



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



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

Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica



ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DEL DISTRITO DE TAMBOGRANDE

Lima - Perú

2020

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Geofísica del distrito de Tambogrande

Juan Carlos Gomez

Caracterización Geológica y Geotécnica del distrito de Tambogrande

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Juan Carlos Villegas Lanza / Segundo Ortiz Yovera / Pilar Vivanco López / Víctor Alarcón Cervantes / Mariana Vivanco Manrique / Héctor Lavado Sánchez / Giovana Gutiérrez Medina / Belinia Baez Castro

Equipo de Evaluación Geofísica: Kelly Pari Rondón / Liliana Torres Velarde / Fabiola Rosado Moscoso / Luz Arredondo García / Wilfredo Sullá Huilca / Javier Oyola Coral / Jorge Salas Coral

Personal de apoyo Augusto Cárdenas Ausejo/ Roberth Yupanqui Zelada

Personal administrativo: Marisol Enríquez Huamán/ Esther Campos Córdova

Este Informe ha sido producido por:

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

ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTECNICA DEL DISTRITO DE TAMBOGRANDE

Provincia y Región de Piura

Lima – Perú
2020

RESUMEN

En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “Generación de Estudios Territoriales de Peligros Sísmicos” obteniéndose como resultado final la Zonificación Geofísica - Geotécnica de las áreas urbanas de Máncora (Distrito de Máncora), La Arena (distrito de La Arena), La Unión (distrito La Unión), Morropón (Distrito Morropón), Talara (Distrito Pariñas), Querecotillo (Distrito Querecotillo), Las Lomas (Distrito de Las Lomas) y Tambogrande (Distrito de Piura). Estos estudios permiten conocer el Comportamiento Dinámico de los suelos a partir de la recolección de datos de campo utilizando técnicas geofísicas, sísmicas, geológicas y geotécnicas.

El análisis e interpretación de los datos obtenidos permiten tener como resultado la “Zonificación Geofísica – Geotécnica de los suelos del distrito de Tambogrande”, información primaria que debe ser utilizada por ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos identificados en este estudio. Este documento técnico debe constituirse como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.

INDICE

RESUMEN

ÍNDICE

PARTE 1: Presentación

1. Introducción

1.1. Objetivo

1.2. Historia

1.3. Accesibilidad y clima

1.4. Economía

1.5. Estudios Previos

2. Condiciones locales de sitio

2.1. La Norma Técnica E.030

PARTE 2: Caracterización geológica y geotécnica del distrito de Tambogrande.

PARTE 3: Caracterización geofísica del distrito de Tambogrande.

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS: Todo el material gráfico está contenido en los Anexos

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 las siguientes áreas urbanas (Figura 1):

- **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.

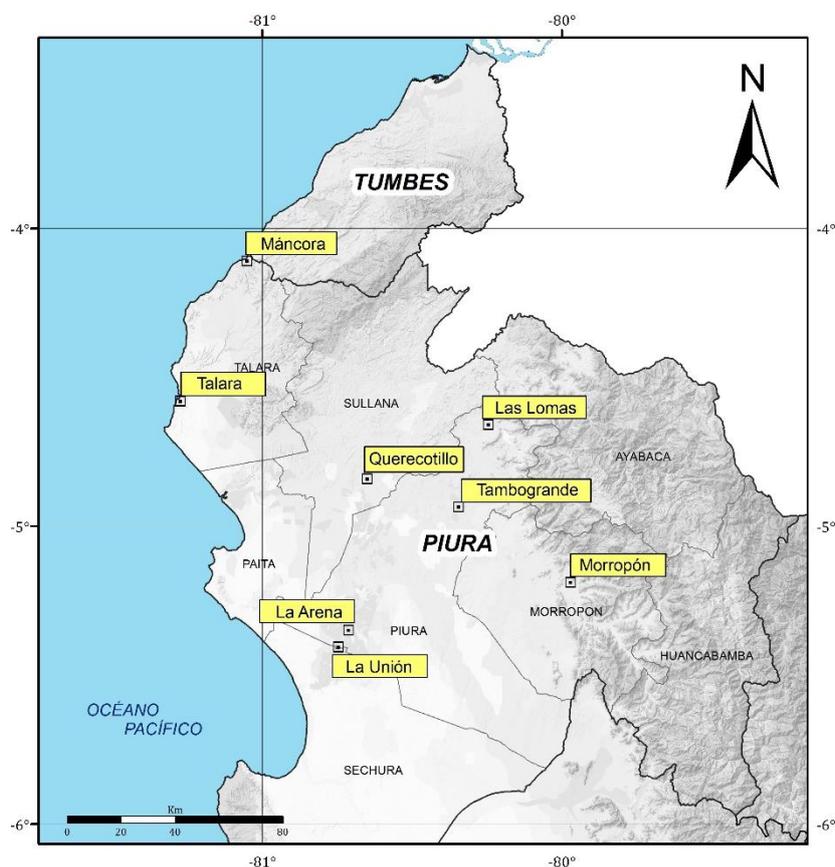


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades intervenidas para realizar la Zonificación Geofísica – Geotécnica de suelos.

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 datos sísmicos, geofísicos, geológicos, y geotécnicos. Los resultados que se obtienen permiten comprender que no hay suelo malo y que solamente se debe considerar el diseño y la construcción de viviendas y estructuras adecuadas para cada tipo de suelo. Dentro de este contexto, la población del distrito de Tambogrande

debe comprender que existen tres (3) reglas para construir una casa sismorresistente (www.acerosarequipa.com):

a.) Buenos Planos. Los planos de construcción deben ser hechos por profesionales con pleno conocimiento de las características dinámicas del suelo descritas en los Mapas de Zonificación Geofísica – Geotécnica.

b.) Buenos Profesionales. Para la construcción de las viviendas y/o obras de ingeniería se debe contar siempre con la supervisión de ingenieros civiles, arquitectos, etc.

c.) Buenos materiales. Solo la calidad de los materiales que se utilizan en la construcción permitirá tener la seguridad de que las estructuras fueron correctamente construidas.

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

1.1. Objetivos

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el distrito de Tambogrande, provincia y región de Piura, a partir de la integración de los resultados obtenidos con diferentes métodos sísmicos, geofísicos, geológicos y geotécnicos. Asimismo, es de interés del presente estudio que las autoridades dispongan de un documento técnico que les ayude en el

desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión del ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de la ciudad.

1.2. Historia

Cuenta la historia que los incas construyeron los caminos reales para comunicarse entre la capital del imperio, Cusco y Quito. En el trayecto también instalaron Tambos, denominados en aquella época Tampus, eran lugares de descanso, abastecimiento, posada o alojamiento de los caminantes, viajeros y chasquis. Poco a poco se fueron poblando hasta convertirse en centros administrativos, productivos y militares (web Municipalidad de Tambogrande)..

En este camino del inca existía un lugar de tránsito que fue cobrando notable importancia; era el eje que comunicaba Poechos y la costa norte (Piura) en la ruta a Quito. En este sitio se construyó el TAMBO más GRANDE de la región. Con el correr de los años fue llamado Tambo Grande. Fue en esta zona donde se levantó Pelingará, la única fortaleza de piedra de que hasta hoy se tiene noticia en la antigua jurisdicción Tambograndina.

El 27 de Setiembre de 1532, Francisco Pizarro llegó a Tambogrande. En su recorrido fueron aproximadamente 160 españoles los que sometieron a los pueblos y se repartieron las tierras que encontraron a su paso. Las tierras de Tambogrande fueron adjudicadas al español Miguel Salcedo Uribe.

Posteriormente, el 12 de setiembre de 1595 se marca el inicio legal de las haciendas en Tambogrande, cuando Miguel Salcedo Uribe, hijo del conquistador, pidió la adjudicación de las tierras de Pelingará ante el Juez Real Visitador capitán García Paredes Ulloa. Después se convierte en propietario de 4 sitios y corrales de ganado en Suipirá, Peicará, Lucutín (Malingas) y Tambo de los Ahorcados.

En 1638, Miguel Salcedo Uribe vende las tierras de Bonapira a Diego Benites. Hasta más allá de la mitad del siglo XVII, la población se mantuvo dispersa entre las haciendas del Medio Piura. Sólo a partir de 1783 se da comienzo a la vida urbana gracias al cura vicario de Piura y al obispo Baltazar Jaime Martínez de Compañón y Bujanda, quien el 8 de Julio fundó el pueblo con el nombre de San Gabriel con 523 habitantes aproximadamente. Los hermanos Del Castillo cedieron el terreno más estéril de su hacienda, un cerro y la zona adyacente, para el pueblo. La condición fue que se pagara alquiler por el suelo y no intervenir en el potrero. La nieta de Mariana Del Castillo, doña Josefa Echeandía Ramos, se casó en 1834 con el Coronel Andrés Rázuri, militar de la Independencia.

El 8 de octubre de 1840 es creado por decreto el distrito de TAMBOGRANDE. Mediante Ley de 30 de marzo de 1861 se ratifica el decreto anterior. Su capital es Tambogrande que en 1866, mediante decreto se eleva a categoría de pueblo, disponiéndose la expropiación de los terrenos necesarios y el pago a los propietarios. El 11 de diciembre de 1866, el prefecto Díaz y las autoridades locales recibieron el terreno cedido por Andrés Rázuri a fuerza de ley.

En 1852. Antonio Raimondi en su viaje al Perú, de paso por Tambogrande, recogió algunas muestras como “limonita” (peróxido de hierro hidratado) con óxido de manganeso. De esta manera descubrió los yacimientos de hierro de Tambogrande. A partir de ahí se despertó la ambición privada y gubernamental de explotar la mina, que después se comprobó era polimetálica, pues había oro, plata, cobre y otros metales. La Ley N° 5898, promulgada el 22 de noviembre de 1927 por el presidente Augusto B. Leguía, expresamente indica en su Artículo 1° “Elevase a la categoría de villa, los pueblos de Chulucanas, Amotape, Tambo Grande, La Huaca y Morropón, del departamento de Piura”. En la Figura 2 se muestra una captura fotográfica de la Plaza de Armas de Tambogrande.



Figura 2: Vista panorámica de la Plaza de Armas de Tambogrande.

1.3. Accesibilidad y Clima

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. (Figura 3).

El acceso a la ciudad de Tambogrande, es posible realizarla mediante vía aérea: Lima-Piura (1:30 horas) o por vía terrestre: Lima-Piura (988.70 km), a través de la carretera Panamericana Norte. Tanto por la vía aérea o terrestre, luego de llegar a la ciudad de Piura, se continua por la carretera afirmada Piura – Tambogrande (49.70 km).

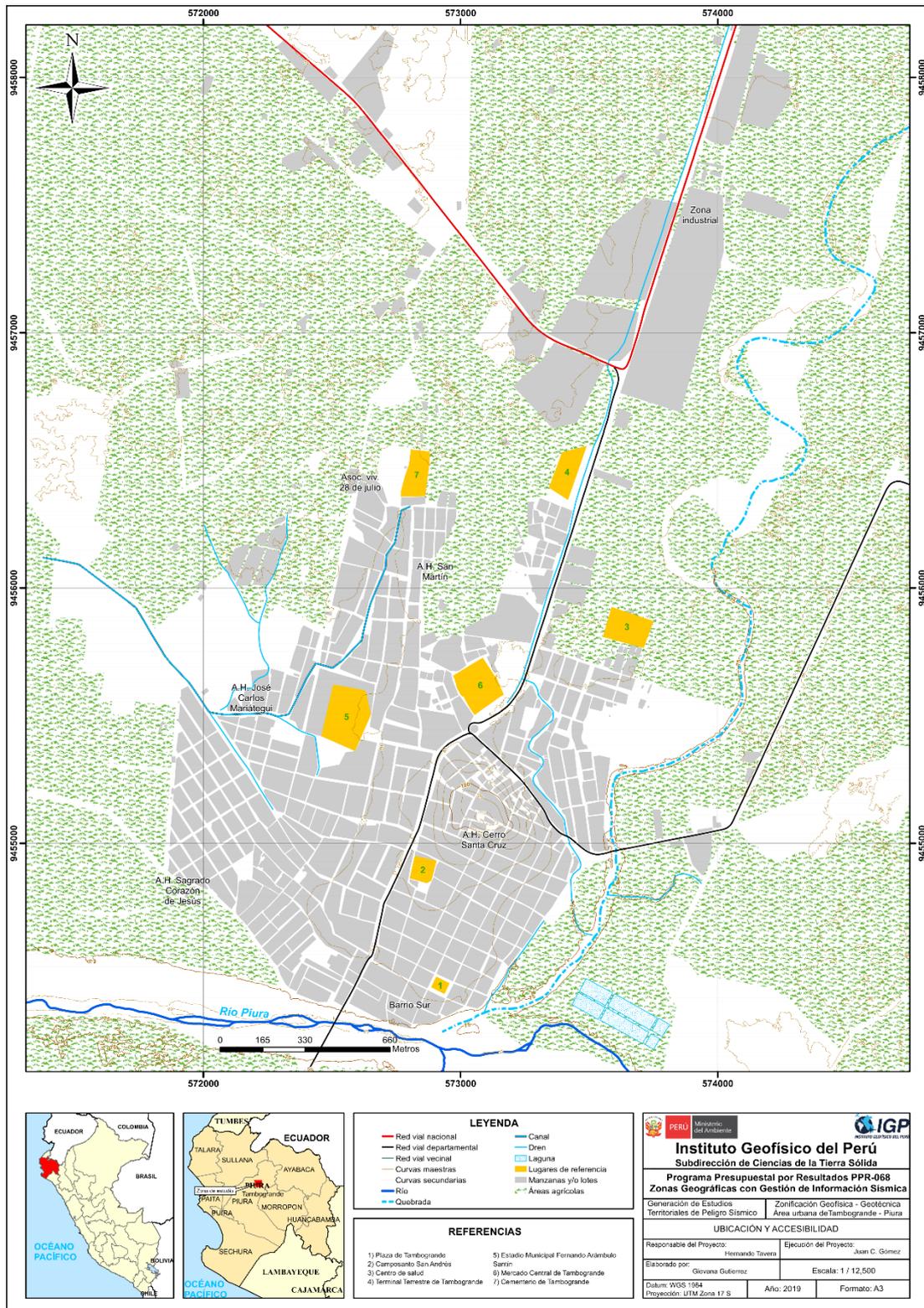


Figura 3: Mapa de ubicación geográfica del distrito de Tambogrande.

Para determinar el clima en este distrito, se han tomado los datos referenciales de la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) de 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. Cabe mencionar que estos datos meteorológicos varían cuando se presenta el fenómeno El Niño.

1.4. Economía

El valle de San Lorenzo, donde se localiza Tambogrande, cuenta con 42 mil hectáreas de producción agrícola (mangos, limones y otros), que abastecen el mercado externo e interno, así también existen bosques dealgarrobos. El valle brinda empleo permanente a 18 mil personas entre productores y trabajadores agrícolas, generándose ingresos anuales por US\$ 150 millones. La agricultura podría ser considerada como la fuente económica más importante en el distrito de Tambogrande.

1.5. Estudios previos

Para el distrito de Tambogrande se ha recopilado información acerca de 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; con el fin de ser consideradas para cumplir con los objetivos del presente estudio, además de complementar los resultados a obtenerse. Entre los principales documentos técnicos consultados, se tiene:

- Salcedo, 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, ver Figura 4.

- 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 5).

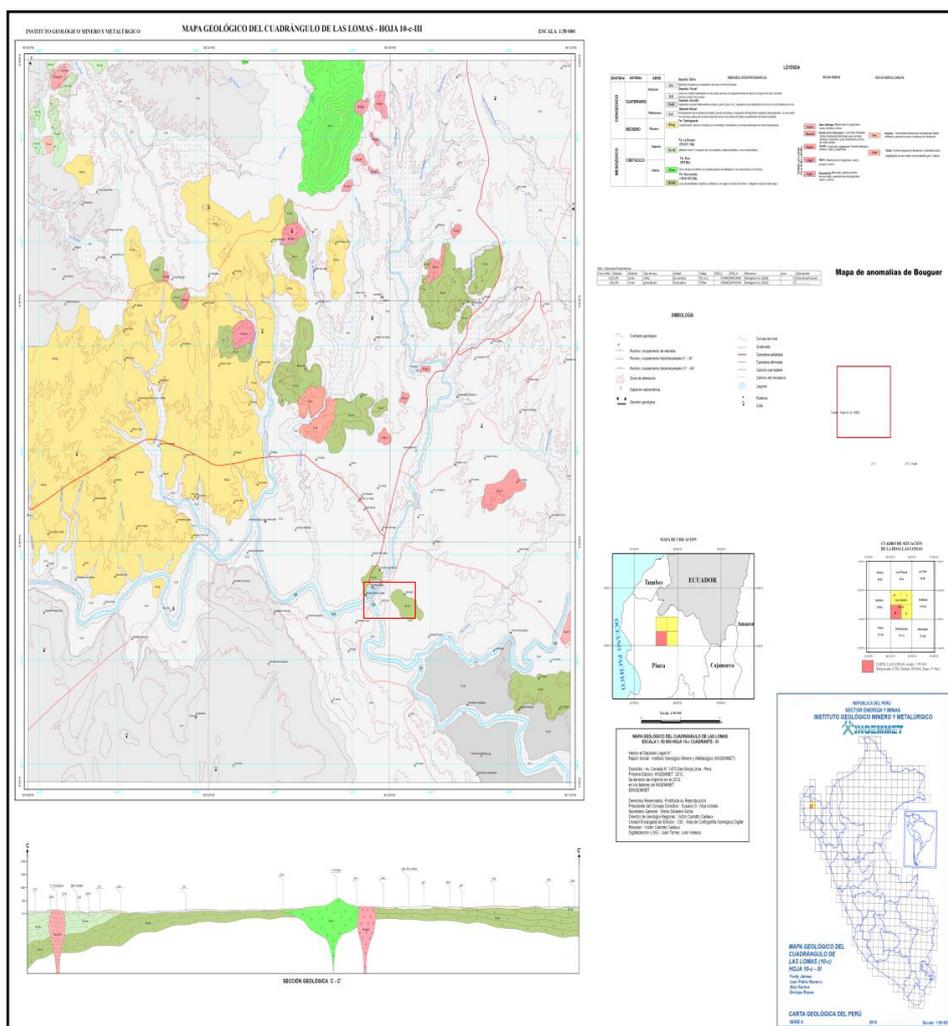


Figura 4: Geología regional, el área de estudio comprende el cuadrado rojo, Fuente: INGENMET, 2010.

