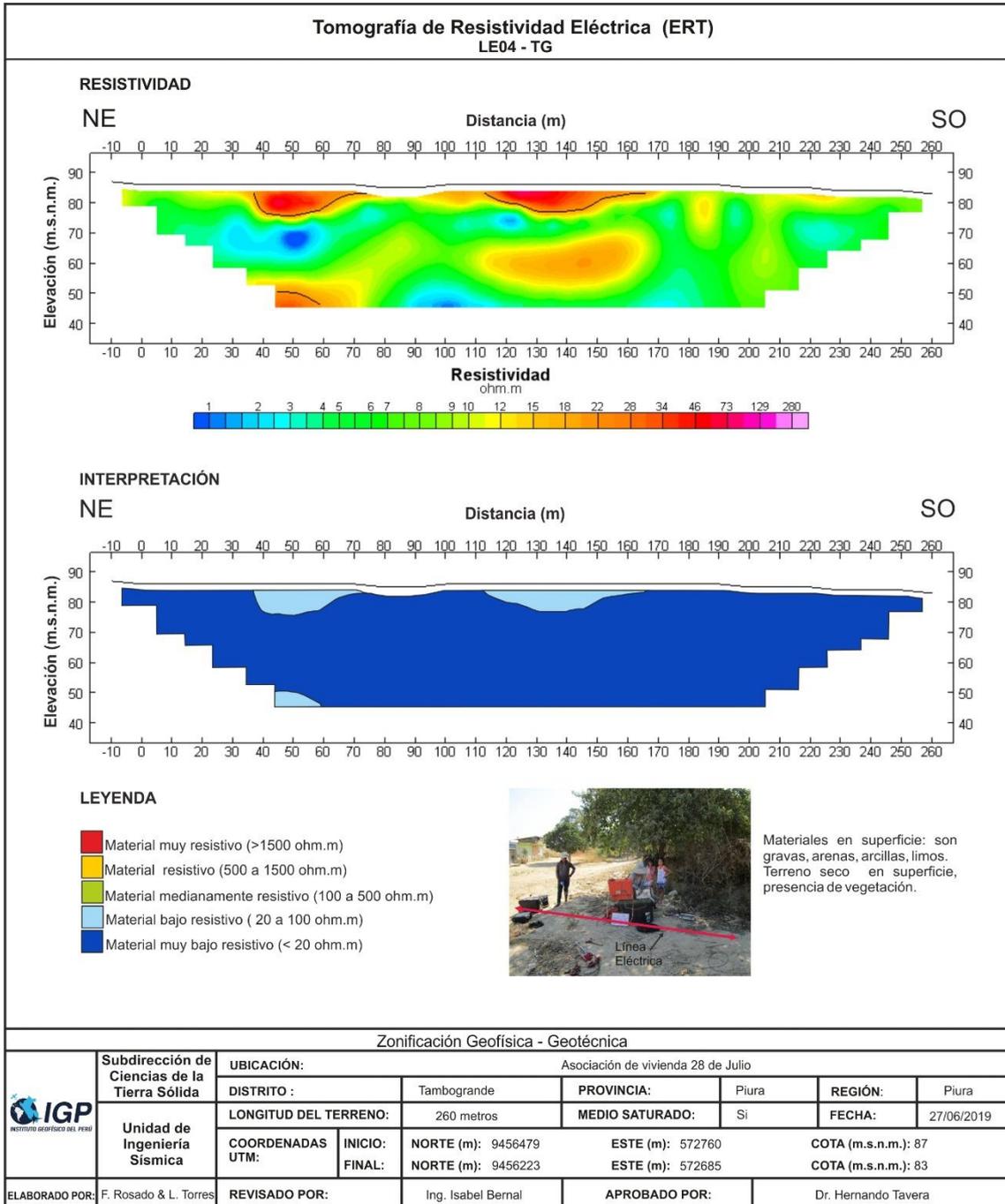


Figura 21. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE04-TG.