- Municipalidad distrital de Tambogrande, Piura, (Md, Tambogrande 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.

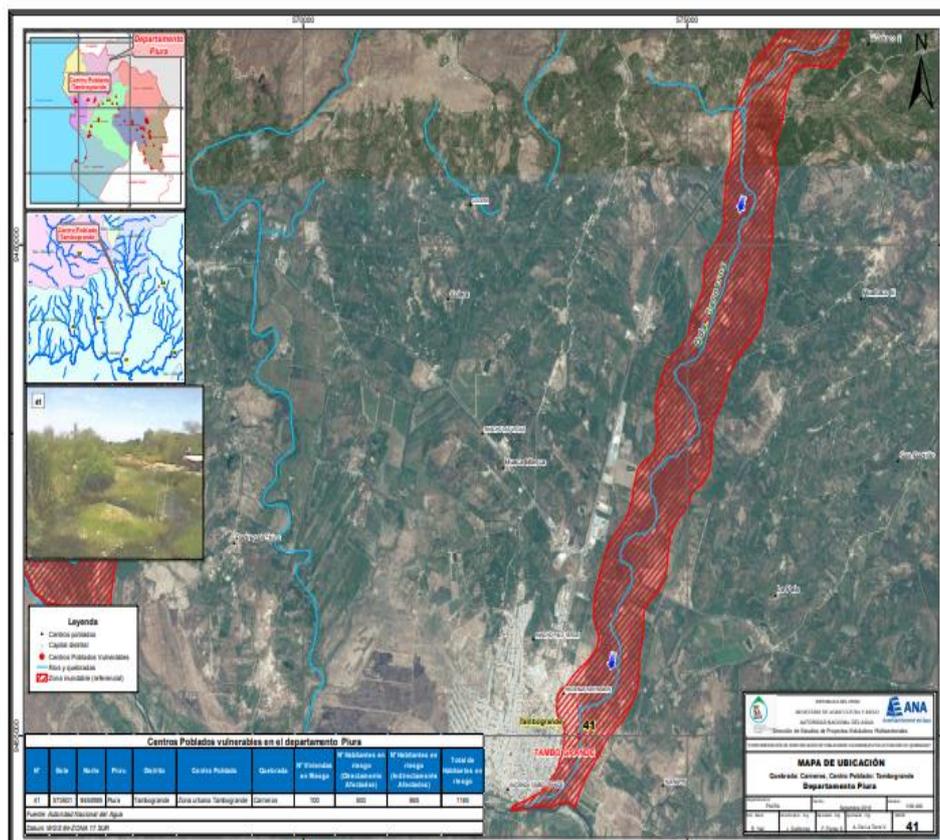


Figura 5: Mapa de Ubicación de poblaciones vulnerables por activación de la quebrada Carneros, distrito de Tambogrande - Piura, Fuente: ANA.

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 tugurización 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 punto se hace una descripción del riesgo por zonas.

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. Asimismo, en este informe se adjuntan dos mapas de riesgos, uno para zonas rural y otros para zonas urbanas, ver Figuras 6 y 7.

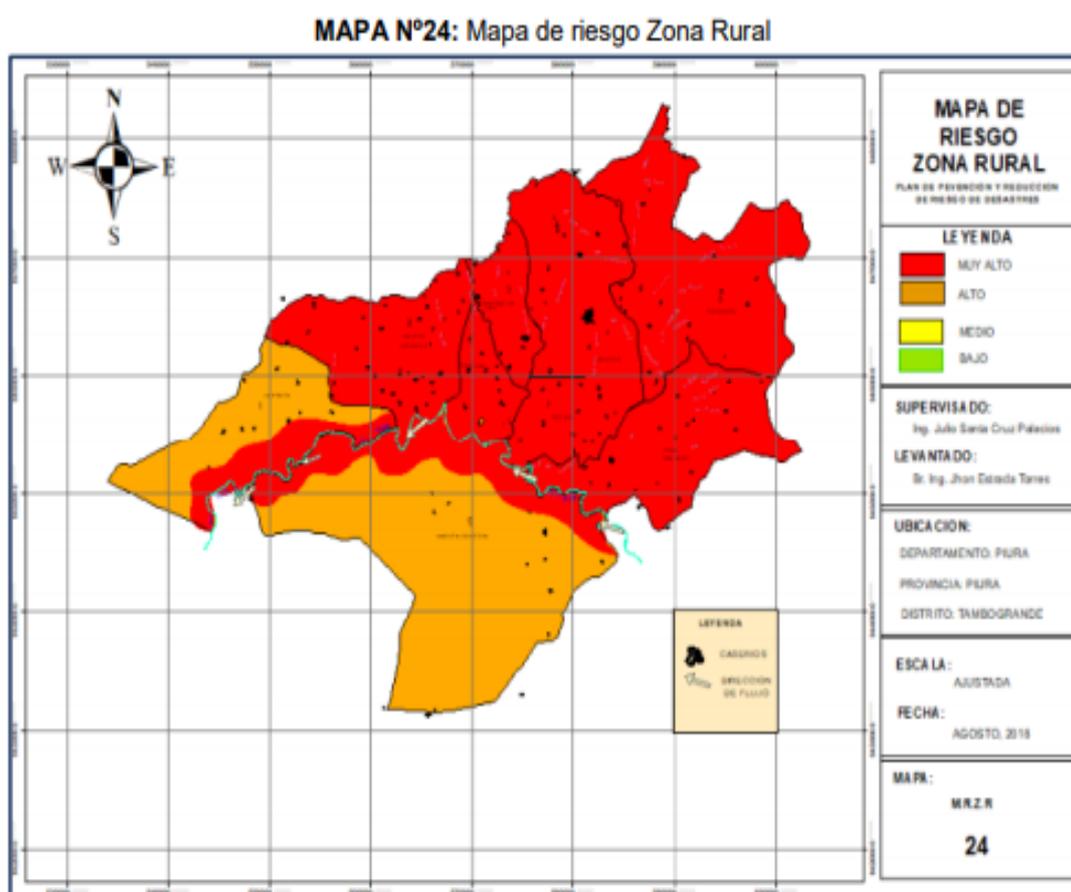


Figura 6: Mapa de riesgo zona rural, fuente: Equipo técnico PPRRD distrital.

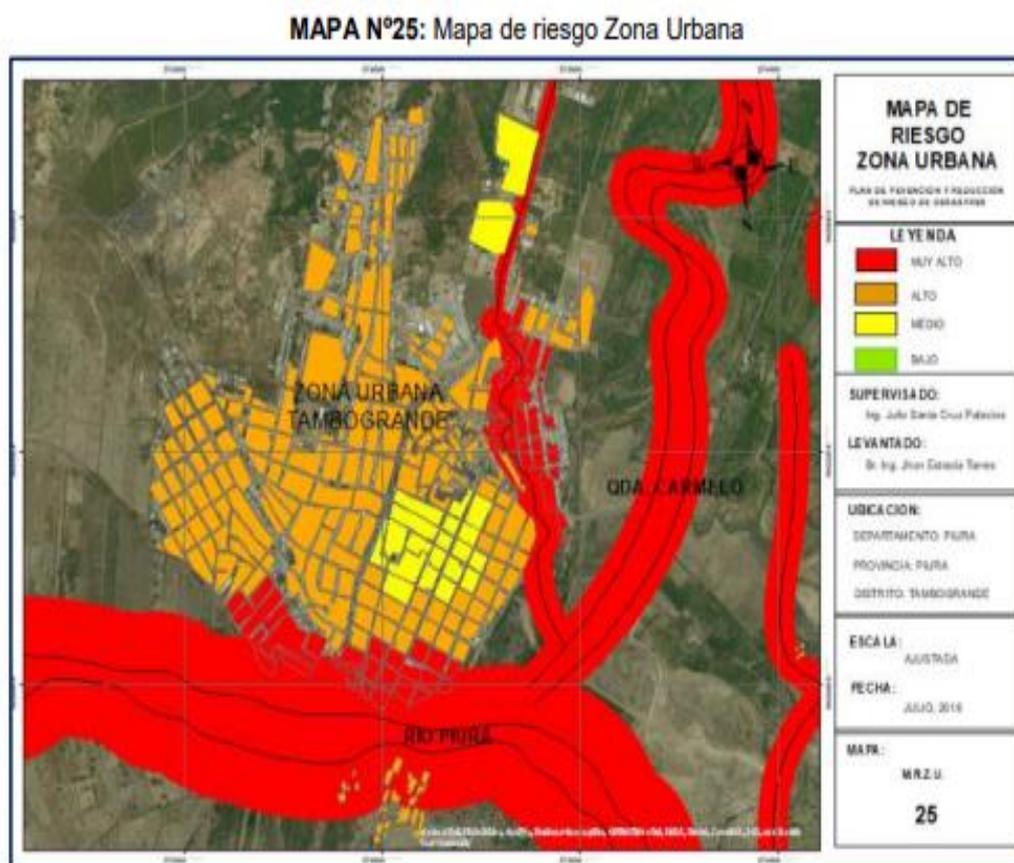


Figura 7: Mapa de riesgo zona urbana, fuente: Equipo técnico PPRRD distrital.

2.- CONDICIONES LOCALES DE SITIO

En la actualidad, es ampliamente conocido que las condiciones locales de sitio son uno de los principales factores responsables de los daños que se producen en cualquier tipo de edificación durante la ocurrencia de sismos severos. Este factor es fuertemente dependiente de las características 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 geofísica-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), ver Figura 8.

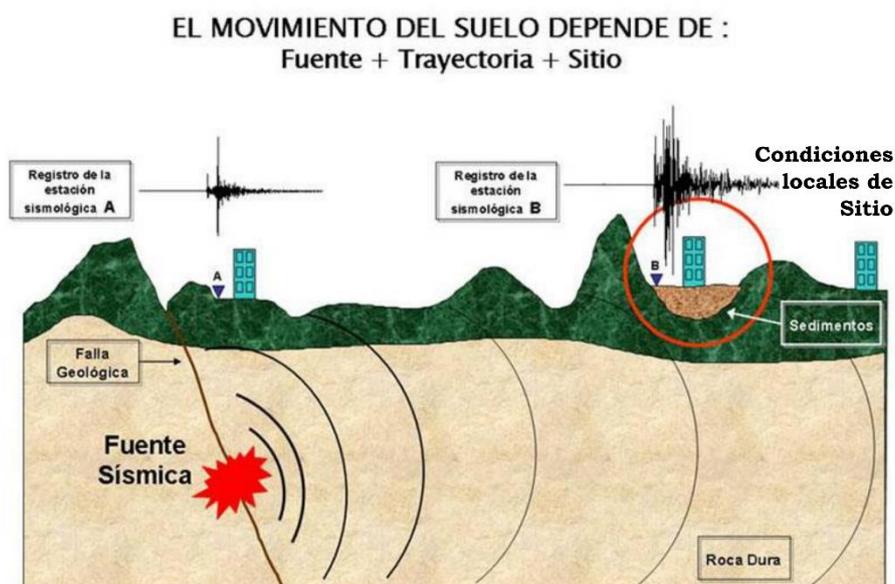


Figura 8: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

La metodología a seguir para lograr el mayor conocimiento sobre el comportamiento dinámico del suelo o efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad considera estudios geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos. Cada uno de estos campos de investigación proveen de información básica 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.

1.6. La norma Técnica E.030

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar lo establecido por la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, modificada según Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda. Básicamente, esta norma considera los perfiles de suelos en función de sus propiedades físicas, tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, o alternativamente, para suelos granulares, considera el promedio ponderado de los N_{60} obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada S_u para suelos cohesivos. Se establece 5 perfiles (Tabla 1):

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

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

Perfil Tipo S0: Roca Dura, corresponde a las rocas sanas con velocidades de propagación de ondas de corte (VS) mayor a 1500 m/s.

Perfil Tipo S1: 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 VS, entre 500 y 1500 m/s.

Perfil Tipo S2: Suelos Intermedios, son suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte VS entre 180 y 500 m/s.

Perfil Tipo S3: Suelos Blandos, corresponden suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte VS menor o igual a 180 m/s.

Perfil Tipo S4: Condiciones Excepcionales, corresponde a suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Será determinado con un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).

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

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

Donde:

d_i = 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.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DEL DISTRITO DEL TAMBOGRANDE

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA
2. GEOMORFOLOGÍA
 - 2.1. Modelo Digital de Elevación (MDE)
 - 2.2. Pendientes
 - 2.2.1. Clasificación del grado de pendientes
 - 2.3. Unidades geomorfológicas
3. GEOLOGÍA
 - 3.1. Geología local
4. GEODINAMICA SUPERFICIAL
 - 4.1. Inundación
 - 4.2. Elementos expuestos
5. ASPECTOS GEOTECNICOS
 - 5.1. Exploraciones a cielo abierto (Calicatas, Norma ASTM 420)
 - 5.1.1. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D 1556)
 - 5.2. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452)
 - 5.3. Ensayo de penetración dinámica ligera DPL (Norma DIN 4094)
 - 5.4. Resultados de los ensayos de laboratorio
 - 5.4.1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS
(Norma ASTM D4827)
 - 5.5. Ensayos de corte directo (Norma ASTM D-3080)
 - 5.5.1. Capacidad de carga portante

1. METODOLOGÍA

El informe geológico-geotécnico de Tambogrande fue realizado en 2 fases: gabinete y campo:

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. Asimismo, se procedió a la recopilación de información geológica regional y local existente (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).

Campo: Se realizó el cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico a escala 1:15000, para lo cual se utilizó la ortofoto del área de estudio obtenida a través del RPAS. Asimismo, 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).

Las muestras de suelos extraídas durante los trabajos de campo 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, con la información recopilada en gabinete, así como, en campo y resultados de laboratorio se procesó y analizó para la elaboración del presente informe.

2. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología estudia las diferentes formas de relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan, este relieve es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como creadoras de grandes elevaciones y depresiones producidas fundamentalmente por movimientos en masa de componente vertical, mientras que, las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado, estos últimos llamados procesos de geodinámica externa, se agrupan en la cadena meteorización, erosión, transporte y sedimentación (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, 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.

2.1. Modelo Digital de Elevación (MDE)

Los MDE son representaciones gráficas de la superficie del terreno, conformados por un número de puntos con información altimétrica y

planimétrica. Por su naturaleza digital permiten ser utilizados para realizar mapas de pendientes, acumulación de horas de radiación, parámetros morfométricos, entre otros (Felicísimo, 1994).

Para la elaboración del MDE del distrito 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 para el distrito de Tambogrande (Figura 1), se ha reconocido que la zona urbana se asienta sobre una terraza aluvial con 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.

2.2 Pendientes

Es el ángulo que se expresa en grados o porcentajes. Este parámetro influye en la formación de los suelos y condiciona el proceso erosivo, puesto 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 para el distrito 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 (Figura 2).

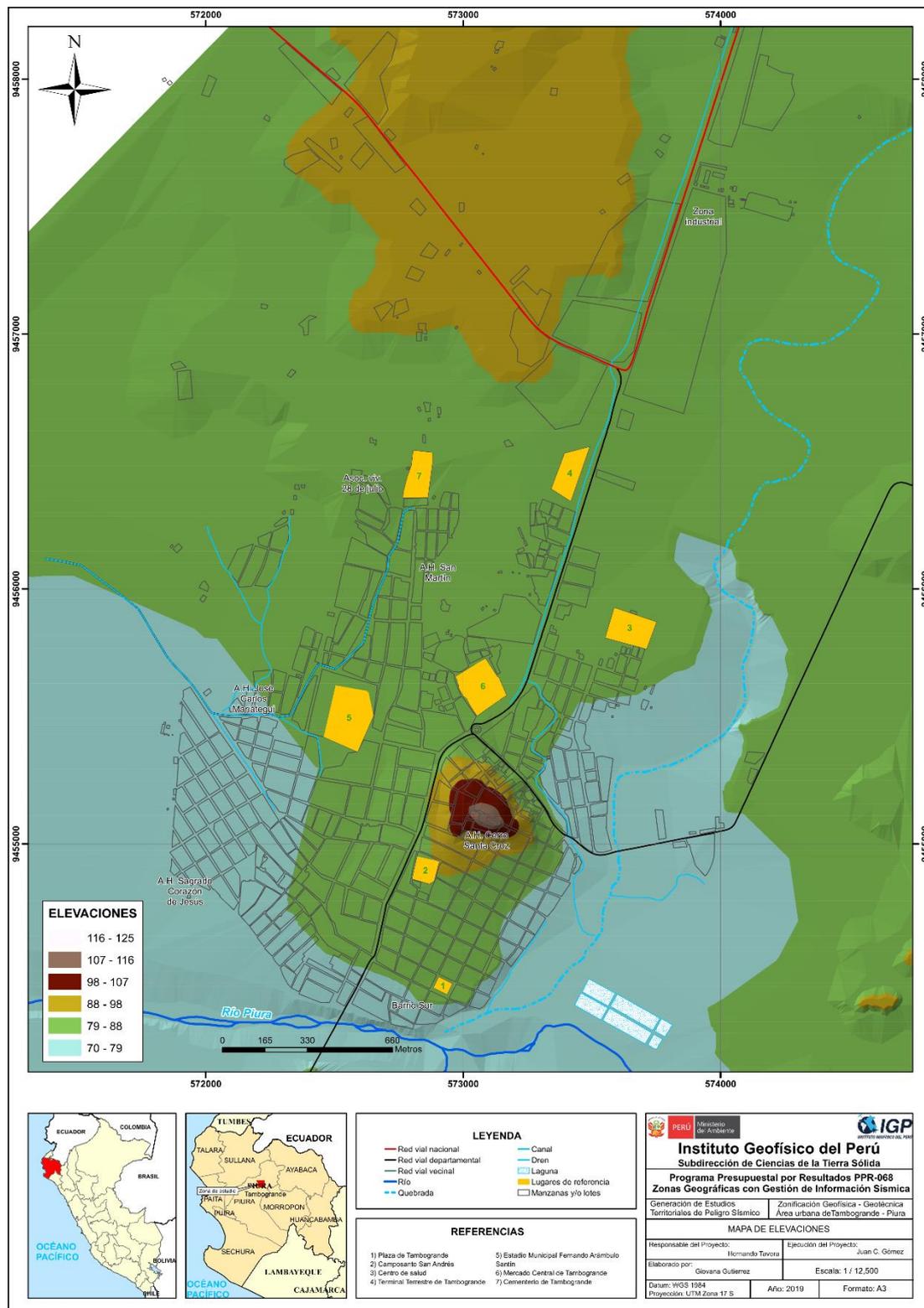


Figura 1: Mapa de modelo digital de elevación del distrito de Tambogrande y alrededores.

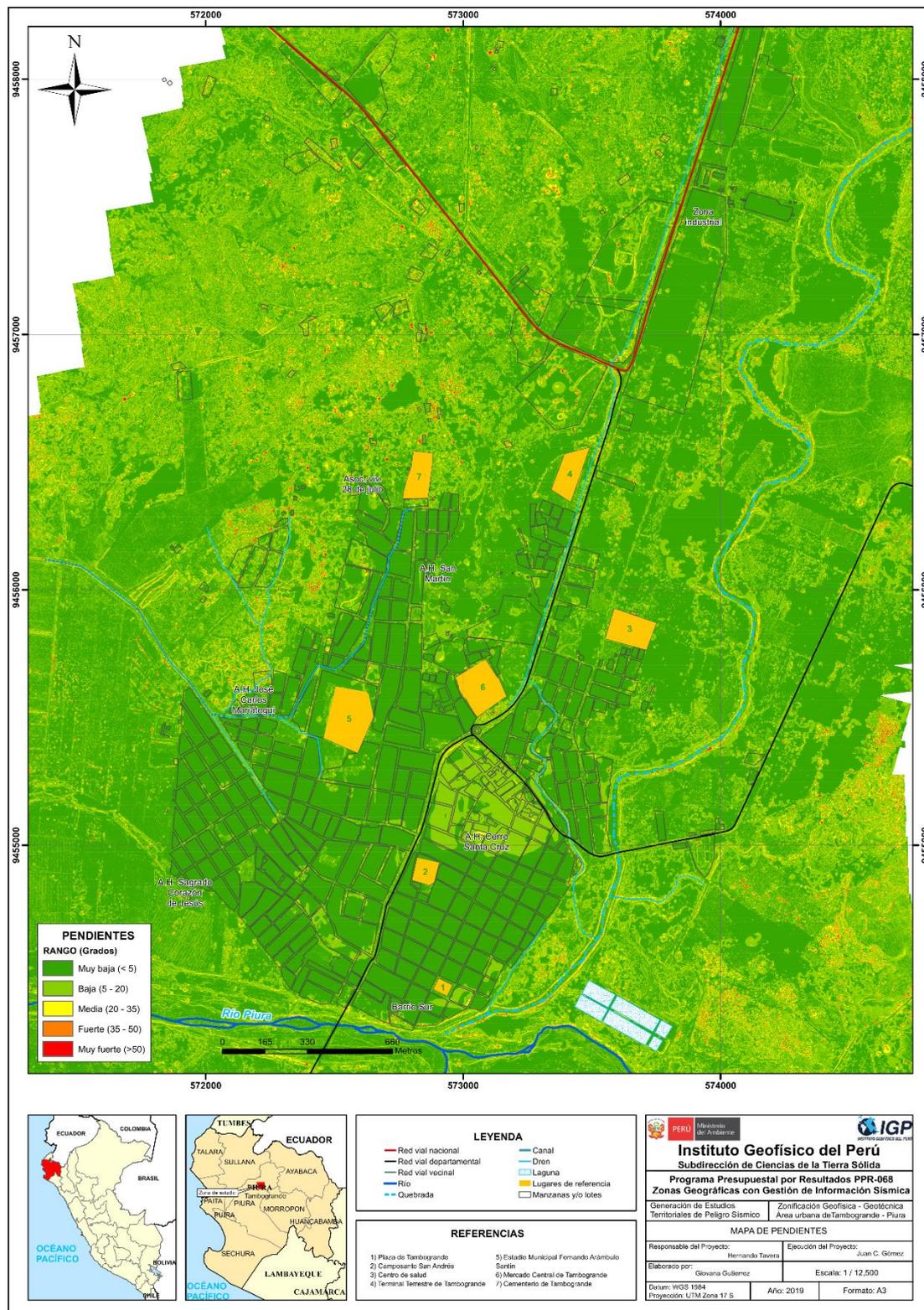


Figura 2: Mapa de pendientes del terreno del distrito de Tambogrande y alrededores.

2.2.1 Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó como base los valores propuestos por Fidel (2006), ver Tabla 1. De acuerdo a estos valores, el área urbana de Tambogrande se encuentra asentada sobre una terraza aluvial con rango de pendientes de 5° - 10°.

Tabla 1: Rangos de pendientes del terreno.

Pendiente en grados (°)	CLASIFICACIÓN
<5	Muy baja
5 – 20	Baja
20 – 35	Media
35 – 50	Fuerte
>50	Muy fuerte

2.3 Unidades Geomorfológicas

Son geoformas 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. Las geoformas son generadas por procesos geodinámicos de tipo endógeno (internos) y exógenos (externos) que dan lugar a relieves positivos y negativos.

Características físicas: Las características físicas de la forma; es decir, su relieve, 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.

Procesos: Los agentes modeladores como el agua, el viento, temperatura, entre otros, desencadenan diversos procesos externos

como el intemperismo, meteorización, erosión, transporte y depositación generando diferentes geoformas, clasificándose de acuerdo a su origen en depositacional, denudacional (erosional). Otros procesos internos como el magmatismo, tectonismo, entre otros, generan geoformas de origen estructural.

En base a las características físicas de las geoformas y su origen, en el distrito de Tambogrande se cartografiaron tres unidades: lomas, terraza aluvial y lecho fluvial, ver Tabla 2 y Figura 3.

Tabla 2: 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	Lomadas	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				

Lomas: Esta geoforma presenta pendientes menores a 35°, alturas menores a 300 m; además de una 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, abarcando el 51 % del área de estudio, ver Figura 4.

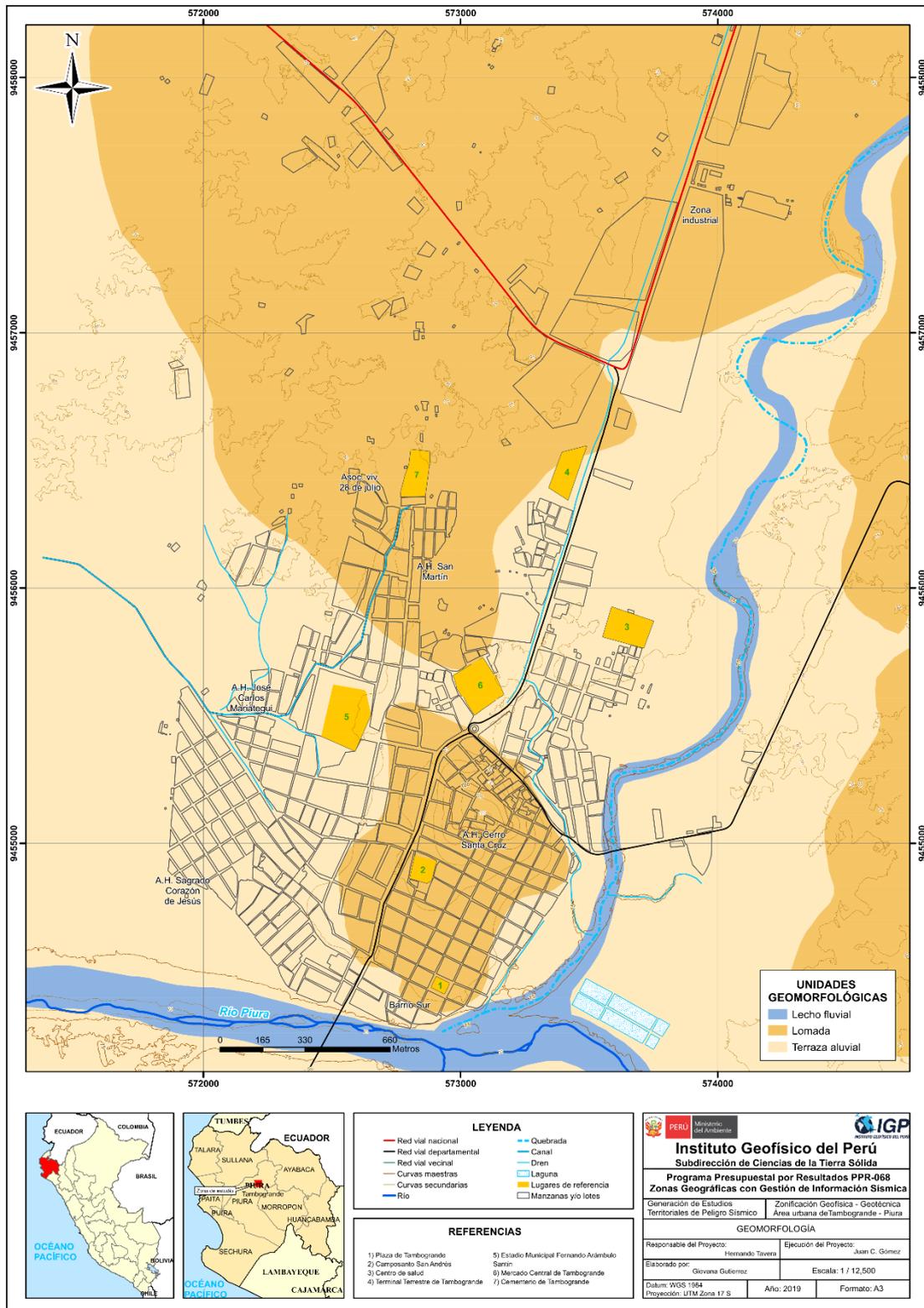


Figura 3: Mapa geomorfológico para el distrito de Tambogrande y alrededores.

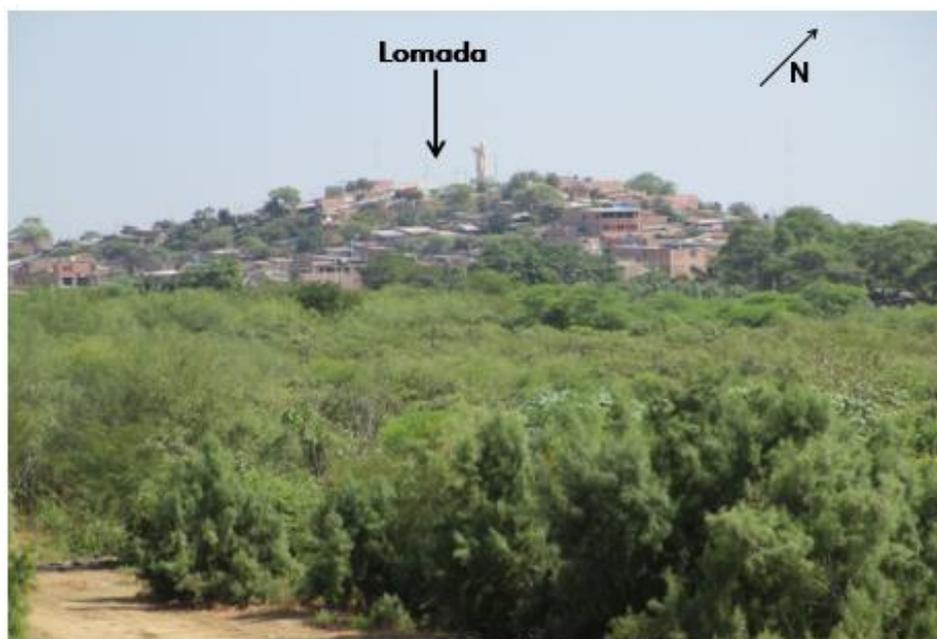


Figura 4: Sobre esta lomada se asienta el AA.HH. Cerro Santa Cruz, lugar donde se encuentra el mirador de Tambogrande

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.

En Tambogrande, esta terraza aluvial tiene una altura de 5 metros con respecto al nivel del río Piura, aunque éste varía de acuerdo a la ubicación. Se sitúan en ambas márgenes del río Piura y en la quebrada Carneros. Esta unidad representa el 44 % del área de estudio, ver Figura 5.

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.



Figura 5: 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.

El lecho fluvial del río Piura se desplaza con dirección este – oeste y 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, ver Figuras 6 y 7.



Figura 6: Lecho fluvial del río Piura, tiene un recorrido de este a oeste



Figura 7: Tambogrande se sitúa en la margen derecha del río Piura

3. GEOLOGÍA

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

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

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

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

3.1. Geología local

Consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en el distrito de Tambogrande a escala 1:12,500, abarcando un área de 21.60 km² aproximadamente. A continuación, se describen estas unidades (Tabla 3 y Figura 8).

Tabla 3: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.

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

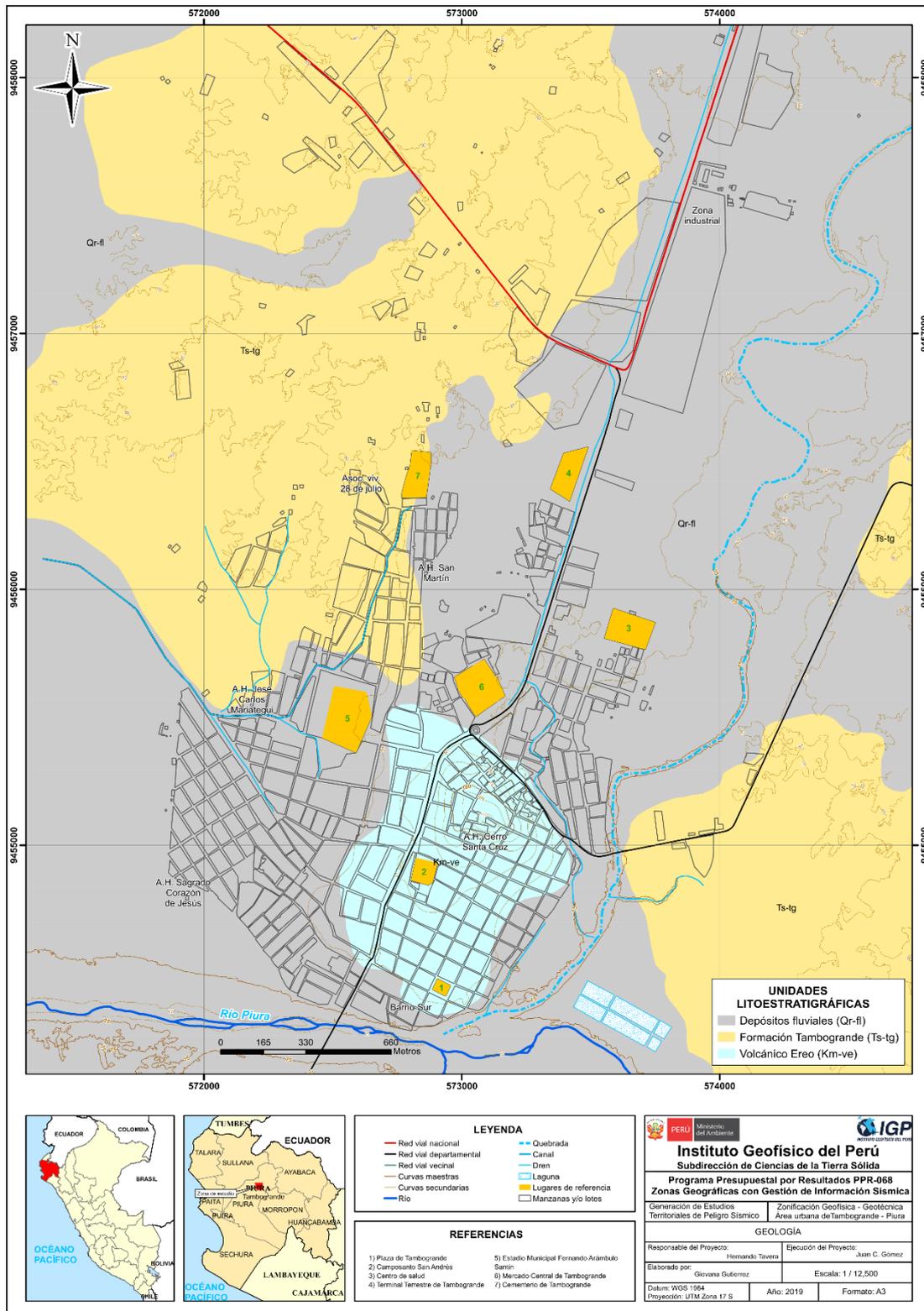


Figura 8: Mapa de geología local para el distrito de Tambogrande y alrededores.

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, ver Figura 9.



Figura 9: Afloramiento de Volcánico Ereo en el AA.HH. Cerro Santa Cruz.