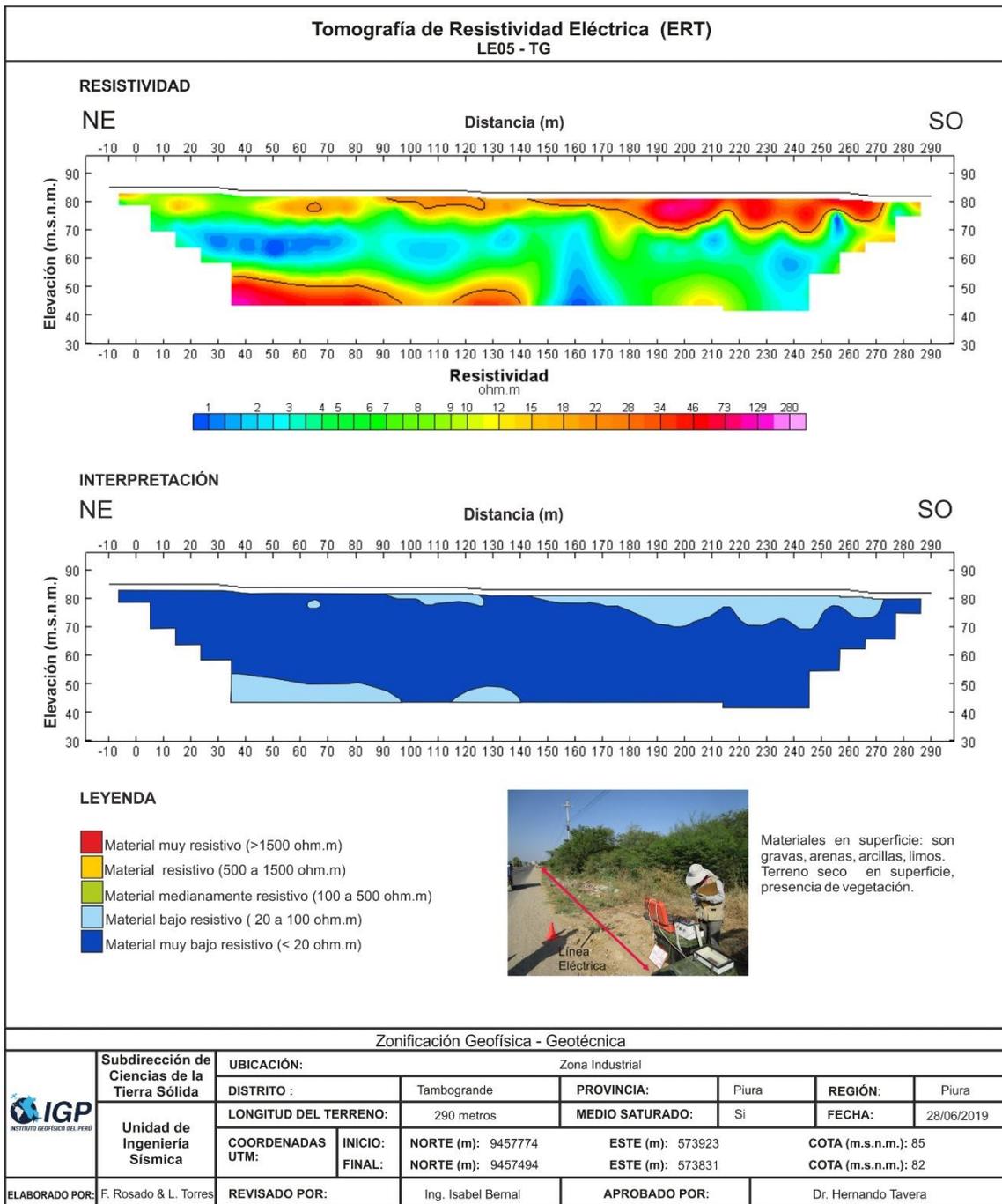


Figura 21. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE05-TG.