Formación Tambogrande (NQ-tg): Son 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, ver Figura 10.

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.



Figura 10: Afloramiento de rocas de la formación Tambogrande, situada en el sector sureste del casco urbano de Tambogrande

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 (Figuras 11 y 12).



Figura 11: Afloramiento de gravas con arenas y arcillas pertenecientes a los depósitos fluviales.



Figura 12: Gravas de origen ígneo en matriz arenosa de grano grueso a medio que aflora en la quebrada Carneros.

4. 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 generando la escorrentía superficial que provoca el arrastre progresivo de los materiales a posiciones de menor energía potencial (menor pendiente). La carga de sedimentos transportados por la quebrada o río incrementan la acción erosiva y son capaces de producir remoción de los materiales como los flujos de detritos e inundación (Brusi, 2013).

En el distrito de Tambogrande se han identificado dos tipos de eventos geodinámicos, descritos a continuación (Figura 13).

4.1. 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 que afectaron la seguridad física del distrito de Tambogrande. En general, se han identificado dos tipos de inundaciones, fluvial y pluvial.

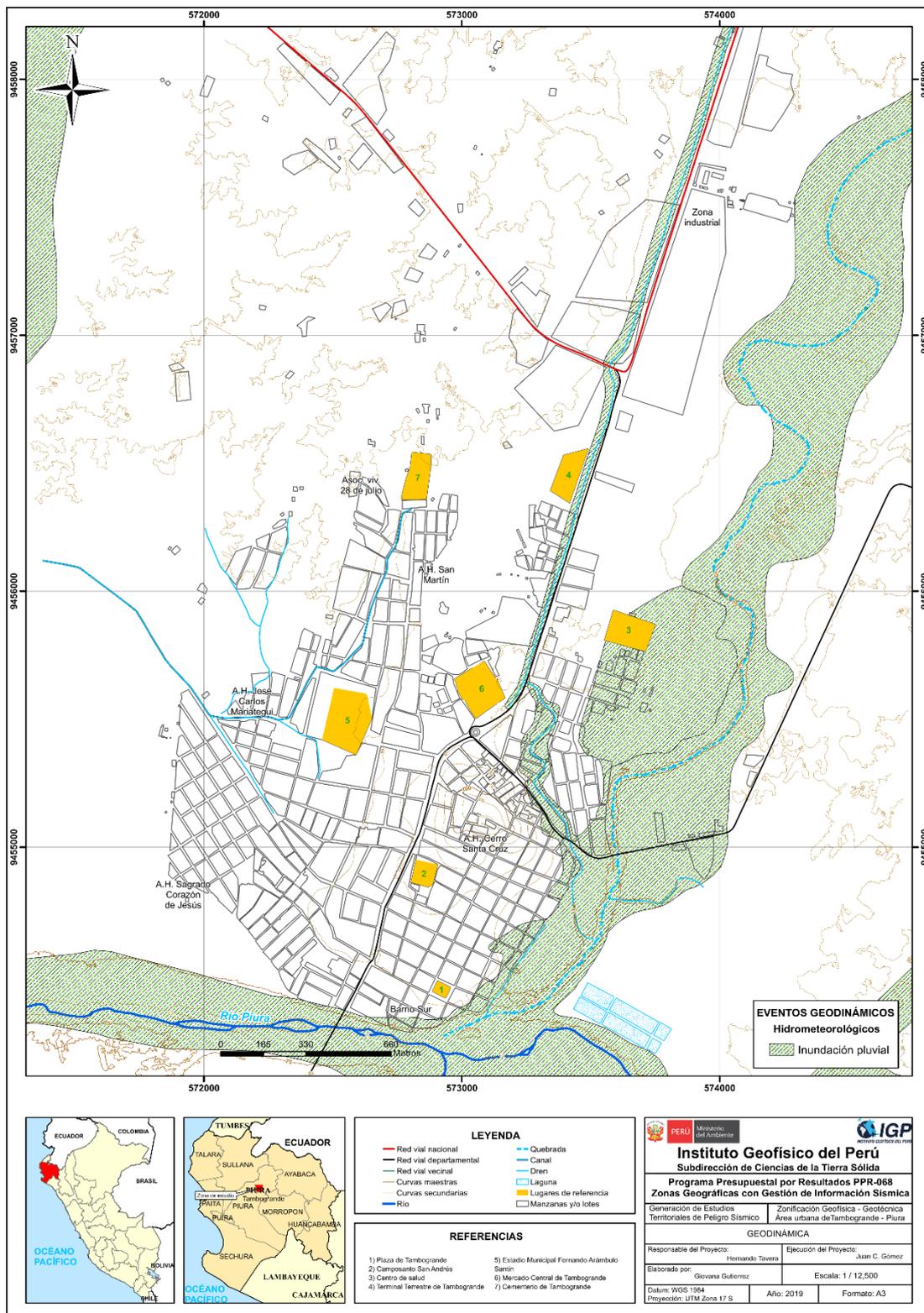


Figura 13: Mapa de eventos geodinámicos en el distrito de Tambogrande y alrededores.

Inundación fluvial: Se producen por el desborde del río Piura sobre la margen derecha y la 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, ver Figuras del 14 al 19.



Figura 14: El badén que une Tambogrande – Malingas fue afectado por el desborde de la quebrada Carneros en el evento El Niño 2017, dejando incomunicado a Tambogrande con sectores aledaños.



Figura 15: La quebrada Carneros pasa por el A.H. Froilán Alama, cuando se reactiva genera inundación afectando las viviendas aledañas.



Figura 16: Viviendas aledañas a la quebrada Carneros (flecha amarilla) 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.



Figura 17: Hasta la línea amarilla llegó el desborde de la quebrada Carneros afectando viviendas aledañas, local comunal Cuna Más y el Centro Integral de Atención al Adulto Mayor (CIAM).



Figura 18: La línea amarilla indica el punto hasta donde llegó el nivel del desborde de la quebrada Carneros, cerca de la desembocadura en el río Piura.



Figura 19: 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.

Inundación pluvial: Se generan por la presencia de depresiones y el desborde del canal vía que atraviesa el mercado central de Tambogrande afectando a los AA.HH. de Buenos Aires, Mercado Central, Urb. Mario León García y casco urbano de Tambogrande, ver Figuras del 20 al 26.



Figura 20: Canal que pasa por el AA.HH. José Carlos Mariátegui con agua estancada y desechos sólidos. En épocas de precipitaciones se desborda generando inundación en las viviendas aledañas.



Figura 21: Falta de mantenimiento del canal que pasa por el AA.HH. Renacer y que en época de precipitaciones colapsa e inunda a las viviendas aledañas al canal.



Figura 22: 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 afectando por inundación a las viviendas aledañas.



Figura 23: Canal que se desbordo en el evento El Niño 2017 afectando a la Institución Educativa Inicial (flecha amarilla) que se encuentra en el AA.HH. Los Almendros.



Figura 24: Canal que pasa frente al mercado de Tambogrande que en época de precipitaciones colapsa e inunda el mercado y zonas aledañas, además de ser foco de proliferación de enfermedades



Figura 25: Zona de inundación en el AA.HH. Buenos Aires que afecta el parque recreativo municipal y las vías de tránsito.



Figura 26: Inundación en el casco urbano de Tambogrande debido a que pasa un canal por la ciudad que no tiene desembocadura, formándose una “Cuenca ciega”.

4.2. 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: la población y las viviendas. 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, ver Tablas 4 y 5.

Tabla 4: Población estimada de la localidad expuesta a eventos de origen natural.

Evento geodinámico	Población expuesta
Inundaciones	2800

Tabla 5: 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 Tambogrande, se reconocieron las infraestructuras de interés social (viviendas), expuestas a los eventos geodinámicos (Figura 27).

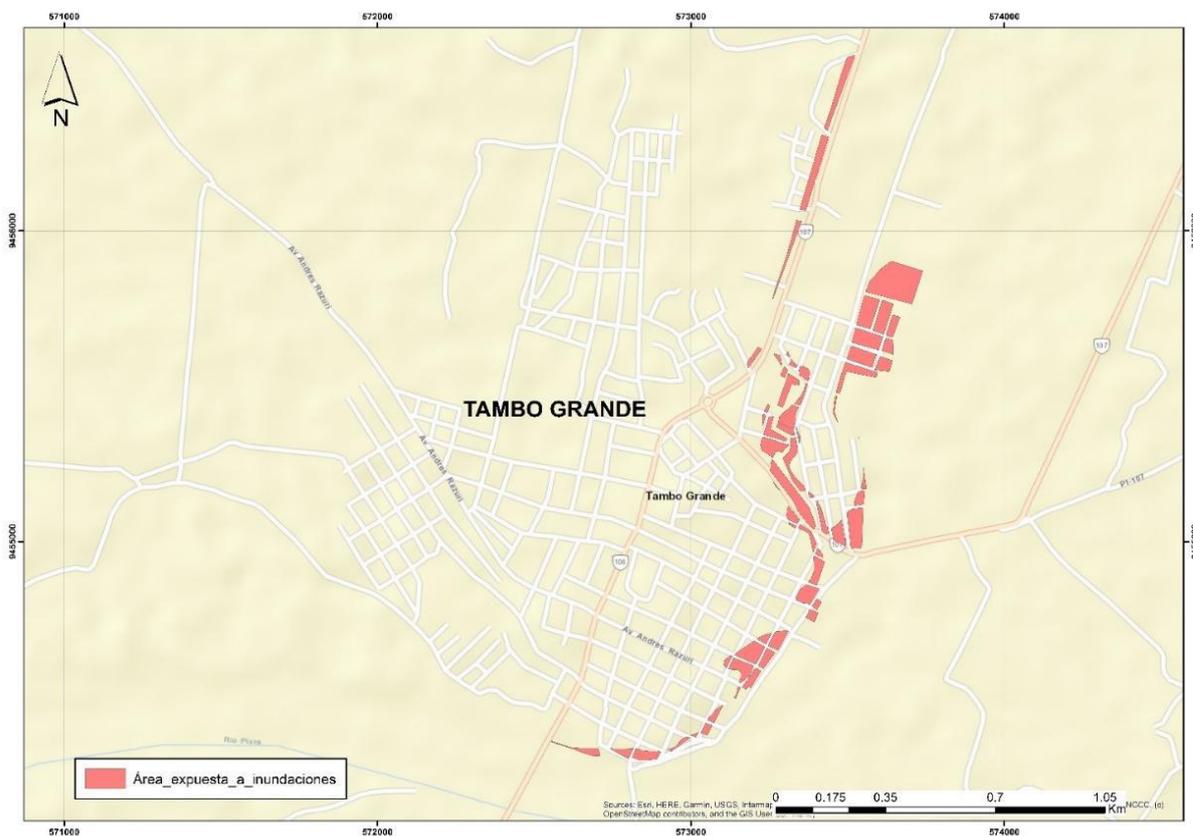


Figura 27: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de eventos geodinámicos en la localidad de Tambogrande.

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

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, ver Figura 28.

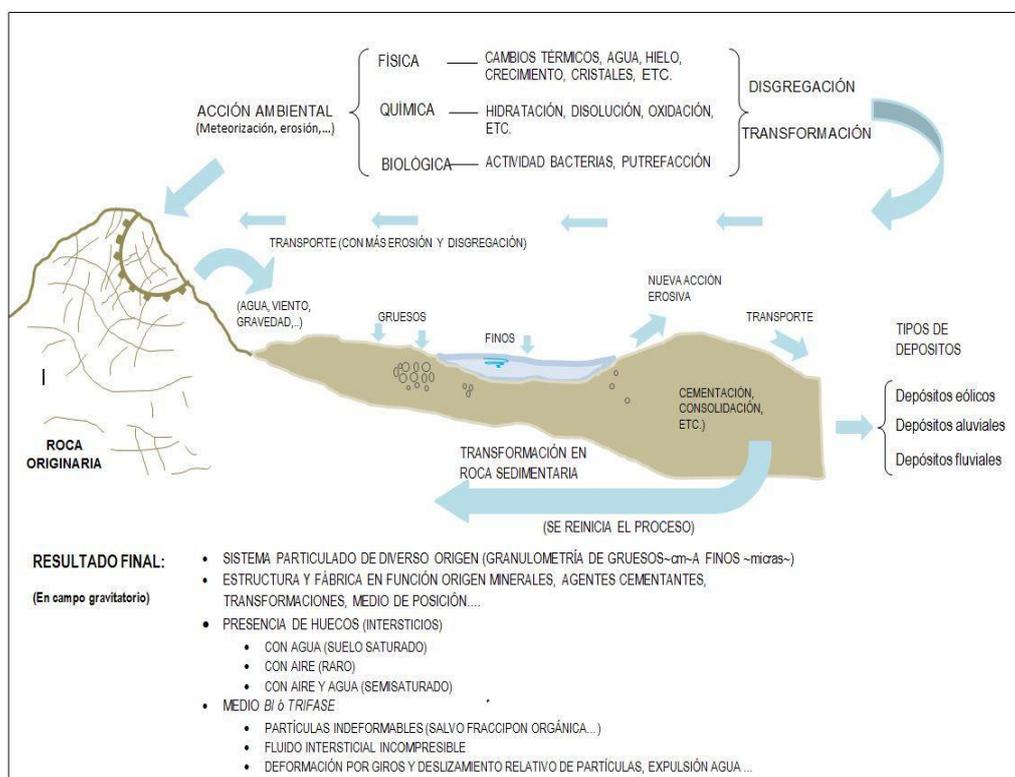


Figura 28: Formación de los suelos (Adaptado de Gonzales, 2002).

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 el distrito de Tambogrande, se realizaron 8 calicatas, 5 ensayos de densidades de campo, 8 posteos y 9 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), indicadas en la Figura 29. De las muestras extraídas fueran analizadas en laboratorio a fin de determinar la composición granulométrica, plasticidad, corte directo y realizar el cálculo de la capacidad portante de los suelos de cimentación. A continuación, se detallan las técnicas de exploración geotécnica.

5.1. Exploraciones a cielo abierto (Calicatas, Norma ASTM 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 hasta 3 m de profundidad, a fin de describir los estratos que lo conforman (ver Anexo), así como extraer muestras en bolsas herméticas con capacidad de 5kg, aproximadamente. En la Tabla 6 se indica las coordenadas UTM de cada calicata.

En general, la profundidad de investigación promedio fue de 2.80 m, debido a que se encontraron arenas, arenas limosas, limos y arcillas. A la fecha en que se realizaron las exploraciones geotécnicas no se evidenció niveles freáticos en ninguna de las calicatas.

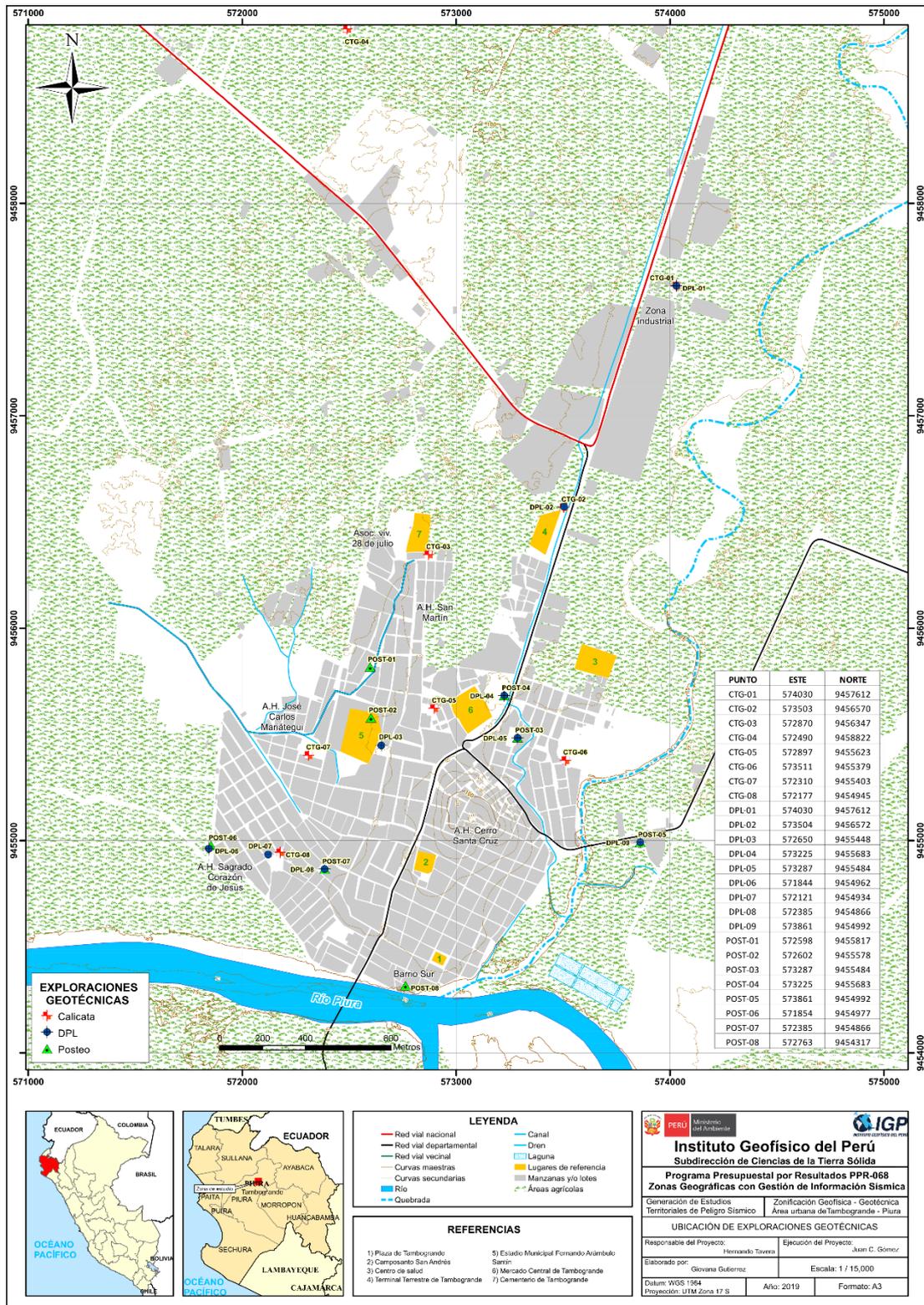


Figura 29: Mapa de distribución de calicatas, posteos y DPL en el distrito de Tambogrande y alrededores.

Tabla 6: 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

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

Este método permite conocer la densidad o peso unitario de los suelos in situ con cierto grado de compactación natural. Consiste en extraer material del suelo, a través de un orificio de 10 cm de profundidad realizado en el interior de la calicata, a fin de obtener una relación entre la masa de éste y el volumen conocido que ocupa la arena calibrada del cono de densidad. 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, no es aplicable en suelos que contengan clastos o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm).

En la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos para las densidades in situ de las cinco (5) calicatas y la ficha de densidad se ha adjuntado en los Anexos.

Tabla 7: Resultado de densidades in – situ.

CÓDIGO DE CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	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 del distrito de Tambogrande presentan rangos de densidad entre 1.52 – 1.96 gr/cm³; es decir, los materiales identificados en las calicatas corresponden a arenas y arcillas. El contenido de humedad en condiciones naturales esta desde muy bajo a moderado con rangos de 1.29% hasta 15.71%.

5.2. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452)

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 entranpan 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 y así, obtener una mejor zonificación de los suelos de la ciudad de Tambogrande. La ubicación y resultados obtenidos se muestran en la Tabla 8; mientras que, el registro de perforaciones se adjunta en los Anexos.

Tabla 8: 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

Donde: N.P =No Presenta

En el posteo Post-08 se llegó a una profundidad de 0.40 m, debido a la presencia de gravillas que impiden alcanzar mayor profundidad.

5.3. Ensayo de penetración dinámica ligera-DPL (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/cm², 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 limos 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 identificados con la finalidad de conocer la resistencia al corte de los distintos estratos. La ficha del ensayo se adjunta en los Anexos. En la Tabla 9 se indica la ubicación de los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizados en el distrito 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:

Φ = Ángulo de fricción interna

Dr = Densidad relativa

Tabla 9: 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	Φ
	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: Φ = ángulo de fricción interna

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.

5.4. 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:

5.4.1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS (Norma ASTM-D4827)

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 Tambogrande, los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad, se han identificado 4 tipos de suelos, los mismos que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ver Tabla 10 y Figura 30.

Tabla 10: Clasificación SUCS de los suelos de las ocho (08) calicatas elaboradas en el distrito 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

Donde: N.P. =No presenta

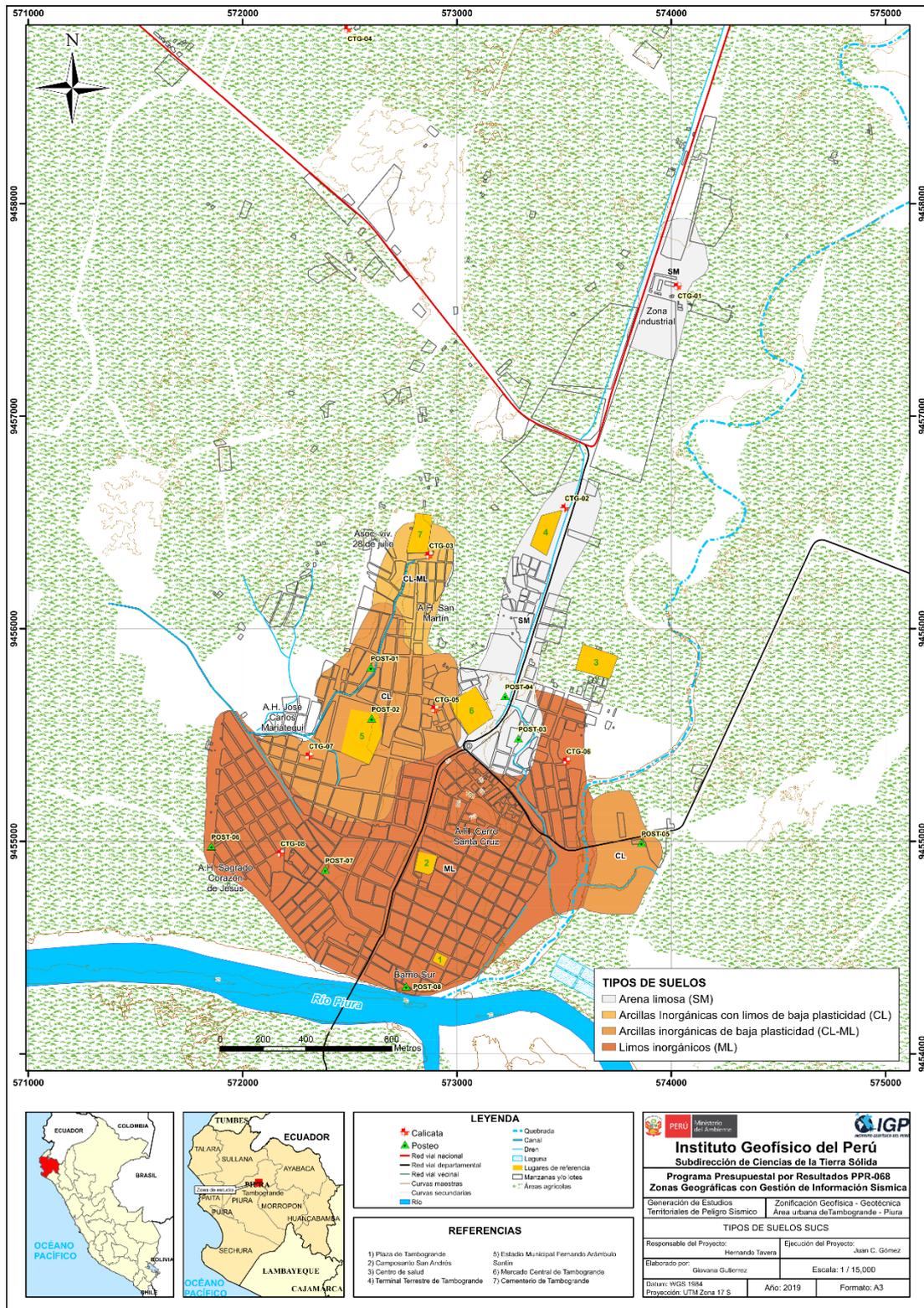


Figura 30: Mapa de clasificación SUCS para los suelos del distrito de Tambogrande y alrededores.

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/cm². 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 - 1.96 gr/cm². Abarca el 53% de la zona de estudio y se identificaron en los AA.HH. 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/cm². Abarca el 23% de la zona de estudio y se 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°, y una

densidad natural de 1.47 gr/cm². Abarca el 5% de la zona de estudio y se identificó en el sector noroeste de la ciudad de Tambogrande.

5.5. 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 el distrito de Tambogrande están basados en datos geotécnicos, corroborados con datos teóricos de los parámetros de ángulo de fricción y cohesión de Terzaghi e información de DPL realizados en campo. Para este objetivo, se hizo uso de las fórmulas de falla general o local, según el tipo de suelo.

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

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 para las 8 muestras de suelos extraídas en el distrito de Tambogrande se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11: Capacidad portante de ocho (08) muestras extraídas en la ciudad de Tambogrande.

CÓDIGO DE MUESTRA	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad portante (kg/cm ²)	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, se determinó las capacidades portantes de los suelos investigados para una profundidad de cimentación de 1 m, ver Tabla 12.

De acuerdo a los resultados obtenidos, 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:

Tabla 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 ²)	Capacidad portante (kg/cm ²)	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		

5.5.1.1. Tipos de capacidad de carga portante

En la localidad de Tambogrande se han identificado el siguiente tipo de capacidad portante (Figura 31).

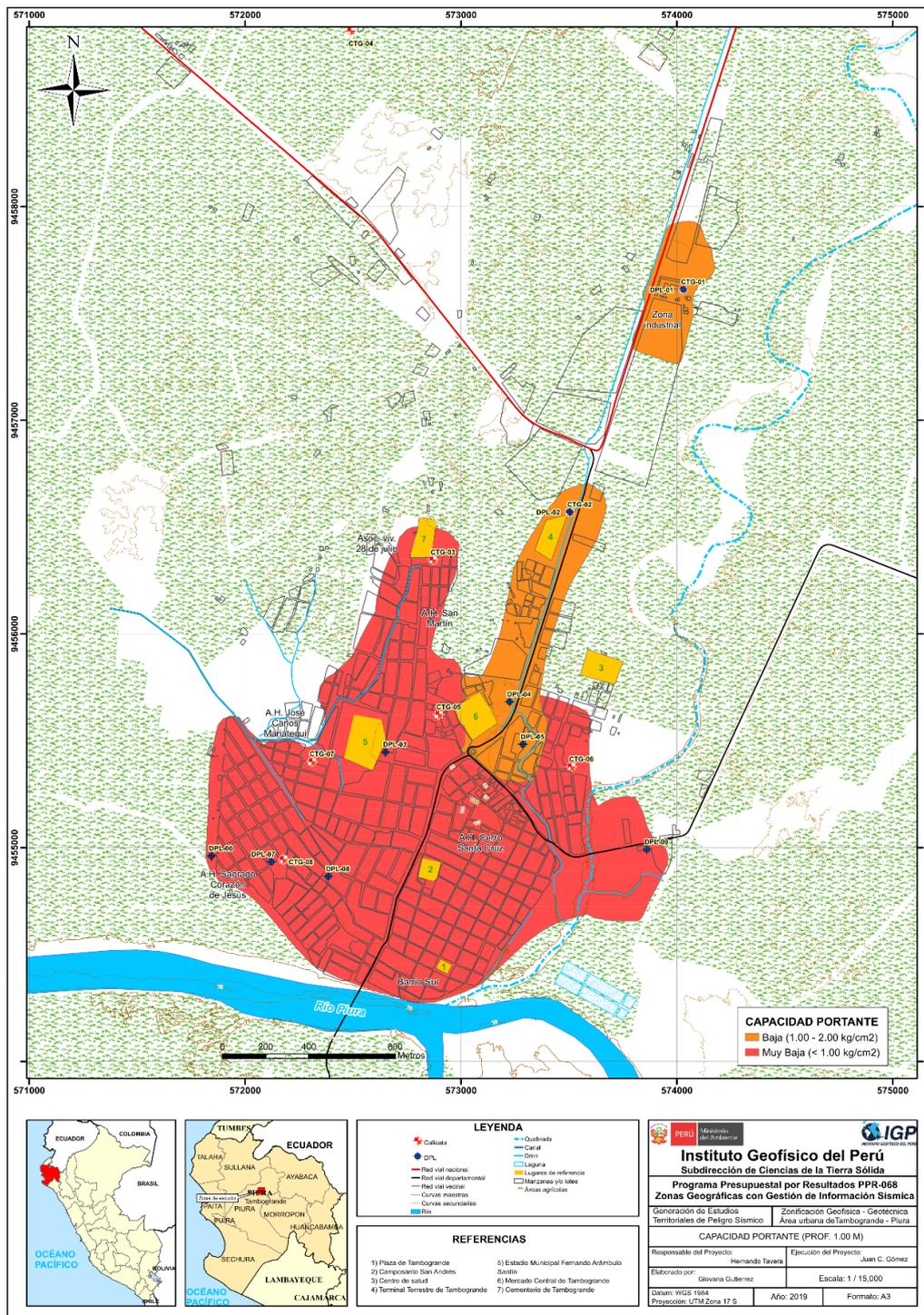


Figura 31: Mapa de capacidad de carga admisible a una profundidad de 1 metro para el distrito de Tambogrande y alrededores.

Capacidad portante muy baja: Comprende rangos de capacidad portante menores a 1 kg/cm^2 , 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.

Capacidad portante baja: Comprende rangos de capacidad portante entre $1 - 2 \text{ kg/cm}^2$, 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.

CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL DISTRITO DE TAMBOGRANDE

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

1.1. Método de Razones Espectrales (H/V)

1.1.1. Procesamiento y análisis

1.2. Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)

1.2.1. Procesamiento y análisis

1.3. Método de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

1.3.1. Procesamiento y análisis

2. RESULTADOS

2.1. Razones Espectrales (H/V)

2.1.1. Frecuencias Predominantes

2.1.2. Periodos Dominantes

2.2. Perfiles de MASW

2.3. Perfiles de Tomografía Eléctrica

3. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA

3.1. Integración de resultados

3.2. Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica

CONCLUSIONES

1. 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:

1.1. 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 sollicitación 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.

Durante los trabajos de campo se recolectaron 270 registros de vibración ambiental utilizando sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 1). 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 2, se muestra la disposición del equipo sísmico durante el registro de información, además de ejemplos de registros de vibración ambiental para sus tres componentes (vertical, E-O y N-S).

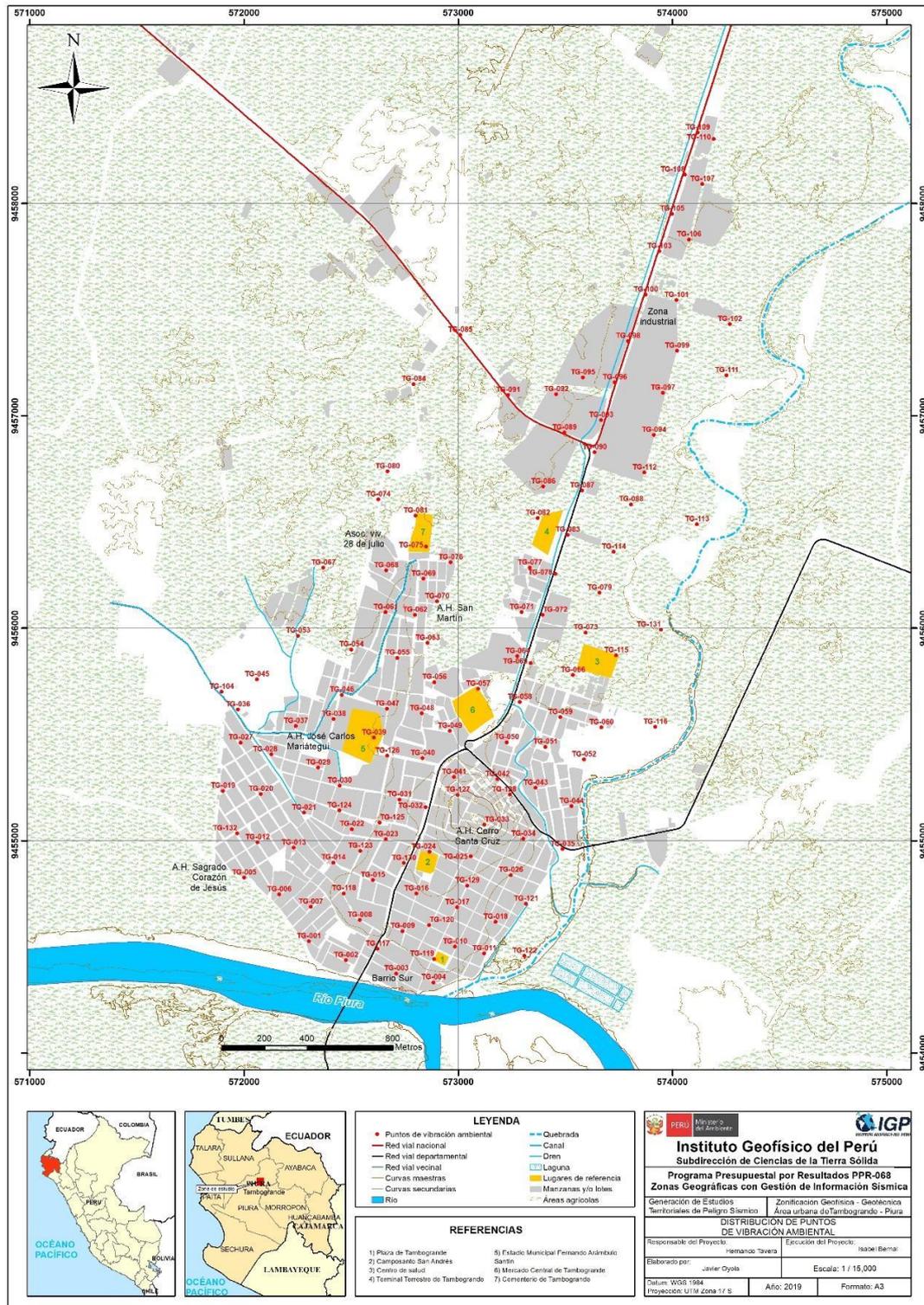


Figura 1: Distribución espacial de los puntos de registros de vibración ambiental del área urbana de Tambogrande.

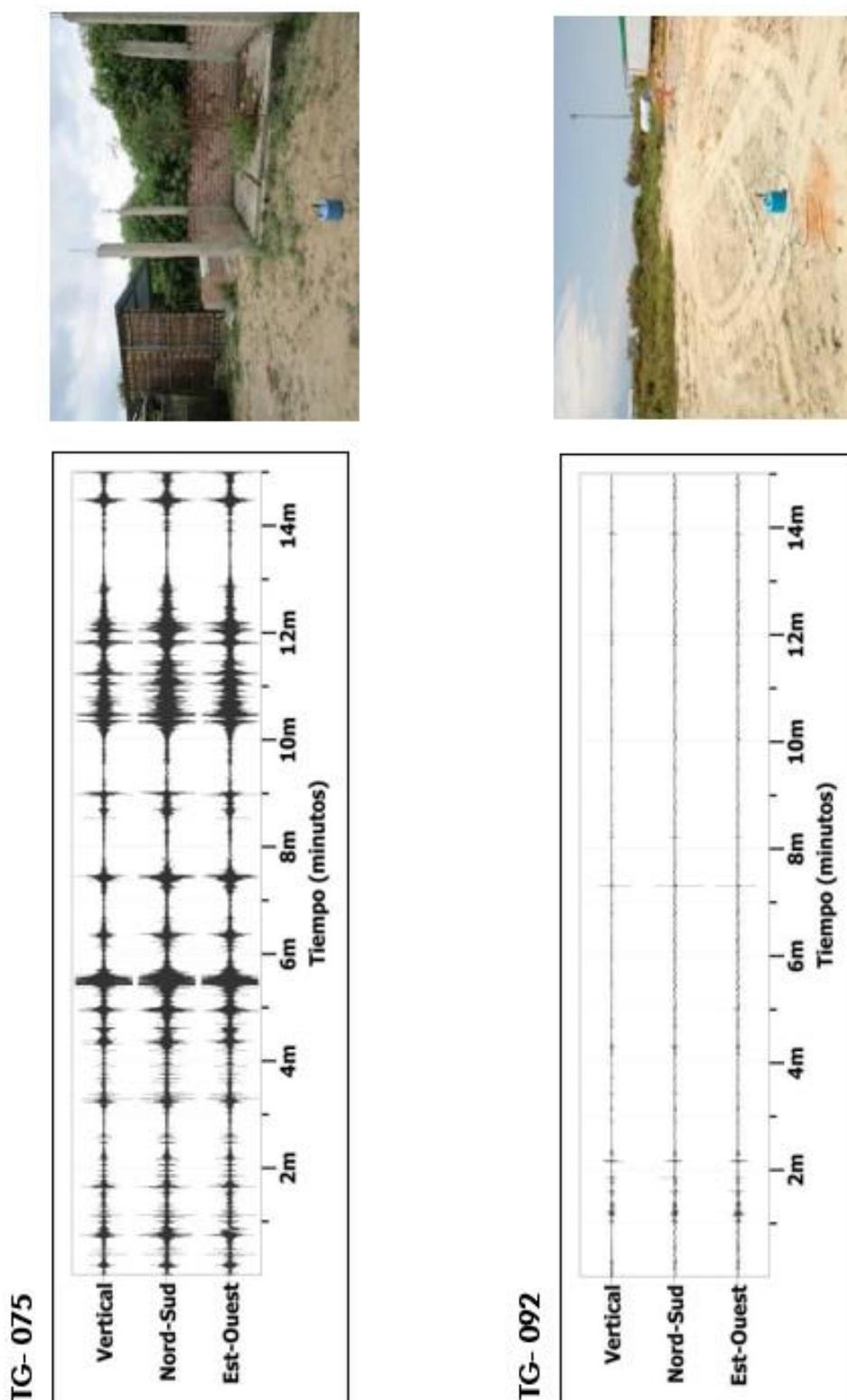


Figura 2: Disposición del equipo sísmico para la adquisición de los registros de vibración ambiental. Ejemplos de registros obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (TG-075) y otro con ruido de fondo constante (TG-092). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

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

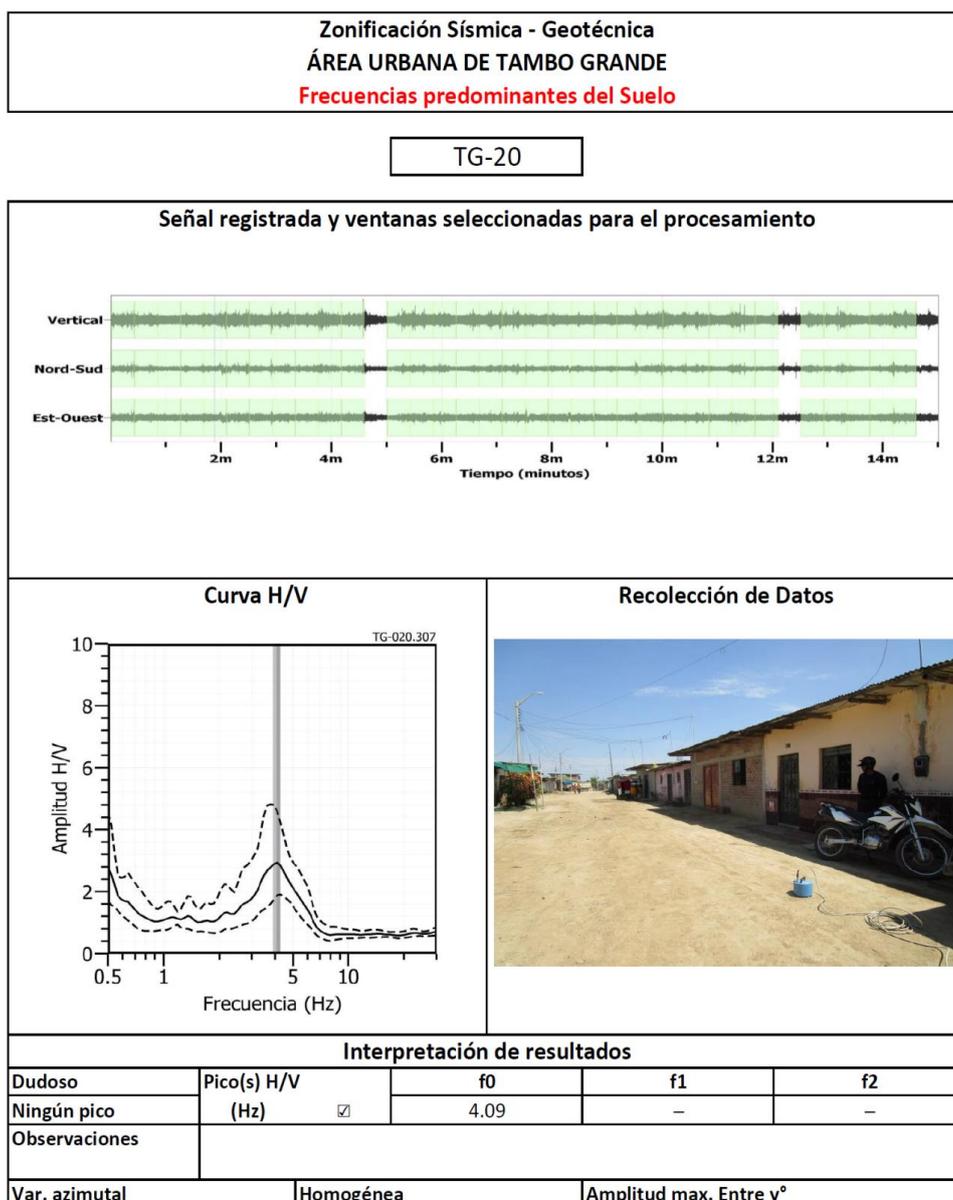


Figura 3: Ejemplo de la ficha H/V para el punto TG-020 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas y Abajo resultados.

1.1.1. 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 3, 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.

1.2. 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 1). La distribución espacial de estas líneas se muestra en la Figura 4. 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 5, se muestra como ejemplo el registro obtenido considerando un golpe con martillo a 3 metros al final del arreglo lineal.

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

Arreglo lineal MASW	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento o 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		

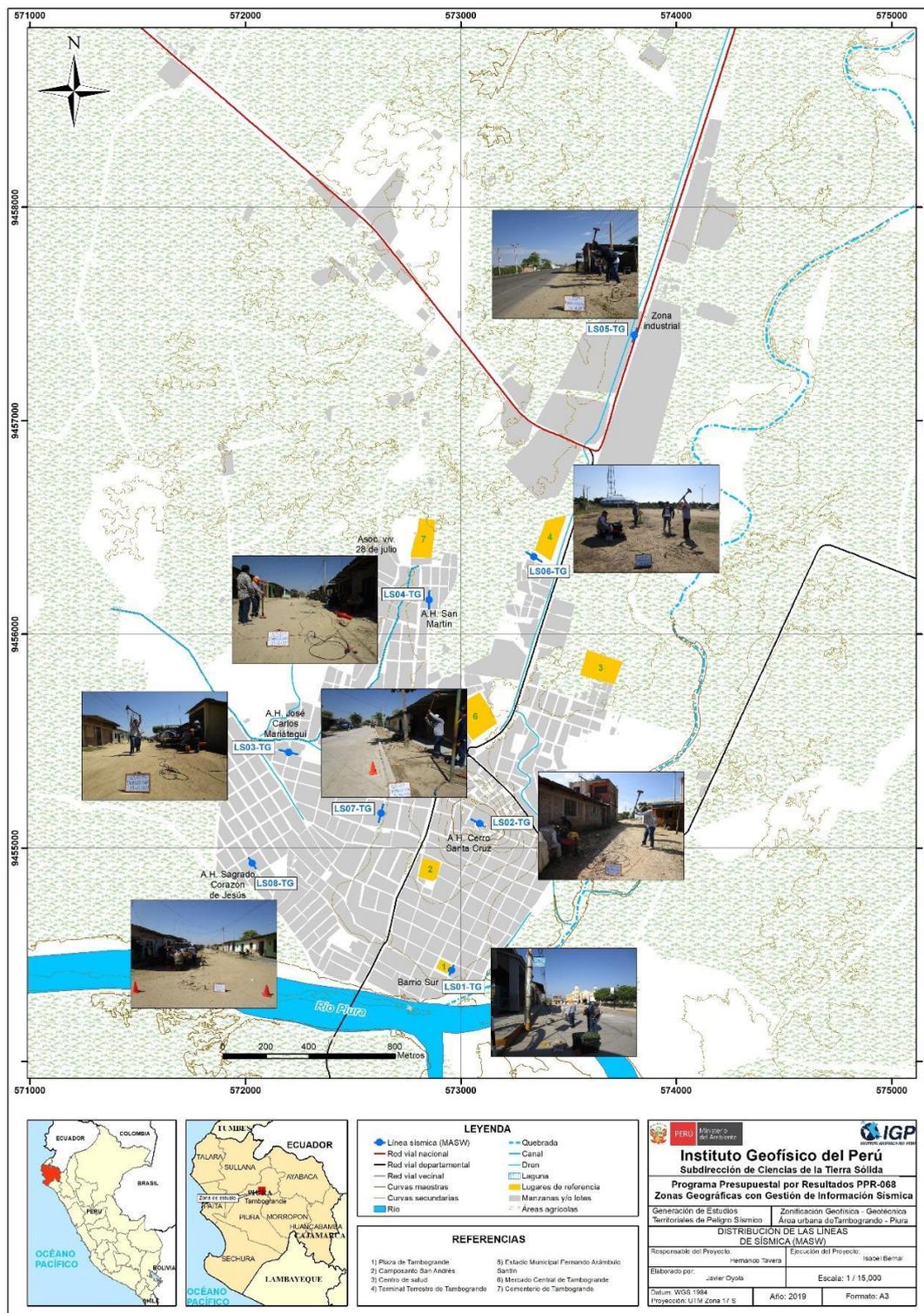


Figura 4: Distribución espacial de los ensayos MASW codificadas como LS01-TG, ..., LS08-TG en el área urbana de Tambogrande.

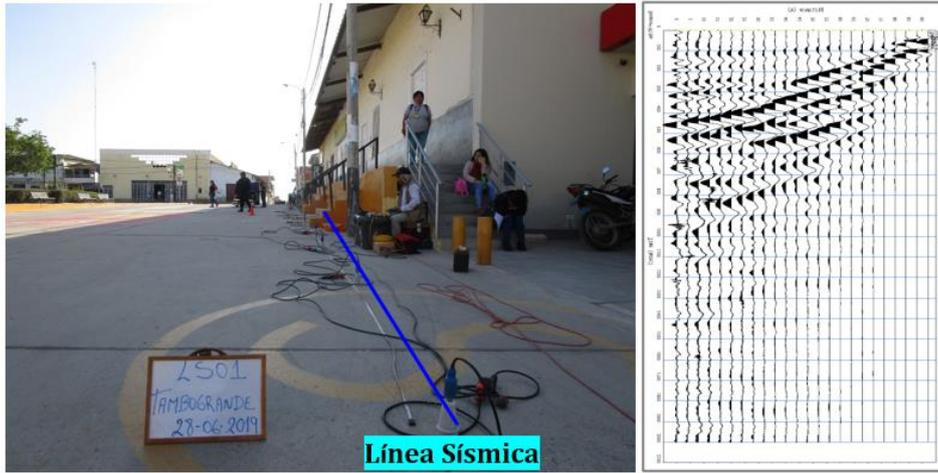


Figura 5: Disposición del equipo para la adquisición del registro sísmico.

1.2.1. 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 Vs en una dimensión (1D), tal como se muestra en la Figura 6.

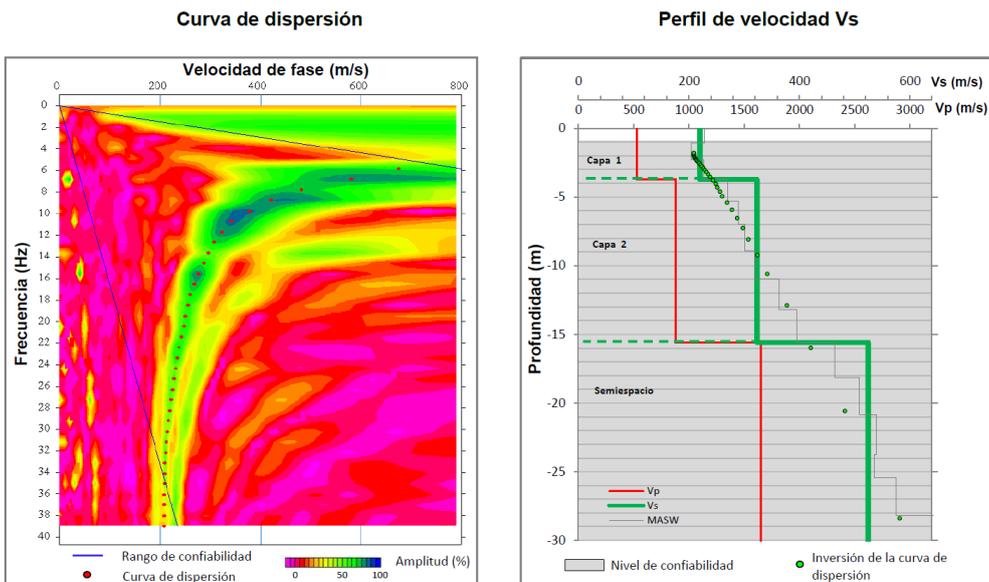


Figura 6: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo MASW.

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 2. Asimismo, los valores obtenidos son representados con colores a fin de facilitar su interpretación.

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

1.3. 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 (ρ) 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 7. 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.

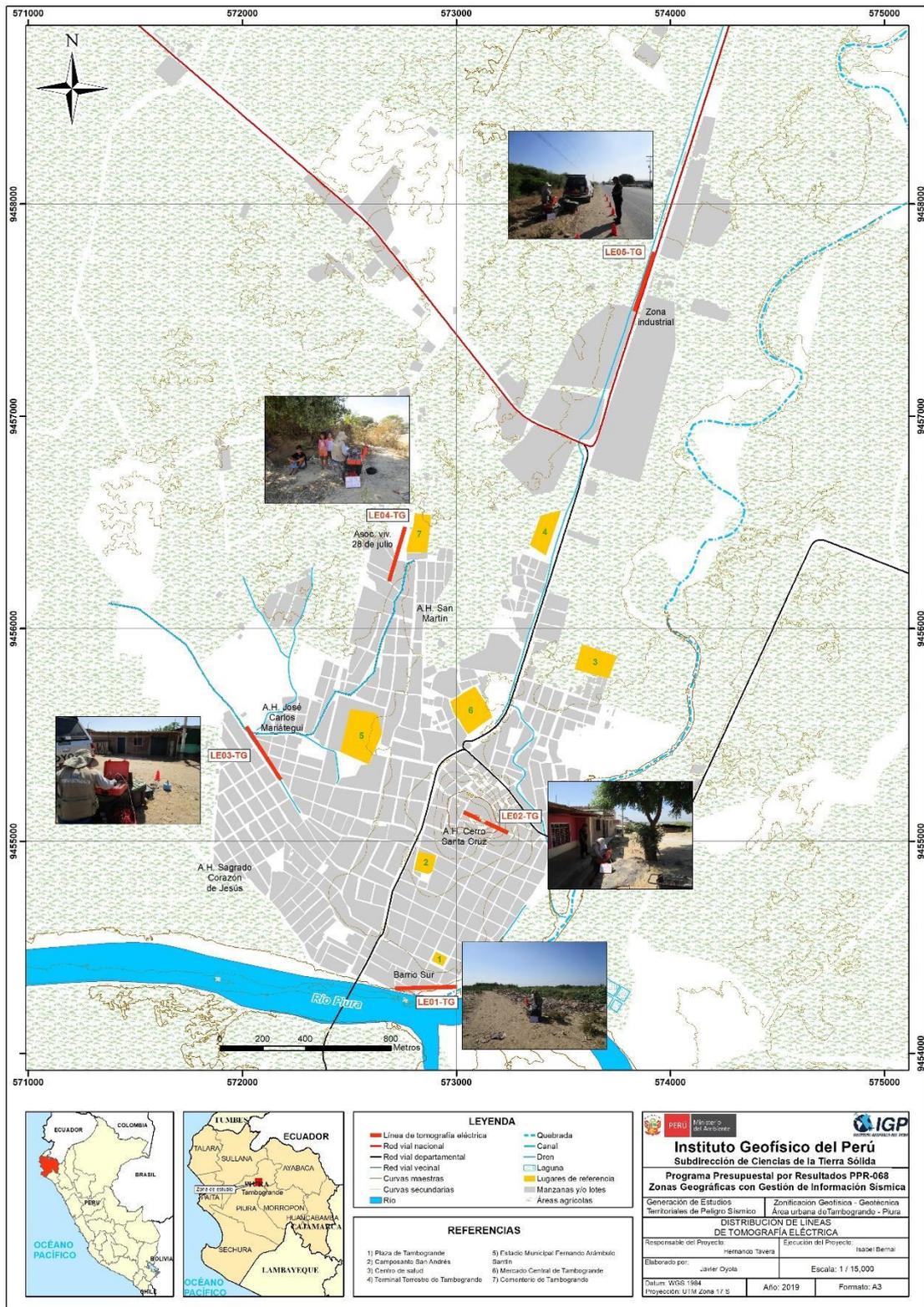


Figura 7: Distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como LE01-TG, ... LE05-TG en el área urbana de Tambogrande.

Tabla 3: 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		

1.3.1. 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 geoelectricos y de procesamiento de imágenes.

Para el análisis de los resultados se debe tener en cuenta que son varios los factores que influyen en las características de los suelos (grado de saturación, porosidad y forma del poro, salinidad del fluido, tipo y composición de la roca, temperatura y procesos geológicos que afectan a los materiales); es decir, el incremento de fluidos en el terreno se verá reflejado por una disminución en los valores de resistividad. En la Tabla 4, se presentan algunos valores de Resistividad relacionados a los distintos tipos de suelos y rocas.

Tabla 4: Valores de resistividad de suelos y rocas presentes en la naturaleza (UNC, 2000).

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

2. 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:

2.1. 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.

2.1.1. Frecuencias Predominantes

La valores de frecuencias predominantes F_0 , según la Figura 8, fluctúan 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) en un rango de frecuencias entre 5.8 a 10.0 Hz. En la Figura 9, 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.

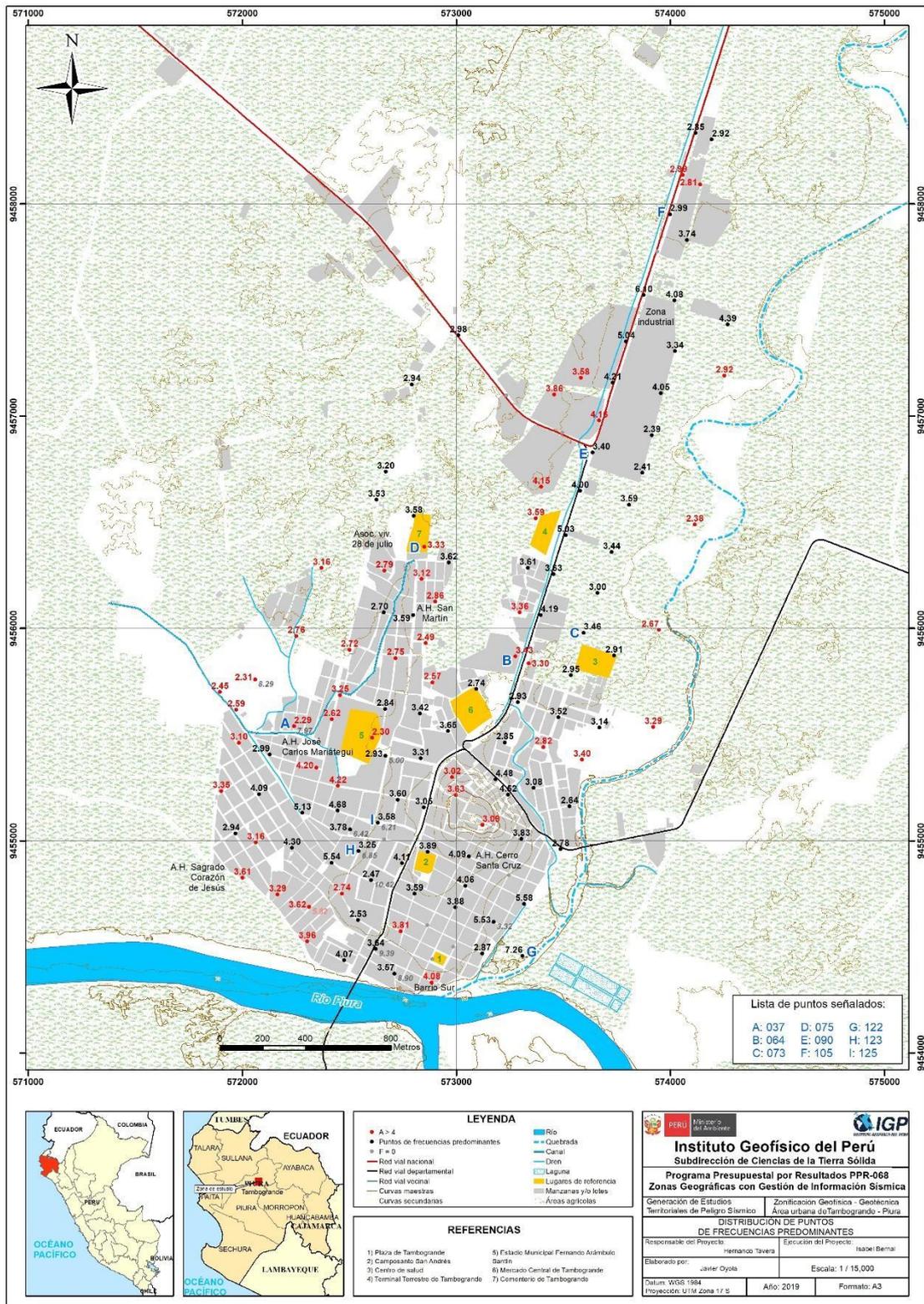
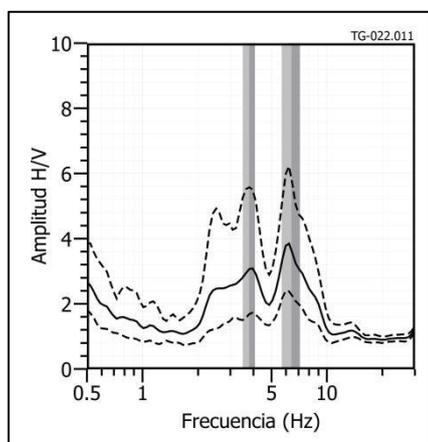
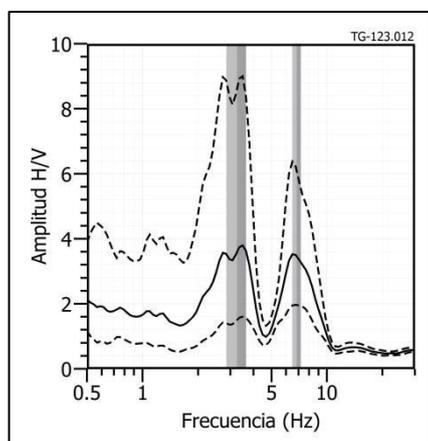


Figura 8: Distribución espacial de las frecuencias predominantes (F_0). Los valores en gris corresponden a puntos donde sobresale un segundo pico de frecuencia y en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 4 veces. Las letras corresponden a los puntos cuyas razones espectrales son analizadas en el informe.

TG - 022



TG - 123



TG - 125

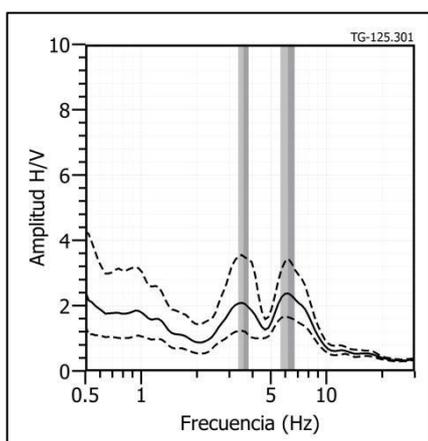
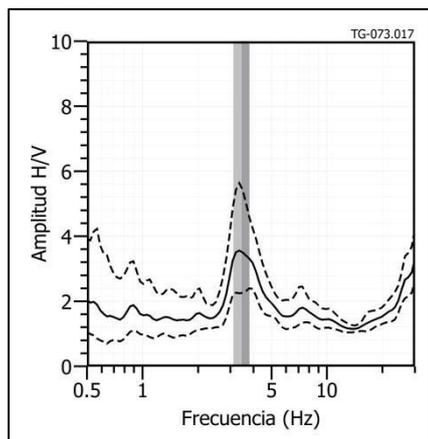
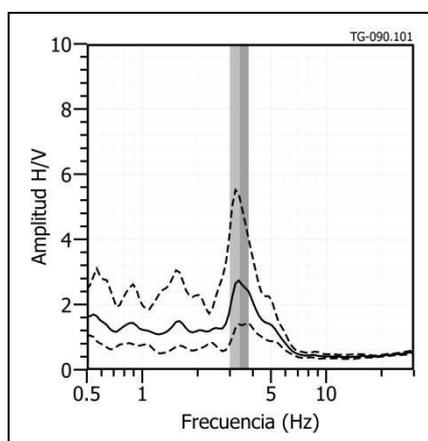


Figura 9: Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos TG-022(G), TG-123(H) y TG-125(I), ubicados al oeste del camposanto San Andrés y al Barrio Sur. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

TG - 073



TG - 090



TG - 105

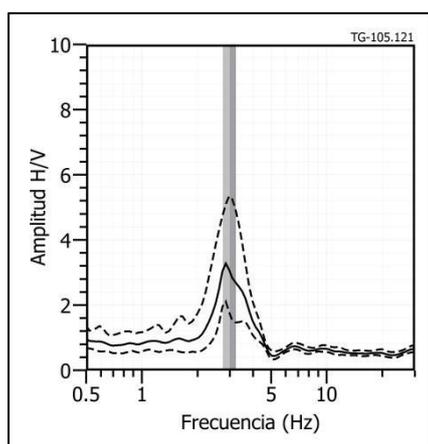
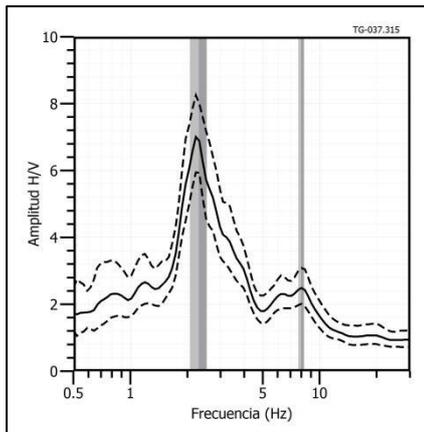
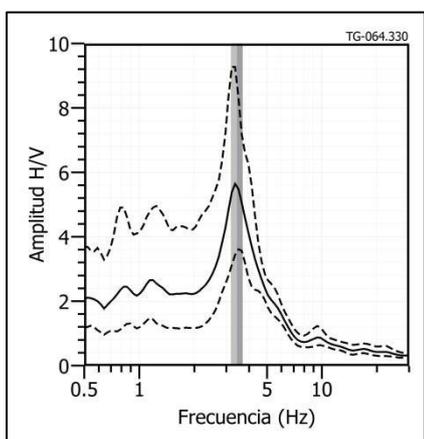


Figura 9: ... Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos TG-073(C), TG-090(E) y TG-105(F), realizados próximos al centro de Salud y zona industrial de Tambogrande. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

TG - 037



TG - 064



TG - 075

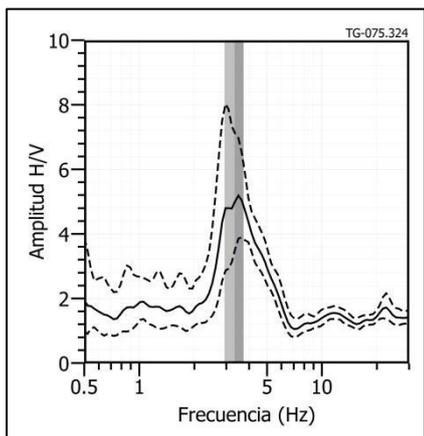


Figura 9: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos TG-037(A), TG-064(B) y TG-075(D), realizados próximos al Estadio Municipal en el A.H. José Carlos Mariátegui, Mercado Central de Tambogrande y en la Asoc. Viv. 28 e Julio, respectivamente. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

El predominio de dos picos de frecuencia con similares amplificaciones sugiere la presencia en el subsuelo de dos capas que influyen considerablemente en el comportamiento dinámico del suelo, incrementando su complejidad. En los alrededores del Camposanto San Andrés, sobresalen picos predominantes 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 9, se muestra ejemplos de razones espectrales para los puntos TG-073(C), TG-090(E) y TG-105(F), realizados próximos al centro de Salud y zona industrial de Tambogrande, donde se identifica la presencia de 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 se distribuyen principalmente hacia el extremo oeste del área de estudio y en la margen derecha de la quebrada Carneros.

2.1.2. Periodos Dominantes

Los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes a fin de construir el mapa de isoperiodos. En la Figura 10, 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 puntual hacia el sur del estadio municipal, se identifica la presencia de 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.

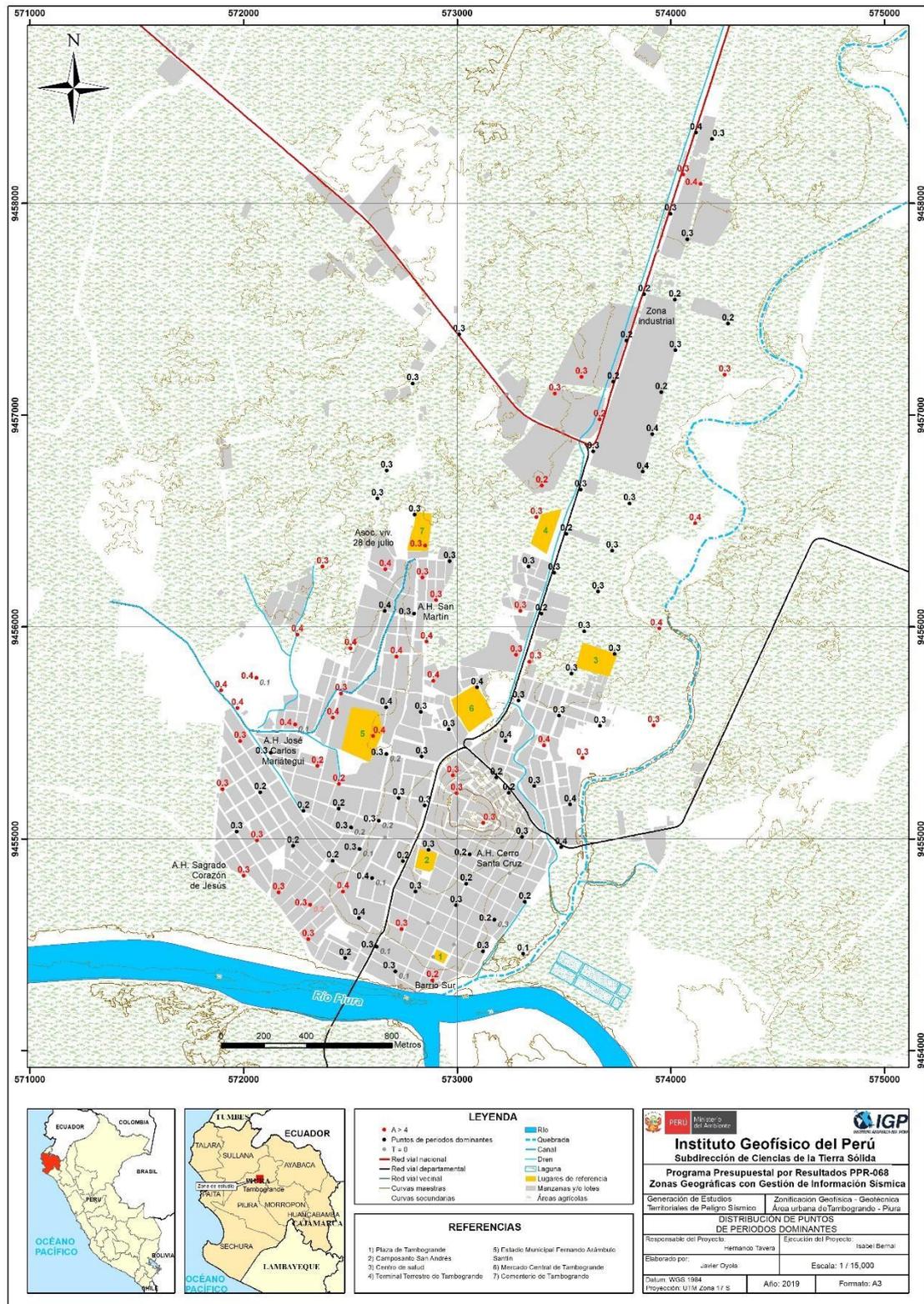


Figura 10: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

2.2. 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 Vs hasta los 30 metros de profundidad. En la Figura 4, se presenta el mapa con la ubicación de las líneas y en la Figura 11, los resultados obtenidos para la línea LS07-TG. El resto de los perfiles se adjuntan en los Anexos.

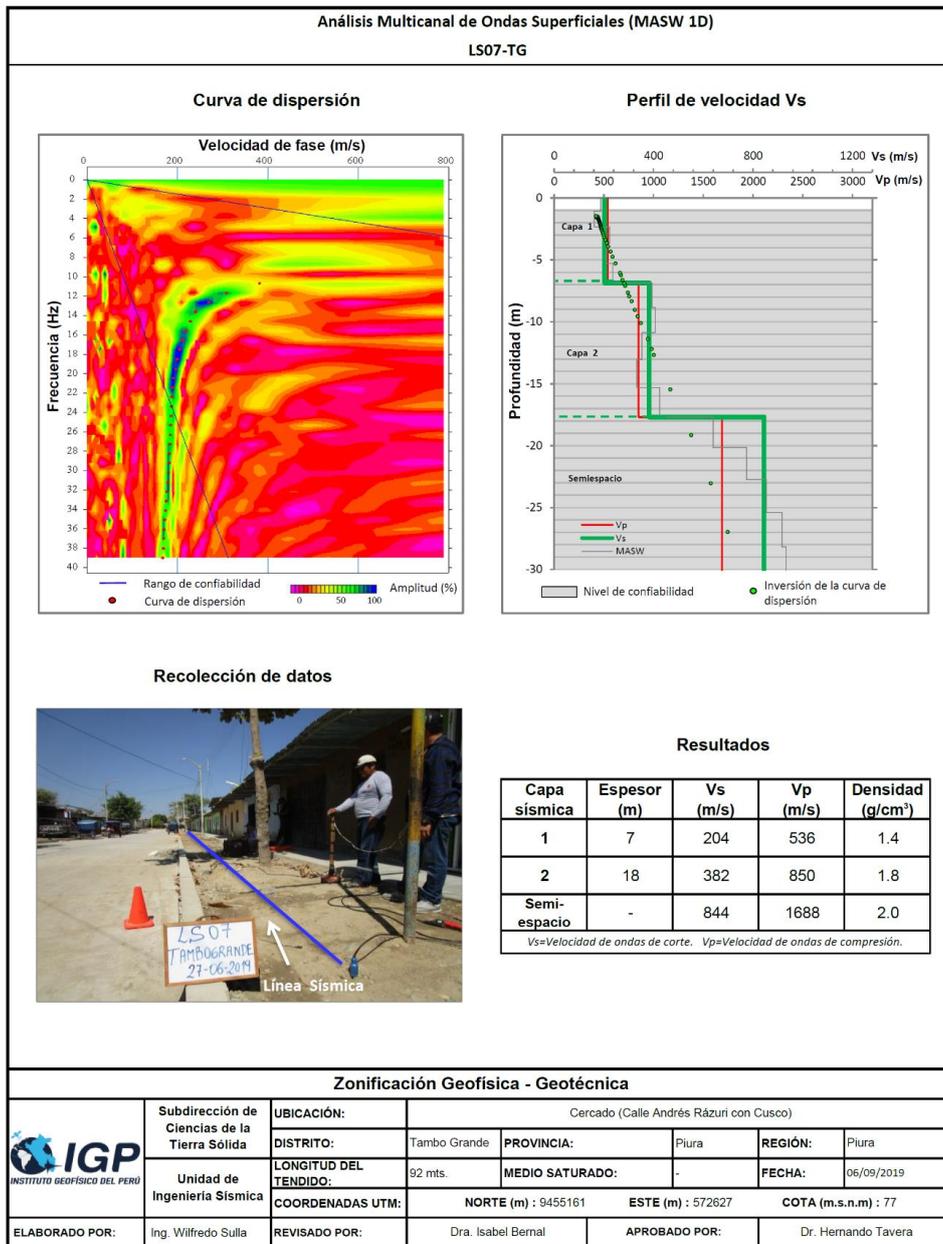


Figura 11: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo lineal LS07-TG.

Las líneas sísmicas LS1-TG y LS02-TG: Ubicadas en la Plaza de Armas y en el cerro Santa Cruz respectivamente, permiten identificar la presencia de una capa por debajo de 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 velocidades V_s de 135 m/s asociado a suelos blandos. La segunda capa de 13 metros de espesor y con velocidades V_s de 192 m/s que, junto con el semi-espacio el cual presenta velocidades $V_s > 320$ m/s, corresponden a 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 velocidades V_s de 220 m/s, la segunda, de 16 metros de espesor y velocidades 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 velocidades V_s de 178 m/s lo cual considera suelo blando. La segunda, de

16 metros de espesor y velocidades V_s de 277 m/s corresponde a suelos moderadamente rígidos. 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 cercado de Tambogrande, en la calle Andrés Bázuri. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 7 metros de espesor con velocidades V_s de 204 m/s corresponde a suelos moderadamente rígidos. La segunda, de 18 metros de espesor y velocidades V_s de 382 m/s corresponde a suelos rígidos. 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 velocidades V_s de 171 m/s correspondiendo a suelos blandos. La segunda, de 12 metros de espesor y velocidades V_s de 318 m/s corresponde a suelos moderadamente rígidos. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 425$ m/s, lo cual considera suelo rígido.

En la Tabla 5, se muestra el resumen de la información obtenida, las velocidades de ondas de corte V_s , su espesor y la velocidad V_{s30} .

Según los resultados obtenidos, en el área de estudio, se ha identificado dos tipos de suelo en el subsuelo, el primero caracterizado por (1) suelos blandos a moderadamente rígidos presentes hacia el extremo Oeste del área de estudio, en capas 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 (Figura 12), y (2) suelos moderadamente rígidos, hacia la zona industrial.

Tabla 5: Valores de espesor y Vs de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Línea Sísmica	Superficie → Profundidad						VS30 (m/s)
	N° DE CAPA						
	1		2		Semi-espacio		
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (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)
	Roca dura ($V_s > 1500$ m/s)

Los valores de velocidad Vs 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 12: Ensayos MASW ubicados al oeste (LS08) y norte (LS06) del área urbana, cuyos suelos son blandos en superficie.

2.3. Perfiles de Tomografía Eléctrica

En Tambogrande se realizaron 05 líneas de tomografía eléctrica a fin de conocer el grado de saturación del suelo mediante los valores de

resistividad. En la Figura 13, se muestra imágenes con la disposición de las diferentes líneas. Finalmente, en la Figura 14 se presentan los resultados obtenidos para la línea LE01-TG; mientras que, para el resto de los perfiles se adjuntan en Anexos.



Figura 13: Vista de la línea eléctrica LE01-TG, ..., y LE05-TG.



Figura 13: Vista de la línea eléctrica LE01-TG, ..., y LE05-TG.

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 ($<100 \Omega.m$) que indican suelos con humedad que aumentan en profundidad debido a la cercanía del río Piura. Estos suelos están compuestos por conglomerados, arenas, arcillas y material de relleno sin compactar observados en superficie (Figura 13).

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, 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 $500 \Omega.m$) que corresponderían a afloramientos rocosos en superficie (Figura 13).

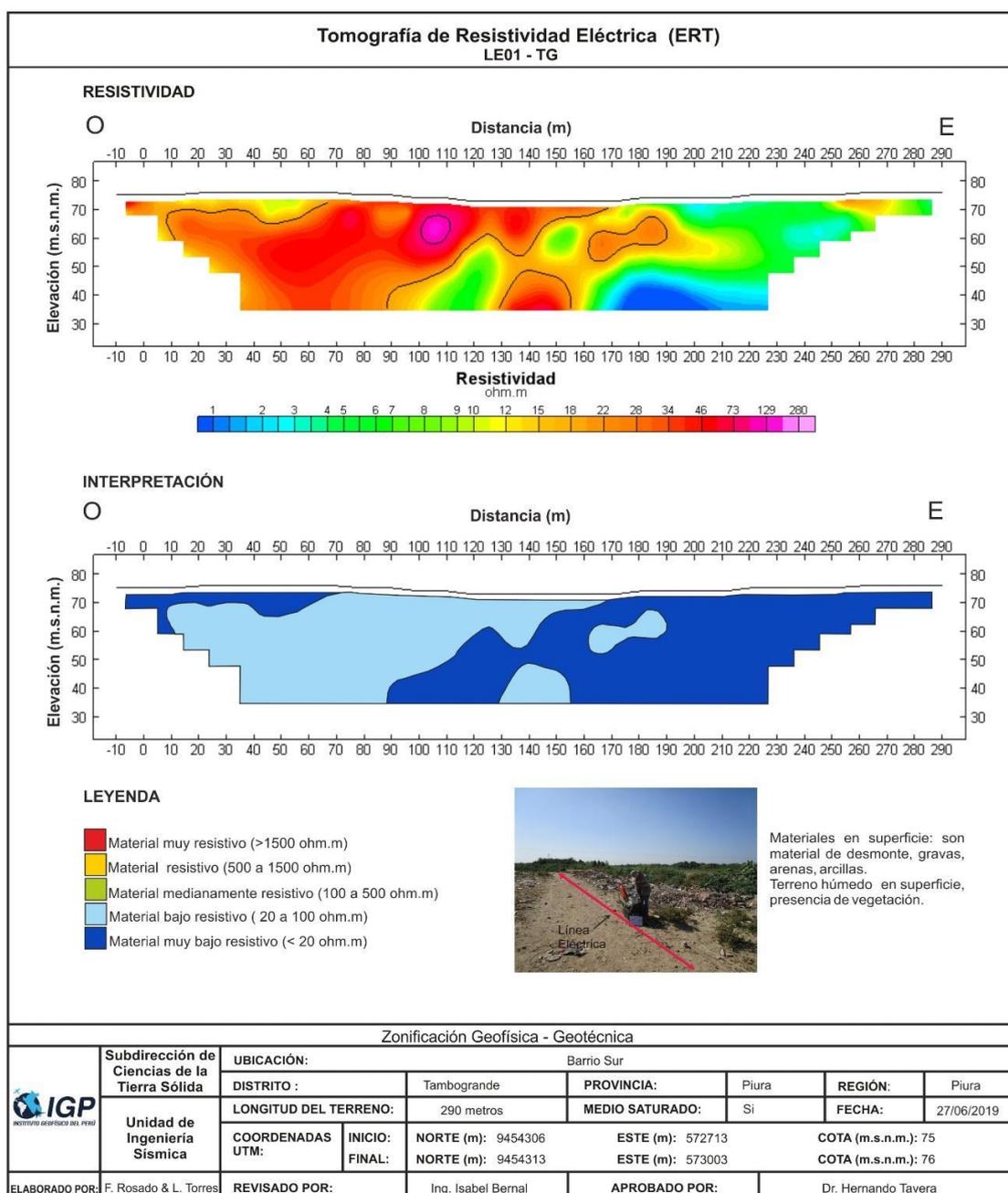


Figura 14: Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-TG.

Los niveles de saturación del suelo, en el área urbana de Tambogrande, se 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, la saturación del suelo está presente en los sectores próximos a la quebrada Carneros y del río Piura.

3. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA

El mapa de zonificación Geofísica – Geotécnica 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.

3.1. 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 con pendientes bajas a moderadas. La mayor elevación se presenta hacia el extremo norte de la Plaza de Armas (A.H. Cerro Santa Cruz). Estas condiciones geomorfológicas influyen en los resultados obtenidos en este estudio.

En general, en Tambogrande el suelo responde de manera variada a periodos de entre 0.2 y 0.4 segundos (Figura 15). 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 en capas de mayor espesor en toda el área de estudio. De forma puntual se identifica la presencia de 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). Suelos que no evidencian un periodo dominante se encuentran por la Plaza de Armas, siendo estos más compactos.

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 de mayor espesor distribuidos hacia el oeste. Estos resultados son coherentes con la distribución de los periodos identificados en el área de estudio.

En la Figura 15, se observa la correlación de los datos obtenidos con el análisis geofísico, hacia el noroeste (punto “a”) y hacia el sureste (punto “b”).

En el área urbana de Tambogrande, se identifica suelos con alto nivel freático a pocos metros de la superficie (2.5 metros de profundidad) 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 favorece 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).

En el área de estudio, las amplificaciones máximas relativas alcanzan valores de hasta 4 veces, evidenciando la presencia de suelos menos consistentes y con alto nivel freático 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, los suelos al estar constituidos 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

3.2. Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica

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 suelos corresponden a las Zonas II y IV respectivamente (Figura 16).

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

- **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 entre 1.0 a 2.0 kg/cm² para una profundidad de un metro.

En la Figura 16, las líneas rojas inclinadas 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.

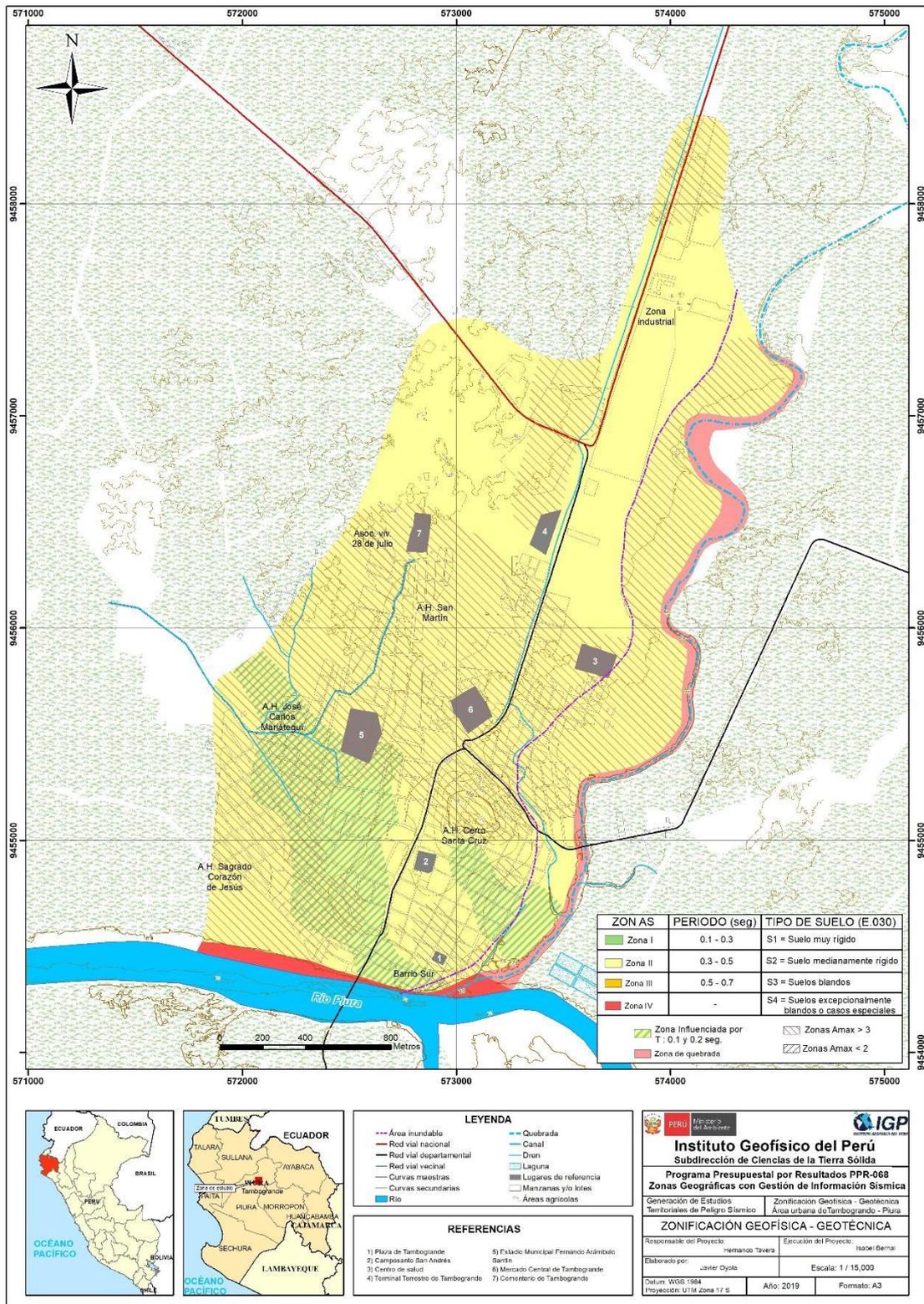


Figura 16: Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica del área urbana de Tambogrande.

Las líneas negras inclinadas 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, presentes en la quebrada Carneros y hacia el oeste, sectores próximos a drenes de regadío. Estos sectores son susceptibles a sufrir grandes amplificaciones (mayores sacudimientos), debido a su 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 eventos sísmicos.

Asimismo, en la Figura 16 se delimita con líneas discontinuas, 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 presentes a ambas márgenes de la quebrada Carneros.

En general, 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

CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Geofísica - Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el distrito de Tambogrande, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Tambogrande se caracteriza por presentar tres unidades y/o geoformas: lomas, 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. Históricamente, la terraza ha sido afectada por inundaciones fluviales que se producen, tanto en la margen derecha del río Piura, como en la margen derecha de la quebrada Carneros, y que han afectado el 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 debido a la falta de mantenimiento de los drenes y 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.
- Se ha determinado la presencia de cuatro (4) tipos de suelos en Tambogrande: limos inorgánicos de baja plasticidad (ML); arcillas inorgánicas de baja plasticidad (CL); arcillas inorgánicas con limos de baja plasticidad (CL – ML) con capacidades portantes muy bajas ($< 1.0 \text{ kg/cm}^2$) y arenas limosas (SM) con capacidades portantes bajas ($1.0 - 2.0 \text{ kg/cm}^2$).
- 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.
- En el área de estudio, los suelos en superficie son de dos tipos: 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 velocidades V_s entre 564 a 612 m/s correspondiente a suelos muy rígidos o rocas emplazadas en la zona de mayor elevación. El segundo, con rangos de velocidades V_s entre 232 a 386 m/s correspondiente a

suelos medianamente rígidos emplazados 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.

BIBLIOGRAFÍA

- 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, N° 3, 438-445
- Gasulla, M.; Jordana, J.; Pallás, R.; Torrents, J.M. (1998). Subsurface resistivity measurements using square waveforms. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 47(1): 74-77.
- 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 Cohesionalless 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.
- 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.*, 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.
- Tarback, E., D. Lutgens, F., K., (2005) - *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física* Prentice Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.

- Tavera, H., 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

ANEXOS

La información que se detalla está contenida en formato digital que se hace entrega con el presente informe.

1. Información Geológica Geotécnica:

Fichas de eventos geodinámicos

Registros de calicatas

Densidad de campo

Fichas de granulometría

Registro de posteos

Registro de DPL

Registro de capacidad de carga admisible

Mapas

2. Información Geofísica

Perfiles Sísmicos (MASW)

Secciones Geo eléctricas (ERT)

Mapas